

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036718**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.12.11**

(51) Int. Cl. **G01K 17/10** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201900325**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.07.10**

---

(54) **АВТОНОМНЫЙ ТЕПЛОСЧЕТЧИК И СПОСОБ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

---

(43) **2020.12.09**

(56) RU-U1-29776  
RU-C1-2529598  
RU-C2-2383866  
US-A1-5493917  
RU-U1-52504

(96) **2019000068 (RU) 2019.07.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ" (RU)**

(72) Изобретатель:  
**Теплышев Вячеслав Юрьевич  
(RU), Иванов Дмитрий Юрьевич  
(BY), Абдулкеримов Абдулжелил  
Махмудович (RU)**

(57) Изобретение может быть использовано для определения расхода в полностью заполненном трубопроводе электропроводящей жидкой средой, на объектах удаленных от промышленного электроснабжения. Теплосчетчик питают от автономного источника питания, содержащего две батареи. Питание ЭМР осуществлено током прямоугольной формы. Для выбора оптимального питания определены напряжения тепловых шумов в цепи ЭМР, в широком диапазоне изменения активного сопротивления, частоты, температуры. Определены токи потребления. Определены зависимости напряжения теплового шума ЭМР от температуры превышающей 20°C при разных сопротивлениях обмотки ЭМР и полосы частот. В режиме покоя определяют начальное значение напряжения теплового шума, в рабочем - текущие, в зависимости от изменения полосы частот, от активных сопротивлений, от температурного коэффициента шума. Контроль рабочего режима автономного теплосчетчика осуществляет оператор. Под управлением микроконтроллера после усиления согласованные оцифрованные сигналы, несущие информацию о расходе текучих сред и температуры, запоминают и регистрируют в памяти вычислительного блока. Обеспечивают существенное снижение электропотребления, улучшают отношение сигнал/шум на три порядка.

**036718**  
**B1**

**036718**  
**B1**

Изобретение относится к области измерительной техники, в частности к теплосчетчикам, содержащим электромагнитный расходомер (ЭМР) и может быть использовано для определения тепловой энергии, значений объемного расхода, массового расхода, объема, массы, давления и температуры теплоносителя в полностью заполненных напорных трубопроводах в водяных системах теплоснабжения, в отсутствие электрической сети.

Известен электромагнитный расходомер текучих сред, содержащий первичный электромагнитный преобразователь расхода, включающий индуктор с катушками. В зазоре, которого расположен трубопровод с электродами, подсоединенными к измерительной схеме, содержащей измерительный АЦП. Вход, которого соединен с электродами, а выход со схемой управления и контролера тока питания индуктора. Предусмотрен источник тока питания катушек индуктора, управляемый микроконтроллером, соединенным, по меньшей мере, с индикатором отображения. Схема контроля управления содержит дополнительный АЦП, один вход которого выполнен с возможностью измерения напряжения, пропорционального току через индуктор. А второй вход с возможностью измерения напряжения, пропорционального напряжению на индукторе. При этом выход дополнительного АЦП соединен с микроконтроллером. С возможностью передачи измеренных величин напряжений с каждого входа на микроконтроллер. И расчета микроконтроллером программно-аппаратным образом текущих значений активного и индуктивного сопротивлений индуктора. И, их сравнения с предустановленными в энергонезависимой памяти микроконтроллера эталонными значениями. И регистрации наличия внешнего магнитного поля. Искажающего результаты измерения при отклонении текущих расчетных значений от эталонных. С возможностью вывода результата, на индикатор отображения. (Патент РФ №2529598 2014. Электромагнитный расходомер текучих сред, автор Шохин А.В.).

Однако этот расходомер (устройство) имеет следующие недостатки: отсутствие возможности питания в отсутствие электрической сети. Не указаны количественные и качественные показатели влияния внешних и внутренних фактов на результаты измерения, например, объемных и массовых расходов.

Известен способ контроля измерения расхода текучих сред, в нём используют электромагнитный преобразователь расхода, включающий индуктор с катушками, в зазоре которых расположен трубопровод с электродами, подсоединенными к измерительной схеме. Схема содержит измерительный АЦП, вход, которого соединяют с электродами ЭМР, а выход соединяют со схемой управления и контроля тока питания индуктора. Последний содержит источник питания катушек индуктора, управляемый микроконтроллером, соединенный, по меньшей мере, с индикатором отображения. Управляющая цепь содержит дополнительный АЦП. Один из входов которого выполнен с возможностью измерения напряжения пропорционального току через индуктор. Другой вход для измерения напряжения, пропорционального напряжению на индукторе и передачи измеренных величин напряжений с каждого входа на микроконтроллер. Где производится расчет программно-аппаратным образом текущих значений активного и индуктивного сопротивлений индуктора. Их сравнивают с эталонными значениями и фиксируют наличие внешнего магнитного поля, искажающего результаты. При этом схема контроля управления может дополнительно содержать питающийся от источника тока и снабженный датчиком тока мостовой коммутатор тока выходы, которого соединены с входами индуктора, а вход с микроконтроллером. При этом один вход дополнительного АЦП соединен с датчиком тока. С возможностью измерения напряжения, пропорционального току через индуктор. А другой вход с последовательно соединенными мостовым коммутатором и источником тока, с возможностью измерения напряжения пропорционального напряжению на индукторе. (Патент РФ №2529598 2014 Способ контроля измерения расхода текучих сред, автор Шохин А.В.).

Сущность технического решения и результата заключается в том, что в электромагнитном расходомере и способе контроля измерения расхода текучих сред является повышение достоверности распознавания влияния внешних помех на точность измерений. И, как следствие, повышение точности измерений, расширение диапазона измерений и области применения устройства.

Однако этот способ имеет следующие недостатки: отсутствие методики оценки влияния внешних и внутренних электрических шумов и помех на результаты измерения. Не определен диапазон диаметров трубопроводов и способ контроля косвенного измерения расхода текучих среды в трубопроводах.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению техническим решением является устройство для определения расхода в трубопроводах больших диаметров, содержащее мерный трубопровод, на поверхности трубопровода по образующей смонтированы три измерителя локальной скорости. Каждый, из которых состоит из преобразователя первичных сигналов и подсоединенного к нему погружного датчика локальной скорости. Погружная часть, датчика локальной скорости содержит чувствительный элемент с электродами и погруженного в трубопровод с электропроводящей жидкостью. Многоканальный блок питания постоянного тока с отдельными каналами, питаемый от промышленной сети 220В 50 Гц. Три преобразователя первичных сигналов, которые содержат предварительный усилитель, переключатель, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер. Вычислительный блок, который содержит микропроцессор, энергонезависимый блок памяти и индикатор. В устройстве выход электродов через предварительный усилитель, переключатель, аналого-цифровой преобразователь подсоединен к входу микроконтроллера. Следовательно, выходы микроконтроллеров соединены с входом микропроцессора вычислительного блока. Выход микропроцессора соединен с блоком памяти и индикатором. Положительный

плюс блока питания постоянного тока соединен со схемами питания микропроцессора, блока памяти и индикатора. Положительный полюс многоканального блока питания соединен с цепями питания предварительного усилителя, переключателя, аналого-цифрового преобразователя, микроконтроллера. Управляющий выход  $f$  микроконтроллера подсоединен к переключателю с целью выдачи на него управляющих команд  $f_{1,2}$ . Управляющий выход  $e$  микроконтроллера подсоединен к аналого-цифровому преобразователю. Управляющий выход  $p$  микроконтроллера соединен с соответствующими управляющими входами  $p$  микропроцессоров преобразователей первичных сигналов. В составе преобразователей первичных сигналов, формирователь тока, датчик тока, клавиатура, в нём выходы катушек погружных датчиков локальной скорости подсоединены через формирователи тока, датчики тока к выходам, положительным полюсам многоканального блока питания катушек. Отрицательный полюс многоканального блока питания катушек соединен с отрицательным полюсом общей шины питания устройства. Другой выход многоканального блока питания через датчик тока, формирователь тока, подсоединен к входу катушки. Управляющие выходы микроконтроллера  $g_1$  и  $g_2$  подсоединены к ключам  $K_1$  и  $K_2$  формирователя тока. Причем выход датчика тока подсоединен к входу переключателя, а отрицательные полюсы многоканального и автономного блоков питания постоянного тока соединены с отрицательным полюсом общей шины питания устройства. Следовательно, отрицательный полюс общей шины питания устройства электрически изолирован от местного защитного заземления. Корпуса преобразователей первичных сигналов соединены с местным защитным заземлением применения (Изобретение, полезный модель № 175583, 2017).

Устройство для определения расхода в трубопроводах больших диаметров, авторы Теплышев В.Ю., Шинельев А.А. и др.).

Сущность технического решения и результата повышение точности измерений расхода электропроводящей жидкости в трубопроводах, экономия (снижение) потребляемой устройством электроэнергии, улучшение помехоустойчивости. Благодаря указанным свойствам расширяется область применения теплосчетчика

Однако этот теплосчетчик (устройство) имеет недостаток: отсутствие возможности автономного питания (в отсутствии электрической сети); не достаточно изучено влияние напряжения тепловых шумов на выбор типа источника питания (ИП).

Наиболее близким к предлагаемому изобретению техническим решением является способ определения тепловой энергии теплоносителя для открытых водяных систем теплоснабжения, характерный тем, что через подающий и обратный трубопроводы пропускают теплоноситель. Объемный расход теплоносителя преобразуют в электрический сигнал, который согласуют, усиливают, оцифровывают и регистрируют. Затем при нормальной температуре  $20^{\circ}\text{C}$  определяют напряжение теплового шума электромагнитных расходомеров. Также определяют разность объемных расходов теплоносителя с выхода блока вычисления разности расходов. Затем подают на входы блоков вычисления массы отобранного из сети теплоносителя. Причем до определения тепловой энергии определяют размеры футеровки из фторопласта на измерительном участке электромагнитного расходомера. Определяют коэффициенты изменения линейных размеров футеровки из фторопласта, вязкости, плотности, числа Рейнольдса в зависимости от диапазона рабочих температур теплоносителя. Из суммы этих коэффициентов получают коэффициент выходного напряжения электромагнитного расходомера. Эти коэффициенты в зависимости от температуры запоминают.

Измеряют температуру теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах и определяют коэффициент выходного напряжения. Затем измеряют напряжение на выходе электромагнитного расходомера. Это напряжение делят на коэффициент выходного напряжения. Получают первоначальное напряжение и уточняют коэффициент преобразования электромагнитного расходомера, затем определяют массу отобранного из сети теплоносителя и тепловую энергию (патент РФ № 2383866, 2008. Способ определения тепловой энергии теплоносителя с прямым измерением разности расходов при компенсации температурной погрешности, авторы. Теплышев В.Ю., Бурдуниин М.Н., Варгин А.А.).

Сущность способа заключается в расширении области применения, повышении стабильности и точности при определении расхода теплоносителя с прямым измерением путем компенсации (коррекции) влияния температуры на результаты измерения (определения) тепловой энергии.

Однако этот способ имеет недостаток, совпадающий, с недостатками выбранного устройства прототипа, заявляемого изобретения.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение теплосчетчика автономным электрическим питанием в условиях эксплуатации (использовании теплосчетчика), в отсутствии электрической сети. Поставленной задачи достигают тем, что в составе теплосчетчика в качестве расходомера, выбирают ЭМР теплосчетчика АТ-Т и автономный источник питания (АИП) формируют из батарей. Определяют внутренние напряжение шумов и потерь теплосчетчика для формирования АИП с улучшением отношения сигнал/шум.

Указанный технический результат достигается тем, что, автономный теплосчетчик, содержащий первичный преобразователь расхода (ПНР), включающий трубопровод, изготовленный из немагнитного материала, магнитную систему электромагнитного расходомера с катушками и электродами Э1-Э2, кон-

тактирующими с электропроводящей жидкостью, измерительную систему включающую формирователь тока, предварительный усилитель, микроконтроллер, переключатель, аналого-цифровой преобразователь, блок памяти, дисплей, индикатор, клавиатуру, выход электродов Э1-Э2 электромагнитного расходомера через предварительный усилитель, переключатель, аналого-цифровой преобразователь, подсоединены к входу микроконтроллера, при этом микроконтроллер соединен с блоком памяти, дисплеем, клавиатурой, причем управляющие выходы g1 и g2 микроконтроллера подсоединены к формирователю тока через ключи K1, K2, управляющий выход f микроконтроллера подсоединен к переключателю, управляющий выход e микроконтроллера подсоединен к аналого-цифровому преобразователю, выход датчика тока подсоединен к входу переключателя, все управляющие выводы в точках а, ..., д подсоединены с микроконтроллером в точке г, в теплосчетчик дополнительно введены автономный источник питания, включающий две последовательно соединенных батареи, не более трех и не менее двух датчиков температуры, выход датчиков температуры через усилитель напряжения, переключатель, аналого-цифровой преобразователь подсоединен к входу микроконтроллера и его управляющий вход в точке д подсоединен к управляющему выходу микроконтроллера в точке г, управляющий выход с микроконтроллера подключен к генератору тока, положительный полюс автономного источника питания через генератор тока подсоединен к входу формирователя тока, а отрицательный полюс автономного источника питания подсоединен к отрицательному полюсу общей шины питания теплосчетчика в точке Б и электрически изолирован от местного защитного заземления в точке В, при этом выходы катушек подсоединены через формирователь тока и опорный резистор  $R_{оп}$  генератора тока к общей шине питания теплосчетчика в точке Б, а датчики температуры устанавливаются на подающем и обратном трубопроводах, причем третий датчик температуры может использоваться для измерения температуры атмосферы.

Технический результат также достигается способом реализации автономного теплосчетчика, заключающийся в том, что при нормальной температуре 20°C в режиме покоя определяют напряжение теплового шума электромагнитного расходомера, затем в рабочем режиме расход теплоносителя преобразуют в электрический сигнал разной полярности, который согласуют, усиливают в предварительном усилителе, оцифровывают, регистрируют и запоминают в блоке памяти, в нем дополнительно определяют текущее напряжение шума в режиме покоя электромагнитного расходомера, с температурой больше 20°C, при разных сопротивлении и частоты цепи электромагнитного расходомера, также в режиме покоя определяют начальное значение напряжения теплового шума в зависимости от изменения частоты, от значений активных сопротивлений для разных схем измерительной системы, от напряжения теплового шума при нормальной температуре 20°C и от температурного коэффициента шума, температуру измеряют, усиливают, оцифровывают, регистрируют в блоке памяти, затем определяют текущее значение напряжения теплового шума в зависимости от изменения частоты, т.е.  $U_{\theta, f} = K_{\theta} \cdot U_{20^{\circ}\text{C}}$ , где  $U_{20^{\circ}\text{C}}$  - напряжение теплового шума при нормальной температуре 20°C при значении активного сопротивления в цепях измерительной системы,  $K_{\theta}$  - температурный коэффициент шума, а при полном заполненном трубопроводе движущимся теплоносителем контроль рабочего режима автономного теплосчетчика, осуществляют под наблюдением оператора, также после усиления, согласованные, оцифрованные сигналы с выходов согласующего усилителя, усилителя напряжения, несущие информации об изменении расхода теплоносителя и температуры запоминают и регистрируют в блоке памяти, причем обеспечивают снижение потребления электрической энергии теплосчетчика следующим образом:

увеличивают интервал опроса расхода контролируемой жидкости;

отключают части схемы, функции которых не задействованы на текущий момент измерения расхода контролируемой жидкости, расчета, сохранения полученных результатов, отключение производится либо переводом в режим сверхнизкого энергопотребления либо отключением от энергоснабжения;

генератор тока возбуждения катушки первичного преобразователя расхода, управляемый микроконтроллером, настраивают на генерацию тока на минимальную необходимую для обеспечения измерения расхода с требуемой точностью;

согласующий усилитель, усилитель напряжения выбирают с минимальными уровнями собственных шумов, как по току, так и по напряжению;

минимизируют время, выделяемое на измерения, при этом ограничением эффективности указанного решения будет относительная медлительность сигма-дельта АЦП высокой разрядности с низким значением уровня собственных шумов, следовательно, фильтрацию сигналов с выходов согласующего усилителя выгодно производить до выполнения оцифровки, и с этим улучшают соотношение сигнал/шум не менее чем на три порядка и согласно составленному алгоритму и программе осуществляют измерение расхода жидкости, причем в рабочем режиме, в режиме холостого хода, в режиме паузы, сокращают среднее потребление тока в цепях ЭМР, что позволяет выбирать, срок службы автономного источника питания теплосчетчика таким, чтобы он перекрывал межповерочный интервал и срок службы теплосчетчика от АИП увеличивают до пяти лет или 45000 ч.

На фиг. 1 показана упрощенная блок-схема первичного преобразователя расхода (ГШР) и измерительной системы (ИС) в составе теплосчетчика.

На фиг. 2 показана зависимость изменения относительных величин в заданных значениях сопро-

тивления и частоты для обмотки ЭМР от изменения температуры.

На фиг. 3 показана зависимость изменения теплового шума резисторов при заданном значении температуры 20°C в зависимости от изменения температуры.

На фиг. 4 показана зависимость изменения коэффициента теплового шума от изменения температуры.

На фиг. 5а, фиг. 5б показан принцип компенсации дрейфа "0".

Устройство на фиг. 1 содержит: электромагнитный расходомер 1, состоящий из участка трубопровода 2, изолированного от содержащейся в нем жидкости футеровкой из диэлектрика. На измерительном участке, которого установлена магнитная система с катушками 3 и электродами 4 (контактами) Э1-Э2, расположенными ортогонально оси магнитной системы и контактирующими с электропроводящей жидкостью 5 в составе первичного преобразователя расхода (ППР) 7. Трубопровод 2 полностью заполнен электропроводящей жидкостью 5.

Теплосчетчик 21, под условным названием АТ-А, включающий измерительную систему (ИС) 20 содержащую формирователь тока 8, предварительный усилитель 9, усилитель напряжения 10, генератор тока 11, переключатель 12, автономный источник питания 13, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 14, микроконтроллер 15, блок памяти 16, индикатор 17, клавиатуру 18, интерфейс обмена данными 19.

Канал питания (подмагничивания) катушек 3 состоит из формирователя тока 8, генератора тока 11, микроконтроллера 15 и автономного источника питания 13.

Измерительный канал расхода текучих сред контролируемой жидкости состоит из ППР 7, предварительного усилителя 9, переключателя 12, АЦП 14, микроконтроллера 15 и автономного источника питания 13.

Измерительный канал температуры состоит из датчика температуры 6, генератора тока возбуждения и усилителя сигнала 10, переключателя 12, АЦП 14, микроконтроллера 15 и автономного источника питания 13. АТ-А содержит 3 измерительных канала температуры. Третий датчик температуры может использоваться для измерения температуры атмосферы.

Автономный источник питания постоянного тока 13 состоит из двух последовательно соединенных батарей обеспечивающих напряжение питания 7,2 В, и обладающих емкостью 19 Ач.

Совокупность блоков: микроконтроллера 15; блока памяти 16; индикатора 17; клавиатуры (сенсора) 18; интерфейса обмена данными 19 -выполняют функции расчета потребленных ресурсов, хранения результатов расчетов и обеспечивают обмен данными с потребителями (операторами, устройствами).

Контролируемая электропроводная жидкость 5, движущаяся через трубопровод 2, попадает в зону действия магнитного поля, создаваемого катушками 3 магнитной системой ЭМР 1 при протекании через него электрического тока. В результате чего по закону Фарадея об электромагнитной индукции, в ней индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), создающая на электродах 4 (Э1-Э2) разность потенциалов, то есть информационные сигналы  $U_{\pm}$ , пропорциональные расходу в измерительном сечении (фиг. 1).

Трубопровод 2 полностью заполнен электропроводящей жидкостью 5 и электроды Э1-Э2 4 контактируют с этой жидкостью.

Оператор подает команду с помощью клавиатуры 18 микроконтроллеру и считывает информацию с индикатора 17. Клавиатура состоит из датчика касания, функцией которого являются пролистывание меню, переход в подменю при длительном касании рукой оператора, запуск счета, сброс (обнуление) статистик отказов, перевод индикатора 17 в рабочий (активный) режим. Одиночные касания приводят к движению по ленте меню слева направо, двойные касания, в обратную сторону. Микроконтроллер 15 подсоединен (и питает) клавиатуру 18 и снимает информацию о количестве и длительности касаний.

В блоках формирователя тока 8 ключи К1, К2 являются неотделимой частью формирователя тока и находятся внутри него. Ключи К1, К2 и переключатель 12 являются бесконтактными логически управляемыми элементами.

В блоках генератора тока 11 формируется ток, необходимый для выполнения измерений расхода с заявленной точностью. В этом случае при увеличении сигнала с электродов и соответственно росте соотношения сигнал/шум, появляется возможность снижать ток без снижения точности измерений. Микроконтроллер 15 задает требуемый ток с помощью управляющего сигнала с, также с помощью управляющего сигнала с производится отключение и перевод генератора тока 11 в режим пониженного энергопотребления. В свою очередь снижение тока возбуждения позволяет экономить потребление от автономного источника питания. Также благодаря тому, что генератор тока построен по схеме преобразователя мощности с КПД более 90%, появляется дополнительная возможность снизить потребление. Например, для активной нагрузки в  $R=30$  Ом и токе в  $I=50$  мА нагрузка на АИП составит всего 11,57 мА.

Указанные свойства отсутствуют в блоке выбранного прототипа, и его принцип заключается в измерении тока возбуждения с помощью измерительного шунта  $R_{оп}$ .

В блоке памяти 16, содержится информация о потребленных ресурсах, событиях, возникших во время работы теплосчетчика (АТ-А), в режиме покоя, рабочем режиме и на стадии градуировки.

Предварительный (согласующий) усилитель 9 согласует, усиливает дифференциальную составляющую сигнала и обеспечивает на своем входе подавление синфазного (продольного) напряжения помехи. Для устранения взаимного влияния все интегральные микросхемы по питанию обеспечены кон-

денсаторами развязки. Во время оцифровки в АЦП обеспечена фильтрация сигнала. Интегратор, используемый в схеме коррекции смещения согласующего усилителя 9, позволяет повысить быстродействие измерительной схемы за счет быстрого входа на рабочий режим.

АЦП 14 предназначен для оцифровки аналоговых сигналов расхода текучих сред и температур.

Выходы электродов Э1-Э2 ЭМР 1 через предварительный усилитель 9, переключатель 12, АЦП 14, соединены с микроконтроллером 15. При этом микроконтроллер 15 соединен с блоком памяти 16, индикатором 17, клавиатурой 18, интерфейсом обмена данными 19 и общей шиной питания теплосчетчика 21 в точке Б.

Выходы катушек 3 ЭМР 1 подсоединены через формирователь тока 8, опорный резистор  $R_{оп}$  генератора тока 11 общей шины питания теплосчетчика 21 в точке Б и электрически изолирован от местного защитного заземления в точке В. Положительному полюсу АИП 13 через генератор тока подсоединен к входу формирователя тока. Отрицательный полюс АИП 13 соединен с отрицательным полюсом устройства в точке Б. Управляющие выходы  $g_1$  и  $g_2$  микроконтроллера 15 подсоединены к входу формирователя тока 8 (через ключи К1, К2). Управляющий выход  $f$  микроконтроллера 15 подсоединен к переключателю 12. Управляющий выход  $e$  микроконтроллера 15 подсоединен к АЦП 14. Отрицательный выход генератора тока 11 подсоединен к входу переключателя 12. Выход АИП соединен с предварительным усилителем 9. Управляющие цепи всех упомянутых блоков в точках а-г соединены в точке д с управляющим выходом микроконтроллера (фиг. 1).

Датчик термометры 6 монтируются на подающем и обратном трубопроводах, их выходы через предварительные усилители напряжения 10, переключатель 12, АЦП 14 подсоединены ко входу микроконтроллера 15. Управляющий вход предварительного усилителя напряжения в точке д подсоединен к управляющему выходу микроконтроллера в точке г.

Теплосчетчик (АТ-А) разработан на базе ЭМР, заявителя, для трубопроводов диаметров от 15 до 300 мм.

Предварительный усилитель 9 разработан на основе интегральной микросхемы типа AD8221 фирмы Analog Devices (США).

В устройстве в качестве усилителя и генератора тока с целью питания датчиков температуры 10, переключателя 12, аналого-цифрового преобразователя 14, микроконтроллера 15, используется интегральная микросхема типа ADuCM362 фирмы Analog Devices (США).

В устройстве используется блок памяти 16 типа SST26VF016В фирмы Microchip (США), индикатор 17 типа DOGM204 фирмы Electronic Assembly GMBH (Германия).

Формирователь тока 8 разработан на основе интегральной микросхемы типа DRV8838 фирмы Texas Instruments (США).

Генератор тока 11 разработан на основе интегральной микросхемы типа TPS54202 Texas Instruments (США). Датчик тока в составе генератора тока 11 разработан на основе токового усилителя собранного на интегральной микросхеме типа INA282 фирмы Texas Instruments (США), в качестве чувствительного элемента (токового шунта) использован прецизионный резистор ( $R=0.1$  Ом, мощностью 0.25 Вт фирмы VISHAY (США)).

Сенсорная клавиатура 18 разработана на основе интегральной микросхемы AT42QT1010 фирмы Microchip (США).

Датчики температуры 6 представляют собой покупные серийно выпускаемые термометры с чувствительными платиновыми элементами класса 3 (Россия).

Автономный источник питания 13 разработан на базе батарей типа ER34615 (Китай) и контроллера питания LTC4412 Analog Devices (США).

Все перечисленные электрорадиоэлементы известны и выпускают в отечественной и зарубежной электронной промышленности.

Функционирование устройства (фиг. 1) при определении расхода электропроводящей жидкости в трубопроводах малых диаметров (от 15 мм до 300 мм) происходит в рабочем режиме (нормальный или активный режим работы устройства) при полностью заполненном трубопроводе 2 контролируемой электропроводящей жидкостью 5. При этом режиме блоки: предварительный усилитель 9, формирователь тока 8, генератор тока 11, переключатель 12, АЦП 14, микроконтроллер 15, блок памяти 16, индикатор 17 и клавиатура 18 питаются от автономного источника питания 13. Кроме того блок памяти 16, способен сохранять информацию даже при отсутствии питания.

В устройстве под управлением микроконтроллера 15 происходит обработка информационного сигнала  $U_{\pm}$  с выходов электродов Э1-Э2 и сигнала тока катушки  $U_1$  снимаемого с опорного резистора  $R_{оп}$  генератора тока 11. Формирование тока через катушку происходит по управляющим логическим сигналам  $g_1$ ,  $g_2$  формируемым микроконтроллером (фиг. 1, табл. 1) и сигналу с формируемому микроконтроллером и управляющему генератором тока 11. Оцифровка информационного сигнала  $U_{\pm}$  и сигнала тока катушки  $U_1$  происходит по управляющим командам  $f_{1,2}$  и  $e$ , подаваемым микроконтроллером 15 соответственно на переключатель 12 и АЦП 14 согласно заранее составленному алгоритму и программе для микропроцессора (см. табл. 2). Оцифровка сигнала тока катушки  $U_1$  происходит после подачи микрокон-

троллером 15 команды  $f_1$  на переключатель 12 и команды  $e$  на АЦП. Оцифровка сигнала  $U_{\pm}$  происходит после подачи микроконтроллером 15 команды  $f_2$  на переключатель 12 и команд  $e$  на АЦП (см. табл. 2).

Таблица 1

g1	g2	Напряже- ние на $R_{оп}$ , $U_I$	Ток катушки, $I$	Усиленное напряжение на электродах, $kU_{\pm v}$	Положение ключей формирователя тока	
					K1	K2
1	0	$U_I$	$I_+$	$kU_{+v}$	Замкнут	Разомкнут
0	1	$U_I$	$I_-$	$kU_{-v}$	Разомкнут	Замкнут
0	0	0	0	$\pm U_0$	Разомкнут	Разомкнут

Таблица 2

Управляющие команды микроконтроллера		Переключатель		АЦП		Вход микро- контроллера
e	f	положение	выход	вход	выход	вход
оцифровать	$f_1$	1	$U_I$	$U_I$	$U'_I$	$U'_I$
оцифровать	$f_2$	2	$kU_{\pm}$	$kU_{\pm}$	$kU'_{\pm}$	$kU'_{\pm}$
-	$f_3 \dots$	3 ...	резервные каналы	-	-	-

При этом напряжение от автономного источника питания 13 через генератор тока 11, формирователь тока 8 поступает на вход катушек 3. Формирование тока питания разной полярности  $I_+$ ,  $I_-$  катушек в виде меандра происходит при подаче на вход формирователя тока 8 прямоугольных логических сигналов  $g1$ ,  $g2$  от микроконтроллера 15. После обеспечения питания катушек 3 и остальных блоков. Под воздействием движущейся электропроводящей жидкости 5 на электродах Э1-Э2 4 ЭМР 1 индуцируется информационный сигнал  $U_{\pm}$ , который поступает на вход предварительного усилителя 9, затем согласованный и усиленный информационный сигнал  $kU_{\pm}$  с выхода предварительного усилителя 9 через переключатель 12 поступает на вход АЦП 14. Оцифрованный информационный сигнал  $kU'_{\pm}$  с выхода АЦП 14 поступает на микроконтроллер 15.

Кроме того, сигнал с выхода датчика тока  $U_I$ , снимаемый с опорного резистора  $R_{оп}$ , поступает через переключатель 12 на вход АЦП. Оцифрованный сигнал тока катушки  $U'_I$  с выхода АЦП подается на вход микроконтроллера 15.

Задача измерения температуры сводится к определению значения сопротивления терморезисторов 6 (датчиков температуры). И на основе значения сопротивления рассчитывается температура с использованием полинома, зависящего от типа терморезистора.

Также с выходов датчиков температуры 6 аналоговый сигнал  $U_{ti}$  согласован, усилен в усилителях напряжения 10 и через переключатель 12 поступает на вход АЦП 14, после оцифровки, сигналы  $kU'_{ti}$  поступают на микроконтроллер 15 для дальнейшей обработки, согласно составленному алгоритму и программе.

Таким образом, на вход микроконтроллера 15 поступают следующие оцифрованные информационные сигналы: сигнал тока катушки  $U'_I$  снимаемый с опорного резистора  $R_{оп}$  генератора тока 11 (при любом состоянии ключей K1, K2 формирователя тока 8); усиленный, оцифрованный информационный сигнал  $kU'_{\pm}$  с выхода предварительного усилителя 9, оцифрованные, усиленные информационные сигналы  $kU'_{ti}$  с выходов усилителей напряжения 10. Эти сигналы, то есть сигнал тока катушки  $U'_I$  усиленный информационные сигналы  $kU'_{\pm}$  и  $kU'_{ti}$  несут информацию о величине расхода контролируемой жидкости.

Согласно составленному алгоритму и программе для микроконтроллера, сигнал тока катушки  $U'_I$ , усиленные информационные сигналы  $kU'_{\pm}$  и  $kU'_{ti}$  обрабатываются и преобразуются в значения расхода, плотности и тепловой мощности и запоминаются в оперативной памяти микроконтроллера 15.

Результаты измерений сохраняются в оперативной памяти микроконтроллера 15 до поступления новых измерений в следующем измерительном цикле  $T_{изм.}$  при этом старые измерения в оперативной памяти заменяются новыми. А также согласно командам микроконтроллера 15 запоминаются и сохраняются в блоке памяти 16 и при действии клавиатуры 18 выводятся на индикатор 17. Далее процесс повторяется. Ввод параметров и управление устройством осуществляется оператором при помощи клавиатуры 18 и через интерфейс обмена данными 19.

Формированные диаграммы расхода, в цепях коммутации и управления теплосчетчика, приводятся в тексте выбранного прототипа устройства.

Функционирование устройства в режиме покоя (холостого хода), отличается от рабочего тем, что устройство находится в состоянии минимального энергопотребления, при этом все функциональные не-

задействованные блоки отключены от электропитания. Эксперименты в режиме покоя можно проводить на стадии калибровки теплосчетчика. Цель проведения такого эксперимента следует из постановки задачи предполагаемого изобретения, т.е. созданы оптимального автономного теплосчетчика с АИП 13.

Известно, что суммарное значение помех создает не благоприятные условия для работы устройства. Исходя из этого на фиг. 2 приводится относительное значение теплового шума в зависимости от температуры при заданных разных значениях полосы частот и активного сопротивления обмотки 3 ЭМР 1, к начальному значению (при температуре 20°C). С помощью этой зависимости можно определить напряжение шума в цепи подмагничивания индуктора.

Для определения напряжения теплового шума на разных резисторах, например, на опорном сопротивлении генератора тока 11, на сопротивлении цепи коммутации АЦП 14 в теплосчетчике, при заданном начальном значении температуры 20°C, построена зависимость изменения напряжения теплового шума от изменения полосы частот и дискретных значениях активного сопротивления (резисторы) фиг. 3.

В диапазоне температур 30-150°C, (особенно в диапазоне 30-90°C), для определения напряжения теплового шума в отличии от напряжения теплового шума при 20°C, введено понятие температурный коэффициент шума. Это позволяет переходить от 20°C к другому значению температуры рис.4 и определять текущее значение напряжения теплового шума в цепи ЭМР 1. В табл. 3 приводится начальное значение напряжения теплового шума при температуре 20°C при разных характерных значениях полосы частот и активного сопротивления катушки ЭМР.

Таблица 3

Полоса частот	1,0Гц		10Гц		100Гц	
Сопротивление обмотки ЭМР при температуре 20°C, Ом	22	36	22	36	22	36
Напряжение шума в обмотке ЭМР при температуре 20°C, В	$5,9 \cdot 10^{-10}$	$7,6 \cdot 10^{-10}$	$1,83 \cdot 10^{-9}$	$2,39 \cdot 10^{-9}$	$5,94 \cdot 10^{-9}$	$7,6 \cdot 10^{-9}$

Принцип работы устройства основан на взаимодействии движущейся контролируемой электропроводящей жидкости 5 с магнитным полем катушек 3 и заключается в следующем: при заполненном трубопроводе 2 электропроводящей жидкостью 5 с помощью формирователя тока 8 генератор тока 77 питает знакопеременным током катушки 3 магнитной системы ЭМР 1, создающей магнитное поле в области вблизи электродов Э1-Э2 в измерительных точках, фиг. 1. При движении жидкости 5 в магнитном поле индуцируется ЭДС, наводящая на электродах Э1-Э2 4 ЭМР сигнал  $U_{\pm}$  пропорциональный расходу контролируемой жидкости в измерительном сечении и индукции магнитного поля. Сигналы  $U_{\pm}$  после согласования и усиления предварительным усилителем 9, оцифровки в АЦП 14 и обработке в микроконтроллере 15, где согласно предварительно составленному алгоритму и программе обрабатываются в измерения расхода контролируемой жидкости. В результате чего на выходе микроконтроллера 15 получают значения объемного расхода  $G$  контролируемой жидкости. При этом, под воздействием температуры контролируемой жидкости 5 изменяются сопротивления датчиков температуры 6, в результате чего на выходе усилителя напряжения 10 регистрируют сигналы пропорционально измеряемых температур.

Принцип работы датчика температуры. При прохождении контролируемой жидкости 5 через трубопровод 2 с определенной начальной температурой, происходит изменение сопротивления датчика температуры 6 от начального значения  $R_n$ . Благодаря прохождению через датчик температуры тока возбуждения действует, согласно по закону Ома. На нем возникает напряжение равное произведению величин текущего сопротивления датчика в зависимости температуры и тока возбуждения (пытаны).

С целью защиты электродов Э1, Э2 от электролитической поляризации, катушки 3 ЭМР, питают знакопеременным сигналом, прямоугольной формы (импульсное питание).

Для обеспечения энергосбережения и автономного питания теплосчетчика снижают общее энергопотребление путем снижения тока возбуждения катушек ЭМР. Ток выбирается исходя из принципа достаточности, т.е. силы тока должно хватить для проведения измерения расхода с заявленной погрешностью в заявленном динамическом диапазоне расходов и не более. Увеличивают период цикла  $T_{изм}$ , снижают время нахождения схемы, в активном режиме.

Основными потребителями энергии являются ЭМР, микроконтроллер в активном режиме, усилители, дисплей (в основном его подсветка) и интерфейс связи 19. Для снижения потребления интерфейс связи обеспечивается питанием от внешних устройств и не активен при отсутствии внешнего питания. Ток в катушки ЭМР подается по времени ровно столько, сколько требуется для завершения переходного процесса и выполнения измерений силы тока и разностного напряжения на измерительных электродах. Для адаптации к изменяющимся условиям - оценка длительности переходного процесса проводится постоян-

но с момента подачи тока на катушки и до выхода тока в насыщение. Усилители 9, 10 обеспечиваются питанием исключительно на время выполнения измерений, также ток на датчики температуры подается только на время измерения температур, с учетом необходимости выдержать переходный процесс.

Основная погрешность при измерении расхода кроется в дрейфе постоянной составляющей напряжения снятого с электродов 4 (фиг. 1) и усиленного усилителем 9:  $kU_+$  снятого при положительной полярности тока возбуждения;  $kU_-$  снятого при отрицательной полярности. В результате получаем сигнал  $U=kU_{\pm}+\Delta$ , где  $kU_{\pm}$  усиленный разностный сигнал, равный  $K(U_+-U_-)=\Delta$ , где  $\Delta$  складывается из дрейфа смещения усилителя 9 между измерениями  $U_+$  и  $U_-$ , и шума. Так как дрейф смещения связан с фликер шумом, то существенно сократить его можно путем снижения интервала времени между измерениями  $U_+$  и  $U_-$ , в идеале измерения  $U_+$  и  $U_-$  необходимо проводить одновременно, (что физически невозможно) поэтому следует проводить измерения последовательно с минимальными задержками. В силу индуктивного характера сопротивления магнитной системы ток устанавливается в ней не мгновенно. Соответственно стоит рассмотреть способ компенсации, который способствует снижению дрейфа рабочей точки усилителя 9. Для чего следует провести серию измерений вида  $U_{+1}, U_-, U_{+2}$  либо  $U_{-1}, U_+, U_{-2}$  и затем рассчитать среднее значение крайних измерений, которое использовать в расчете объемного расхода. В приведенном выше методе берется предположение, что дрейф рабочей точки усилителя на коротком интервале времени описывается линейным уравнением. Даже в случае отклонения от линейности - получим ошибку явно меньшую, чем при использовании серии из двух измерений. Фиг. 5а и фиг. 5б демонстрируют вышеописанный способ,  $e$  - ошибка измерения разностного напряжения  $U_+ - U_-$ , вызванная дрейфом смещения усилителя 9, при выполнении серии измерений  $U_+, U_-$ ,  $e'$  - ошибка после использования вышеописанного способа. Следует отметить, что описанный метод компенсации возникавшегося дрейфа рабочей точки усилителя позволяет проводить измерения не дожидаясь полного завершения переходного процесса напряжения на выходе усилителя 9, после подачи на него питания. Что выгодно отличает АТ-А от выбранного прототипа. Так как существенно снижается время нахождения усилителя в активном режиме, что дает дополнительную экономию энергии, расходуемой от АИП 13 (согласно документации на микросхему усилителя 9, время установления смещения после подачи питания составляет  $\sim 7$  с), а также позволяет снизить систематическую погрешность измерения. Далее аналогичные действия повторяются в каждом новом  $T_{изм}$  цикле.

Способ реализации теплосчетчика с автономным источником питания 13 осуществляют, с учетом того, что задачей АТ-А (теплосчетчика) является измерение значений объемного расхода и температур контролируемой жидкости в трубопроводах малых диаметров. Систем отопления, горячего (ГВС) и холодного (ХВС) водоснабжения и по уравнениям, приведенным в МИ 2714 расчете потребленного тепла.

Этап 1. В режиме отсутствия расхода теплоносителя на поверочной установке (нулевом значении расхода поверочной среды, т.е. режиме покоя) фиг. 1, определяют внутренние источники шумов. Шумы, возникающие в результате случайных флуктуаций внутри теплосчетчика, таких как тепловой и дробовой шум.

Для решения поставленной задачи, наиболее интерес представляет, изучение теплового шума. Мощность теплового шума равномерно распределяется по частоте и имеет бесконечно много частотных составляющих. Его мгновенное значение можно определить лишь при вероятностном анализе. Среднее значение теплового шума равно нулю, а эффективное значение определяют из уравнения  $U_{\theta} = \sqrt{4k\theta RB}$ , где  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  - постоянная Больцмана, Дж/К;  $\theta$ -абсолютная температура, К;  $B$  - полоса пропускания шумов, Гц;  $R$  - сопротивление, Ом.

Изменения относительного значения напряжения теплового шума в цепи катушки 3 ЭМР 1, (фиг. 1) при заданных характерных значениях полосы частот и разных активных сопротивлений обмотки этой

цепи, показана на фиг. 2 и табл. 3. На фиг. 2 относительное напряжение теплового шума равно  $U'_{\theta} = \frac{U_m}{U_{n,20^{\circ}C}}$ , где  $U$  с индексом  $m$  - текущее,  $n$  - начальное значения напряжений теплового шума.

Как следует из графика, изменение частоты от 1 Гц до 100 Гц и активного сопротивления обмотки 22 Ом и 36 Ом, напряжение теплового шума в обмотке ЭМР изменяется незначительно. При начальной температуре 20°C напряжения теплового шума указаны в таблице 3. Например, согласно фиг. 2 и табл. 3 при заданном значении температуры 30°C, начальной температуре 20°C, сопротивлении обмотки 36 Ом и полосе частот 1 Гц напряжение теплового шума в катушке будет  $1,02 \cdot 7,610^{-10} = 7,75210^{-10}$  В.

Затем в режиме покоя ИС 20, определяют напряжение теплового шума в информационном канале НИР 7 содержащем катушки 3 ЭМР 1 при температуре 20°C, частоты и активного сопротивления катушки ЭМР. При этих же условиях, в широком диапазоне температуры (больше или меньше от 20°C), определяют текущее значение напряжения теплового шума ЭМР в зависимости изменения температуры как:  $U_m = U'_{\theta} \cdot U_{n,20^{\circ}C}$  где  $U'_{\theta}$  - относительный напряжение теплового шума в ЭМР фиг. 2;  $U_{n,20^{\circ}C}$  - напряжение теплового шума в ЭМР при температуре 20°C полосе частот 1, 10, 100 Гц и активном сопротивлении 22, 36 Ом, согласно табл. 3.

Таким способом дополнительно определяют текущие напряжения теплового шума обмотки ЭМР, при разных сопротивлениях и полосы частот.

Этап 2. Также в режиме покоя определяют напряжения теплового шума на активных сопротивлениях в разных цепях ИС 20, например, резисторах генераторов тока 11, на входных и выходных резисторах предварительного согласующего усилителя 9, микроконтроллера 15 и т.п. При нормальной (начальной) температуре 20°C, дискретных значениях активных сопротивлений (от 10 Ом до 1 МОм), на фиг. 3 показана зависимость изменения напряжения теплового шума от полосы частот. Для определения напряжения шума на резисторах при разных заданных значениях температур (больше 20°C), определяют (вводят понятие) температурный коэффициент шумов, позволяющий переходить от одного начального значения температуры к другому начальному значению температуры фиг. 4. На этой фигуре показана зависимость изменения температурного коэффициента шума от изменения текущего значения темпера-

туры 
$$K_{\theta} = \frac{\sqrt{\theta_m}}{\sqrt{\theta_{20^{\circ}\text{C}}}} = \frac{17,97}{17,12} = 1,05$$
, где  $\theta_m$  - текущее значение температуры;  $\theta_{20^{\circ}\text{C}}$  - температура при 20°C. Например, согласно фиг. 3 при начальной температуре 20°C, полосе частот 100 Гц, сопротивлению 100 Ом, напряжение теплового шума на этом резисторе равно 0,01 мкВ. В этих условиях при заданной температуре, например, 50°C, напряжение теплового шума на этом резисторе 100 Ом равно  $0,01 \cdot 1,05 = 0,105$  мкВ.

Согласно фиг. 3 табл. 3 при заданных дискретных значениях активного сопротивления в разных схемах ИС (10 Ом, 40 Ом, 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм), напряжения теплового шума, при нормальной температуре 20°C и температурном коэффициенте шума (от 1, до 1,25) могут быть разные фиг. 4. Затем определяют текущее значение напряжения теплового шума в зависимости от изменения полосы частот (от 1 Гц до 1 МГц), т.е.  $U_{\theta, f} = K \cdot U_{20^{\circ}\text{C}}$ , где  $U_{20^{\circ}\text{C}}$  - напряжение теплового шума при нормальной температуре 20°C и при дискретных значениях активного сопротивления в цепях ИС 20 в зависимости от изменения полосы частот (табл. 3 фиг. 3).

Этап 3. В рабочем режиме работы теплосчетчика 21 (в условиях эксплуатации). Теплосчетчик питают от АИЛ 13, собранного из двух батарей типа ER34615. АИЛ 13 имеет малое внутренне сопротивление. Следовательно, через это сопротивление могут образоваться паразитные связи. Например, между согласующим усилителем 9, генератором тока 11, формирователем тока 8 и т.п. В данном случае обеспечивают нормальные условия эксплуатации теплосчетчика тем, что все выбранные блоки в устройстве имеют цепи развязки для защиты от проникновения внешних электромагнитных и синфазных помех в информационных и управляющих цепях, а также по цепям питания. По опыту эксплуатации теплосчетчиков установлено, что падение постоянного напряжения в цепи развязки, не является недостатком, поскольку на входе первый каскад микросхем работает с сигналами малого уровня и для него не требуется большого напряжения питания.

Этап 4. Наиболее рациональный способ создания магнитного поля (возбуждения) индуктора ППР 7, знакопеременный сигнал с прямоугольной формой меандра с положительной и отрицательной полуволной (длительностью одного меандра 60 мс), с интервалом паузы (сна длительностью 10-30 с) между меандрами. Сигнал разной полярности формируют под командой микроконтроллера 15 при действии управляющих сигналов e, f, g1, g2, с, поступающий к генератору тока 11, формирователю тока 8, переключателю 12, АЦП 14 и питанию генератора тока с АИП 13 фиг. 1, табл. 1, 2. При полностью заполненном трубопроводе, движущимся теплоносителем, контроль работы автономного теплосчетчика 21 осуществляется оператором, по команде управляющего сигнала ж микроконтроллера 15. Согласующий усилитель 9, усилитель напряжения 10 выбирают с минимальными уровнями шумов, как по току, так и по напряжению. Ограничением эффективности указанного решения будет относительная медлительность дельта-сигма АЦП высокой разрядности с низким значением уровня собственных шумов. Следовательно, до выполнения оцифровки, выгодно фильтровать сигналов с выходов согласующих усилителей 9 и усилителя напряжения 10. Что в последствие улучшает соотношение сигнал/шум. Согласно составленной алгоритму и программ осуществляют измерения расхода текущих сред (жидкости) и запоминают в блоке памяти 16.

Этап 5. На индикаторе 17 отображают информацию о состоянии работы теплосчетчика. Информацию о величине температуры, расхода контролируемой жидкости и т.д., получают на индикаторе 17, перелистывая меню теплосчетчика с помощью клавиатуры 18.

Этап 6. Задают длительность измерительного цикла равной 30 с в случае питания от АИП 13 и одной секунде в случае питания от внешнего источника, ток возбуждения катушки 3 индуктора ППР 13  $I_0 = 50$  мА. Динамический диапазон измерения расхода  $R_0 = 1:400$ .

Ограничение динамического диапазона измерения расхода связывают по уровням собственных шумов электронной схемы фиг. 3 и первичного преобразователя расхода фиг. 2, 4 и табл. 3. Очевидно, во сколько раз будет снижен ток возбуждения I индуктора, во столько раз будет снижен и динамический диапазон, при условии, что параметры электрической схемы и алгоритма обработки останутся неизменными.

Этап 7. Питание теплосчетчика может осуществляться от встроенного источника питания 13 (напряжением 7,2 В) и внешнего источника постоянного напряжения (от 18 до 36 В). Встроенный источник питания 13 представляет собой два гальванических элемента 1,2, соединенных последовательно, емкостью 19 Ач каждый фиг. 1. При отсутствии внешнего питания, теплосчетчик работает исключительно от

встроенного источника питания 13, при этом режим работы перестраивается для обеспечения низкого потребления электрической энергии.

Снижение потребления электрической энергии теплосчетчика обеспечивают следующим образом:  
увеличивают период опроса расхода контролируемой жидкости;

отключают части схемы, функции которых не задействованы на текущий момент измерения расхода контролируемой жидкости;

для сокращения потребляемой мощности в автономном источнике питания 13 выбирают пониженный ток возбуждения катушки 3 ППР 7, чем ниже ток, тем меньше потребляемая мощность, выбирают минимальное напряжение питания теплосчетчика 3,3 В;

во время между измерениями обеспечивают низкий уровень потребления электрической энергии всех блоков в теплосчетчике.

С учетом вышеуказанных фактов определяют величины тока потребления в блоках теплосчетчика.

В табл. 4 приводятся характерные номинальные величины токов потребления составных блоков теплосчетчика в двух режимах.

Таблица 4

№ блоков фиг.1	Активный режим	Режим паузы
7	10..60 мА (35 Ом)	0
9	ИУ - 800 мкА (6,6 В) ОУ - 22 мкА (6,6 В) вспом. схемы 5 мкА	1 мкА
11	45 мкА (7,2В КПД 90 %) УТ - 550 мкА (3,3 В)	1,5 мкА (7,2В)
13	11 мкА (7,2В) 205 мкА (7,2В КПД 90 %)	11 мкА (7,2В) 11 мкА (7,2В)
15	Контроллер - 5,5мА (3,3В) RTC - 0,29мкА (3,3 В) Логика - 500 мкА (3,3 В)	4 мкА 0,29мкА (3,3 В) 2 мкА (3,3 В)
16	EEPROM - 1мкА (3,3 В) Flash - 15мА (3,3 В) во время чтения	1мкА (3,3 В) 15мкА (3,3 В)
17	0 мкА (дисплей отключен)	0 мкА= (дисплей отключен)
18	10 мкА (3,3 В)	10 мкА (3,3 В)
19	Не запитан от АИП 13	0

Определяют длительность рабочего режима:

$$T_{ac} = T_{on} + T_{p0} + T_{p1} + T_{p2} + 20 + T_{cs} + T_{g0} + 2 \cdot T_{cs} + T_{g1} + T_{cs} + T_{g2} + T_{cs} + T_{tt} =$$

$$40 + 80 + 80 + 80 + 20 + 7 + 60 + 14 + 60 + 7 + 60 + 7 + 100 = 615 \text{ мс}$$

где  $T_{on}$  - время выхода аналоговой части на рабочий режим после подачи питания;

$T_{p0}, \dots, T_{p2}$  - длительность измерения каналов температуры;

$T_{cs}$  - время установления тока в индукторе ЭМП;

$T_{g0}, \dots, T_{g2}$  - длительность измерения разницы потенциалов на электродах Э1, Э2;

$T_{tt}$  - длительность проведения тестов состояния трубы (замыкание электродов, пустая труба).

Задают средний период опроса 30 с. (Алгоритм расчета периода опроса настроен на так, чтобы по завершению переходных процессов установления расхода, период опроса выходил на 30 с).

Определяют среднее потребление тока от автономного источника питания 13:

в режиме паузы;

$$I_p = I_{p11_1} + I_{p13} + \frac{(I_{p11_2} + I_{p15} + I_{p16} + I_{p18}) \cdot 3,3}{U_{in} \cdot \eta}$$

где  $U_{in}$  - напряжение встроенного автономного источника питания (7,2 В);

$\eta$  - коэффициент полезного действия генератора тока 11 (КПД 90%);

$U_{a9}$  - напряжение питания блока 9 (В);

$I_{p9} \dots I_{p18}$  - ток потребляемый блоками в активном режиме паузы (мкА);

$$I_p = 11 + 1,5 + 4,6 + 11 + 1 + (4 + 1 + 0,29 + 15 + 2 + 0,005 + 10) \cdot 3,3 / 7,2 / 0,9 = 45,55 \text{ мкА}$$

в рабочем режиме, с учетом активного сопротивления индуктора ЭМП=34 Ом и тока возбуждения 50 мА;

$$I_{ac} = \frac{I_g^2 \cdot R}{U_{in} \cdot \eta} \cdot \frac{T_{g0} + T_{g1} + T_{g2} + \frac{3}{2} \cdot T_{cs}}{T_{ac}} + \frac{I_{a9} \cdot U_{a9}}{U_{in} \cdot \eta} + I_{a11_1} + I_{a13}$$

$$+ \frac{(I_{a11_2} + I_{a15} + I_{a16} + I_{a18}) \cdot 3,3}{U_{in} \cdot \eta}$$

где  $I_g$  - ток индуктора ЭМП (50 мА);

R - активное сопротивление ЭМР (34 Ома);

U<sub>in</sub> - напряжение встроенного автономного источника питания (7,2 В); η - коэффициент полезного действия генератора тока I1 (КПД 90%);

U<sub>a9</sub> - напряжение питания блока 9 (В);

I<sub>a9</sub> ... I<sub>a18</sub> - ток потребляемый блоками в активном режиме (мкА);

$$I_{ac} = \frac{50000 \cdot 0,050 \cdot 34}{7,2 \cdot 0,9} \cdot \frac{190,5}{615} + \frac{(800 + 22 + 5) \cdot 6,6}{7,2 \cdot 0,9} + 11 + 205$$

$$+ \frac{(550 + 5 + 5500 + 1 + 0,29 + 15 + 500 + 40 + 10) \cdot 3,3}{7,2 \cdot 0,9}$$

$$= 4063 + 842 + 216 + 3372 = 8493 \text{ мкА}$$

- общее среднее потребление тока теплосчетчика;

$$I = (8493 \cdot 615 + 45,55 \cdot (30000 - 615)) / 30000 = 219 \text{ мкА.}$$

Средний ток потребления, при котором теплосчетчик способен проработать на встроенном источнике, 19 Ач с коэффициентом использования батареи 0,7 в течении 4 лет равен 380 мкА, сравним полученный результат с расчетным средним током 219 < 380 мкА, что говорит о корректном выборе источника автономного питания по критерию запаса энергии. Расчетное время работы теплосчетчика должно составить 0,7 · 19000 / 0,219 = 60730 ч или 6,9 года. Время работы теплосчетчика от встроенного автономного источника питания гарантированно перекрывает межповерочный интервал 4 года.

Таким образом, совокупные действия отличительных признаков устройства и способа дают новые технические решения, обеспечивающие автономное электрическое питание теплосчетчика, в составе объекта удаленного от промышленной электрической сети, это выгодно отличает АТ-А от выбранного аналога и прототипа, т.к. обеспечивается автономное питание устройства в течении не менее одного межповерочного интервала. И, благодаря этим полезным свойствам расширяется область применения предложенного изобретения (автономного теплосчетчика). Указанные новые свойства изобретения выгодно отличаются от выбранного аналога и прототипа, что обуславливает, по мнению заявителя, соответствие изобретения критерию "изобретательский уровень". Для реализации изобретения использованы известные материалы в области радиоэлектроники и радиотехнической промышленности. И созданы доступные алгоритмы с программным обеспечением распределении электроэнергии. Для определения расхода в текущих электропроводящих жидкостях с высокой точностью (относительная погрешность не более 2%) в трубопроводах малых диаметров. Это обстоятельство, по мнению заявителя, позволяет сделать вывод о соответствии изобретения критерию "промышленная применимость".

Оценка метрологических характеристик теплосчетчика с автономным электрическим питанием, проведена экспериментально на проливной установке STEP-MT-50/070-20 (52448-13).

Эксперимент был проведен на макетных образцах теплосчетчика с автономным электрическим питанием АТ-А, предназначенного для измерения и коммерческого учета объемного и массового расхода, объема и массы электропроводящей жидкости в трубопроводах малых диаметров, а также для использования в автоматизированных системах учета, контроля и регулирования количества тепла. В эксперименте была определена относительная погрешность измерения расхода 8G и эта величина не превышает 2%, что соответствует требованиям "Методики осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя", утвержденной приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 марта 2014 г. № 99/ПР.

Теплосчетчик с автономным питанием на батареях позволяет выводить на алфавитно-цифровой индикатор:

текущее значение объёмного расхода по каждому трубопроводу, где установлены ЭМР, м<sup>3</sup>/ч;

текущее значение массового расхода по каждому трубопроводу, где установлены ЭМР и датчик температуры, т/ч;

объём нарастающим итогом по каждому трубопроводу, где установлены ЭМР, м<sup>3</sup>;

масса нарастающим итогом, по каждому трубопроводу, где установлены ЭМР и датчик температуры, т;

текущее значение температуры среды по каждому трубопроводу, где установлен датчик температуры, °С;

текущее значение давления среды в трубопроводах по каждому трубопроводу, где установлены датчики давления, кгс/см и МПа;

текущие значения температуры окружающего воздуха (при комплектации устройства соответствующими датчиками), °С;

время наработки, ч;

текущие значения даты и времени;

информация о модификации устройства, его параметрах настройки и состояния.

Информация, указанная выше, может передаваться в цифровом виде по интерфейсу RS-485 на персональный компьютер и/или в автоматизированные системы учета, контроля и регулирования количеств-

ва тепла.

Теплосчетчик АТ-А обеспечивает архивирование в энергонезависимой памяти, снабжение электроэнергией, почасового, посуточного, помесячного, по годового значений тепловой энергии. Массы и объема контролируемой жидкости, значений измеренных параметров жидкости (расхода, температуры), времени наработки, и т.д.

Глубина архива составляет не менее:

- почасового - 60 дней;
- посуточного - 12 мес;
- помесячного - 6 лет;
- по годового - 48 лет;
- событий - 4352 записи;
- служебный журнал - 383 записи.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Автономный теплосчетчик, содержащий первичный преобразователь расхода (ППР), включающий трубопровод, изготовленный из немагнитного материала, магнитную систему электромагнитного расходомера с катушками и электродами Э1-Э2, контактирующими с электропроводящей жидкостью, измерительную систему содержащую формирователь тока, предварительный усилитель, микроконтроллер, переключатель, аналого-цифровой преобразователь, блок памяти, дисплей, индикатор, клавиатуру, выход электродов Э1-Э2 электромагнитного расходомера через предварительный усилитель, переключатель, аналого-цифровой преобразователь, подсоединены к входу микроконтроллера, при этом микроконтроллер соединен с блоком памяти, дисплеем, клавиатурой, причем управляющие выходы g1 и g2 микроконтроллера подсоединены к формирователю тока через ключи K1, K2, управляющий выход f микроконтроллера подсоединен к переключателю, управляющий выход e микроконтроллера подсоединен к аналого-цифровому преобразователю, выход датчика тока подсоединен к входу переключателя, все управляющие выводы в точках а, ..., д подсоединены с микроконтроллером в точке г, отличающийся тем, что дополнительно содержит автономный источник питания, содержащий две последовательно соединенных батареи, не более трех и не менее двух датчиков температуры, выход датчиков температуры через усилитель напряжения, переключатель, аналого-цифровой преобразователь подсоединен к входу микроконтроллера и его управляющий вход в точке д подсоединен к управляющему выходу микроконтроллера в точке г, управляющий выход с микроконтроллера подключен к генератору тока, положительный полюс автономного источника питания через генератор тока подсоединен к входу формирователя тока, а отрицательный полюс автономного источника питания подсоединен к отрицательному полюсу общей шины питания теплосчетчика в точке Б и электрически изолирован от местного защитного заземления в точке В, при этом выходы катушек подсоединены через формирователь тока и опорный резистор Rop генератора тока к общей шине питания теплосчетчика в точке Б, а датчики температуры установлены на подающем и обратном трубопроводах, причем третий датчик температуры используется для измерения температуры атмосферы.

2. Способ работы автономного теплосчетчика по п.1, заключающийся в том, что при нормальной температуре 20°C в режиме покоя определяют напряжение теплового шума электромагнитного расходомера, затем в рабочем режиме расход теплоносителя преобразуют в электрический сигнал разной полярности, который согласуют, усиливают в предварительном усилителе, оцифровывают, регистрируют и запоминают в блоке памяти, отличающийся тем, что дополнительно определяют текущее напряжение шума в режиме покоя электромагнитного расходомера, с температурой больше 20°C, при разных сопротивлениях и частоты цепи электромагнитного расходомера, также в режиме покоя определяют начальное значение напряжения теплового шума в зависимости от изменения частоты, от значений активных сопротивлений для разных схем измерительной системы, от напряжения теплового шума при нормальной температуре 20°C и от температурного коэффициента шума, температуру измеряют, усиливают, оцифровывают, регистрируют в блоке памяти, затем определяют текущее значение напряжения теплового шума в зависимости от изменения частоты, т.е.  $U_{\theta, f} = K_{\theta} \cdot U_{20^{\circ}\text{C}}$ , где  $U_{20^{\circ}\text{C}}$  - напряжение теплового шума при нормальной температуре 20°C при значении активного сопротивления в цепях измерительной системы,  $K_{\theta}$  - температурный коэффициент шума, а при полном заполненном трубопроводе движущимся теплоносителем контроль рабочего режима автономного теплосчетчика осуществляют под наблюдением оператора, также после усиления согласованные оцифрованные сигналы с выходов согласующего усилителя, усилителя напряжения, несущие информации об изменении расхода теплоносителя и температуры запоминают и регистрируют в блоке памяти, причем обеспечивают снижение потребления электрической энергии теплосчетчика следующим образом:

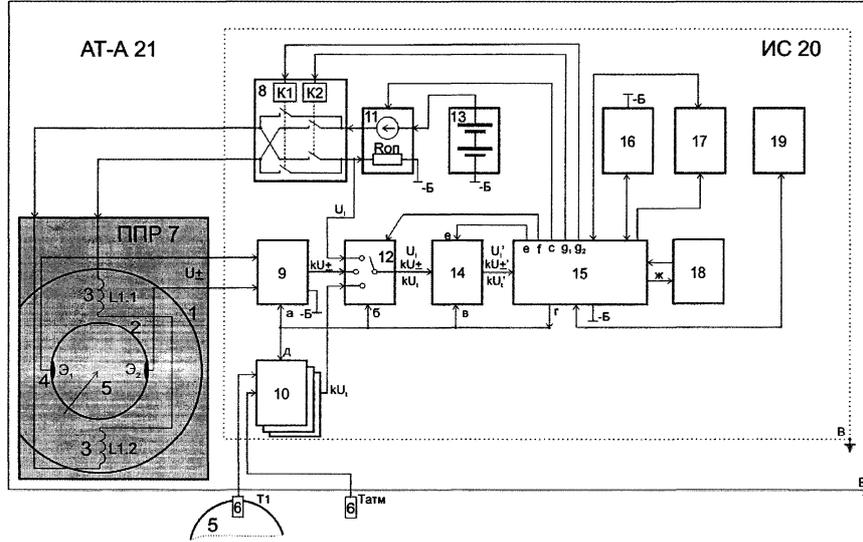
увеличивают интервал опроса расхода контролируемой жидкости;

отключают части схемы, функции которых не задействованы на текущий момент измерения расхода контролируемой жидкости, расчета, сохранения полученных результатов, отключение производится либо переводом в режим сверхнизкого энергопотребления, либо отключением от энергоснабжения;

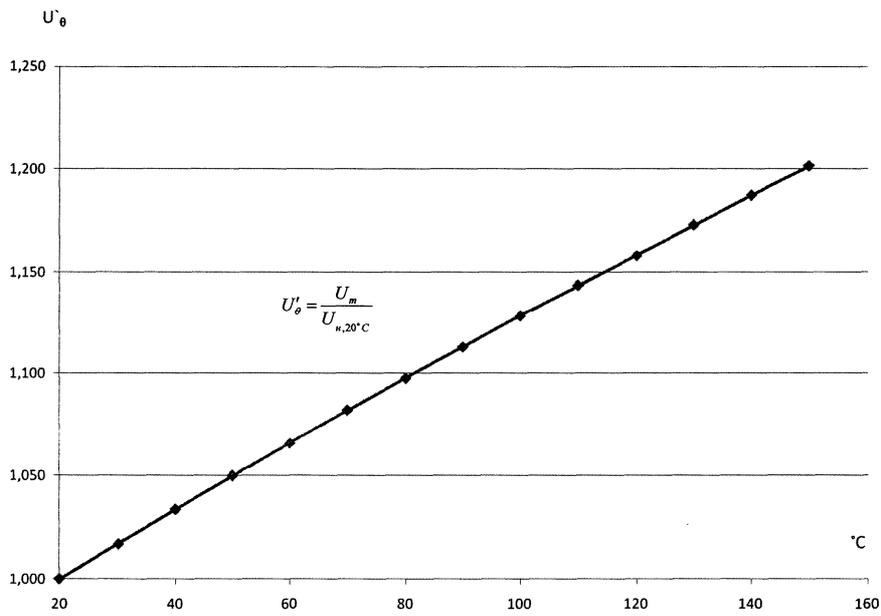
генератор тока возбуждения катушки первичного преобразователя расхода, управляемый микроконтроллером, настраивают на генерацию тока на минимальную необходимую для обеспечения измерения расхода с требуемой точностью;

согласующий усилитель, усилитель напряжения выбирают с минимальными уровнями собственных шумов, как по току, так и по напряжению;

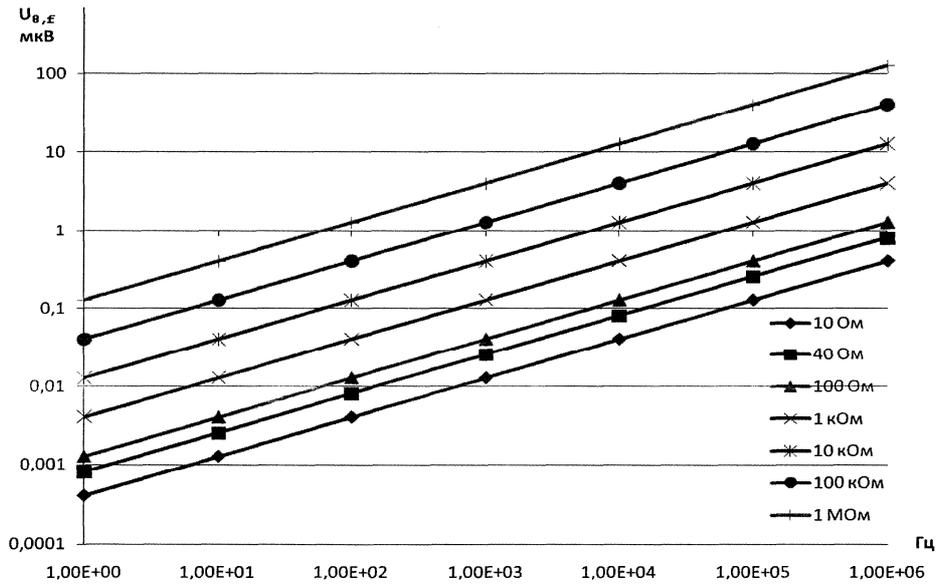
минимизируют время, выделяемое на измерения.



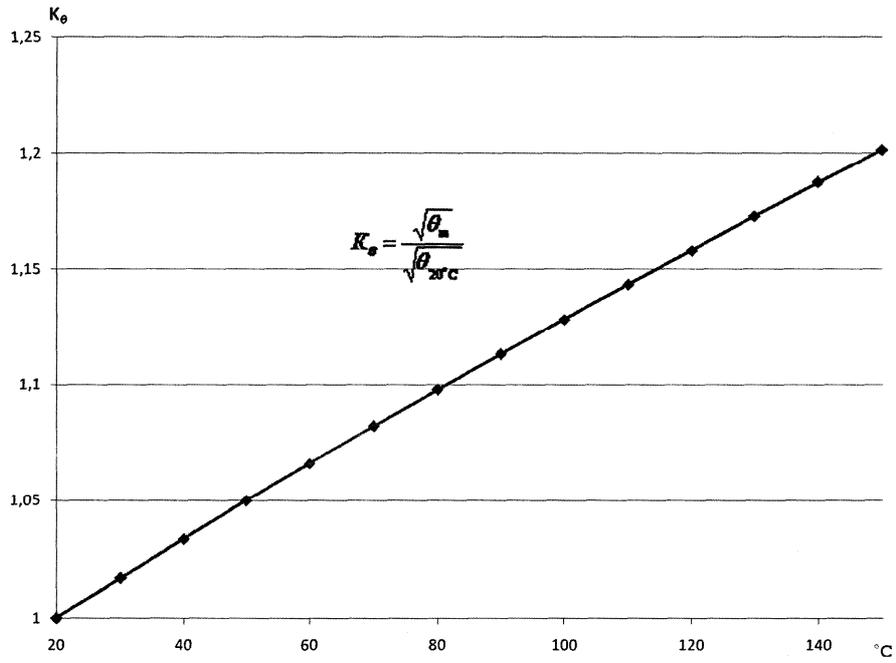
Фиг. 1



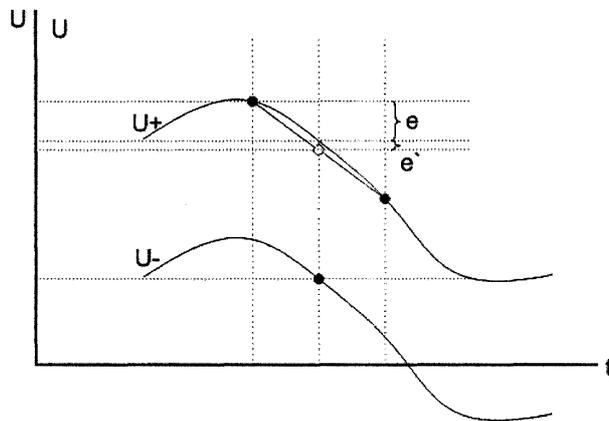
Фиг. 2



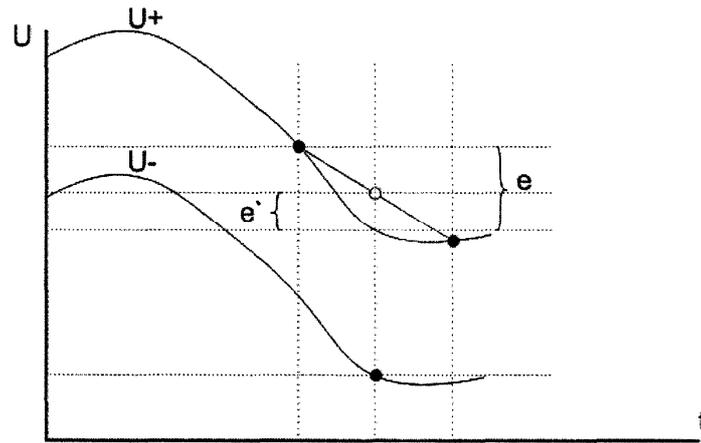
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5а



Фиг. 5б

