

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043606**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.05

(51) Int. Cl. **G01P 5/24 (2006.01)**
G01S 15/58 (2006.01)

(21) Номер заявки
201891250

(22) Дата подачи заявки
2016.01.18

(54) **УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ РАСХОДОМЕР С
ФОРМИРОВАНИЕМ ЛУЧА ЗВУКОВОГО СИГНАЛА**

(43) **2018.10.31**

(56) US-A-5040415
US-B1-6877387
US-A1-20080156107
US-A1-20090007625
WO-A1-2013164805

(86) **PCT/IB2016/050218**

(87) **WO 2017/125781 2017.07.27**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ГеВеЭф МЕСЗЮСТЕМЕ АГ (СН)

(72) Изобретатель:
**Хис Томас Вернер, Скрипалле Юрген
Хайнц-Фридрих, Луон Трун Дун, Оль
Клаус-Дитер (СН)**

(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(57) Предложены способ и соответствующее устройство для определения скорости потока в трубопроводе для текучей среды. Трубопровод для текучей среды снабжен первым, вторым и третьим ультразвуковыми измерительными преобразователями, при этом соответствующие линии соединения между измерительными преобразователями проходят за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды. Первый и второй измерительные сигналы подаются на первый ультразвуковой измерительный преобразователь и принимаются на втором и третьем ультразвуковых измерительных преобразователях соответственно. Измерительные сигналы содержат соответствующую обращенную по времени часть сигнала отклика. Соответствующие первый и второй сигналы отклика измеряют, и скорость потока получают по меньшей мере из одного из первого и второго сигналов отклика.

043606
B1

043606
B1

Настоящее изобретение относится к расходомерам, и в частности к времяпролетным ультразвуковым расходомерам.

Различные типы расходомеров в настоящее время используются для измерения объемного расхода текучей среды, такой как жидкость или газ, через трубу. Ультразвуковые расходомеры представляют собой либо доплеровские расходомеры, в которых применяется акустический эффект Доплера, либо времяпролетные расходомеры, иногда также называемые расходомерами на основе передаваемых сигналов, в которых применяется разность по времени распространения сигнала, вызванная относительным движением источника и среды. Время прохождения также называется временем пролета или временем транзита.

Времяпролетный ультразвуковой расходомер оценивает разность по времени распространения ультразвуковых импульсов, распространяющихся в направлении потока и против него. Ультразвуковые расходомеры предусмотрены как встроенные расходомеры, также известные как погружные или помещаемые в текучую среду расходомеры, или как закрепляемые расходомеры, также известные как непогружные расходомеры. К другим видам расходомеров относятся каналы Вентури, переливные пороги, радарные расходомеры, расходомеры Кориолиса, расходомеры, основанные на принципе дифференциального давления, магнитно-индуктивные расходомеры и другие типы расходомеров.

При наличии нестандартных профилей потока или открытых каналов, для определения средней скорости потока может быть необходимо более одного пути распространения. Среди прочего, процедуры многопутного распространения описаны в гидromетрических стандартах, таких как IEC 41 или EN ISO 6416. В качестве дополнительного применения ультразвуковые расходомеры также используются для определения профилей потока, например, с помощью акустического доплеровского измерителя течения (АДИТ). АДИТ также подходит для измерения скорости и выхода воды в реках и открытых водах.

Цель настоящего изобретения заключается в предоставлении усовершенствованного времяпролетного расходомера и соответствующего реализуемого компьютером способа измерения средней скорости потока или профиля потока текучей среды в целом и, в частности, для жидкостей, таких как вода, или для газов.

В устройстве измерения расхода согласно настоящему изобретению звуковые измерительные преобразователи, например, в виде пьезоэлектрических элементов, также известных как пьезоэлектрические измерительные преобразователи, используются для генерирования и для приема испытательного сигнала и измерительного сигнала.

Альтернативные звукопередатчики содержат лазеры, которые вызывают вибрацию металлической мембраны или другой поглощающей свет поверхности, или электродинамические громкоговорители. Также можно создавать волны давления другими способами. Приемная сторона может также быть представлена другими средствами, которые отличаются от пьезоэлектрических измерительных преобразователей, но обнаруживают ультразвуковые волны.

Хотя термин "пьезоэлектрический измерительный преобразователь" часто используется в настоящем описании, он обозначает также и другие измерительные преобразователи звуковых волн, которые создают или обнаруживают ультразвуковые волны.

Измерительный сигнал согласно настоящему изобретению может быть сформирован согласованным фильтром. Если импульс с резким пиком используется в качестве проверочного или испытательного сигнала, принятый сигнал на измерительном преобразователе представляет собой импульсный отклик трубопровода или канала текучей среды. Согласно настоящему изобретению инвертированная версия импульсного отклика по отношению ко времени отправляется обратно через тот же канал как измерительный сигнал либо в обратном направлении, либо в том же направлении. Это приводит к сигналу с пиком на начальном этапе, где был первоначальный источник, или к сигналу с пиком как на начальном приемнике соответственно.

Инверсия по отношению ко времени может быть получена несколькими способами. При использовании аналоговых средств для записи сигнала отклика можно воспроизводить записанный сигнал отклика в обратном режиме. При использовании цифровых средств для записи дискретных значений сигнала отклика порядок записанных дискретных значений обращают для получения инвертированного сигнала. Этого можно достичь путем инвертирования значений временных отметок каждого записанного дискретного значения посредством умножения соответствующего значения времени на (-1). При воспроизведении согласно возрастающему порядку значений временных отметок записанные дискретные значения воспроизводят в обратном порядке. Другими словами, инвертированный сигнал отклика представляет собой записанный сигнал отклика, но воспроизводимый в обратном направлении.

Ультразвуковой расходомер согласно настоящему изобретению предусматривает свойство фокусировки путем использования упомянутого выше инвертированного сигнала или подобным образом сфокусированного сигнала для ультразвукового расходомера для образования сигнала отклика, который сосредоточен и в пространстве, и во времени. Это, в свою очередь, приводит к более высокой амплитуде на принимающем пьезоэлектрическом элементе и лучшему отношению сигнал/шум.

Благодаря ультразвуковому расходомеру согласно настоящему изобретению свойства фокусировки и формирования луча могут быть получены при весьма обычных условиях. Например, свойство фокуси-

ровки получают, даже когда только один ультразвуковой передатчик активирован и даже когда инвертированный сигнал понижен в сигнал, который лишь грубо оцифрован в диапазоне амплитуд, при достаточном разрешении по времени инвертированного сигнала. Кроме того, расходомер согласно настоящему изобретению может использоваться с накладными измерительными преобразователями, которые легко размещать на трубе и для которых не требуется внесение изменений в трубу.

В ультразвуковом расходомере согласно настоящему изобретению технические признаки, которые обеспечивают хорошее соединение и направленность накладных измерительных преобразователей, и для уменьшения рассеяния, могут не быть необходимыми, или, наоборот, их исключение может даже улучшить характеристику формирования луча. Чтобы обеспечить повышенное рассеяние, может быть выбран материал соединения, который приспособлен к показателю преломления жидкости или измерительным преобразователям, и могут быть использованы соединения измерительных преобразователей, которые обеспечивают больше волн сдвига.

Предпочтительно частота звуковых волн, которые используются в расходомере согласно настоящему изобретению, составляет от >20 кГц до 2 МГц, что соответствует периоду колебаний 0,5 микросекунды (мкс), но может даже составлять до 800 МГц. Во многих случаях ультразвуковые расходомеры работают намного выше порога слышимости с частотами в несколько сотен кГц или выше. Частота времяпролетных ультразвуковых расходомеров находится, как правило, в диапазоне кГц или МГц.

Согласно одному аспекту настоящего изобретения описывается выполняемый компьютером способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе или канале для текучей среды, в частности, трубе или трубке, с применением времяпролетного ультразвукового расходомера. В предпочтительном варианте осуществления выражение "выполняемый компьютером" относится к выполнению на электронных компонентах с мелкой структурой, таких как микропроцессоры, микросхемы ASIC, FPGA и т.п., которые могут использоваться в портативных или в компактных стационарных устройствах цифровой обработки сигналов, которые обычно имеют меньший размер, чем рабочие станции или базовые компьютеры, и которые могут быть размещены в требуемом месте вдоль трубы для текучей среды.

Далее термины "канал", "трубопровод", "проход" и т.п. используются как синонимы. Предмет изобретения может применяться для всех типов трубопроводов для текучих сред независимо от их соответствующей формы и независимо от того, являются ли они открытыми или закрытыми. Предмет изобретения может также применяться для всех типов текучих сред или газов независимо от того, являются ли они газами или жидкостями, или их смесью.

По всему изобретению часто используется термин "компьютер". Хотя к компьютеру относятся устройства, такие как переносной или настольный компьютер, передача и прием сигнала могут также быть выполнены микроконтроллерами, микросхемами ASIC, FPGA и т.п.

Кроме того, соединительная линия между измерительными преобразователями может быть смещена относительно центра трубопровода для текучей среды для того, чтобы получить скорость потока в предварительно определенном слое, и может предусматриваться более одной пары измерительных преобразователей. Кроме того, измерительный сигнал может быть обеспечен более чем одним измерительным преобразователем, и/или сигнал отклика на измерительный сигнал может быть измерен более чем одним измерительным преобразователем.

Энергия E сигнала $s(t)$ в интервале времени может быть определена на основании выражения

$$E = \int_{T_1}^{T_2} dt |s(t)|^2$$

или его дискретной версии

$$E = \sum_{i=m}^n |s(i)|^2,$$

где интервал времени задан как $[T_1, T_2]$ или $[m \cdot \Delta t, n \cdot \Delta t]$ соответственно.

Ведущая часть измерительного сигнала может значительно влиять на получение сигнала, который обладает пиками в пространстве и времени.

В некоторых конкретных вариантах осуществления измерительный сигнал или сигнал отклика может быть обеспечен колебательным сигналом, модулированным по амплитуде, который оцифрован по отношению к амплитуде, например, с разрешением от 1 до 12 бит. Это может предоставить преимущества относительно скорости вычисления и объема памяти и может даже привести к увеличенному пику сигнала. В частности, данные, представленные на графических материалах настоящего изобретения, были получены с разрешением 12 бит, за исключением фиг. 30-35, которые были получены с более грубым разрешением, чем 12 бит.

Согласно дополнительному варианту осуществления измерительный сигнал, который подается в измерительный преобразователь, может содержать колебательный сигнал, который смодулирован согласно 0-1 модуляции, либо обеспечивая предварительно определенную амплитуду, либо не обеспечивая какой-либо амплитуды, или, другими словами, обеспечивая нулевую амплитуду.

Согласно дополнительному аспекту раскрывается устройство для измерения скорости потока в времяпролетном ультразвуковом расходомере. Устройство содержит первый соединитель для соединения первого пьезоэлектрического элемента, второй соединитель для соединения второго пьезоэлектрического элемента, факультативный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который соединен с первым

соединителем, и факультативный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который соединен со вторым соединителем.

Кроме того, устройство содержит машиночитаемое запоминающее устройство, электронный таймер или генератор колебаний, передающий блок для отправки импульсного сигнала в первый соединитель и принимающий блок для приема сигнала отклика на импульсный сигнал от второго соединителя.

Термины "скорость потока", "быстрота потока" и "скорость движения потока" используются в качестве синонимов в настоящей заявке.

Хотя устройство может быть предусмотрено как аналоговое устройство без аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей и без блока машиночитаемой памяти, также можно предоставить устройство или его части с применением цифровой вычислительной системы.

В частности, различные блоки обработки сигнала, такие как блок обработки скорости, блок выбора и блок инвертирования, могут быть предоставлены полностью или по отдельности с применением специализированного электронного компонента или программной памяти с набором машиночитаемых команд. Подобным образом, генератор измерительных сигналов и генератор импульсных сигналов передающего блока могут быть предоставлены полностью или частично с применением специализированного электронного компонента, который может содержать набор машиночитаемых команд.

Согласно дополнительному варианту осуществления устройство содержит прямой цифровой синтезатор сигналов (ПЦС), который содержит вышеупомянутый АЦП. ПЦС содержит регистр управления частотой, опорный генератор, генератор с числовым программным управлением и восстанавливающий фильтр низких частот. Кроме того, АЦП выполнен с возможностью соединения с первым и со вторым соединителем через восстанавливающий фильтр низких частот.

Кроме того, согласно настоящему изобретению раскрыто устройство измерения расхода с первым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем, который соединен с первым соединителем, и со вторым ультразвуковым измерительным преобразователем, таким как пьезоэлектрический измерительный преобразователь, который соединен со вторым соединителем. В частности, ультразвуковые измерительные преобразователи, такие как пьезоэлектрические измерительные преобразователи, могут быть обеспечены средствами для крепления, такими как зажимной механизм, для прикрепления их к трубе.

Кроме того, согласно настоящему изобретению раскрывается устройство измерения расхода с частью трубы. Первый ультразвуковой измерительный преобразователь, такой как пьезоэлектрический измерительный преобразователь, установлен на части трубы в первом месте, а второй ультразвуковой измерительный преобразователь, такой как пьезоэлектрический измерительный преобразователь, установлен на части трубы во втором месте. В частности, измерительные преобразователи могут быть зафиксированы на части трубы. Обеспечение устройства частью трубы может предоставить преимущества, когда устройство предварительно регулируют по отношению к части трубы.

Устройство может быть выполнено компактным и портативным. Портативное устройство согласно настоящему изобретению, которое оборудовано измерительными преобразователями, выполненными с возможностью установки на поверхности, такими как накладные измерительные преобразователи, может использоваться для проверки трубы на любом доступном месте. В целом, устройство может быть неподвижным или портативным. Предпочтительно, устройство является достаточно компактным для размещения в требуемом месте и достаточно защищенным от окружающих условий, таких как влажность, тепло и коррозионные вещества.

Более того, согласно настоящему изобретению раскрывается машиночитаемый код для выполнения способа измерения расхода согласно настоящему изобретению, при этом машиночитаемое запоминающее устройство содержит машиночитаемый код и специализированный электронный компонент, который выполнен с возможностью выполнения этапов способа согласно настоящему изобретению.

В частности, специализированный электронный компонент может быть обеспечен электронным компонентом, содержащим вышеупомянутую машиночитаемую запоминающую устройство, такую как EPROM, EEPROM, флеш-память и т.п. Согласно другим вариантам осуществления специализированный электронный компонент обеспечен компонентом с аппаратно-реализованной или с предусматриваемой различные конфигурации схемой, такой как специализированная интегральная схема (ASIC) или программируемая пользователем матрица логических элементов (FPGA).

В дополнительном варианте осуществления специализированный электронный компонент согласно настоящему изобретению обеспечен множеством взаимосоединенных электронных компонентов, например FPGA, который соединен с подходящим образом запрограммированной EPROM в многоканальном устройстве. Дополнительными примерами специализированного электронного компонента являются программируемые интегральные схемы, такие как программируемые логические матрицы (PLA) и сложные устройства с программируемой логикой (CPLD).

Целесообразно определить, измеряет ли существующее испытательное устройство скорость потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды согласно настоящему изобретению. Для этой цели трубопровод для текучей среды обеспечивают текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды. Испытательный импульсный сигнал подается в первый ультразвуковой измерительный преобразователь, такой как пьезоэлектрический измерительный

преобразователь испытательного устройства, при этом первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь установлен на трубопроводе для текучей среды в первом месте, после чего следует прием испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на втором пьезоэлектрическом измерительном преобразователе испытательного устройства, при этом второй ультразвуковой измерительный преобразователь, такой как пьезоэлектрический измерительный преобразователь, установлен на трубопроводе для текучей среды во втором месте.

Кроме того, в настоящем изобретении раскрывается выполняемый компьютером способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды с использованием предварительно определенных измерительных сигналов в устройстве с тремя или более ультразвуковыми измерительными преобразователями. Предварительно определенные сигналы содержат первый измерительный сигнал и второй измерительный сигнал.

Трубопровод для текучей среды снабжен текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды. Кроме того, трубопровод для текучей среды снабжен первым ультразвуковым измерительным преобразователем, вторым ультразвуковым измерительным преобразователем и третьим ультразвуковым измерительным преобразователем. В частности, второй измерительный преобразователь и третий измерительный преобразователь могут быть расположены на расстоянии относительно первого измерительного преобразователя и относительно продольного направления трубопровода.

Измерительные преобразователи расположены так, что соответствующие линии соединения между первым ультразвуковым измерительным преобразователем, вторым ультразвуковым измерительным преобразователем и третьим ультразвуковым измерительным преобразователем проходят за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды. В частности, линия соединения может быть смещена на 5% или более, или на 10% или более относительно среднего диаметра трубопровода или относительно среднего радиуса трубопровода.

Например, средний радиус трубопровода может быть определен относительно опорной точки на

оси симметрии как $\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |r| d\varphi$ или как $\sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r^2 d\varphi}$ и т.п.

Первый предварительно определенный измерительный сигнал подают на первый ультразвуковой измерительный преобразователь, и первый сигнал отклика первого предварительно определенного измерительного сигнала, принятого на втором ультразвуковом измерительном преобразователе, измеряют, например, посредством определения напряжения, порождаемого вторым ультразвуковым измерительным преобразователем.

Аналогично второй предварительно определенный измерительный сигнал подают на первый ультразвуковой измерительный преобразователь, и измеряют второй сигнал отклика второго предварительно определенного измерительного сигнала, принятого на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе.

Первый предварительно определенный измерительный сигнал и второй предварительно определенный измерительный сигнал соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него.

В частности, соответствующий измерительный сигнал может быть сгенерирован из импульсного сигнала, который передают между той же парой измерительных преобразователей, что и измерительный сигнал. Генерирование измерительного сигнала может быть выполнено посредством фактического измерения, посредством моделирования или посредством их сочетания.

Измерительный сигнал может быть отправлен в том же направлении или в обратном направлении, в сравнении с импульсным сигналом, из которого он сгенерирован. В частности, если текучая среда перемещается относительно трубопровода во время процесса калибровки, посредством которого измерительный сигнал генерируют из импульсного сигнала, по причинам стабильности может быть преимуществом передавать измерительный сигнал в том же направлении, что и импульсный сигнал.

Другими словами, на этапе измерения последовательность отправляющего измерительного преобразователя и принимающего измерительного преобразователя может быть такой же, как на предыдущем этапе калибровки для генерирования измерительного сигнала или, альтернативно, она может быть обратной, с применением ранее отправляющего измерительного преобразователя как принимающего измерительного преобразователя и ранее принимающего измерительного преобразователя как отправляющего измерительного преобразователя.

Обычно первый измерительный сигнал приспособлен для канала или пути передачи, который отличается от канала передачи второго измерительного сигнала. Следовательно, первый измерительный сигнал и второй измерительный сигнал обычно отличаются друг от друга. Кроме того, измерительный сигнал, полученный посредством отправки импульсного сигнала с первого измерительного преобразователя на второй измерительный преобразователь, обычно отличается от измерительного сигнала, полученного посредством отправки импульсного сигнала в обратном направлении со второго измерительного преобразователя на первый измерительный преобразователь.

Обычно распространение сигнала давления между отправляющим и принимающим измерительным преобразователем содержит не только прямое распространение, но также может содержать одно или более отражений на стенке трубопровода и/или процессов рассеивания в стенке трубы.

В частности, вышеупомянутый способ может быть использован в измерении расхода по времени пролета (ВП). Для измерения ВП этапы подачи первого измерительного сигнала и измерения соответствующего сигнала отклика и подачи второго измерительного сигнала и измерения соответствующего сигнала отклика повторяют в обратном направлении для получения соответствующих первого сигнала отклика с обратным направлением и второго сигнала отклика с обратным направлением.

Как объяснено выше, выполнение измерения "в обратном направлении" относится к реализации этапов измерения так, что роли соответствующих измерительных преобразователей меняются, или, другими словами, так, что ранее отправляющий измерительный преобразователь применяется как принимающий измерительный преобразователь, а ранее принимающий измерительный преобразователь применяется как отправляющий измерительный преобразователь.

Таким образом, если первое измерение включает отправку измерительного сигнала в направлении потока текучей среды в том смысле, что измерительный сигнал имеет составляющую скорости в направлении потока текучей среды, то соответствующее измерение "в обратном направлении" включает отправку измерительного сигнала против направления потока текучей среды.

Первый сигнал отклика и второй сигнал отклика на соответствующие первый измерительный сигнал и второй измерительный сигнал используют для получения одной или более скоростей потока текучей среды. В частности, первый сигнал отклика может быть использован для определения скорости потока в слое текучей среды, который содержит линию соединения между первым измерительным преобразователем и вторым измерительным преобразователем, и второй сигнал отклика может быть использован для определения скорости потока в слое текучей среды, который содержит линию соединения между первым измерительным преобразователем и третьим измерительным преобразователем.

Согласно еще одному варианту осуществления, который является применимым для измерения времени пролета, первый предварительно определенный измерительный сигнал с обратным направлением подают на второй ультразвуковой измерительный преобразователь, и первый сигнал отклика с обратным направлением на первый измерительный сигнал с обратным направлением измеряют на втором ультразвуковом измерительном преобразователе.

Аналогично второй измерительный сигнал с обратным направлением подают на третий ультразвуковой измерительный преобразователь, и измеряют второй сигнал отклика с обратным направлением второго предварительно определенного измерительного сигнала, принятого на первом ультразвуковом измерительном преобразователе.

Первый измерительный сигнал с обратным направлением и второй измерительный сигнал с обратным направлением соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него. "Соответствующий импульсный сигнал" относится к импульсному сигналу, который передают между той же парой измерительных преобразователей, что и соответствующий измерительный сигнал.

Скорость потока текучей среды получают из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика, первого сигнала отклика с обратным направлением, второго сигнала отклика и второго сигнала отклика с обратным направлением. В частности, первый сигнал отклика и первый сигнал отклика с обратным направлением могут быть использованы для получения скорости потока с применением метода времени пролета. Аналогично, второй сигнал отклика и второй сигнал отклика с обратным направлением могут быть использованы для получения скорости потока с применением метода времени пролета.

В еще одном варианте осуществления, в котором также применяется измерительный сигнал, проходящий от второго измерительного преобразователя к третьему измерительному преобразователю в вышеупомянутом устройстве из трех измерительных преобразователей, измерение дополнительно включает следующие этапы.

Третий измерительный сигнал подают на второй ультразвуковой измерительный преобразователь, и третий сигнал отклика на второй измерительный сигнал измеряют на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе.

Подобно вышеуказанным вариантам осуществления третий предварительно определенный измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него.

Из третьего сигнала отклика получают по меньшей мере одну скорость потока текучей среды. С целью определения по меньшей мере одной скорости потока также могут быть использованы первый сигнал отклика, первый сигнал отклика с обратным направлением, второй сигнал отклика и второй сигнал отклика с обратным направлением.

В еще одном варианте осуществления, который является применимым для определения скорости потока в слое текучей среды между вторым измерительным преобразователем и третьим измерительным преобразователем с помощью метода времени пролета, способ дополнительно включает следующие этапы.

Третий измерительный сигнал с обратным направлением подают на третий ультразвуковой измери-

тельный преобразователь, и измеряют третий сигнал отклика с обратным направлением на третий измерительный сигнал с обратным направлением, принятого на втором ультразвуковом измерительном преобразователе.

Подобно вышеуказанным вариантам осуществления третий измерительный сигнал с обратным направлением содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него.

По меньшей мере одну скорость потока текучей среды получают из третьего сигнала отклика и третьего сигнала отклика с обратным направлением. С целью определения по меньшей мере одной скорости потока также могут быть использованы первый сигнал отклика, первый сигнал отклика с обратным направлением, второй сигнал отклика и второй сигнал отклика с обратным направлением.

Согласно дополнительному выполняемому компьютером способу, который является применимым для определения скорости потока в трубопроводе для текучей среды с использованием устройства из по меньшей мере двух накладных измерительных преобразователей, трубопровод для текучей среды обеспечивает текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды.

Кроме того, трубопровод для текучей среды снабжают первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем. Предпочтительно второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь смещен относительно первого ультразвукового накладного измерительного преобразователя в продольном направлении трубопровода.

Накладные измерительные преобразователи расположены так, что прямая линия соединения между первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем проходит за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды. В частности, линия соединения может быть смещена относительно оси симметрии на 5% или более, или на 10% или более относительно среднего диаметра или относительно среднего радиуса трубопровода.

Предварительно определенный измерительный сигнал подают на первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, и измеряют сигнал отклика измерительного сигнала, принятого на втором ультразвуковом накладном измерительном преобразователе.

Подобно вышеуказанному варианту осуществления предварительно определенный измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него. Скорость потока текучей среды получают из сигнала отклика.

Подобно вышеуказанным вариантам осуществления этап измерения также может включать отправку измерительных сигналов в обратном направлении. В частности, способ может включать подачу предварительно определенного измерительного сигнала с обратным направлением на второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь и измерение сигнала отклика с обратным направлением на измерительный сигнал с обратным направлением на втором ультразвуковом накладном измерительном преобразователе.

Подобно вышеуказанному варианту осуществления измерительный сигнал с обратным направлением содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него. Скорость потока текучей среды получают из сигнала отклика и из сигнала отклика с обратным направлением, в частности с применением метода времени пролета.

Способы измерения для вышеупомянутого устройства из по меньшей мере трех ультразвуковых измерительных преобразователей, которые могут быть предоставлены как погружаемые измерительные преобразователи или как накладные измерительные преобразователи, аналогичным образом применимы также к соответствующим устройствам из накладных измерительных преобразователей.

Накладные измерительные преобразователи могут обеспечивать особые преимущества в контексте сосредоточения звукового сигнала в конкретном местоположении на трубопроводе, что также называют "формированием луча". Благодаря использованию взаимодействия с трубопроводом и, необязательно, также с соединительными элементами, звуковые волны накладных измерительных преобразователей могут быть распространены на более широкий угол или в большем числе направлений в сравнении с погружаемыми измерительными преобразователями. Соединительные элементы позволяют направлять звуковые волны в соответствии с законом Снеллиуса, но также помогают генерировать больше мод и рассеивания.

Инверсия по времени согласно настоящему изобретению может затем быть использована для генерирования измерительного сигнала, который добавляет различные компоненты сигнала, проходящие по разным путям, посредством суперпозиции, и таким образом, приводит к более высокой амплитуде сигнала в конкретном местоположении трубопровода, в котором может быть расположен принимающий измерительный преобразователь.

Упомянутые ниже модификации, относящиеся к многократным измерениям, и этап оцифровки при генерировании сигнала измерения могут быть применены ко всем устройствам измерительных преобразователей согласно настоящему изобретению.

В вышеупомянутых вариантах осуществления этапы подачи импульсного сигнала и приема соответствующего сигнала отклика повторяют множество раз и получают множество сигналов отклика. В частности, многократные измерения могут относиться к заданной комбинации двух измерительных преобразователей. Соответствующий измерительный сигнал, такой как первый и второй измерительный сигнал, затем получают из среднего значения принятых сигналов отклика.

В частности, получение соответствующего измерительного сигнала в вышеупомянутых вариантах осуществления может включать оцифровку соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из него, по отношению к амплитуде. Согласно одному варианту осуществления этапы изменения битового разрешения соответствующего измерительного сигнала и измерения сигнала отклика на этот измерительный сигнал повторяют, пока не находят измерительный сигнал, который генерирует сигнал отклика с наибольшей максимальной амплитудой. Измерительный сигнал с соответствующим битовым разрешением затем выбирают в качестве измерительного сигнала.

Согласно одному конкретному варианту осуществления битовое разрешение оцифрованного сигнала увеличивают для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал, такой как первый и второй измерительный сигнал. Для примера, битовое разрешение увеличивают на предварительно определенных этапах и выбирают битовое разрешение, которое создает сигнал отклика с наивысшей амплитудой, и соответствующее представление измерительного сигнала сохраняют в машиночитаемой памяти.

Согласно другому конкретному варианту осуществления битовое разрешение оцифрованного сигнала понижают или уменьшают для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал. Для примера, битовое разрешение уменьшают на предварительно определенных этапах, выбирают битовое разрешение, которое создает сигнал отклика с наивысшей амплитудой, и соответствующее представление измерительного сигнала сохраняют в машиночитаемой памяти.

В частности, битовое разрешение оцифрованного сигнала в отношении амплитуды можно выбрать как низкое битовое разрешение. Например, низкое разрешение может быть разрешением от 1 до 8 бит, или оно может быть разрешением от 1 до 64 бит.

Согласно одному конкретному варианту осуществления по меньшей мере один из сигналов отклика на измерительные сигналы обрабатывают для определения изменения толщины стенки трубопровода или для определения характеристик материала стенок трубопровода путем определения характеристик продольной и поперечной звуковой волны. Например, характеристики поперечных и продольных волн могут быть получены из соответствующих участков принимаемого сигнала или сигнала отклика, который соответствует разному времени появления акустических волн.

Согласно еще одному варианту осуществления способ включает предварительную калибровку, в которой соответствующие измерительные сигналы генерируют из сигнала отклика на импульсный сигнал. Калибровка может быть выполнена при заводской настройке или также во время работы способа. Упомянутая ниже калибровка может быть применена аналогичным образом ко всем комбинациям пар из двух измерительных преобразователей, и калибровка может быть выполнена только в одном направлении в отношении пары измерительных преобразователей или в обоих направлениях в отношении пары измерительных преобразователей. В первом случае для пары измерительных преобразователей получают один измерительный сигнал, а в последнем случае для пары измерительных преобразователей получают два измерительных сигнала.

Во время этапа калибровки трубопровод для текучей среды обеспечивают текучей средой, которая является неподвижной относительно трубопровода для текучей среды или которая перемещается с предварительно определенной скоростью относительно трубопровода для текучей среды.

Первый импульсный сигнал подают на второй ультразвуковой измерительный преобразователь, и первый сигнал отклика на первый импульсный сигнал принимают на первом ультразвуковом измерительном преобразователе.

Аналогично второй импульсный сигнал подают на третий ультразвуковой измерительный преобразователь, и второй сигнал отклика по меньшей мере одного импульсного сигнала принимают на первом ультразвуковом измерительном преобразователе.

Первый измерительный сигнал получают из первого сигнала отклика, и второй измерительный сигнал получают из второго сигнала отклика.

Получение соответствующих первого и второго измерительных сигналов включает выбор части соответствующих первого и второго сигналов отклика или сигнала, полученного из них, и обращение этой части сигнала по времени.

Другими словами, выбирают часть первого сигнала отклика и инвертируют или обращают по времени, и первый измерительный сигнал генерируют с использованием инвертированной части сигнала. Аналогично выбирают часть второго сигнала отклика и инвертируют или обращают по времени, и второй измерительный сигнал генерируют с использованием инвертированной части сигнала.

Первый предварительно определенный измерительный сигнал и второй предварительно определенный измерительный сигнал для дальнейшего использования. Как упомянуто выше, одинаковый процесс калибровки может быть использован для каждой комбинации двух измерительных преобразователей.

Обычно калибровку выполняют также и в обратном направлении, чтобы избежать неустойчивостей или компенсировать их. В зависимости от того, выполняют калибровку в условиях нулевого расхода или ненулевого расхода, может быть преимуществом обеспечение калибровки в обоих направлениях и использование каждого из двух сгенерированных измерительных сигналов в любом направлении.

Другими словами, если во время процесса измерения первый измерительный преобразователь является отправляющим измерительным преобразователем, а второй измерительный преобразователь является принимающим измерительным преобразователем, то измерительный сигнал мог бы быть сгенерирован путем отправки импульсного сигнала с первого измерительного преобразователя на второй измерительный преобразователь или путем отправки импульсного сигнала со второго измерительного преобразователя на первый измерительный преобразователь.

Подобный процесс калибровки может быть выполнен для каждой пары двух измерительных преобразователей. В частности, процесс калибровки может быть выполнен подобным образом для каждой пары измерительных преобразователей из вышеупомянутого устройства с тремя измерительными преобразователями, содержащего первый, второй и третий измерительный преобразователь.

В конкретном случае устройства из двух или более накладных измерительных преобразователей калибровка может быть выполнена посредством следующих этапов. Трубопровод для текучей среды обеспечивают текучей средой. В частности, текучая среда имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды.

Подают импульсный сигнал в первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь или второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь. Затем сигнал отклика на импульсный сигнал принимают на другом из двух ультразвуковых измерительных преобразователей, и измерительный сигнал получают из сигнала отклика. Аналогично импульсный сигнал может быть подан на второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, и сигнал отклика может быть принят на первом ультразвуковом накладном измерительном преобразователе.

При этом получение измерительного сигнала включает выбор части соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из него, и обращение этой части сигнала по времени. Измерительный сигнал сохраняют для дальнейшего использования во время процесса измерения, в частности, для определения скорости потока текучей среды.

Импульсный сигнал согласно настоящему изобретению может относиться к одноимпульсному сигналу. В целом импульсный сигнал относится к сигналу, который имеет энергию сигнала, которая сосредоточена в коротком периоде времени. В конкретном варианте осуществления импульсный сигнал проходит только на несколько периодов колебаний несущей, например, 10-20 периодов колебаний или менее.

В частности, огибающая импульсного сигнала может иметь прямоугольную форму, но также возможны и другие формы. Например, импульсный сигнал может соответствовать однократному пику или одиночному импульсу, короткому прямоугольному всплеску или любой другой форме сигнала, такой как треугольная зубчатая форма, прямоугольная волна, импульс с линейной частотной модуляцией, синусоидальная волна или предварительно определенный всплеск шума, такой как "белый" шум или "розовый" шум, который также известен как $1/f$ шум. Способ калибровки работает почти с любой формой сигнала импульсного сигнала.

В еще одном варианте осуществления соответствующий сигнал отклика отправляют и принимают множество раз, таким образом получая множество сигналов отклика, и соответствующий измерительный сигнал получают из среднего значения принятых сигналов отклика.

В частности, получение соответствующего измерительного сигнала может включать оцифровку соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из него, по отношению к амплитуде.

Как также упомянуто выше, битовое разрешение оцифрованного сигнала увеличивают для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал. В одном конкретном варианте осуществления амплитуду сигнала отклика на сгенерированный измерительный сигнал измеряют в предварительно определенном местоположении трубопровода для измерительных сигналов, соответствующих разным битовым разрешениями. Измерительный сигнал с наивысшей амплитудой затем выбирают и сохраняют в памяти для дальнейшего использования.

Подобная процедура также может быть обеспечена посредством уменьшения битового разрешения оцифрованного сигнала, пока не будет обнаружен сигнал отклика измерительного сигнала, который имеет высокую амплитуду, и соответствующий измерительный сигнал затем сохраняют в памяти для дальнейшего использования.

В частности, битовое разрешение оцифрованного сигнала в отношении амплитуды можно выбрать как низкое битовое разрешение, например, разрешение от 1 до 10 бит.

Кроме того, в настоящем изобретении раскрывается машиночитаемый программный код с машиночитаемыми командами для выполнения одного из вышеупомянутых способов измерения расхода. Более того, в настоящем изобретении также раскрывается машиночитаемое запоминающее устройство с машиночитаемым программным кодом и специализированный электронный компонент, который применяется для выполнения вышеупомянутого способа измерения расхода.

Кроме того, в настоящем изобретении раскрывается устройство для измерения скорости потока текучей

среды в трубопроводе, имеющем устройство из трех измерительных преобразователей. Указанное устройство применяется для выполнения измерения расхода по времени прохождения или времени пролета.

Устройство содержит первый соединитель для соединения первого ультразвукового элемента, второй соединитель для соединения второго ультразвукового элемента и третий соединитель для соединения третьего ультразвукового элемента.

Кроме того, устройство содержит передающий блок для отправки импульсных сигналов и для отправки измерительных сигналов, принимающий блок для приема сигналов отклика и блок обработки. Передающий блок, принимающий блок и блок обработки предусмотрены для получения первого измерительного сигнала из первого инвертированного сигнала, для получения второго измерительного сигнала из второго инвертированного сигнала и для сохранения первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала.

Подобно вышеупомянутым вариантам осуществления получение инвертированного сигнала включает обращение по времени части сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него.

Блок обработки, передающий блок и принимающий блок применяются для подачи первого предварительно определенного измерительного сигнала в первый соединитель и для приема первого сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором соединителе.

Кроме того, блок обработки, передающий блок и принимающий блок применяются для подачи второго измерительного сигнала в первый соединитель и для приема второго сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем соединителе, и для получения скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика.

Кроме того, блок обработки, передающий блок и принимающий блок могут применяться для выполнения любого из других способов измерения и калибровки, которые описаны выше в отношении устройства с тремя измерительными преобразователями, которые могут быть погружаемыми измерительными преобразователями или накладными измерительными преобразователями.

Подача сигнала может включать в частности извлечение сохраненного сигнала из компьютерной памяти и генерирование соответствующего электрического сигнала, который затем передают на измерительный преобразователь, обычно посредством кабеля. Кроме того, блок обработки применяется для получения скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика.

В частности, соединители, передающий блок, принимающий блок и блок обработки могут быть предоставлены времяпролетным ультразвуковым расходомером или его частью и, в частности, портативным времяпролетным ультразвуковым расходомером или его частью.

В еще одном аспекте в настоящем изобретении раскрывается устройство для измерения скорости потока текучей среды в трубопроводе в виде устройства по меньшей мере с двумя накладными измерительными преобразователями. В частности, указанное устройство содержит первый соединитель, первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, который соединен с первым соединителем. Аналогично устройство содержит второй соединитель и второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, который соединен со вторым соединителем.

Кроме того, устройство содержит часть трубопровода, при этом первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь установлен на часть трубопровода в первом местоположении, и второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь установлен на часть трубопровода во втором местоположении.

Накладные измерительные преобразователи расположены так, что соответствующие линии соединения между первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем проходят за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды.

Подобно вышеупомянутому устройству, указанное устройство содержит передающий блок для отправки импульсных сигналов и для отправки измерительных сигналов, принимающий блок для приема сигналов отклика и блок обработки для получения измерительного сигнала из инвертированного сигнала.

Подобно вышеуказанным вариантам осуществления инвертированный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него.

Блок обработки, передающий блок и принимающий блок применяются для подачи измерительного сигнала в первый соединитель, для приема сигнала отклика первого (предварительно определенного) измерительного сигнала на втором соединителе и для получения скорости потока текучей среды из сигнала отклика.

Кроме того, блок обработки, передающий блок и принимающий блок устройства могут применяться для выполнения любого из других способов измерения и калибровки, которые описаны выше в отношении устройства с первым накладным измерительным преобразователем и вторым накладным измерительным преобразователем.

В еще одном варианте осуществления устройство содержит цифро-аналоговый преобразователь,

который соединен с соответствующими соединителями, и аналого-цифровой преобразователь, который соединен с соответствующими соединителями. Кроме того, устройство содержит машиночитаемое запоминающее устройство для хранения по меньшей мере одного измерительного сигнала.

Согласно еще одному варианту осуществления устройство содержит прямой цифровой синтезатор сигналов, который содержит АЦП, регистр управления частотой, опорный генератор, генератор с числовым программным управлением и восстанавливающий фильтр низких частот. АЦП выполнен с возможностью соединения с соответствующими соединителями через восстанавливающий фильтр низких частот.

Согласно еще одному аспекту в настоящем изобретении раскрывается выполняемый компьютером способ для определения того, измеряет ли данное испытательное устройство или испытываемое устройство скорость потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды согласно вышеупомянутому способу измерения. Способ испытания не предоставляет математического доказательства того, что применяется тот же способ, но предоставляет вероятность, которой достаточно для практического применения.

Согласно этому способу трубопровод для текучей среды обеспечивают текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды.

Трубопровод для текучей среды снабжают первым ультразвуковым измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым измерительным преобразователем, которые устанавливают в соответствующих первом и втором местоположениях.

Испытательный импульсный сигнал подают в первый ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства, и испытательный сигнал отклика на испытательный импульсный сигнал принимают на втором ультразвуковом измерительном преобразователе испытательного устройства.

Первый испытательный измерительный сигнал получают из первого сигнала отклика, причем получение первого измерительного сигнала включает обращение по времени соответствующего первого или второго сигнала отклика, или его части.

Первый испытательный измерительный сигнал сравнивают с первым измерительным сигналом, который излучается на измерительном преобразователе испытательного устройства. Определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды по одному из пп.1-5, если первый испытательный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.

В частности, этот способ может быть выполнен для каждой пары измерительных преобразователей, упомянутых в одном из пунктов 1-5, и определяют, что применяется соответствующий способ, если полученные измерительные сигналы являются подобными для каждой такой пары измерительных преобразователей.

Более конкретно, в отношении способа по п.1, соответствующий способ испытания может дополнительно включать снабжение трубопровода для текучей среды третьим ультразвуковым измерительным преобразователем, подачу испытательного импульсного сигнала в первый ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства или во второй ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства, прием второго испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе испытательного устройства, получение второго испытательного измерительного сигнала из второго испытательного сигнала отклика и сравнение второго испытательного измерительного сигнала со вторым измерительным сигналом, который испускается на измерительном преобразователе испытательного устройства.

Определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды по п.1, если первый испытательный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.

Предмет настоящего изобретения далее объясняется более подробно со ссылкой на следующие фигуры, на которых

на фиг. 1 показано первое устройство расходомера с двумя пьезоэлектрическими элементами;

на фиг. 2 показано устройство расходомера по фиг. 1 с одним прямым сигналом и двумя рассеянными сигналами;

на фиг. 3 показано устройство расходомера по фиг. 1, при взгляде в направлении потока;

на фиг. 4 показано второе устройство расходомера с четырьмя пьезоэлектрическими элементами и четырьмя прямыми сигналами;

на фиг. 5 показано устройство расходомера по фиг. 4, при взгляде в направлении потока;

на фиг. 6 показано схематическое представление испытательного сигнала;

на фиг. 7 показано схематическое представление отклика испытательного сигнала;

на фиг. 8 показано схематическое представление инвертированного сигнала;

на фиг. 9 показано схематическое представление отклика от инвертированного сигнала;

на фиг. 10 показан первый инвертированный сигнал в высоком разрешении;

на фиг. 11 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 10;

на фиг. 12 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;

на фиг. 13 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 12;

на фиг. 14 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;

на фиг. 15 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 14;
на фиг. 16 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 17 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 16;
на фиг. 18 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 19 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 18;
на фиг. 20 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 21 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 20;
на фиг. 22 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 23 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 22;
на фиг. 24 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 25 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 24;
на фиг. 26 показан еще один инвертированный сигнал в высоком разрешении;
на фиг. 27 показан отклик инвертированного сигнала по фиг. 26;
на фиг. 28 показан еще один инвертированный сигнал в 12-битном разрешении;
на фиг. 29 показан отклик сигнала по фиг. 28;
на фиг. 30 показан еще один инвертированный сигнал в 3-битном разрешении;
на фиг. 31 показан отклик сигнала по фиг. 30;
на фиг. 32 показан еще один инвертированный сигнал в 2-битном разрешении;
на фиг. 33 показан отклик сигнала по фиг. 32;
на фиг. 34 показан еще один инвертированный сигнал в 1-битном разрешении;
на фиг. 35 показан отклик сигнала по фиг. 34;
на фиг. 36 показан короткий импульс на пьезоэлектрическом элементе расходомера по фиг. 1;
на фиг. 37 показан сигнал пьезоэлектрического элемента расходомера по фиг. 1, который получен из инвертированного отклика сигнала по фиг. 36;
на фиг. 38 показан отклик сигнала по фиг. 37;
на фиг. 39 показана функция взаимной корреляции выше по потоку и ниже по потоку;
на фиг. 40 показан увеличенный вид участка по фиг. 39;
на фиг. 41 показан сигнал отклика инвертированного сигнала для 12-градусного рассогласования относительно противоположного размещения пьезоэлектрических элементов;
на фиг. 42 показано устройство датчиков типа "многие к одному" для измерения расхода согласно настоящему изобретению;
на фиг. 43 показано устройство датчиков типа "один ко многим" для измерения расхода согласно настоящему изобретению;
на фиг. 44 показано устройство датчиков типа "один к одному" для измерения расхода в слое согласно настоящему изобретению;
на фиг. 45 показано устройство со множеством датчиков для измерения расхода в нескольких слоях согласно настоящему изобретению;
на фиг. 46 показано устройство для измерения скорости потока согласно настоящему изобретению;
на фиг. 47 показан прямой цифровой синтезатор для использования в устройстве по фиг. 46;
на фиг. 48 показано продольное сечение асимметричного размещения измерительных преобразователей;
на фиг. 49 показано поперечное сечение размещения по фиг. 49;
на фиг. 50 показан измерительный сигнал с одним циклом для измерения времени пролета;
на фиг. 51 показан измерительный сигнал с десятью циклами для измерения времени пролета;
на фиг. 52 показан измерительный сигнал, который получен из обращенного по времени сигнала;
на фиг. 53 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 50, когда канал передачи обеспечен асимметричным устройством по фиг. 48 и 49;
на фиг. 54 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 51 для устройства по фиг. 48 и 49;
на фиг. 55 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 52 для устройства по фиг. 48 и 49;
на фиг. 56 показана процедура получения измерительных сигналов, соответствующая двум путям сигнала в размещении с тремя измерительными преобразователями;
на фиг. 57 показано измерение расхода по ВП с использованием измерительных сигналов, полученных в способе по п.56;
на фиг. 58 показано два разных размещения двух измерительных преобразователей на трубопроводе;
на фиг. 59 показаны распределения давления измерительных сигналов, полученных в расположении по фиг. 58;
на фиг. 60 показан пример способа определения того, использует ли испытуемое устройство тот же способ измерения расхода, что и контрольное устройство.

В следующем описании приведены детали для описания вариантов осуществления настоящего изобретения. Однако для специалиста в данной области техники должно быть очевидно, что варианты осуществления могут быть осуществлены на практике без таких деталей.

Некоторые части вариантов осуществления, которые представлены на графических материалах, об-

ладают подобными частями. Подобные части имеют одинаковые названия или одинаковые номера частей с главным символом или алфавитным символом. Описание таких подобных частей также применимо по ссылке к другим подобным частям, где уместно, тем самым сокращая повторение текста без ограничения настоящего изобретения.

На фиг. 1 показано первое устройство 10 расходомера. В устройстве в виде расходомера первый пьезоэлектрический элемент 11 размещен на внешней стенке трубы 12, которая также называется трубкой 12. Вторым пьезоэлектрическим элементом 13 расположен на противоположной стороне трубы 12 так, что прямая линия между пьезоэлектрическим элементом 11 и расположенным ниже по потоку пьезоэлектрическим элементом 13 ориентирована под углом β к направлению 14 среднего потока, которое в то же время является направлением оси симметрии трубы 12. Угол β выбран равным приблизительно 45° в примере по фиг. 1, но он также может быть больше, таким как, например, 60° , или меньше, таким как, например, 30° .

Пьезоэлектрический элемент, такой как пьезоэлектрические элементы 11, 13 по фиг. 1, может в целом работать в качестве акустического передатчика и в качестве акустического датчика. Акустический передатчик и акустический датчик могут быть обеспечены тем же пьезоэлектрическим элементом или разными участками того же пьезоэлектрического элемента. В данном случае пьезоэлектрический элемент или измерительный преобразователь также называется пьезоэлектрическим передатчиком, когда он работает в качестве передатчика или источника звука, и он также называется акустическим датчиком или приемником, когда он работает в качестве акустического датчика.

Когда направление потока является таким, как показано на фиг. 1, первый пьезоэлектрический элемент 11 также называется "расположенным выше по потоку" пьезоэлектрическим элементом, а второй пьезоэлектрический элемент 13 также называется "расположенным ниже по потоку" пьезоэлектрическим элементом. Расходомер согласно настоящему изобретению работает в обоих направлениях потока по существу одинаково, и направление потока по фиг. 1 приведено лишь в качестве примера.

На фиг. 1 показан поток электрических сигналов по фиг. 1 для конфигурации, в которой расположенный выше по потоку пьезоэлектрический элемент 11 работает в качестве пьезоэлектрического измерительного преобразователя, а расположенный ниже по потоку пьезоэлектрический элемент 13 работает в качестве акустического датчика. Для ясности устройство работает выше по потоку и ниже по потоку, т.е. положение пьезоэлектрических элементов может взаимозаменяться.

Первый блок 15 вычисления соединен с расположенным выше по потоку пьезоэлектрическим элементом 11, а второй блок 16 вычисления соединен с расположенным ниже по потоку пьезоэлектрическим элементом 13. Первый блок 15 вычисления содержит первый цифровой сигнальный процессор, первый цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и первый аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Подобным образом, второй блок 16 вычисления содержит второй цифровой сигнальный процессор, второй цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и второй аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Первый блок 15 вычисления соединен со вторым блоком 16 вычисления.

Устройство с двумя блоками 15, 16 вычисления, показанными на фиг. 1, приведено лишь в качестве примера. Другие варианты осуществления могут иметь разные номера и расположения блоков вычисления. Например, может быть только один центральный блок вычисления, или может быть два аналого-цифровых/цифро-аналоговых преобразователя и один центральный блок вычисления, или может быть два небольших блока вычисления на измерительных преобразователях и один больший центральный блок вычисления.

Блок вычисления или блоки вычисления могут быть обеспечены микроконтроллерами или специализированными интегральными схемами (ASIC), или программируемыми пользователем матрицами логических элементов (FPGA), например. Более того, синтез электрического сигнала из сохраненного цифрового сигнала может быть обеспечен прямым цифровым синтезатором (ПЦС), который содержит цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Способ генерирования измерительного сигнала согласно настоящему изобретению включает следующие этапы.

Предварительно определенный цифровой испытательный сигнал генерируется путем синтеза акустического сигнала посредством цифрового сигнального процессора первого блока 15 вычисления. Цифровой испытательный сигнал отправляется из первого блока 15 вычисления в пьезоэлектрический измерительный преобразователь 11 по пути 17 сигнала. Пьезоэлектрический измерительный преобразователь 11 генерирует соответствующий ультразвуковой испытательный сигнал. Блоки 15 и 16 могут также быть предусмотрены в одном отдельном блоке.

Испытательный сигнал предусмотрен в качестве короткого импульса, например, с одним колебанием в 1 МГц или с 10 такими колебаниями. В частности, испытательный сигнал может быть предусмотрен с небольшим количеством колебаний с постоянной амплитудой, тем самым приблизительно соответствующая прямоугольному сигналу. Колебание или колебания могут иметь синусоидальную форму, треугольную форму, прямоугольную форму или также другие формы.

Ультразвуковой испытательный сигнал проходит через жидкость в трубе 12 к пьезоэлектрическому

датчику 13. На фиг. 1 прямой путь ультразвукового сигнала указан стрелкой 18. Подобным образом, прямой путь ультразвукового сигнала в обратном направлении указан стрелкой 19. Сигнал отклика принимается пьезоэлектрическим датчиком 13, отправляется во второй блок 16 вычисления по пути 20 сигнала и оцифровывается вторым блоком 16 вычисления.

На дальнейшем этапе цифровой измерительный сигнал получают из оцифрованного сигнала отклика. Получение измерения относится к обращению оцифрованного сигнала отклика по отношению ко времени. Согласно дополнительным вариантам осуществления получение включает дополнительные этапы, такие как преобразование в уменьшенное разрешение в диапазоне амплитуды, полосовая фильтрация сигнала для устранения шума, такого как низкочастотный шум и высокочастотный шум. В частности, этап полосовой фильтрации может быть выполнен перед этапом обращения сигнала по отношению ко времени.

Обращение сигнала может быть осуществлено различными способами, например, путем считывания области памяти в обратном направлении или путем обращения знака синусоидальных компонентов в представлении Фурье.

В одном варианте осуществления выбирается подходящая часть оцифрованного сигнала отклика, которая содержит ответ из прямого сигнала. Часть сигнала отклика затем поворачивается, или инвертируется, по отношению ко времени.

Другими словами, части сигнала отклика, которые принимаются позже, отправляются раньше в инвертированный измерительный сигнал. Если сигнал представлен последовательностью с временным порядком дискретных значений амплитуды, в качестве примера, вышеупомянутое инвертирование сигнала означает инвертирование или обращение порядка дискретных значений амплитуды.

Полученный в результате сигнал, в котором направление, или знак, времени было инвертировано, также называется "инвертированным сигналом". Выражение "инвертированный" в данном контексте относится к инверсии по отношению к направлению времени, а не к инверсии по отношению к значению, такому как значение амплитуды.

На фиг. 10-19 показаны в качестве примера цифровые сигналы согласно настоящему изобретению.

В расходомере согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения один и тот же измерительный сигнал используется для обоих направлений 18, 19, направление ниже по потоку и выше по потоку, предоставляя простое и эффективное устройство. Согласно другим вариантам осуществления разные измерительные сигналы используются для обоих направлений. В частности, измерительный сигнал может быть подан к начальному приемнику испытательного сигнала. Такие устройства могут предоставлять преимущества для асимметричных положений и форм трубы.

Способ измерения скорости потока жидкости через трубу, в котором используется вышеупомянутый инвертированный сигнал в качестве измерительного сигнала, включает следующие этапы.

Вышеупомянутый измерительный сигнал отправляется из первого блока 15 вычисления в пьезоэлектрический измерительный преобразователь 11 по пути 17 сигнала. Пьезоэлектрический измерительный преобразователь 11 генерирует соответствующий ультразвуковой измерительный сигнал. Примеры такого измерительного сигнала представлены на фиг. 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 37 и 38.

Ультразвуковой измерительный сигнал проходит через жидкость в трубе 12 к пьезоэлектрическому датчику 13. Сигнал отклика принимается пьезоэлектрическим датчиком 13, отправляется во второй блок 16 вычисления по пути 20 сигнала и оцифровывается вторым блоком 16 вычисления.

Второй блок 16 вычисления отправляет оцифрованный сигнал отклика в первый блок 15 вычисления. Первый блок 15 вычисления определяет время пролета принятого сигнала, например, с помощью одного из способов, описанных далее.

Подобный способ осуществляется для сигнала, проходящего в обратном направлении 19, а именно вышеупомянутый измерительный сигнал подается в расположенный ниже по потоку пьезоэлектрический элемент 13, и сигнал отклика измеряется расположенным выше по потоку пьезоэлектрическим элементом 11 для получения времени пролета выше по потоку (TOF_{up}) в обратном направлении 19. Первый блок 15 вычисления определяет скорость потока, например, согласно формуле

$$v = \frac{c^2}{2 \cdot L \cdot \cos \beta} \cdot (TOF_{up} - TOF_{down}),$$

где L представляет собой длину прямого пути между пьезоэлектрическими элементами 11, 13; β представляет собой угол наклона прямого пути между пьезоэлектрическими элементами 11, 13 и направлением среднего потока; и c представляет собой скорость звука в жидкости при заданных условиях давления и температуры.

Квадрат скорости звука c^2 может быть аппроксимирован до второго порядка посредством выражения:

$$c^2 \approx \frac{L^2}{TOF_{up} * TOF_{down}}$$

что приводит к формуле:

$$v = \frac{L}{2 * \cos \beta} \cdot \frac{TOF_{up} - TOF_{down}}{TOF_{up} * TOF_{down}}$$

При этом нет необходимости определять температуру или давление, которые в свою очередь определяют плотность текучей среды и скорость звука, или непосредственно измерять скорость звука или плотность текучей среды. И наоборот, первый порядок ошибки не исключается только для одного направления измерения.

Вместо использования коэффициента $2 \cdot L \cdot \cos \beta$ множитель пропорциональности может быть получен из калибровочного измерения с известной скоростью потока. Множитель пропорциональности калибровки учитывает дополнительные эффекты, такие как профили потока и влияния звуковых волн, которые были рассеяны и не проходят по прямой линии.

Согласно дополнительному варианту осуществления процесс генерирования импульсного сигнала, записи сигнала отклика и получения инвертированного измерительного сигнала из сигнала отклика моделируется в компьютере. Параметры, имеющие важное значение, такие как диаметр трубы 12 и места расположения датчиков, предусмотрены в виде входных параметров для моделирования.

Согласно еще одному варианту осуществления измерительный сигнал, который должен подаваться в передающий пьезоэлектрический элемент, синтезируется с использованием формы обычного сигнала отклика в импульсный сигнал, на примере форм сигнала, показанных на фиг. 37 и 38. Например, измерительный сигнал может быть предусмотрен с синусоидальным колебанием в 1 МГц, которое модулировано по амплитуде с огибающей согласно гауссовской функции вероятности при полуширине 10 мкс. Полуширина может быть выбрана в качестве входного параметра, который зависит от текущих параметров, таких как диаметр трубы и место расположения датчика.

Расходомер согласно настоящему изобретению может также быть предоставлен в качестве предварительного определенного расходомера, в котором измерительный сигнал генерируется во время сеанса испытания на территории завода, в частности, когда расходомер поставляется вместе с секцией трубы.

Согласно простому варианту осуществления настоящего изобретения время пролета в направлении выше по потоку и ниже по потоку определяется путем оценивания времени максимальной амплитуды принятого сигнала по отношению к времени отправки измерительного сигнала. Для достижения большей точности максимум может быть определен с использованием огибающей принятого сигнала. Согласно дополнительному варианту осуществления измерения повторяют несколько раз, и используется среднее время пролета.

Согласно дополнительному варианту осуществления настоящего изобретения время пролета сигнала оценивают с использованием метода взаимной корреляции. В частности, соответствующие смещения по времени могут быть оценены путем взаимной корреляции принятого ниже по потоку или выше по потоку сигнала с принятым сигналом при нулевой скорости потока согласно формуле:

$$CCorr(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{\infty} Sig_{Flow}(t) \cdot Sig_{NoFlow}(t + \tau),$$

где Sig_Flow представляет сигнал выше по потоку или ниже по потоку при условии измерения, когда есть расход текучей среды через трубу, и где Sig_NoFlow представляет сигнал при условии калибровки с нулевым расходом. Пределы бесконечной суммы представляют достаточно большое временное окно $[-T1, +T2]$. В общем, $-T1$ и $+T2$ не должны быть одинаковыми, и с практической точки зрения это может быть преимущественным для расходомера.

Смещение по времени $TOF_{up} - TOF_{down}$ затем получают путем сравнения времени максимума корреляционной функции выше по потоку с временем максимума корреляционной функции ниже по потоку. Огибающая корреляционной функции может быть использована для более точного определения места максимума.

В еще одном варианте осуществления отдельный блок оценивания предусмотрен между первым блоком 15 вычисления и вторым блоком 16 вычисления, который выполняет оценивание времени поступления сигнала и скорости потока.

В общем, измеренный сигнал акустического датчика получается из наложения рассеянных сигналов и прямого сигнала. Рассеянные сигналы отражаются от внутренних и внешних стенок трубы один или множество раз, включая процессы дополнительного рассеивания в стенке трубы. Это показано в качестве примера на фиг. 2.

Конфигурация измерительного преобразователя по фиг. 1 представляет собой прямолинейную или Z-образную конфигурацию. Другие расположения, в которых используются отражения на противоположной стороне трубы, также возможны, такие как V- и W-образная конфигурация. V- и W-образная конфигурация работают на основе отражений на стенке трубы, которые индуцируют больше рассеяния, чем Z-образная конфигурация. Предмет изобретения имеет преимущества с данными конфигурациями при условии, что пути понимаются правильно.

В V-образной конфигурации два измерительных преобразователя установлены на одной и той же стороне трубы. Для записи отражения в 45° они размещены на расстоянии приблизительно диаметра

трубы в направлении потока. В W-образной конфигурации используются три отражения. Подобно V-образной конфигурации два измерительных преобразователя установлены на одной и той же стороне трубы. Для записи сигнала после двух отражений в 45° они размещены на расстоянии двух диаметров трубы в направлении потока.

На фиг. 2 показаны, в качестве примера, первый акустический сигнал "1", который проходит прямо с пьезоэлектрического элемента 11 на пьезоэлектрический элемент 13, второй акустический сигнал "2", который рассеивается один раз на окружности трубы 12, и третий сигнал 3, который рассеивается три раза на окружности трубы 12.

Для простоты случаи рассеяния показаны в виде отражений на фиг. 2-5, но действительный процесс рассеяния может быть более сложным. В частности, рассеяние, имеющее наиболее важное значение, происходит, как правило, на стенке трубы или на материале, который установлен спереди от пьезоэлектрических измерительных преобразователей. На фиг. 3 показан вид по фиг. 2 в направлении потока в направлении наблюдения А-А.

На фиг. 4 и 5 показано второе расположение датчиков, в котором дополнительный пьезоэлектрический элемент 22 расположен под углом 45° к пьезоэлектрическому элементу 11 и дополнительный пьезоэлектрический элемент 23 расположен под углом 45° к пьезоэлектрическому элементу 13.

Кроме того, на фиг. 4 и 5 показана прямая или ровная линия, пути акустического сигнала для ситуации, в которой пьезоэлектрические элементы 11, 22 работают как пьезо-измерительные преобразователи, а пьезоэлектрические элементы 13, 23 работают в качестве акустических датчиков. Пьезоэлектрический элемент 23, который находится позади трубы 12 в виде по фиг. 4, показан пунктирной линией на фиг. 4.

На фиг. 6-9 показан в упрощенном виде способ генерирования измерительного сигнала из ответа испытательного сигнала. На фиг. 6-9 потери вследствие рассеяния обозначены заштрихованными частями сигнала и стрелками.

При рассмотрении фиг. 6-9 полагается, что акустический сигнал распространяется только по пути в виде ровной линии, по первому каналу рассеяния с задержкой времени Δt и по второму каналу рассеяния с задержкой времени $2\Delta t$. Затухание сигнала вдоль путей не рассматривается.

Испытательный сигнал в виде прямоугольного всплеска подается в пьезоэлектрический элемент 11. Вследствие рассеяния первая часть амплитуды сигнала теряется из-за первого пути рассеяния и появляется после времени Δt , а вторая часть амплитуды сигнала теряется из-за второго пути рассеяния и появляется после времени $2\Delta t$. Это дает сигнал согласно белым колонкам на фиг. 7, который записывается на пьезоэлектрическом элементе 13.

Сигнальный процессор инвертирует этот записанный сигнал по отношению ко времени, и он подает инвертированный сигнал в пьезоэлектрический элемент 11. Тот же процесс рассеяния, как было объяснено ранее, сейчас применяется ко всем трем компонентам сигнала. В результате на пьезоэлектрическом элементе 13 записывается сигнал согласно фиг. 9, который является приблизительно симметричным.

В действительности принятые сигналы будут распределены по времени, и часто существует "ударная волна", которая проходит через материал трубы и приходит перед прямым сигналом. Данная поверхностная волна отбрасывается посредством выбора подходящего временного окна для генерирования инвертированного измерительного сигнала. Подобным образом, сигналы, которые происходят из множественных отражений и приходят позже, могут быть отброшены посредством ограничения временного окна и/или посредством выбора конкретных частей сигнала.

В следующей табл. 1 показаны измеренные задержки времени для прямого выравнивания, или, другими словами, для соединения в виде ровной линии между накладными пьезоэлектрическими элементами на трубе DN 250 в плоскости, перпендикулярной продольному удлинению трубы DN 250. Расход относится к потоку воды через трубу DN 250.

В данном документе "ВП с 1 циклом" относится к импульсу, такому как импульс, показанный на фиг. 36, который генерируется пьезоэлектрическим элементом, который возбуждается электрическим сигналом с 1 колебанием, имеющим период 1 мкс. "ВП с 10 циклами" относится к сигналу, который генерируется пьезоэлектрическим элементом, который возбуждается электрическим сигналом с 10 синусоидальными колебаниями постоянной амплитуды, имеющими период 1 мкс.

| | | | |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Расход/Способ | 21 м ³ /ч | 44 м ³ /ч | 61 м ³ /ч |
| ВП с 1 циклом | 7 нс | 18 нс | 27 нс |
| ВП с 10 циклом | 9 нс | 19 нс | 26 нс |
| Время при обращении | 8 нс | 18 нс | 27 нс |

В следующей таблице показаны измеренные задержки времени для 12-градусного рассогласования относительно соединения в виде ровной линии между накладными пьезоэлектрическими элементами на трубе DN 250 в плоскости, перпендикулярной продольному удлинению трубы DN 250 (см. также фиг. 48 и 49).

| Расход/Способ | 21 м ³ /ч | 44 м ³ /ч | 61 м ³ /ч |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ВП с 1 циклом | 10 нс | 21 нс | 28 нс |
| ВП с 10 циклом | 9 нс | 17 нс | 26 нс |
| Время при обращении | 4 нс | 12 нс | 26 нс |

На фиг. 9-27 показаны инвертированные сигналы с высоким разрешением и их соответствующие сигналы отклика. Напряжение представлено в произвольных единицах во времени в микросекундах.

Оси времени в верхних фигурах показывают время передачи инвертированного сигнала. Время передачи ограничено временным окном, которое используется для записи инвертированного сигнала. В примере по фиг. 9-27 временное окно начинается непосредственно перед началом максимума, который происходит из прямого сигнала, и заканчивается через 100 мкс после него.

Оси времени в нижних фигурах центрированы относительно максимума сигналов отклика и делятся 100 мкс, что является размером временного окна для инвертированного сигнала, перед максимумом сигналов отклика и после него.

На фиг. 28-35 показаны оцифрованные инвертированные сигналы в высоком разрешении и в 12-, 3-, 2- и 1-битном разрешении в диапазоне амплитуды и их соответствующие сигналы отклика. Напряжение представлено в вольтах во времени в микросекундах. Сигналы по фиг. 28-35 были получены для трубы DN 250, заполненной водой.

Длина временного окна для инвертированного сигнала составляет 450 мкс. Следовательно, временное окно по фиг. 28-35 более чем в четыре раза больше того, что показано на предыдущих фиг. 9-27.

На фиг. 28-35 можно увидеть, что даже оцифровка с 1-битным разрешением производит резкий всплеск. Можно видеть, что всплеск становится еще более выраженным для более низких разрешений. Возможным объяснением данного эффекта является то, что в примере по фиг. 28-35 общая энергия входного сигнала увеличена за счет использования более грубой оцифровки в диапазоне амплитуды, в то время как сигнал отклика остается сконцентрированным во времени.

На фиг. 36 показан сигнал, который генерируется пьезоэлектрическим элементом после приема электрического импульса, который длится приблизительно 0,56 мкс, который равен частоте 3,57 МГц. Благодаря инерционной силе пьезоэлектрического элемента максимальная амплитуда для отрицательного напряжения меньше, чем для положительного напряжения, и существуют реверберации кратных волн перед остановкой пьезоэлектрического элемента.

На фиг. 37 показан электрический сигнал, который подается в пьезоэлектрический элемент, такой как расположенный выше по потоку пьезоэлектрический элемент 11 по фиг. 1. Сигнал по фиг. 37 получают путем формирования в среднем десяти оцифрованных сигналов отклика в сигнал показанного на фиг. 36 типа и обращения сигнала, при этом сигналы отклика принимаются пьезоэлектрическим элементом, таким как расположенный ниже по потоку пьезоэлектрический элемент 13 по фиг. 1.

В примере по фиг. 37 оцифрованные сигналы получают путем отсечения части сигнала от сигнала отклика, который начинается приблизительно на 10 мкс раньше начала огибающей сигнала отклика и который заканчивается на приблизительно 55 мкс позже огибающей сигнала отклика. Форма огибающей сигнала отклика по фиг. 37 подобна форме гауссовского распределения вероятностей, или, другими словами, подходящей смещенной и масштабированной версии $\exp(-x^2)$.

На фиг. 38 показана часть сигнала отклика на сигнал, показанный на фиг. 37, при этом сигнал по фиг. 37 подается в первый пьезоэлектрический элемент, такой как расположенный выше по потоку пьезоэлектрический элемент 11, и принимается на втором пьезоэлектрическом элементе, таком как расположенный ниже по потоку пьезоэлектрический элемент 13 по фиг. 1.

На фиг. 39 показана функция взаимной корреляции выше по потоку и функция взаимной корреляции ниже по потоку, которые получены путем взаимной

корреляции сигнала выше по потоку и сигнала ниже по потоку устройства по фиг. 1 с сигналом, полученным при нулевом расходе, соответственно.

На фиг. 40 показан увеличенный вид участка по фиг. 39. Два индикатора положения указывают на положения соответствующих максимумов функции взаимной корреляции выше по потоку и ниже по потоку. Разность по времени между максимумами представляет собой величину разности по времени между сигналом выше по потоку и ниже по потоку.

На фиг. 41 показан сигнал отклика, который был получен при похожих условиях, что и для сигнала

отклика по фиг. 37. В отличие от устройства по фиг. 37, пьезоэлектрические элементы рассогласованы на 12 градусов относительно расположения в виде ровной линии по периметру трубы. Смещение показано во вставленном рисунке на фиг. 41. На фиг. 41 показано, что даже в условиях рассогласования имеется достаточно хорошо определенный сигнал отклика.

На фиг. 42-45 показаны, в качестве примера, разные размещения накладных пьезоэлектрических измерительных преобразователей, для которых можно использовать измерение расхода согласно настоящему изобретению. В особенности для накладных измерительных преобразователей способ измерения расхода согласно настоящему изобретению может приводить к улучшению отношения сигнал/шум в устройствах, представленных на фиг. 42-45, или в других, подобных устройствах измерительных преобразователей. Кроме того, способ измерения расхода может обеспечивать экономию энергии посредством предоставления увеличенной амплитуды сигнала отклика для заданной мощности передачи сигнала. Таким образом можно уменьшить мощность передачи сигнала.

Фиг. 42-45 выровнены так, что сила тяжести, действующая на жидкость в трубе 12, направлена вниз. Однако также могут быть использованы и устройства, которые повернуты относительно устройств, представленных на фиг. 42-45. Направление наблюдения на фиг. 42-45 проходит вдоль продольной оси трубы 12. Положение выше по потоку или ниже по потоку измерительного преобразователя на фиг. 42-45 не указано.

В устройстве по фиг. 42 массив из пяти пьезоэлектрических элементов 31-35 предусмотрен в первом местоположении и еще один пьезоэлектрический элемент 36 расположен выше по потоку или ниже по потоку относительно первого местоположения. Массив пьезоэлектрических элементов 31-35 может быть использован для получения предопределенного фронта волны и для достижения улучшенной фокусировки акустической волны в предопределенном направлении, когда массив из пяти элементов 31-35 используется как передатчик, а дополнительный элемент 36 используется как приемник.

В устройстве по фиг. 43 один пьезоэлектрический элемент 37 предусмотрен в первом местоположении, и массив из пяти пьезоэлектрических элементов 38-42 расположен выше по потоку или ниже по потоку относительно первого местоположения. Массив пьезоэлектрических элементов 38-42 может быть использован для получения улучшенной записи фронта волны сигнала отклика. Улучшенная запись может затем быть использована для получения улучшенного измерительного сигнала для потока, который затем подают на один пьезоэлектрический элемент 37.

На фиг. 44 показано устройство из двух пьезоэлектрических элементов 43, 44, в котором один элемент расположен ниже по потоку относительно другого. Расстояние d от линии соединения между пьезоэлектрическими элементами 43, 44 до оси симметрии трубы 12 составляет приблизительно половину радиуса трубы 12, так что можно измерить слой потока на расстоянии d до центральной оси трубы 12.

Особенно для накладных измерительных преобразователей, таких как пьезоэлектрические элементы 43, 44, представленные на фиг. 44, измерение расхода согласно настоящему изобретению обеспечивает улучшенный сигнал на принимающем пьезоэлектрическом элементе 44, 43 посредством формирования луча.

На фиг. 45 показано устройство из восьми пьезоэлектрических элементов 45-52, которые разнесены друг от друга на 45° . Что касается размещения выше по потоку и ниже по потоку, возможно несколько устройств.

В одном устройстве местоположения датчиков попеременно меняются по периметру между размещением выше по потоку и ниже по потоку, например, 45, 47, 49, 51 - выше по потоку и 46, 48, 50, 52 - ниже по потоку.

В другом устройстве первые четыре идущих по порядку по периметру элемента, например, 45-48, расположены выше по потоку или ниже по потоку относительно других четырех элементов, например, 49-52. В еще одном устройстве с 16 пьезоэлектрическими элементами все пьезоэлектрические элементы 45-52, представленные на фиг. 45, расположены в одной плоскости, и устройство по фиг. 45 повторяется в направлении выше по потоку или ниже по потоку.

На фиг. 46 показано в качестве примера устройство 60 измерения расхода для измерения расхода в устройстве на фиг. 1 или других устройствах согласно изобретению. В устройстве по фиг. 1 устройство 60 измерения расхода обеспечено первым и вторым блоками 15, 16 вычисления.

Устройство 60 измерения расхода содержит первый соединитель 61 для соединения первого пьезоэлектрического измерительного преобразователя и второй соединитель 62 для соединения второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя. Первый соединитель 61 соединен с цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) 64 через мультиплексор 63. Второй соединитель 62 соединен с аналого-цифровым преобразователем 65 через демультимплексор 66.

АЦП 65 соединен с блоком 67 выбора сигнала, который соединен с блоком 68 инвертирования сигнала, который соединен с полосовым фильтром 69, который соединен с машиночитаемым запоминающим устройством 70. Кроме того, АЦП 65 соединен с блоком 71 вычисления скорости.

ЦАП 64 соединен с генератором 72 импульсных сигналов и генератором 73 измерительных сигналов. Генератор измерительных сигналов соединен с генератором 72 импульсов через командную линию 74. Блок 71 вычисления скорости соединен с генератором 73 измерительных сигналов через вторую ко-

мандную линию 75.

В общем, генератор 72 импульсных сигналов и генератор измерительных сигналов содержат элементы аппаратного обеспечения, такие как генератор колебаний, и элементы программного обеспечения, такие как модуль генератора импульсов и модуль генератора измерительных сигналов. В данном случае командные линии 74, 75 могут быть обеспечены программными интерфейсами между соответствующими модулями.

Во время фазы генерирования сигнала генератор импульсных сигналов отправляет сигнал в ЦАП 64, блок 67 выбора принимает соответствующий входящий сигнал посредством АЦП 65 и выбирает часть входящего сигнала. Блок 68 инвертирования инвертирует выбранную часть сигнала по отношению ко времени, факультативный полосовой фильтр 69 фильтрует низкие и высокие частоты, и получившийся в результате измерительный сигнал сохраняется в машиночитаемой памяти 70. Когда слово "сигнал" используется со ссылкой на этап управления сигналом, оно может, в частности, относиться к представлению сигнала в машиночитаемой памяти.

В частности, представление сигнала может быть определено парой значений оцифрованных амплитуд и связанных дискретных времен. Другие представления включают, среди прочего, коэффициенты Фурье, коэффициенты вейвлетов и огибающую для амплитуды, модулирующей сигнал.

На фиг. 47 показан второй вариант осуществления устройства 60' измерения расхода для измерения расхода в устройстве на фиг. 1 или других устройствах согласно изобретению. Устройство 60' измерения расхода содержит прямой цифровой синтезатор (ПЦС) 76. Для простоты показаны только компоненты ПЦС 76. ПЦС 76 также называют генератором колебаний произвольной формы (ГКПФ).

ПЦС 76 содержит опорный генератор 77, который соединен с регистром 78 управления частотой, генератором 79 с числовым программным управлением (ГЧПУ) и с ЦАП 64. Вход ГЧПУ 79 для N каналов соединен с выходом регистра 78 управления частотой. Вход ЦАП 64 для M каналов соединен с ГЧПУ 79 и вход восстанавливающего фильтра низких частот соединен с ЦАП 64. В качестве примера генератор 79 с прямым числовым программным управлением с тактовой частотой 100 МГц может использоваться для генерирования сигнала, модулированного по амплитуде в 1 МГц.

Выход восстанавливающего фильтра 80 низких частот соединен с пьезоэлектрическими измерительными преобразователями 11, 13 по фиг. 1.

Благодаря инерции кварцевого генератора часто преимущественным является использование генератора с более высокой частотой, чем у несущей волны, для получения предварительно определенного сигнала, модулированного по амплитуде, например, с использованием прямого цифрового синтезатора, как показано на фиг. 47.

В частности, этапы способа, а именно сохранение цифрового представления сигнала и выполнение операций, таких как выбор части сигнала, обращение сигнала по времени и фильтрация сигнала, могут взаимозаменяться. Например, сигнал может сохраняться в форме сигнала, инвертированного по времени, или он может считываться в обратном порядке для получения сигнала, инвертированного по времени.

Поскольку настоящее изобретение объясняется по отношению к круглой трубе DN 250, оно может быть легко применимо к другим размерам трубы или даже к другим формам трубы. Хотя варианты осуществления объяснены в отношении накладных измерительных преобразователей, также могут быть использованы и погружаемые измерительные преобразователи, которые входят в трубу.

На фиг. 48 и 49 показано асимметричное устройство измерительного преобразователя, в котором второй измерительный преобразователь смещен на 12 градусов относительно оси симметрии трубопровода 12.

На фиг. 50 показан измерительный сигнал с одним циклом для измерения времени пролета, и на фиг. 51 показан измерительный сигнал с десятью циклами для измерения времени пролета. Сигналы, представленные на фиг. 50 и 51, могут быть использованы для измерения времени пролета. Кроме того, сигналы также могут быть использованы для генерирования измерительного сигнала согласно настоящему изобретению с использованием инверсии по времени принятого сигнала отклика, такого как сигналы отклика, представленные на фиг. 52 и 53.

На фиг. 52 показан пример измерительного сигнала, который получен из обращенного по времени сигнала, который сохранен при низком разрешении.

На фиг. 53-55 показаны сигналы отклика на соответствующие сигналы, представленные на фиг. 50-52. Сигнал отклика снимается принимающим измерительным преобразователем 11, 13 асимметричного устройства, представленного на фиг. 48, 49, в ответ на сигнал отправляющего измерительного преобразователя, который возбуждается сигналом, представленным на фиг. 50.

В частности, на фиг. 53 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 50, на фиг. 54 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 51 для устройства, представленного на фиг. 48 и 49, и на фиг. 55 показан сигнал отклика сигнала по фиг. 52 для устройства, представленного на фиг. 48 и 49. В показанных примерах сигнал отклика является более сосредоточенным во времени, имеет более высокую амплитуду и имеет лучше определенную огибающую в сравнении с сигналами, представленными на фиг. 52 и 53.

Результат, представленный на фиг. 55, показывает, что выгоды инверсии по времени импульсного отклика, которые позволяют, среди прочего, использовать сигналы меньшей энергии, могут быть сохра-

нены для более грубого разрешения и асимметричных устройств измерительных преобразователей.

Результаты, представленные на фиг. 55, показывают, что применение инвертированного по времени сигнала согласно настоящему изобретению может обеспечить короткие задержки времени в сравнении с обычным измерением доплеровского сдвига по времени пролета с помощью сигнала с 1 или 10 циклами колебаний. Фиг. 55, представляя собой результат устройства, представленного на фиг. 48 и 49, кроме того, показывает, что измерительный сигнал согласно настоящему изобретению может быть использован для целей формирования луча.

В табл. 2 представлены результирующие задержки времени для асимметричного устройства, представленного на фиг. 48, 49, и для соответствующих расходов, составляющих 21, 44 и 61 кубических метров в час.

| Расход \ Способы | 21 м ³ /ч | 44 м ³ /ч | 61 м ³ /ч |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ВП с 1 циклом | 10 нс | 21 нс | 28 нс |
| ВП с 10 циклом | 9 нс | 17 нс | 26 нс |
| инвертированный сигнал | 4 нс | 12 нс | 26 нс |

На фиг. 56-59 представлены дополнительные примеры приложений формирования луча. В целом, имеется $\sum_{i=1}^{N-1} i = N * (N - 1) / 2$ прямых каналов передачи между N измерительными преобразователями, без учета отражений на стенках трубы, которые предусмотрены на трубопроводе. Эти каналы передачи в целом обладают разными свойствами и обеспечивают разные сигналы отклика.

В случае, если все N измерительных преобразователей установлены на разных высотах относительно направления потока или продольного направления трубопровода, все эти каналы передачи могут быть использованы для измерений расхода. Распространение сигнала между измерительными преобразователями, которое перпендикулярно среднему течению, в целом не является полезным для получения компонентов скорости потока, но все же может быть использовано для определения загрязнений и изменений материала трубопровода, и изменений в свойствах измерительных преобразователей и их соединения с трубопроводом.

Измерение расхода по ВП включает измерение в обоих направлениях в отношении заданного канала передачи между двумя измерительными преобразователями. Измерение расхода по ВП, которое включает каналы передачи между первым измерительным преобразователем и N-1 другими измерительными преобразователями, требует по меньшей мере N последовательных измерений: первое измерение с измерительным сигналом, поданным на первый измерительный преобразователь, и N-1 последовательных измерений с измерительными сигналами, поданными на каждый из N-1 других измерительных преобразователей.

В целом требующиеся измерительные сигналы являются разными для каждого канала передачи, и для каждого канала передачи нужны отдельные направленные вперед и направленные назад измерения. Таким образом, требуется $2 \times (N-1)$ измерений. Например, в примере, представленном на фиг. 57, возможно $\max 2 \times (3-1) = 4$ измерений, но не обязательно требуется.

Сигналы, представленные на фиг. 41 и 55, производятся измерительными преобразователями, которые излучают в основном в предпочтительном направлении, с максимальным углом приблизительно 12° в обе стороны от предпочтительного направления. Направленность измерительных преобразователей получают, среди прочего, посредством регулирования формы измерительных преобразователей и их сцепления с трубопроводом. В зависимости от угла между измерительными преобразователями не все пути могут обеспечивать достаточно сильный сигнал на стороне приемника, особенно если отправитель имеет высокую направленность. Применение только общеизвестных способов может приводить к результатам, как показано на фиг. 53 и фиг. 54, которые, как правило, являются слишком шумными для проведения измерений расхода. Однако с помощью предложенного способа с применением инвертированных измерительных сигналов можно добиться достаточно хороших сигналов, наподобие представленных на фиг. 55.

Использование измерительного сигнала согласно настоящему изобретению, в котором применяют обращение по времени, делает возможным предоставление измерительных преобразователей с меньшей направленностью. Измерительный сигнал фокусирует энергию сигнала на приемнике, и принятый сигнал все равно является достаточно сильным.

Подобно измерению с применением только двух измерительных преобразователей или только од-

ного канала передачи, измерение расхода может быть выполнено с использованием predeterminedного измерительного сигнала или сигнала, который получен посредством предварительной калибровки. Во время этапа калибровки измерительные сигналы получают из ответных сигналов на импульсные сигналы. Согласно одному примеру импульсный сигнал прикладывается к измерительному преобразователю для получения одного или более сигналов отклика на других измерительных преобразователях. Измерительные сигналы получают посредством применения инверсии по времени к сигналам отклика или их части.

В одном примере, в котором имеется четыре пути измерения, последовательные измерения проводят по первому пути, второму пути, третьему пути и четвертому пути. Последовательные измерения применяют для получения общего потока и/или потоков в predeterminedном слое или местоположении.

Тогда можно получить одну или более скоростей потока посредством сравнения измерений с предварительно определенным профилем потока. К примеру, предварительно определенный профиль потока может быть получен посредством моделирования. В другом варианте осуществления скорость потока для конкретного слоя или местоположения оценивают с использованием результатов от одного или более измерительных сигналов и известных способов для вычисления профиля потока. В одном варианте осуществления общий объемный расход получают посредством применения рассчитанного или смоделированного профиля потока к площади поперечного сечения трубопровода.

На фиг. 56 и 57 представлено измерение расхода по времени пролета с помощью трех измерительных преобразователей и двух путей передачи.

На фиг. 58 и 59 показано измерение давления в устройстве с двумя измерительными преобразователями. Шкала давлений на фиг. 59 представлена в произвольных единицах (п.е.).

Измерительный сигнал согласно настоящему изобретению подают на первый измерительный преобразователь 11, и получаемое в результате распределение давления измеряют на окружности трубопровода 12. Измерительные преобразователи 11, 13 смещены в продольном направлении, подобно устройству, представленному на фиг. 1.

В первом примере измерительный сигнал, который адаптирован к пути сигнала между измерительным преобразователем 11 и измерительным преобразователем 13, отправляют с измерительного преобразователя 11 на противоположный измерительный преобразователь 13 и измеряют получаемое в результате распределение давления. Это дает кривую, подобную распределению 90 давления, представленному на фиг. 59, которая имеет пик в местоположении измерительного преобразователя 13.

Во втором примере измерительный сигнал, который адаптирован к пути сигнала между измерительным преобразователем 11 и измерительным преобразователем 13, отправляют с измерительного преобразователя 11 на измерительный преобразователь 13' и измеряют получаемое в результате распределение давления. В отличие от первого устройства, измерительный преобразователь 13' смещен на угол 45 градусов относительно линии соединения, проходящей через первый измерительный преобразователь и центр трубопровода 12. Даже в этой ситуации получаемое в результате распределение давления образует пик вокруг местоположения измерительного преобразователя 13', а значит энергия сигнала сосредоточена вокруг местоположения измерительного преобразователя 13'.

Таким образом, измерительный сигнал согласно настоящему изобретению, который получают с использованием обращения по времени сигнала между соответствующими измерительными преобразователями, приводит к получению сигнала давления, который не только сосредоточен во времени, как показано на соответствующей второй фигуре набора фигур 10-35, но и получаемое в результате распределение давления также сосредоточено в пространстве.

При использовании стандартного сигнала, такого как импульсный сигнал, сосредоточение в пространстве также может быть достигнуто, но только в фиксированном местоположении близко к противоположной стороне отправляющего измерительного преобразователя. Однако при использовании сигнала согласно настоящему изобретению, который содержит обращенную по времени часть, пик сосредоточения давления можно переместить.

Ультразвуковые измерительные преобразователи 11, 13, 23, представленные на фиг. 56-59, могут быть представлены монтируемыми измерительными преобразователями, которые монтируются на внешней стороне трубопровода, или погружаемыми измерительными преобразователями, которые выступают во внутреннюю часть трубопровода 12 из внешней части трубопровода 12.

На фиг. 60 показан пример способа определения того, использует ли испытательное устройство тот же способ измерения расхода, что и контрольное устройство. На первом этапе контрольное устройство выбирает испытательный импульсный сигнал. Например, это может включать выбор формы сигнала для выполнения амплитудной модуляции синусоидальной волны из набора сохраненных форм сигнала, таких как прямоугольная форма, синусоидальная форма, зубчатая форма и т.п.

На следующем этапе испытательный импульсный сигнал подают на первый измерительный преобразователь. На следующем этапе соответствующий испытательный сигнал отклика получают на втором измерительном преобразователе. На следующих этапах испытательный сигнал отклика или его часть инвертируют и получают испытательный измерительный сигнал. Измерительные преобразователи, с которыми соединено контрольное устройство, предпочтительно представляют собой измерительные преобразователи испытательного устройства.

На следующем этапе испытательный измерительный сигнал сравнивают с фактическим измерительным сигналом испытательного устройства. Если испытательный измерительный сигнал подобен измерительному сигналу испытательного устройства, принимают решение о том, что испытательное устройство использует тот же способ, что и контрольное устройство. Альтернативно или дополнительно контрольное устройство может подавать испытательный измерительный сигнал на измерительный преобразователь, принимать соответствующий испытательный сигнал отклика и сравнивать этот испытательный сигнал отклика с сигналом отклика с измерительным сигналом испытательного устройства.

Контрольное устройство может принимать или измерять сигналы испытательного устройства как электрические сигналы посредством подключения проводного соединения испытательного устройства к измерительным преобразователями или, альтернативно, сигналы можно измерить посредством размещения микрофона в трубопроводе и приема сигнала микрофона.

Если сигналы не являются подобными, тот же процесс повторяют с дополнительными доступными испытательными импульсными сигналами, чтобы посмотреть, приводит ли один из испытательных импульсных сигналов к испытательному измерительному сигналу и/или сигналу отклика на него, который похож на измерительный сигнал и/или сигнал отклика на него. В случае, если импульсный сигнал испытательного устройства доступен, контрольное устройство может выбрать доступный импульсный сигнал или подобный импульсный сигнал вместо испытания разных испытательных импульсных сигналов, или оно может сузить выбор испытательных импульсных сигналов.

Для испытательного устройства, которое использует несколько путей сигнала и/или комбинации пар отправляющих и принимающих измерительных преобразователей для измерения расхода, контрольное устройство повторяет способ, представленный на фиг. 60, для нескольких путей сигнала и/или для нескольких комбинаций измерительных преобразователей, и соответствующие измерительные сигналы и/или сигналы отклика на измерительные сигналы сравнивают.

Несмотря на то, что представленное выше описание является весьма специфичным, оно должно быть воспринято не как ограничивающее объем вариантов осуществления, а как просто обеспечивающее представление предполагаемых вариантов осуществления. Этапы способа могут быть выполнены в порядке, отличном от представленного в предоставленных вариантах осуществления, и разделение устройства измерения на блоки обработки и их соответствующие взаимосвязи могут отличаться от тех, что приведены в предоставленных вариантах осуществления.

В частности, представленные выше преимущества вариантов осуществления должны восприниматься не как ограничивающие объем вариантов осуществления, а как просто объясняющие вероятные достижения при реализации описанных вариантов осуществления на практике. Таким образом, объем вариантов осуществления должен быть определен формулой изобретения и ее эквивалентами, а не приведенными примерами.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут также быть описаны с использованием следующих списков признаков, объединенных в параграфы. Соответствующие комбинации признаков, которые описаны в списке параграфов, рассматриваются как отдельный предмет изобретения, соответственно, которые могут также быть объединены с другими признаками изобретения.

1. Способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость по отношению к трубопроводу для текучей среды,

обеспечение трубопровода для текучей среды первым ультразвуковым измерительным преобразователем, вторым ультразвуковым измерительным преобразователем и третьим ультразвуковым измерительным преобразователем,

причем соответствующие линии соединения между первым ультразвуковым измерительным преобразователем, вторым ультразвуковым измерительным преобразователем и третьим ультразвуковым измерительным преобразователем проходят вне оси симметрии трубопровода для текучей среды,

подачу первого измерительного сигнала в первый ультразвуковой измерительный преобразователь,

измерение первого сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором ультразвуковом измерительном преобразователе,

подачу второго измерительного сигнала в первый ультразвуковой измерительный преобразователь,

измерение второго сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе,

причем первый измерительный сигнал и второй измерительный сигнал соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика.

2. Способ по п. 1, включающий

подачу первого измерительного сигнала с обратным направлением во второй ультразвуковой измерительный преобразователь,

измерение первого сигнала отклика с обратным направлением на первый измерительный сигнал с обратным направлением на втором ультразвуковом измерительном преобразователе,

подачу второго измерительного сигнала с обратным направлением в третий ультразвуковой измерительный преобразователь,

измерение второго сигнала отклика с обратным направлением на второй измерительный сигнал с обратным направлением на первом ультразвуковом измерительном преобразователе,

причем первый измерительный сигнал с обратным направлением и второй измерительный сигнал с обратным направлением соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика, первого сигнала отклика с обратным направлением, второго сигнала отклика и второго сигнала отклика с обратным направлением.

3. Способ по п.1 или 2, включающий

подачу третьего измерительного сигнала во второй ультразвуковой измерительный преобразователь, измерение третьего сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе,

причем третий измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение по меньшей мере одной скорости потока текучей среды из третьего сигнала отклика.

4. Способ по п.3, включающий

подачу третьего измерительного сигнала с обратным направлением в третий ультразвуковой измерительный преобразователь,

измерение третьего сигнала отклика с обратным направлением на третий измерительный сигнал с обратным направлением на втором ультразвуковом измерительном преобразователе,

причем третий измерительный сигнал с обратным направлением содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение по меньшей мере одной скорости потока текучей среды из третьего сигнала отклика и третьего сигнала отклика с обратным направлением.

5. Способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость по отношению к трубопроводу для текучей среды,

обеспечение трубопровода для текучей среды первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем,

причем линия соединения между первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем проходит за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды,

подачу измерительного сигнала в первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, измерение сигнала отклика на измерительный сигнал на втором ультразвуковом накладном измерительном преобразователе,

причем измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение скорости потока текучей среды из сигнала отклика.

6. Способ по п.5, включающий

подачу измерительного сигнала с обратным направлением во второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь,

измерение сигнала отклика с обратным направлением на измерительный сигнал на первом ультразвуковом накладном измерительном преобразователе,

причем измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него,

получение скорости потока текучей среды из сигнала отклика.

7. Способ по любому из предыдущих параграфов, в котором часть сигнала, которую используют для получения соответствующих измерительных сигналов, содержит первую часть вблизи максимальной амплитуды сигнала отклика и конечную часть сигнала, при этом конечная часть сигнала проходит во времени после времени достижения максимальной амплитуды.

8. Способ по одному из предыдущих параграфов, включающий обработку по меньшей мере одного из сигналов отклика для определения изменения в толщине стенки трубопровода или для определения характеристик материала стенок трубопровода путем определения характеристик продольной и поперечной звуковой волны.

9. Способ по п.1, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды текучей средой,

предоставление первого импульсного сигнала в один из первого или второго ультразвукового изме-

рительного преобразователя,

прием первого сигнала отклика на первый импульсный сигнал на другом из первого или второго ультразвукового измерительного преобразователя,

предоставление второго импульсного сигнала в один из первого или третьего ультразвукового измерительного преобразователя,

прием второго сигнала отклика на второй импульсный сигнал на другом из первого или третьего ультразвукового измерительного преобразователя,

получение первого измерительного сигнала из первого сигнала отклика,

получение второго измерительного сигнала из второго сигнала отклика,

причем получение соответствующих первого и второго измерительных сигналов включает выбор части соответствующих первого и второго сигналов отклика или сигнала, полученного из них, и обращение этой части сигнала по времени,

сохранение первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала для дальнейшего использования.

10. Способ по п.5, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды текучей средой,

предоставление импульсного сигнала в один из первого ультразвукового накладного измерительного преобразователя и второго ультразвукового накладного измерительного преобразователя,

прием сигнала отклика на импульсный сигнал на другом из первого ультразвукового накладного измерительного преобразователя и второго ультразвукового накладного измерительного преобразователя,

получение измерительного сигнала из сигнала отклика,

причем получение измерительного сигнала включает выбор части соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из него, и обращение этой части сигнала по времени,

сохранение измерительного сигнала для дальнейшего использования.

11. Способ по п.9 или 10, включающий

повторение этапов подачи импульсного сигнала и приема соответствующего сигнала отклика множество раз с получением при этом множества сигналов отклика,

получение соответствующего измерительного сигнала из среднего значения принятых сигналов отклика.

12. Способ по одному из пп.9-11, в котором получение соответствующего измерительного сигнала включает оцифровку соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из него, по отношению к амплитуде.

13. Способ по п.12, включающий увеличение битового разрешения оцифрованного сигнала для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал.

14. Способ по п.12, включающий уменьшение битового разрешения оцифрованного сигнала для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал.

15. Способ по п.12, в котором битовое разрешение оцифрованного сигнала по отношению к амплитуде представляет собой низкое битовое разрешение.

16. Машиночитаемый программный код, содержащий машиночитаемые команды для выполнения способа по одному из пп.1-15.

17. Машиночитаемое запоминающее устройство, при этом машиночитаемое запоминающее устройство содержит машиночитаемый программный код по п.16.

18. Специализированный электронный компонент, выполненный с возможностью выполнения способа по одному из пп.1-15.

19. Устройство для измерения скорости потока текучей среды в трубопроводе с помощью время-пролетного ультразвукового расходомера, содержащее

первый соединитель для соединения первого ультразвукового элемента,

второй соединитель для соединения второго ультразвукового элемента,

третий соединитель для соединения третьего ультразвукового элемента,

передающий блок для отправки импульсных сигналов и для отправки измерительных сигналов,

принимающий блок для приема сигналов отклика,

блок обработки для получения первого измерительного сигнала из первого инвертированного сигнала, для получения второго измерительного сигнала из второго инвертированного сигнала и для сохранения первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала,

причем получение первого инвертированного сигнала и второго инвертированного сигнала включает обращение по времени части сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него, и

при этом блок обработки, передающий блок и принимающий блок применяются для подачи первого измерительного сигнала в первый соединитель, и

приема первого сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором соединителе,

подачи второго измерительного сигнала в первый соединитель,

приема второго сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем соединителе,

и получения скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика.

20. Устройство для измерения скорости потока текучей среды в трубопроводе с помощью время-пролетного ультразвукового расходомера, содержащее

первый соединитель,

первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, который соединен с первым соединителем,

второй соединитель,

второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь, который соединен со вторым соединителем,

часть трубопровода, причем первый ультразвуковой накладной измерительный преобразователь установлен на части трубопровода в первом местоположении, и

второй ультразвуковой накладной измерительный преобразователь установлен на части трубопровода в некотором местоположении,

причем соответствующие линии соединения между первым ультразвуковым накладным измерительным преобразователем и вторым накладным ультразвуковым измерительным преобразователем проходят за пределами оси симметрии трубопровода для текучей среды,

передающий блок для отправки импульсных сигналов и для отправки измерительных сигналов,

принимающий блок для приема сигналов отклика,

блок обработки для получения измерительного сигнала из инвертированного сигнала, причем получение инвертированного сигнала включает обращение по времени части сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнал, полученный из него, и

при этом блок обработки, передающий блок и принимающий блок применяются для подачи измерительного сигнала в первый соединитель,

приема сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором соединителе, и

получения скорости потока текучей среды из сигнала отклика.

21. Устройство по п.20, дополнительно содержащее

цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), при этом ЦАП соединен с первым соединителем,

аналого-цифровой преобразователь (АЦП), при этом АЦП соединен со вторым соединителем,

машиночитаемое запоминающее устройство для сохранения измерительного сигнала.

22. Устройство по п.20, дополнительно содержащее блок выбора, при этом блок выбора применяется для выбора части принятого сигнала отклика на импульсный сигнал или сигнал, полученный из него, и блок инвертирования, при этом блок инвертирования применяется для инвертирования по времени выбранной части принятого сигнала отклика для получения инвертированного сигнала.

23. Устройство по п.20, содержащее

прямой цифровой синтезатор сигналов, при этом прямой цифровой синтезатор сигналов содержит АЦП, регистр управления частотой, опорный генератор, генератор с числовым программным управлением и восстанавливающий фильтр низких частот, при этом АЦП выполнен с возможностью соединения с первым и вторым соединителем через восстанавливающий фильтр низких частот.

24. Устройство по п.20, содержащее часть трубопровода, при этом первый ультразвуковой измерительный преобразователь установлен на части трубопровода в первом местоположении, и

второй ультразвуковой измерительный преобразователь установлен на части трубопровода во втором местоположении.

25. Способ определения того, измеряет ли испытательное устройство скорость потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды по одному из пп.1-5, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды текучей средой, которая имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода для текучей среды,

обеспечение трубопровода для текучей среды первым ультразвуковым измерительным преобразователем и вторым ультразвуковым измерительным преобразователем,

подачу испытательного импульсного сигнала в первый ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства,

прием испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на втором ультразвуковом измерительном преобразователе испытательного устройства,

получение испытательного измерительного сигнала из испытательного сигнала отклика, при этом получение испытательного измерительного сигнала включает обращение по времени соответствующего первого или второго сигнала отклика, или его части,

сравнение первого испытательного измерительного сигнала с первым измерительным сигналом, который излучается на измерительном преобразователе испытательного устройства,

при этом определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды по одному из пп.1-5, если первый измерительный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.

26. Способ по п.25, включающий

обеспечение трубопровода для текучей среды третьим ультразвуковым измерительным преобразователем,

подачу испытательного импульсного сигнала в первый ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства или во второй ультразвуковой измерительный преобразователь испытательного устройства,

прием второго испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на третьем ультразвуковом измерительном преобразователе испытательного устройства,

получение второго испытательного измерительного сигнала из второго испытательного сигнала отклика,

сравнение второго испытательного измерительного сигнала со вторым измерительным сигналом, который излучается на измерительном преобразователе испытательного устройства, при этом определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе для текучей среды по п.1, если первый испытательный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.

Ссылки:

- 10 - устройство расходомера;
- 11 - расположенный выше по потоку пьезоэлектрический элемент;
- 12 - труба;
- 13 - расположенный ниже по потоку пьезоэлектрический элемент;
- 14 - направление среднего потока;
- 15 - первый блок вычисления;
- 16 - второй блок вычисления;
- 17 - путь сигнала;
- 20 - путь сигнала;
- 22 - пьезоэлектрический элемент;
- 23 - пьезоэлектрический элемент;
- 31-52 - пьезоэлектрические элементы;
- 60, 60' - устройство измерения расхода;
- 61 - первый соединитель;
- 62 - второй соединитель;
- 63 - мультиплексор;
- 64 - ЦАП;
- 65 - АЦП;
- 66 - демultipлексор;
- 67 - блок выбора сигнала;
- 68 - блок инвертирования сигнала;
- 69 - полосовой фильтр;
- 70 - запоминающее устройство;
- 71 - блок вычисления скорости;
- 72 - генератор импульсных сигналов;
- 73 - генератор измерительных сигналов;
- 74 - командная линия;
- 75 - командная линия;
- 76 - ПЦС;
- 77 - опорный генератор;
- 78 - регистр управления частотой;
- 79 - генератор с числовым программным управлением;
- 80 - фильтр низких частот.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система измерения скорости потока текучей среды в трубопроводе (12) для текучей среды с помощью времяпролетного ультразвукового расходомера (10), содержащая

первый соединитель (61) для соединения первого пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11),

второй соединитель (62) для соединения второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (13),

третий соединитель для соединения третьего пьезоэлектрического измерительного преобразователя (23), причем соответствующие линии соединения между первым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (11), вторым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (13) и третьим пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (23) проходят за пределами оси симметрии трубопровода (12) для текучей среды, причем первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь

(11) и третий пьезоэлектрический измерительный преобразователь (23) смещены относительно второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (13) в продольном направлении трубопровода (12) для текучей среды,

передающий блок, содержащий генератор импульсных сигналов для отправки импульсных сигналов и генератор измерительных сигналов для отправки измерительных сигналов в первый соединитель (61),

принимающий блок для приема сигналов отклика на импульсные сигналы на втором соединителе (62),

блок обработки для получения первого измерительного сигнала из первого инвертированного сигнала, для получения второго измерительного сигнала из второго инвертированного сигнала и для сохранения первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала,

причем получение первого инвертированного сигнала и второго инвертированного сигнала включает обращение по времени части сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал, и

при этом передающий блок выполнен с возможностью подачи первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала в первый соединитель (61),

принимающий блок выполнен с возможностью приема первого сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором соединителе (62) и приема второго сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем соединителе, и

блок обработки выполнен с возможностью получения скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика с применением метода времени пролета посредством вычисления разности по времени распространения первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала, распространяющихся в текучей среде в направлении потока и против направления потока.

2. Способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе (12) для текучей среды с помощью времяпролетного расходомера (10), при этом текучая среда имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода (12) для текучей среды, и при этом трубопровод (12) для текучей среды представляет собой трубопровод для текучей среды с осью симметрии, при этом способ включает следующие этапы:

установку на трубопроводе (12) для текучей среды первого пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11), второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (13) и третьего пьезоэлектрического измерительного преобразователя (23),

причем соответствующие линии соединения между первым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (11), вторым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (13) и третьим пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (23) проходят за пределами оси симметрии трубопровода (12) для текучей среды,

причем первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь (11) и третий пьезоэлектрический измерительный преобразователь (23) смещены относительно второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (13) в продольном направлении трубопровода (12) для текучей среды,

подачу первого импульсного сигнала во второй пьезоэлектрический измерительный преобразователь (13),

прием первого сигнала отклика на первый импульсный сигнал на первом пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (11),

подачу второго импульсного сигнала в третий пьезоэлектрический измерительный преобразователь (23),

прием второго сигнала отклика на второй импульсный сигнал на первом пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (11),

получение первого измерительного сигнала, включающее обращение по времени части указанного первого сигнала отклика на указанный первый импульсный сигнал или сигнала, полученного из указанного первого сигнала отклика,

получение второго измерительного сигнала, включающее обращение по времени части указанного второго сигнала отклика на указанный второй импульсный сигнал или сигнала, полученного из указанного второго сигнала отклика,

подачу первого измерительного сигнала в первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь (11), и

измерение первого сигнала отклика на первый измерительный сигнал на втором пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (13),

подачу второго измерительного сигнала в первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь (11),

измерение второго сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (23),

причем первый измерительный сигнал и второй измерительный сигнал соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал, который передают между той же парой пьезоэлектрических измерительных преобразователей, что и соответствующий измерительный сигнал, или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответст-

вующий импульсный сигнал,

получение скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика и второго сигнала отклика с применением метода времени пролета, при этом вычисляют разность по времени распространения первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала, распространяющихся в текучей среде в направлении потока и против направления потока.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что включает

подачу первого измерительного сигнала с обратным направлением во второй пьезоэлектрический измерительный преобразователь (13),

измерение первого сигнала отклика с обратным направлением на первый измерительный сигнал с обратным направлением на первом пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (11),

подачу второго измерительного сигнала с обратным направлением в третий пьезоэлектрический измерительный преобразователь (23),

измерение второго сигнала отклика с обратным направлением на второй измерительный сигнал с обратным направлением на первом пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (11),

причем первый измерительный сигнал с обратным направлением и второй измерительный сигнал с обратным направлением соответственно содержат обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал,

получение скорости потока текучей среды из по меньшей мере одного из первого сигнала отклика, первого сигнала отклика с обратным направлением, второго сигнала отклика и второго сигнала отклика с обратным направлением.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что включает

получение третьего измерительного сигнала, включающее обращение по времени части сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал, который передают между вторым пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (13) и третьим пьезоэлектрическим измерительным преобразователем (23), или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал,

подачу третьего измерительного сигнала во второй пьезоэлектрический измерительный преобразователь (13),

измерение третьего сигнала отклика на второй измерительный сигнал на третьем пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (23),

причем третий измерительный сигнал содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал,

получение по меньшей мере одной скорости потока текучей среды из третьего сигнала отклика.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что включает

подачу третьего измерительного сигнала с обратным направлением в третий пьезоэлектрический измерительный преобразователь (23),

измерение третьего сигнала отклика с обратным направлением на третий измерительный сигнал с обратным направлением на втором пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (13),

причем третий измерительный сигнал с обратным направлением содержит обращенную по времени часть сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал или сигнала, полученного из сигнала отклика на соответствующий импульсный сигнал,

получение по меньшей мере одной скорости потока текучей среды из третьего сигнала отклика и третьего сигнала отклика с обратным направлением.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что часть сигнала, которую используют для получения соответствующих измерительных сигналов, содержит первую часть вблизи максимальной амплитуды сигнала отклика и конечную часть сигнала, при этом конечная часть сигнала проходит во времени после времени достижения максимальной амплитуды.

7. Способ по п.2, отличающийся тем, что включает обработку по меньшей мере одного из сигналов отклика для определения изменения в толщине стенки трубопровода (12) или для определения характеристик материала стенок трубопровода путем определения характеристик продольной и поперечной звуковой волны.

8. Способ по п.2, отличающийся тем, что включает

обеспечение трубопровода (12) для текучей среды текучей средой,

предоставление первого импульсного сигнала в один из первого или второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11, 13),

прием первого сигнала отклика на первый импульсный сигнал на другом из первого или второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11, 13),

предоставление второго импульсного сигнала в один из первого или третьего пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11, 23),

прием второго сигнала отклика на второй импульсный сигнал на другом из первого или третьего пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11, 23),

получение первого измерительного сигнала из первого сигнала отклика,
получение второго измерительного сигнала из второго сигнала отклика,
причем получение соответствующих первого и второго измерительных сигналов включает выбор части соответствующих первого и второго сигналов отклика или сигнала, полученного из первого и второго сигналов отклика, и обращение этой части сигнала по времени,
сохранение первого измерительного сигнала и второго измерительного сигнала для дальнейшего использования.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что включает
повторение этапов подачи импульсного сигнала и приема соответствующего сигнала отклика множество раз с получением при этом множества сигналов отклика,
получение соответствующего измерительного сигнала из среднего значения принятых сигналов отклика.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что получение соответствующего измерительного сигнала включает оцифровку соответствующего сигнала отклика или сигнала, полученного из соответствующего сигнала отклика, по отношению к амплитуде.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что включает увеличение битового разрешения оцифрованного сигнала для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал.

12. Способ по п.10, отличающийся тем, что включает уменьшение битового разрешения оцифрованного сигнала для увеличения амплитуды сигнала отклика на соответствующий измерительный сигнал.

13. Способ по п.10, отличающийся тем, что битовое разрешение оцифрованного сигнала по отношению к амплитуде представляет собой низкое битовое разрешение.

14. Способ определения того, измеряет ли испытательное устройство скорость потока текучей среды в трубопроводе (12) для текучей среды согласно способу по п.2, при этом текучая среда имеет предварительно определенную скорость относительно трубопровода (12) для текучей среды, при этом способ включает следующие этапы:

установку на трубопроводе (12) для текучей среды первого пьезоэлектрического измерительного преобразователя (11) и второго пьезоэлектрического измерительного преобразователя (13),

подачу испытательного импульсного сигнала в первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь (11) испытательного устройства,

прием первого испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на втором пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (13) испытательного устройства,

получение первого испытательного измерительного сигнала из первого испытательного сигнала отклика, при этом получение первого испытательного измерительного сигнала включает обращение по времени первого испытательного сигнала отклика или его части,

сравнение первого испытательного измерительного сигнала с первым измерительным сигналом, который излучается на измерительном преобразователе испытательного устройства,

при этом определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе (12) для текучей среды по п.2, если первый испытательный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.

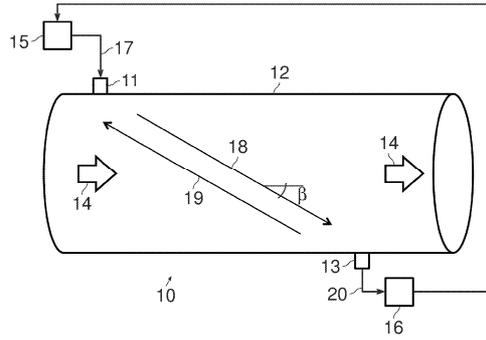
15. Способ по п.14, отличающийся тем, что включает
установку на трубопроводе (12) для текучей среды третьего пьезоэлектрического измерительного преобразователя (23),

подачу испытательного импульсного сигнала в первый пьезоэлектрический измерительный преобразователь (11) испытательного устройства или во второй пьезоэлектрический измерительный преобразователь (13) испытательного устройства,

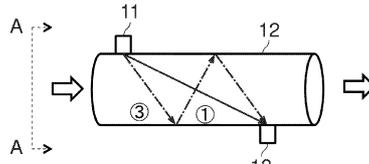
прием второго испытательного сигнала отклика на испытательный импульсный сигнал на третьем пьезоэлектрическом измерительном преобразователе (23) испытательного устройства,

получение второго испытательного измерительного сигнала из второго испытательного сигнала отклика,

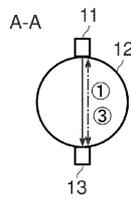
сравнение второго испытательного измерительного сигнала со вторым измерительным сигналом, который излучается на измерительном преобразователе испытательного устройства, при этом определяют, что в испытательном устройстве применяется способ определения скорости потока текучей среды в трубопроводе (12) для текучей среды по п.2, если первый испытательный измерительный сигнал и первый измерительный сигнал являются подобными.



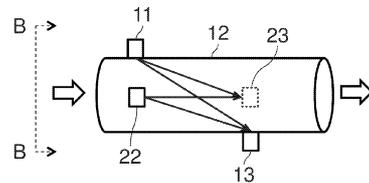
Фиг. 1



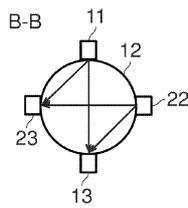
Фиг. 2



Фиг. 3

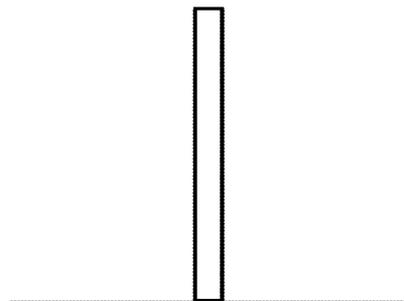


Фиг. 4



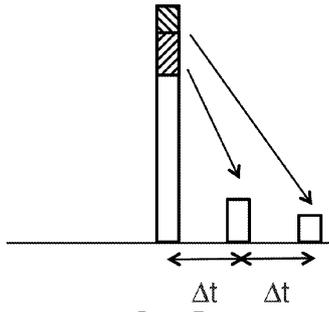
Фиг. 5

Испытательный сигнал



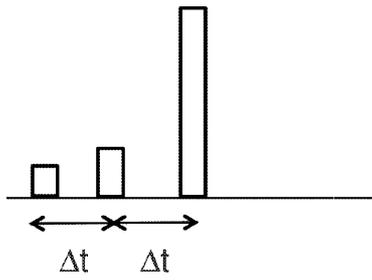
Фиг. 6

Отклик испытательного сигнала



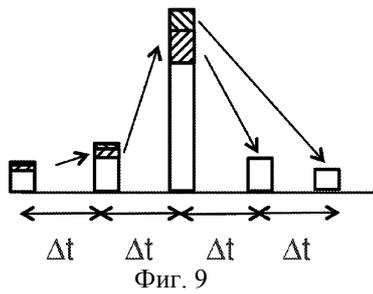
Фиг. 7

Обращенный по времени сигнал

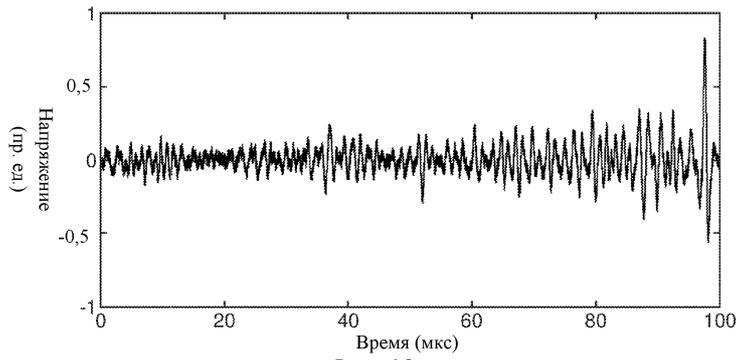


Фиг. 8

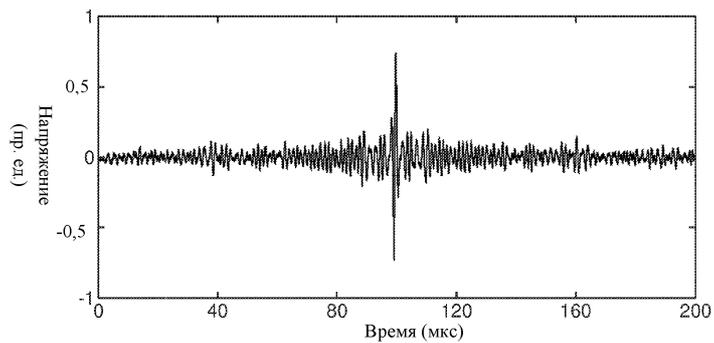
Отклик обращенного по времени сигнала



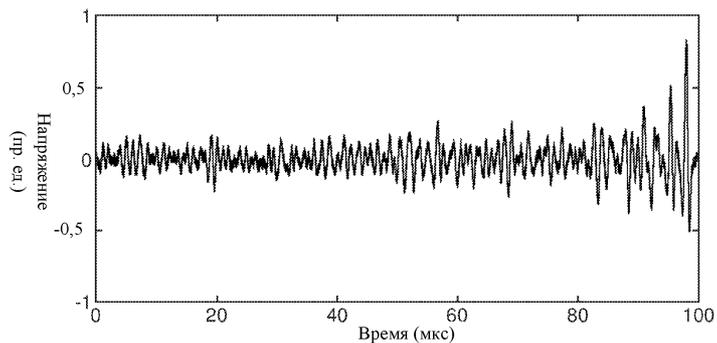
Фиг. 9



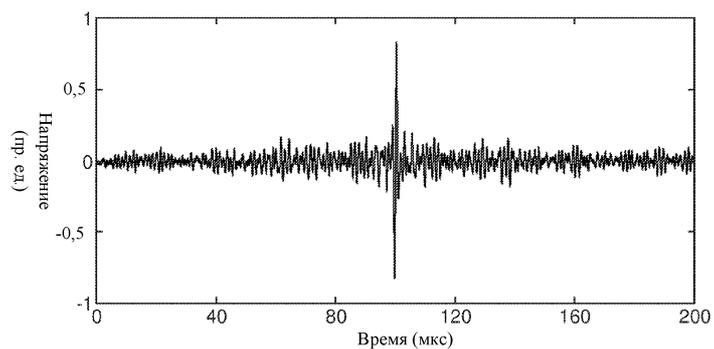
Фиг. 10



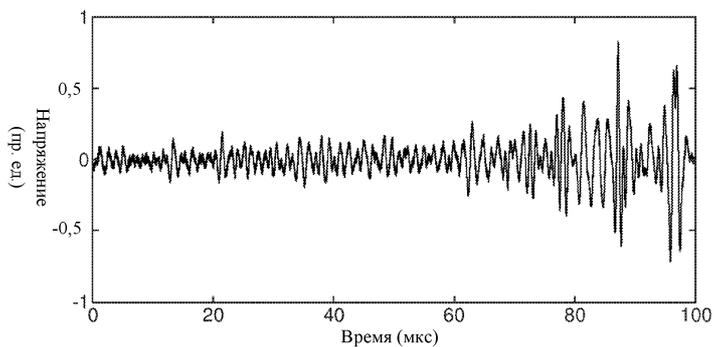
Фиг. 11



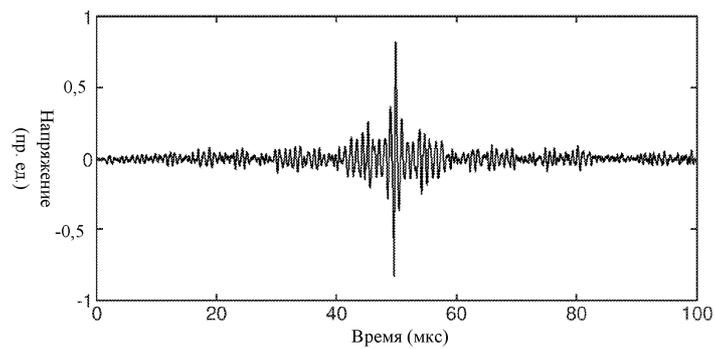
Фиг. 12



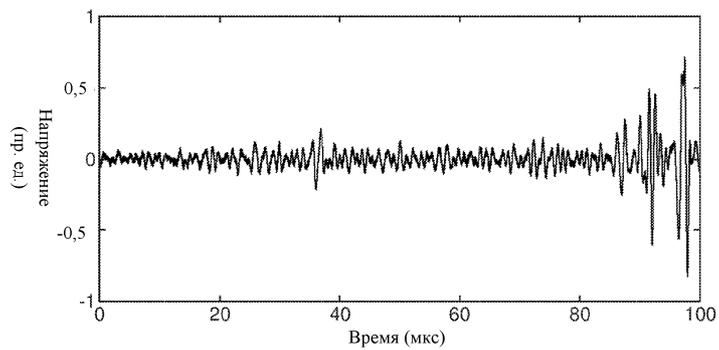
Фиг. 13



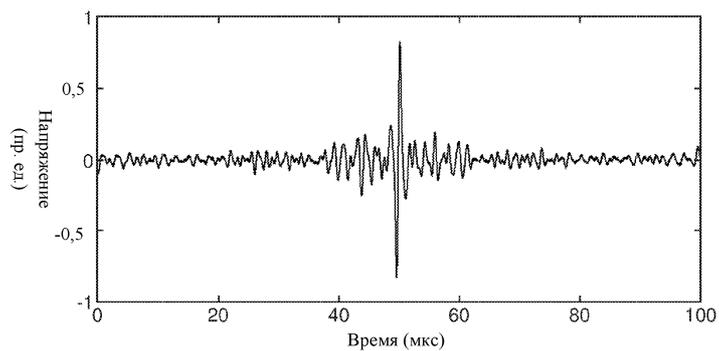
Фиг. 14



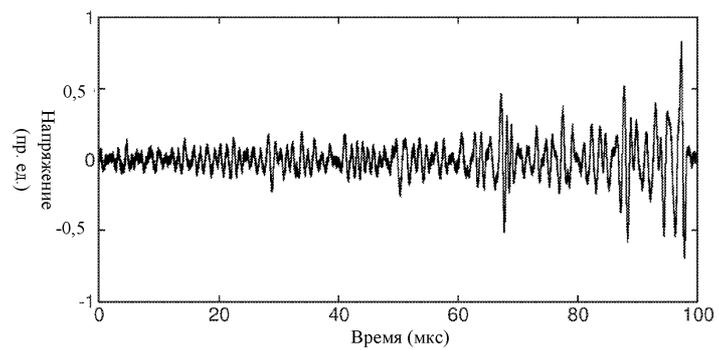
Фиг. 15



Фиг. 16

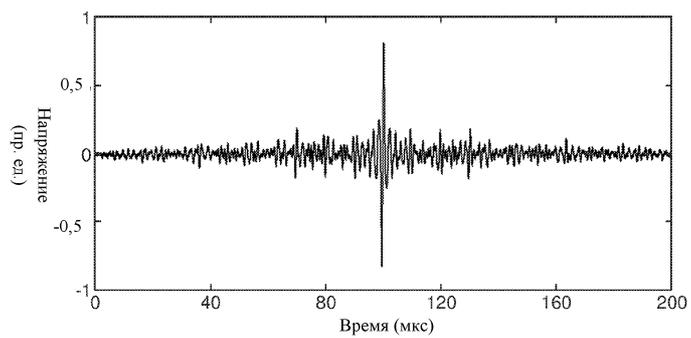


Фиг. 17

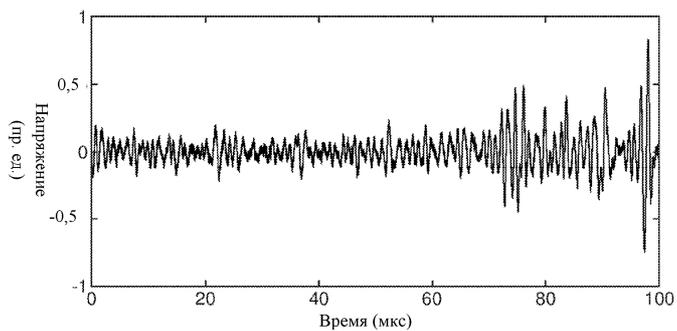


Фиг. 18

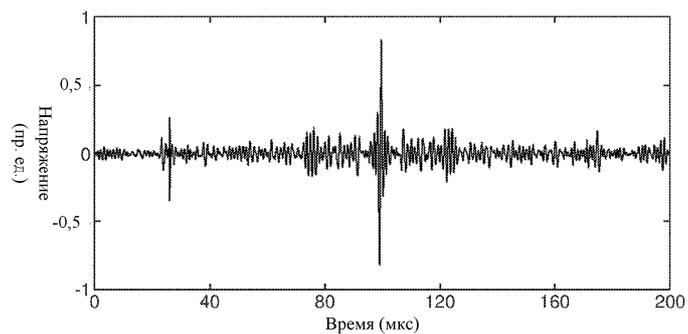
043606



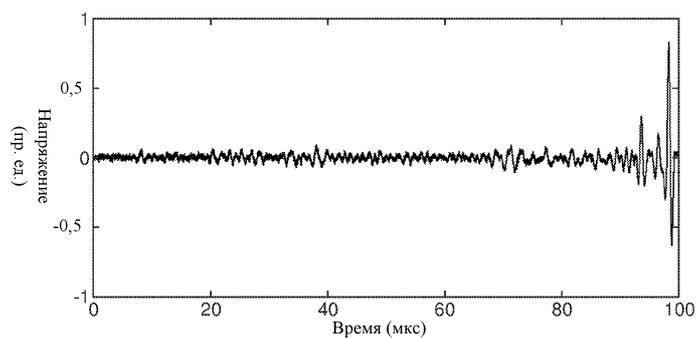
Фиг. 19



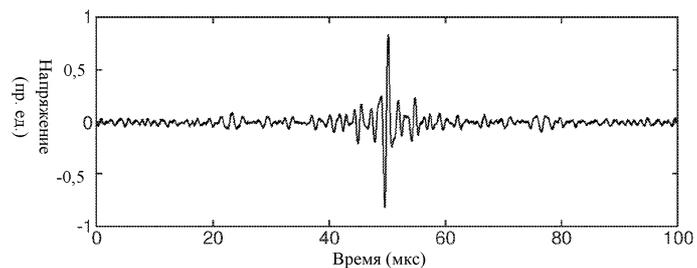
Фиг. 20



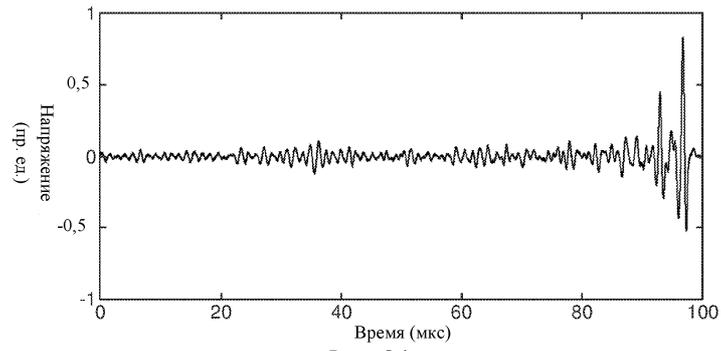
Фиг. 21



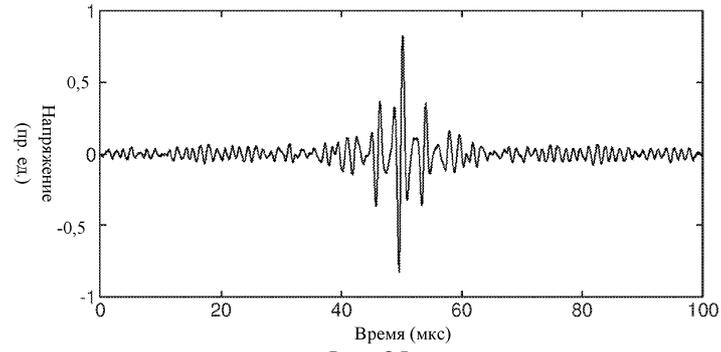
Фиг. 22



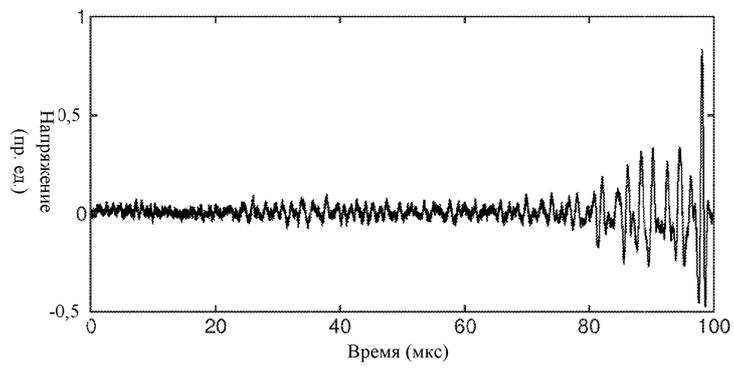
Фиг. 23



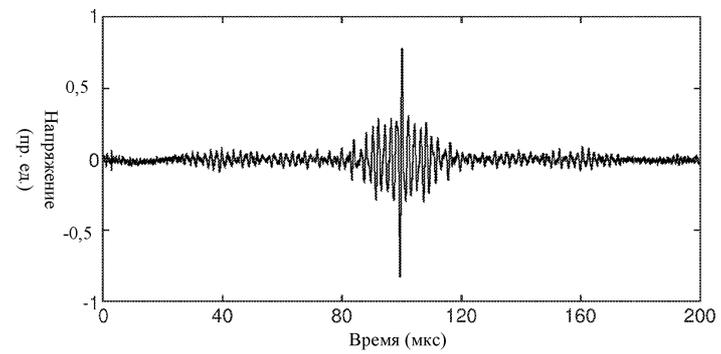
Фиг. 24



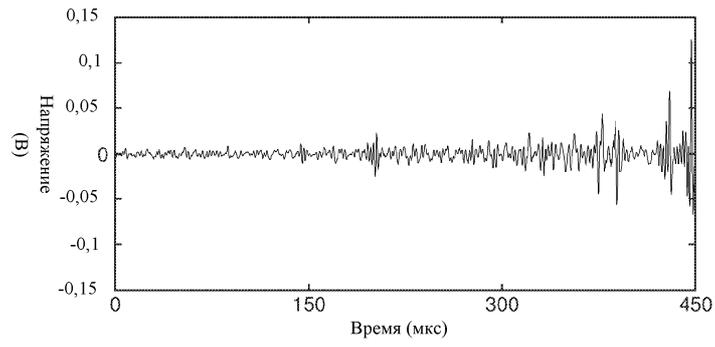
Фиг. 25



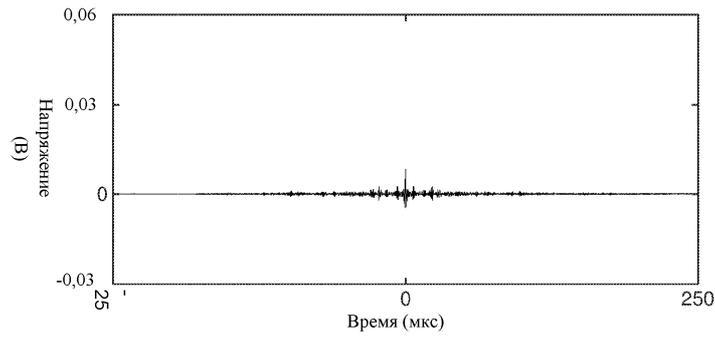
Фиг. 26



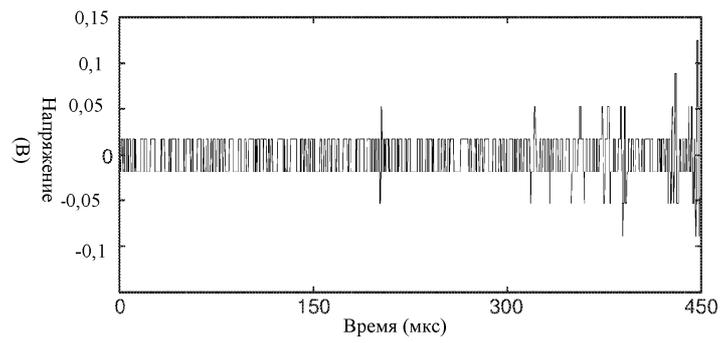
Фиг. 27



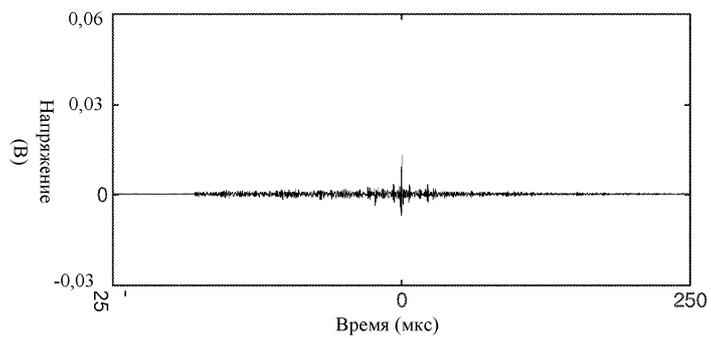
Фиг. 28



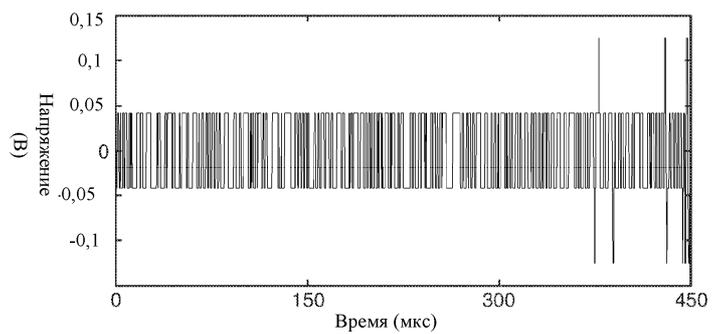
Фиг. 29



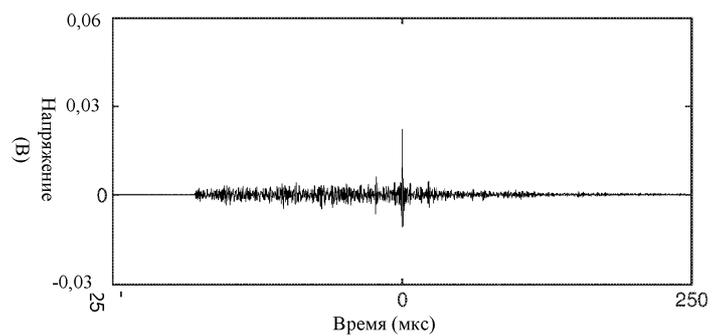
Фиг. 30



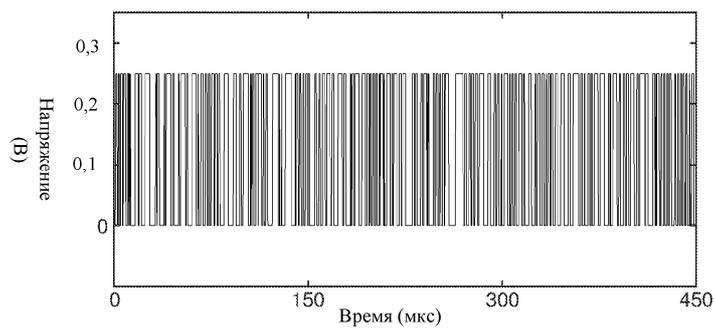
Фиг. 31



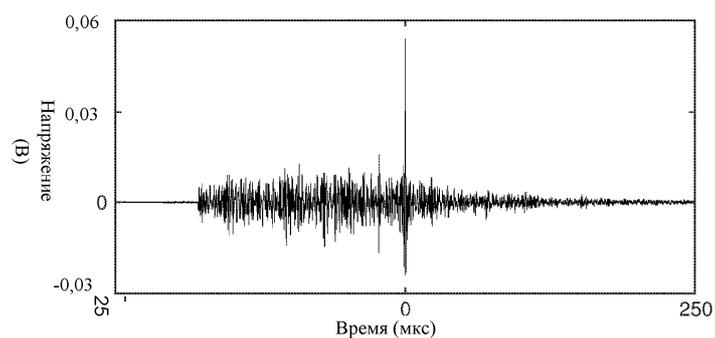
Фиг. 32



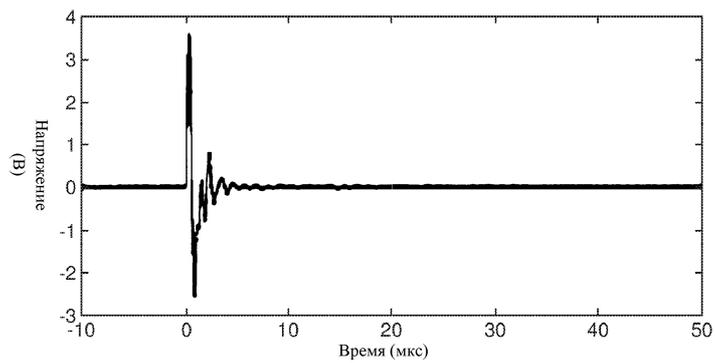
Фиг. 33



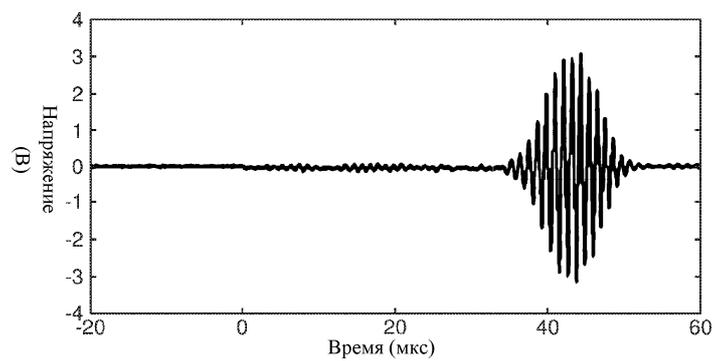
Фиг. 34



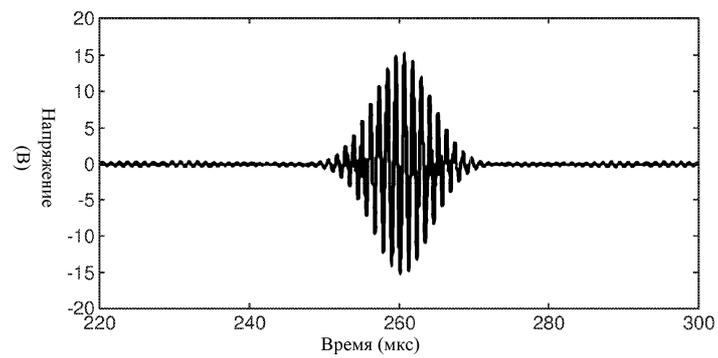
Фиг. 35



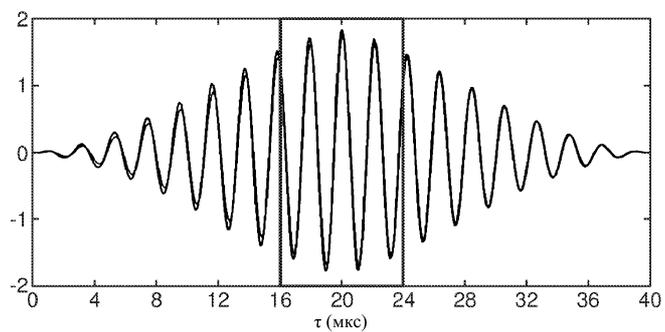
Фиг. 36



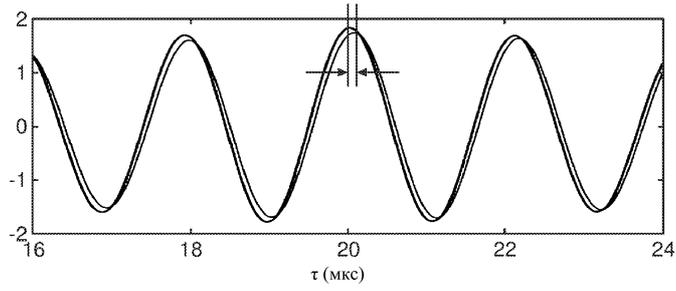
Фиг. 37



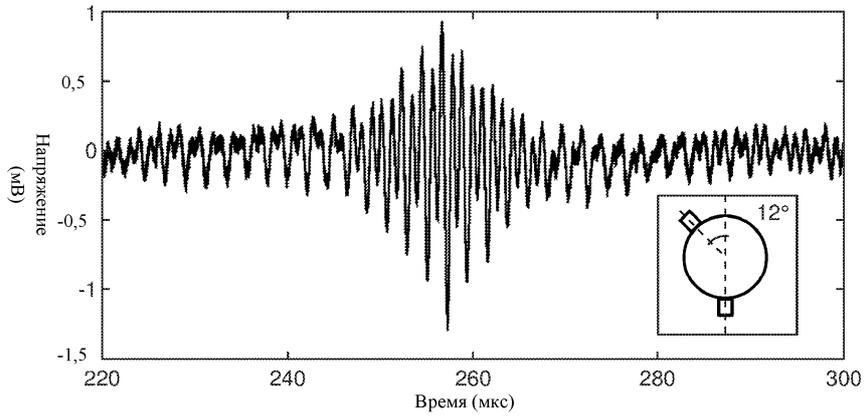
Фиг. 38



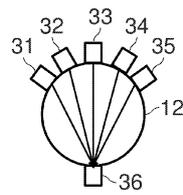
Фиг. 39



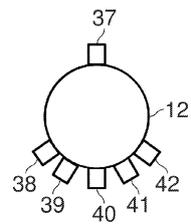
Фиг. 40



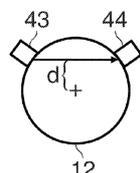
Фиг. 41



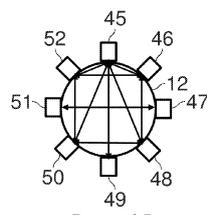
Фиг. 42



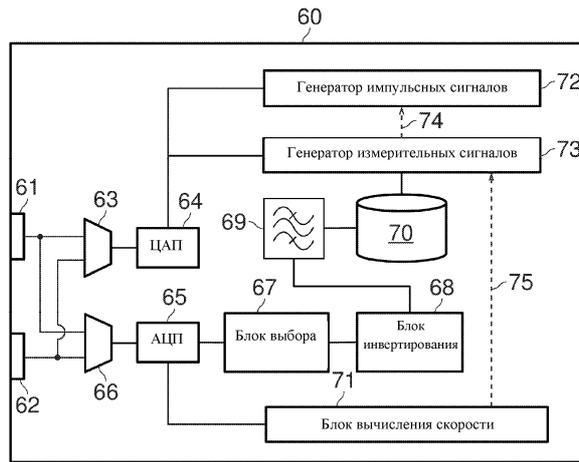
Фиг. 43



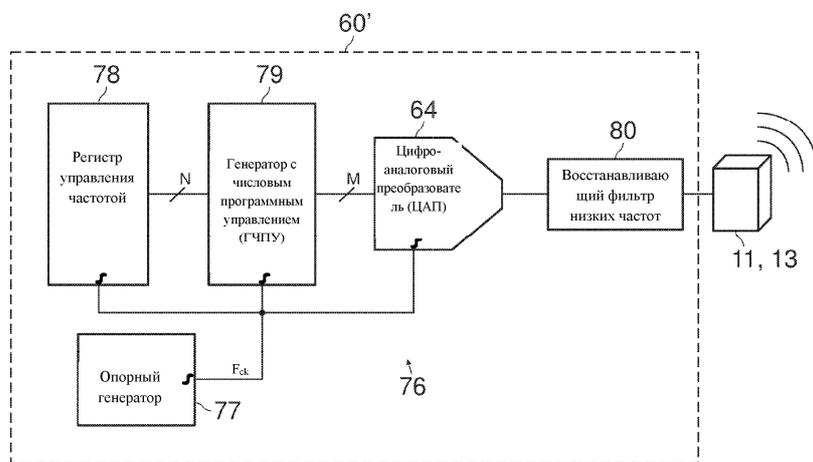
Фиг. 44



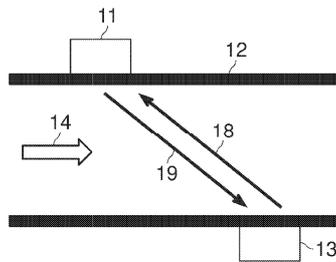
Фиг. 45



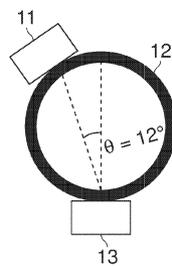
Фиг. 46



Фиг. 47



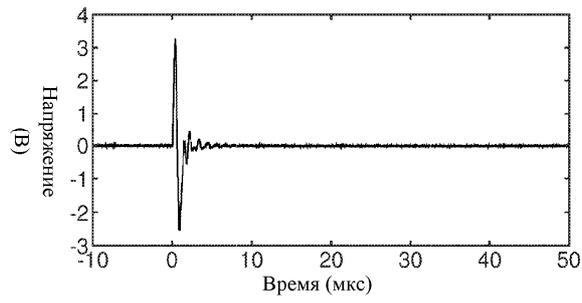
Фиг. 48



Фиг. 49

Отправляемый сигнал

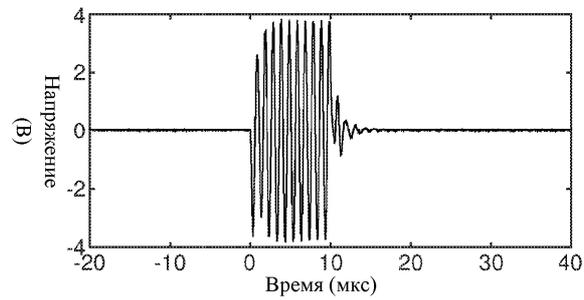
1 цикл



Фиг. 50

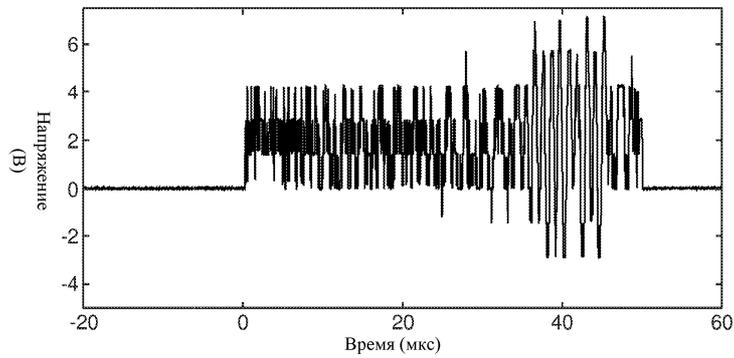
Отправляемый сигнал

10 циклов



Фиг. 51

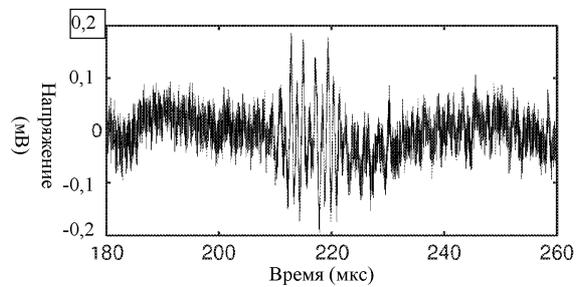
Отправляемый измерительный сигнал



Фиг. 52

Полученный сигнал

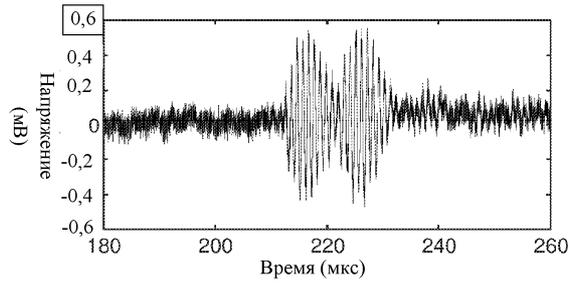
1 цикл



Фиг. 53

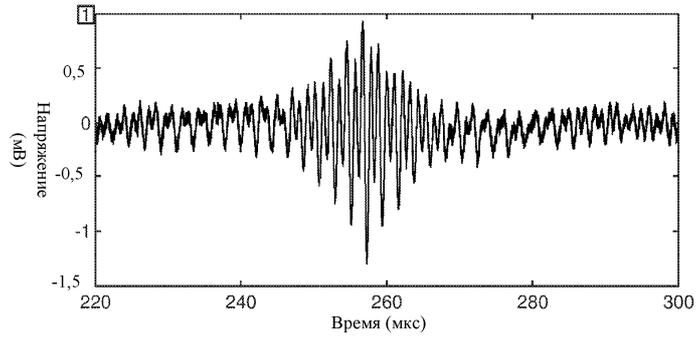
Полученный сигнал

10 циклов

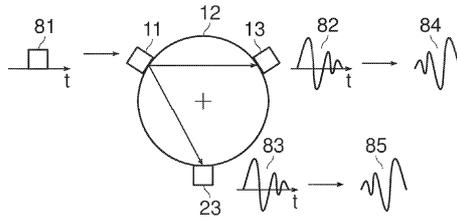


Фиг. 54

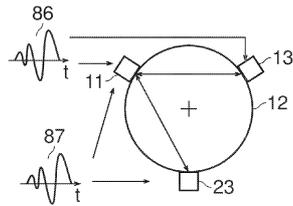
Принятый сигнал после отправки измерительного сигнала



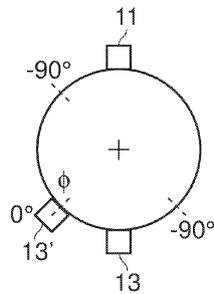
Фиг. 55



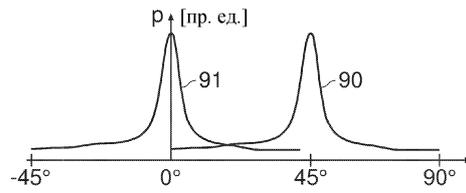
Фиг. 56



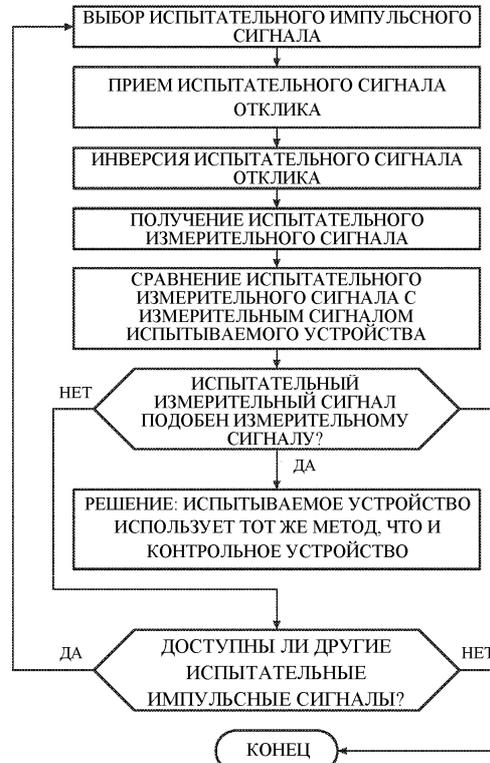
Фиг. 57



Фиг. 58



Фиг. 59



Фиг. 60

