

МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ КООРДИНАЦИОННАЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ КОМИССИЯ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (МКВК)  
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР МКВК (НИЦ МКВК)

Водомерные устройства для напорных трубопроводов  
и открытых каналов  
(обзор)

Обзор подготовил  
специалист НИЦ МКВК

Р.Масумов

Ташкент - 2020 г.

## Новые технологии и возможности измерения расхода в различных отраслях экономики



В связи с ростом численности населения, стремительно стали расти площади столичных, областных и районных городов. В последние годы в связи массового переселения жителей сельских районов в города, рост численности населения привело к тому, что старые системы водоснабжения и канализации не были в состоянии обеспечить нормальную работу этих систем. Особенно это проявилось, когда началось массовое строительство новостроек в зоне обжитых благоустроенных районов городов с существующей инфраструктурой. Старые системы водоснабжения не были в состоянии обеспечить новые массивы новостроек чистой водой, а система отвода сточных вод особенно при проливных ливнях, заполнялись и выбрасывала нечистоты на поверхность, ввиду ограниченной пропускной способности. Такое положение дел потребовало реконструкции, или проектирование новых систем водоснабжения и канализации.

На сегодняшний день промышленность СНГ и зарубежных стран освоило выпуск современных устройств как для подачи чистой воды, так и для отвода грязных сточных вод. В том и другом случае очень важным является учет всех видов вод. В нижеприведенном обзоре собрана выборка современных средств учета чистой воды, а также подборка расходомеров для сточных вод, которые будут необходимы при реконструкции и проектировании новых систем.

Ниже приведен перечень водомерных систем выпуск которых освоен на российском пространстве.

### 1. Накладные ультразвуковые расходомеры

В последнее время российский рынок постепенно начали завоевывать накладные ультразвуковые расходомеры, которые обладают одним неоспоримым достоинством – они позволяют производить измерения без врезки в трубопровод. Еще лет 15–20 назад, на заре становления накладной ультразвуковой расходомерии, первые приборы оставляли желать лучшего по таким параметрам, как качество измерений, точность, возможность работать в жестких условиях эксплуатации. В итоге это негативно сказалось на репутации накладных расходомеров, и понадобилось время, чтобы вновь убедить покупателей в том, что прогресс не стоит на месте и современные накладные расходомеры на равных могут конкурировать с врезными.

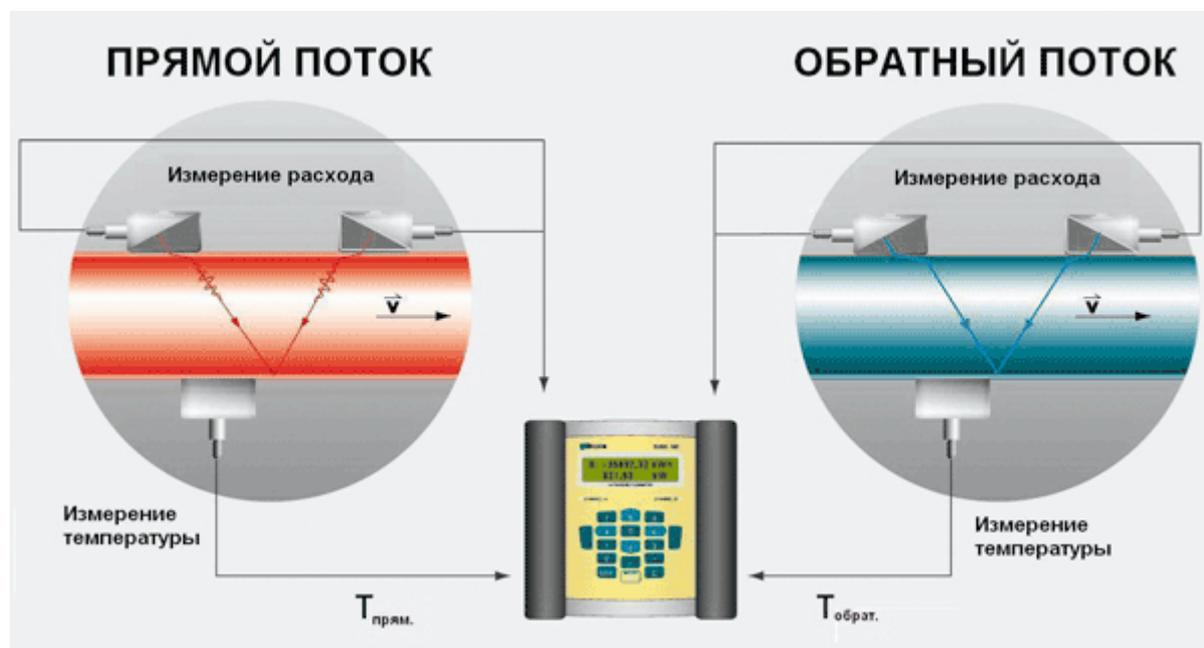
Накладные ультразвуковые расходомеры FLUXUS, выпускаемые немецкой компанией FLEXIM, способны измерять потоки жидкостей и газов в условиях, в которых приборы, использующие другие методы измерения, не справятся с задачей. Они измеряют расход

малых потоков в трубах большого диаметра, выдерживают жесткие условия эксплуатации и обладают другими преимуществами. ЗАО «Теккноу» представляет в России компанию FLEXIM (Германия), производителя накладных ультразвуковых расходомеров жидкости и газа FLUXUS ADM. Обширная научная база, более чем двадцатилетний опыт работы и узкая специализация позволили немецкой компании вывести расходомеры FLUXUS ADM в лидеры среди приборов своего класса. Тяжелые условия эксплуатации больше не составляют проблем для накладных расходомеров, и благодаря ряду новаторских идей FLUXUS ADM измеряют там, где другие приборы пасуют. Поскольку тарифы на оплату потребляемой энергии постоянно растут, сокращение потребления энергии – важная задача для владельцев зданий, а также для арендаторов. Спрос на оптимизацию энергии, управление энергией и измерение энергии в настоящее время становится все актуальнее. Несколько лет назад в центре медиахолдинга «Тайм Уорнер», одном из небоскребов нью-йоркского Манхэттена (США), потребовалось установить устройства, позволяющие эффективно оценивать работу системы охлаждения и вентиляции для оплаты выставляемых счетов. На основе жесткого конкурса управляющая компания выбрала ультразвуковые расходомеры с накладными датчиками компании FLEXIM. Главным критерием выбора, убедившим инженеров и руководство, стала способность данных устройств измерять расход малых потоков с одновременной точностью температурного измерения, причем без прерывания налаженного процесса, так как остановка любой из составляющих системы энергоснабжения для такого здания достаточно долгий и затратный процесс. Диаметр труб системы охлаждения всегда рассчитан с запасом для максимального потока, но во время непикового потребления (ночью, в выходные и т. д.) в трубах наблюдается меньшее количество водных потоков. Расход воды и, таким образом, энергии достаточно мал, и иногда приборы его не обнаруживают. Если не учитывать этого незначительного ежедневного расхода энергии, за год он приведет к достаточно большим потерям. Расходомеры FLUXUS® Energy от FLEXIM оказались идеальным выбором: ультразвуковые накладные датчики имеют высокий запас прочности и способны к измерению очень малых потоков. Кроме того, приборы показали точное и надежное температурное измерение без нулевого дрейфа. Износ и поломка не оборачиваются неразрешимой проблемой, так как датчики потока просто прижаты к внешней стороне трубы и не контактируют с измеряемой средой. В «Тайм Уорнер Центре» были установлены двадцать восемь таких расходомеров для физического управления процессом подачи тепловой энергии и охлаждения. Каждый прибор включал один комплект датчиков потока и два калиброванных относительно друг друга датчика температуры. Впоследствии были установлены еще 50 таких приборов для измерения расхода тепла в помещениях, занимаемых арендаторами. Все результаты измерений поступают в автоматизированную систему управления здания. Одновременно эти значения также регистрируются в энергонезависимой памяти прибора. В случае отказа работы системы управления и потери данных утраченную информацию за последние 120 суток всегда можно восстановить из архивной памяти приборов. Поставленное расходометрическое оборудование удовлетворило как компанию, подающую энергоносители, так и управляющую компанию потребителя, а также арендаторов.

## **2. Использование ультразвуковых расходомеров в России**

Руководство Назаровской ГРЭС (Красноярский край) приняло решение установить систему учета питательной воды (подаваемой в паровые котлы в качестве исходного материала для образования пара). Питательная вода поступает на станцию через 12 трубопроводов диаметром от 800 до 1200 мм. К моменту модернизации трубопроводы находились в эксплуатации более 20 лет. Для того чтобы установить на них расходомеры, использующие традиционные методы измерения (переменного перепада давления, электромагнитные, вихревые и т. д.), потребовалось бы провести масштабные строительные работы, что само по себе связано с большими затратами. Кроме того, весьма высока стоимость расходомеров

для труб большого диаметра. Накладные расходомеры производства компании FLEXIM, которые ЗАО «Текноу» поставляет на российский рынок, позволили избежать дополнительных затрат на строительные работы, а по цене эти приборы сопоставимы либо дешевле врезных расходомеров для трубопроводов диаметром выше 600 мм. Кроме того, существенная экономия достигается за счет использования двухканальных расходомеров, в которых один блок электроники производит вычисления для двух труб одновременно (рис. 1).



**Рис. 1. Функциональная схема измерений теплового потока расходомером FLUXUS**

Сперва на станции были введены в эксплуатацию три расходомера для шести трубопроводов. Через полгода – еще три. Как показал опыт, монтаж датчиков на трубопроводе производится за 1,5–2 часа и при этом требует достаточно точного их позиционирования. Хотя качество питательной воды невысоко (в ней имеются включения песка, грязи и т. д.), это не вызывает проблем при измерении расхода приборами FLEXIM. Погрешность составляет не более  $\pm 1\%$ . Блоки электроники FLUXUS ADM 7407 имеют степень защиты IP 65, что позволило установить их прямо в подземных камерах. Данные со всех расходомеров по протоколу Modbus RTU передаются на центральный диспетчерский пункт для сохранения, визуализации и контроля. За срок, прошедший с момента установки до настоящего дня, приборы зарекомендовали себя с положительной стороны. Хотя при выборе точек измерения не были выдержаны требования к расстояниям прямых участков (в связи с отсутствием технической возможности доступа), благодаря правильной настройке, выполненной согласно рекомендациям руководства по эксплуатации, ультразвуковые расходомеры FLUXUS работают без каких-либо замечаний (рис. 2).



**Рис.2. Установки для учета расхода воды на трубопроводах больших диаметров:  
Назаровская ГРЭС (Красноярский край), ДУ = 1200...1800 мм**

### **3. Измерение расхода воды на трубопроводах большого диаметра**

С использованием накладных ультразвуковых расходомеров рис.3, производства компании FLEXIM были смонтированы и два узла учета питательной воды на Первоуральском новотрубном заводе.



**Рис 3. Крепление датчиков на трубу**

Метрологи и инженеры-технологи предприятия тщательно обсуждали со специалистами по расходомерии компании «Теккноу» вопрос о возможности использования этих приборов для технологического учета, получения погрешности в измерениях, не более заявленной производителем и другие технические проблемы. Некоторую настороженность вызывала

сама возможность применения ультразвука для измерения расхода, стабильность и точность показаний при использовании подобного метода. Однако, как показала практика, установка ультразвуковых расходомеров стала наиболее выигрышным вариантом для данного предприятия при создании узлов учета расхода по параметрам цена/качество. Простота монтажа и обслуживания при отсутствии необходимости останавливать процесс, стабильность и точность показаний, передача данных на пульт управления – вот основные положительные факторы, позволившие сделать выбор в пользу приборов этого типа. Норвежской компании Statoil был необходим прибор для учета пластовой воды при добыче нефти. Накладные расходомеры уже достаточно давно используются для этой цели, но в данном случае понадобился прибор для учета воды на буровых платформах в Северном море, что, во первых, накладывало дополнительные требования к его исполнению, а во вторых, создавало добавочные трудности из-за того, что в воде содержалось большое количество песка. Компания FLEXIM была не первой, к кому обратились специалисты Statoil, но единственной, кто смог решить поставленную задачу. Залогом успеха стало двухпроцессорное исполнение блока электроники и высокая частота измерений (стандартно 1000 раз/с). Это позволило производить статистическую выборку результатов измерений, после чего часть значений, а именно сигналы, искаженные примесями, содержащимися в воде, отбрасывались как недостоверные. Требования к исполнению прибора были реализованы за счет изготовления корпусов накладных датчиков из нержавеющей стали и защитной оплетки кабелей, это сделало их пригодными к применению в морском климате. На заводе-изготовителе каждая пара накладных датчиков проходит обязательную калибровку на эталонном стенде, калибровочная информация записывается на микрочип, который поставляется вместе с датчиками. Таким образом, при подключении к блоку электроники информация автоматически загружается в ОЗУ прибора и используется для дальнейших измерений. Это дает возможность использовать любой комплект датчиков с любым блоком электроники без ограничений. Калибровка производится главным образом в области малых потоков и позволяет прибору производить измерения скорости в диапазоне от 0,01 до 25 м/с (для газа – от 0,01 до 35 м/с). Кроме того, запатентованная технология компании FLEXIM – подбор парных пьезоэлементов для одного комплекта датчиков – позволяет прибору избежать так называемого «дрейфа» нуля (стабильность лучше, чем 0,005 м/с). Добавив к таким датчикам блок электроники с аккумуляторной батареей высокой емкости и возможностью подзарядки от автомобильной розетки, дружелюбный интерфейс, возможность подключения толщи номера и накладных термометров сопротивления, а также удобные крепления на магнитах, мы получим высококлассные портативные накладные расходомеры FLUXUS F601 или F608. Оценить их преимущества смогли специалисты различных отраслей промышленности: от коммунальных служб до инженеров АЭС, от специалистов по исследованию нефтяных скважин до специалистов НПЗ. Сотрудники компаний BP, Shell, «Газпром», «Орскнефтеоргсинтез», «Каустик», «ТАИФ-НК», «Татнефть» отметили, что прибор производит оперативные измерения расхода практически любой жидкости, от воды до газового конденсата, и таким образом позволяет производить периодические сверки показаний стационарных приборов с реальным расходом.

### ***Использование ультразвуковых расходомеров с врезными датчиками.***

Доплеровский и корреляционный приборы не обладают высокой точностью измерений, они требуют достаточно больших прямолинейных участков трубопровода. Достоинством этих систем является малая чувствительность к загрязнению воды. Наиболее перспективны системы измерений объема и расхода воды, реализуют временной метод. Однако, при их применении существует целый ряд проблем – необходимость наличия большой протяженности прямых участков для установки датчиков расхода, обеспечение скорости потока жидкости не менее, чем 0.3 м/с.; наличие сформированного потока жидкости; обеспечение возможности выполнения осмотра и очистки измерительного участка. Кроме того, для установки врезных датчиков, а в последующем - обслуживании расходомера,

необходимо останавливать трубопровод и сливать воду, что зачастую связано с большими затратами, а иногда попросту невозможно.

### **Установка полнопроходных электромагнитных расходомеров.**

Этот способ позволяет добиться наивысшей точности учета, однако связан с очень большими затратами на закупку приборов, их монтаж и обслуживание. Кроме того, как и в предыдущем случае, возникает вопрос о необходимости перекрытия трубопровода при монтаже и техническом обслуживании.

### **Установка погружных расходомеров с функцией возможности монтажа методом «горячей врезки».**

Сам метод примерно одинаков для всех типов расходомеров и заключается в том, что вначале к точке установки расходомера приваривается отводящий патрубок, после чего на него устанавливается запорный клапан (через фланец или резьбовое соединение в зависимости от типа расходомера). На клапан устанавливается инструмент для горячей врезки, которым просверливается отверстие в трубопроводе. Диаметр отверстия зависит от типа расходомера (как правило, не более 2"). Запорный клапан закрывается после извлечения инструмента для горячей врезки, после чего расходомер присоединяется к запорному клапану.

**Турбинные погружные расходомеры** имеют достаточно большой рабочий диапазон измерения. К недостаткам погружных турбинных расходомеров следует отнести необходимость установки перед ними специальных фильтров для удаления взвешенных частиц. Кроме того, при движении по трубопроводу воздуха или водо-воздушной смеси турбинный расходомер работает так, как если бы по трубопроводу двигалась вода, что приводит к неправильным показаниям. Этот недостаток особенно актуален для трубопроводов, которые подвергаются периодическому опорожнению.

Принцип действия **вихревых погружных расходомеров** основан на зависимости частоты срыва вихрей за телом обтекания от скорости потока. В системах измерений, реализующих вихревой метод, нет подвижных механических частей. Недостатками этих расходомеров являются повышенные требования к длинам прямолинейных участков трубопровода и низкая точность при измерениях на малых скоростях потока.

**Электромагнитные системы измерения объема и расхода воды**, принцип работы которых основан на взаимодействии движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем, обладают высокой точностью измерения в широком рабочем диапазоне.

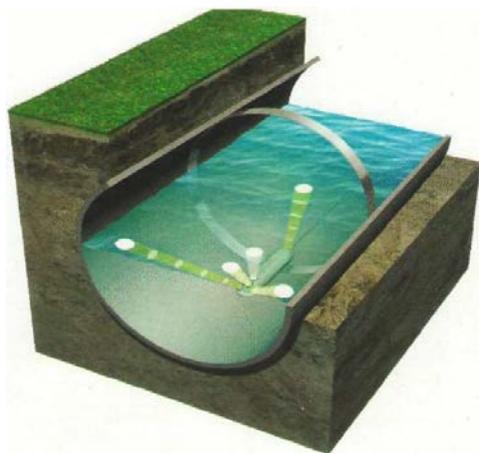
**Погружные электромагнитные расходомеры F-3500 и FB-3500** имеют все преимущества электромагнитных полнопроходных расходомеров, а также: относительно низкую стоимость, возможность монтажа/демонтажа без остановки технологического процесса, а также возможность измерения потока в различных направлениях одним расходомером (модель FB-3500). Кроме того, электромагнитные погружные расходомеры F-3500 и FB-3500 имеют широкий диапазон измерения, что делает их идеальным вариантом для измерения расхода жидкостей в трубопроводах больших диаметров.

## **4. Расходомеры для безнапорных и напорных трубопроводов**

В компании **SonTek-IQ Pipe** разработан расходомер, который предназначен также для измерения расхода в безнапорных и напорных трубопроводах.

**SonTek-IQ** можно использовать в большинстве промышленных или сельскохозяйственных трубопроводов. В отличие от многих других расходомеров, SonTek-IQ автоматически

определяет расход, даже если труба частично заполнена. Датчики расположены на дне трубы и измеряют уровень и скорость потока только заполненной части. рис 4.



**Рис.4. Ультразвуковой расходомер для безнапорных трубопроводов.**

**SonTek-IQ** использует лучшую методику по измерению скорости воды. Эта программа затем используется для вычисления расхода, а также измерения точных данных по уровням воды. Для этого предусмотрена вертикальной штанга и датчик давления. Все это не требует дополнительной настройки.

### **3. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДАХ МАЛОГО ДИАМЕТРА**



Для различных технологических потребностей и нужд городского водоснабжения, часто бывает необходимо определение расхода воды в трубе и его динамика в течение периода времени. Для многих циклических процессов важно постоянно контролировать расход воды и здесь не обойтись без современных измерений.

#### ***Двухканальные расходомеры***

Эти приборы, основанные на методе «площадь – скорость», выполняют измерения скорости и уровня потока.

Измерение значений уровня потока принято считать самым простым в организации процесса определения объемного расхода воды в безнапорных потоках, но и этому параметру стоит уделить внимание. Уровень потока может быть измерен тремя способами: - с использованием бесконтактного радарного метода измерения, который является, пожалуй, оптимальным. Ввиду высокой частоты измерения ему не страшны образование пара и пены над потоком. При возможном переполнении трубопровода датчик имеет степень защиты IP68 и с легкостью выдержит погружение; - с помощью погружного гидростатического метода измерения. При выборе датчика уровня, основанного на этом методе, необходимо уделять внимание качеству исполнения самого устройства, способности применяемых материалов выдержать длительную работу в агрессивной среде (например, если речь идет об измерениях сточной воды или жидкостей с содержанием абразивных веществ); - с применением бесконтактного ультразвукового метода измерения. Необходимо оценить вероятность появления пара над потоком в зимний период времени. Практика показывает, что датчики уровня, основанные на ультразвуковом методе измерения, могут воспринять

поверхность пара как поверхность воды, тем самым значительно искажая уровень потока в сторону увеличения, а значит, увеличивая и значение расхода.

Между тем главным параметром для выбора расходомера служит метод измерения скорости потока. Именно для измерения скорости используются сложные технологии, предназначенные для применения в определенных измерительных условиях. Давайте разберемся в них.

## **6. Измерение расхода бесконтактным радарным методом**

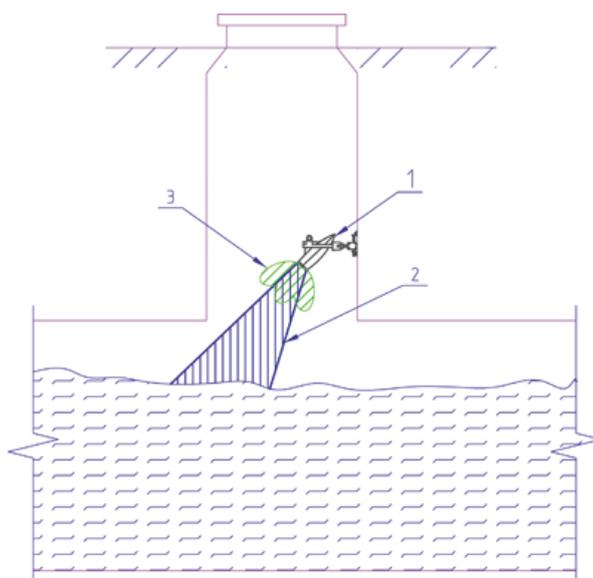
Один из самых универсальных методов, обеспечивающий точность данных даже в сложных условиях измерений. Для измерения скорости потока используется бесконтактный радарный датчик скорости. Скорость потока жидкости определяется бесконтактным радарным методом. Микроволновое излучение, формируемое датчиком скорости, попадая на свободную поверхность воды, отражается от неоднородностей, присутствующих на поверхности потока, и попадает обратно в датчик скорости, который по разности частот (излучаемой и принимаемой) измеряет скорость движения поверхности потока жидкости. Объемный расход и объем жидкости определяются на основании эпюры распределения скоростей, уровня потока и площади внутреннего сечения трубопровода. Радарные волны имеют высокую частоту излучения (24 ГГц), поэтому являются радиопрозрачными, то есть способны выполнять измерения через пластиковые поверхности, пар и пену.

*Рупорная антенна* – металлическая конструкция, состоящая из волновода переменного (расширяющегося) сечения с открытым излучающим концом. Как правило, рупорную антенну возбуждают волноводом, присоединенным к узкому концу рупора. По форме рупора различают Е-секториальные, Н-секториальные, пирамидальные и конические рупорные антенны.

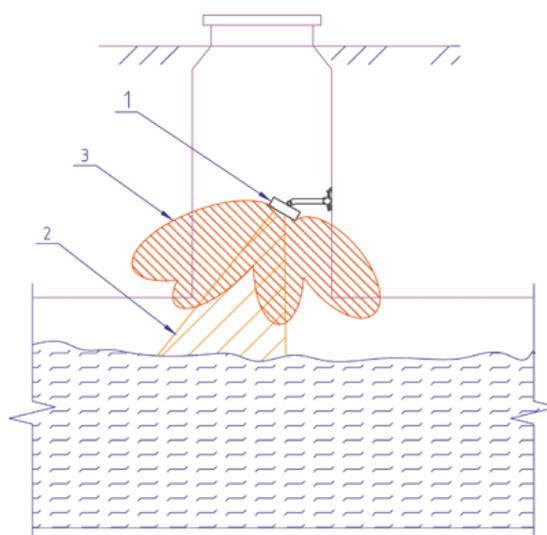
*Планарная, или патч-антенна* – СВЧ-антенна, состоящая из плоского металлического лепестка, закрепленного параллельно пластине земли. Обычно эту конструкцию заключают в пластиковый радиопрозрачный кожух как для защиты от механических повреждений, так и из эстетических соображений. Такие антенны просты в изготовлении и легко могут быть модифицированы под требуемые технические условия.

Для своих клиентов чаще всего мы выбираем приборы, оснащенные рупорными антеннами, тем более что в настоящий момент только они внесены в Государственный реестр СИ РФ. Они имеют очевидные преимущества перед измерителями скорости с патч-антеннами при измерениях скорости потока в трубопроводах и узких каналах:

- рупорные антенны хорошо экранированы, что обеспечивает лучшую помехоустойчивость, нежели у патч-антенн;
- рупорные антенны имеют узкую диаграмму направленности и низкий уровень боковых лепестков, что обеспечивает точные измерения в стесненных условиях, например, в колодцах (рис. 5). Патч-антенна в силу широкой диаграммы направленности и высокого уровня боковых лепестков, находясь в стесненных условиях, собирает большое количество переотраженных «паразитных» шумов именно от боковых лепестков. Мощность «паразитных» шумов значительно выше мощности сигналов, отраженных от поверхности потока воды, что и является причиной невозможности их применения в колодцах и других закрытых пространствах (рис. 6);



**Рис. 5. Условная схема диаграммы направленности основного лепестка и боковых лепестков рупорной антенны датчика скорости, установленного в канализационном колодце: 1 – датчик скорости, 2 – диаграмма направленности основного лепестка, 3 – диаграмма направленности боковых лепестков**



**Рис. 6. Условная схема диаграммы направленности основного лепестка и боковых лепестков патч-антенны датчика скорости, установленного в колодце: 1 – датчик скорости, 2 – диаграмма направленности основного лепестка, 3 – диаграмма направленности боковых лепестков**

Узкая направленность излучения радарного датчика с рупорной антенной позволяет использовать его более эффективно в сложных задачах измерений, например, при измерениях на большой высоте над каналом, при чрезмерном испарении или больших слоях пены на поверхности потока.

Именно поэтому датчики скорости на базе рупорных антенн могут применяться как в безнапорных трубопроводах, так и в открытых каналах, а датчики скорости на базе патч-антенн предназначены для измерения скорости потока в реках и широких открытых каналах. Измеряемое значение минимальной скорости потока для рупорной антенны составляет от 0,08 м/с, а для патч-антенны – от 0,1 м/с до 0,3 м/с. Некоторые производители датчиков скорости на базе патч-антенн для улучшения потребительских свойств своей продукции указывают минимальную скорость потока от 0,1 м/с, но стоит учитывать, что у некоторых

моделей датчиков скорости диапазон от 0,1 м/с до 0,3 м/с является не измеряемым, а рассчитываемым, исходя из полученных значений уровня потока по принципу расходомеров-уровнемеров. При выборе расходомера рекомендуем проверить его работу при минимальной скорости потока, подключив только датчик скорости (без использования датчика уровня).

### ***Практическая область применения***

Бесконтактный радарный метод измерения на базе рупорной антенны идеально подходит для безнапорных потоков со скоростью более 0,08 м/с (измерение расхода сточных, ливневых, промышленных стоков, промывной воды, других типов агрессивных жидкостей. Измерение расхода в трубопроводах диаметром от 150 до 8000 мм, каналах шириной до 20 м). Бесконтактный радарный метод измерения на базе патч-антенны идеально подходит для использования в широких каналах и реках (равнинных, горных).

### ***Ограничения в применении***

При скорости ниже 0,08 м/с датчик скорости на базе рупорной антенны перестает измерять. Радарное излучение датчика скорости использует эффект Доплера, то есть луч датчика скорости отражается от неровностей, образующихся на поверхности потока. При скорости ниже 0,08 м/с поверхность потока становится зеркальной и луч радара не возвращается к датчику, а переотражается в обратном датчику направлении.

Датчик скорости на базе патч-антенны не работает в условиях тоннельных коллекторов, безнапорных трубопроводов, проложенных под землей, потоков с образованием пара и пены.

### ***Датчик скорости на базе рупорной антенны***

Для измерения скорости потока в трубопроводах и узких каналах важно использовать датчики скорости с узкой диаграммой направленности, разработанные на базе рупорной антенны, которая формирует наиболее стабильный и концентрированный сигнал. Минимальная скорость измерения таких датчиков составляет 0,08 м/с.

### ***Датчик скорости на базе патч-антенны***

Датчики, разработанные на базе патч-антенны, используются для измерений расхода воды в открытых каналах и реках. Широкополосность диаграммы направленности в этих случаях выступает преимуществом этих расходомеров. Минимальная скорость измерения таких датчиков составляет 0,3 м/с (для некоторых моделей 0,1 м/с), при скорости потока ниже 0,3 м/с расходомер определяет расход как одноканальный расходомер-уровнемер.

### **Расходомеры, применяющие бесконтактный радарный метод**

*Датчик на базе конструкции рупорной антенны:* расходомер Raven-Eye (номер в Государственном реестре: 63805-16), производство Flow-Tronic, Бельгия.

*Датчик на базе конструкции планарной антенны (патч-антенны):*

- расходомер NivuFlow 7550 (не внесен в Государственный реестр СИ), производство Nivus, Германия;

- расходомер Q-Eye (не внесен в Государственный реестр СИ), производство Hydrovision (Seba), Германия;

- расходомер Phoenix (не внесен в Государственный реестр СИ), производство Flow-Tronic, Бельгия.

## **7. Погружной датчик скорости (доплеровский метод)**

Для измерения скорости потока используется погружной датчик скорости. Скорость потока жидкости определяется ультразвуковым датчиком, излучающим и принимающим отраженные от частиц в потоке ультразвуковые сигналы. Согласно эффекту Доплера, излучаемый и принимаемый сигналы имеют частотный сдвиг, пропорциональный скорости движения частиц в потоке.

Погружной доплеровский метод может быть представлен двумя типами датчиков: датчик непрерывного излучения и датчик импульсного излучения. Оба типа датчиков используют один и тот же метод измерения – эффект Доплера. Но есть некоторые различия в выполнении измерений.

Датчик скорости непрерывного действия имеет два кристалла: первый – излучающий ультразвуковые сигналы, второй – принимающий сигналы, отраженные от частиц в потоке. Оба кристалла непрерывно излучают и принимают сигналы, отсюда и понятие «непрерывного действия».

Датчик скорости импульсного излучения имеет один кристалл, который выступает и в роли излучателя, и в роли кристалла, принимающего сигнал. После отправки сигнала датчик скорости еще находится в состоянии вибрации, которое можно сравнить с состоянием языка колокола после удара. Пока вибрация не успокоится, кристалл не будет способен принять отраженные сигналы обратно. Вследствие этого образуется «временное» окно, когда датчик не способен работать. Такая «слепая зона» измерений составляет 7–10 см над датчиком.

К датчикам скорости импульсного излучения относятся также и кросскорреляционные датчики скорости. Эти датчики тоже используют метод измерения, основанный на эффекте Доплера, но обработка полученного датчиком сигнала выполняется кросскорреляционным методом.

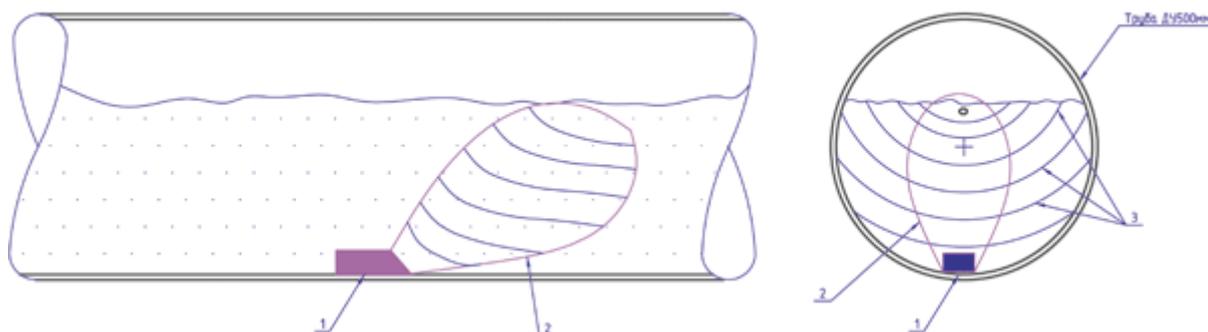
### ***Практическая область применения***

Доплеровский метод измерения обычно применяют для определения расхода ливневых и хозяйственно-бытовых стоков на трубопроводах диаметром до 1,5 м и открытых каналах шириной до 2 м.

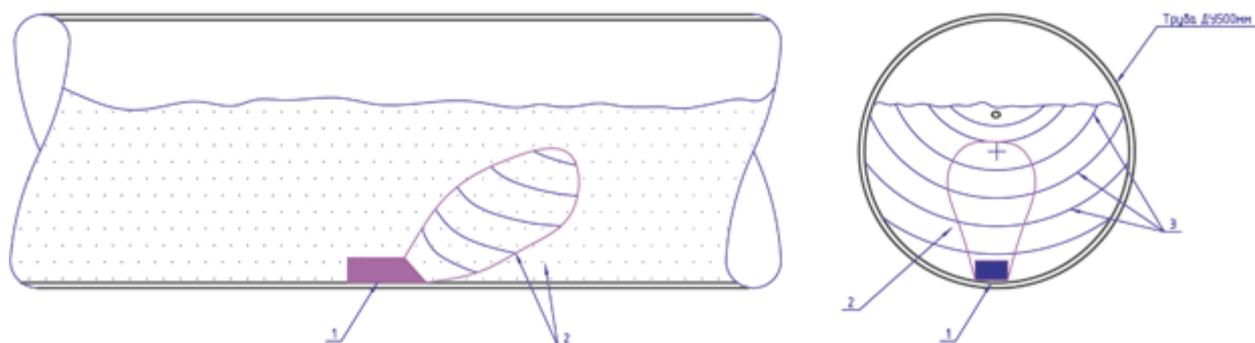
### ***Ограничения в применении***

При высокой концентрации взвешенных частиц в потоке датчик скорости измеряет только пристеночную (придонную) скорость, а значит, занижает как значение средней скорости потока, так и расход. Такой эффект возникает в связи с тем, что ультразвуковой сигнал отражается от взвешенных частиц, проходящих вблизи датчика, что не позволяет измерить скорость по всему смоченному сечению.

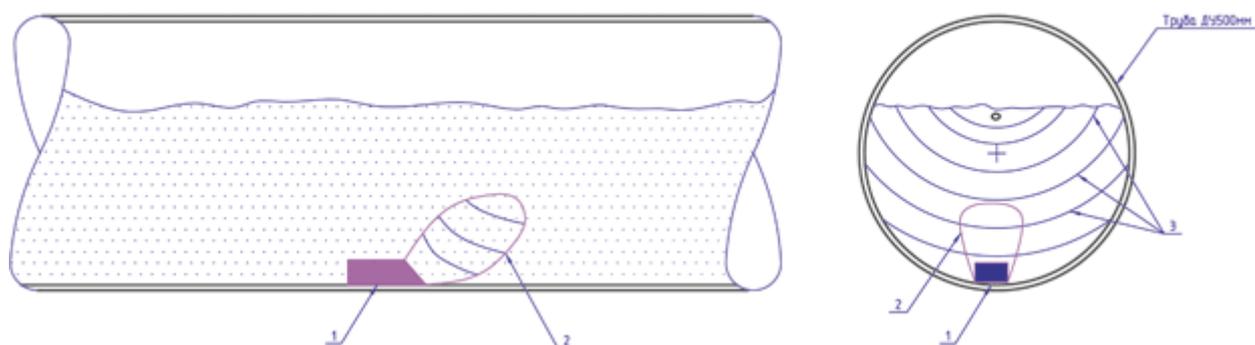
На рис. 7 условно показана ситуация с умеренным содержанием взвешенных частиц в потоке. На рис. 8 – с повышенным содержанием взвешенных частиц в потоке, а на рис.9 – с высоким содержанием взвешенных частиц в потоке.



**Рис. 7. Установленный датчик скорости в условиях умеренной концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока**



**Рис. 8. Установленный датчик скорости в условиях повышенной концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока**



**Рис. 9. Установленный датчик скорости в условиях высокой концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока**

Работу датчика скорости в данных условиях можно сравнить с работой фонаря в густом тумане – чем гуще туман, тем короче луч света. Этот эффект также можно назвать поглощением сигнала.

***Представленные расходомеры, применяющие доплеровский метод.***

***Доплеры непрерывного действия:***

- расходомер Beluga (номер в Государственном реестре: 63804-16), производство Flow-Tronic (Бельгия);
- расходомер Greyline AVFM (номер в Государственном реестре: 48751-11), производство Greyline Technologies (Канада);
- расходомер Взлет РБП (номер в Государственном реестре: 52517-13), производство АО «Взлет» (Россия).

***Доплер импульсного действия:***

- расходомер Nivus OCFM (номер в Государственном реестре: 41981-09), производство Nivus (Германия);
- расходомер Nivus OCFM Pro (номер в Государственном реестре: 34977-07), производство Nivus (Германия).

**Ультразвуковой метод для измерения расхода воды  
в безнапорных трубопроводах**

Ультразвуковой метод измерения скорости потока Transit-Time, или времяимпульсный, является одним из наиболее распространенных, потому как имеет самый большой опыт применения по всему миру ввиду его давности.

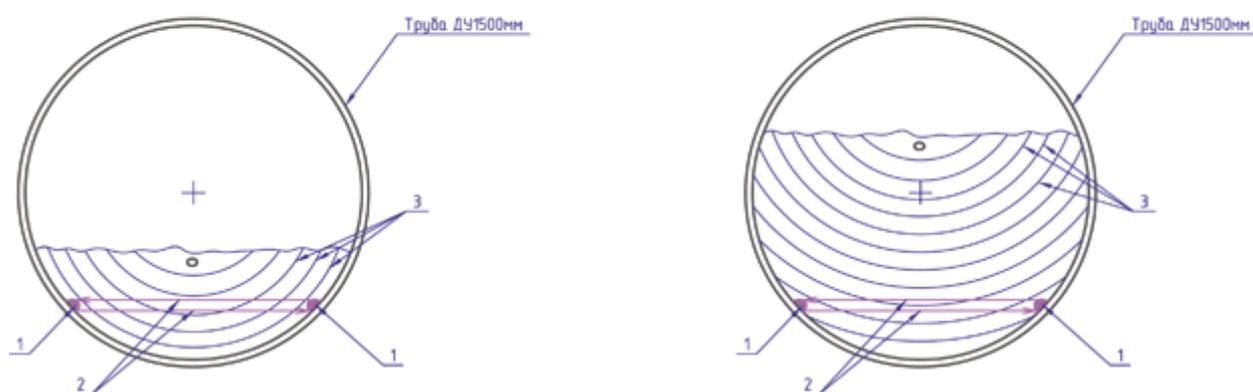
Для измерения скорости потока используются парные ультразвуковые датчики скорости. Измеряется время прохождения ультразвуковых импульсов по направлению движения жидкости и против него. Разность этих времен пропорциональна скорости движения жидкости по трубопроводу или каналу. Зная эпюру распределения скоростей в месте установки ультразвуковых датчиков и площадь измерительного сечения трубопровода, можно определить расход и количество жидкости.

### **Практическая область применения**

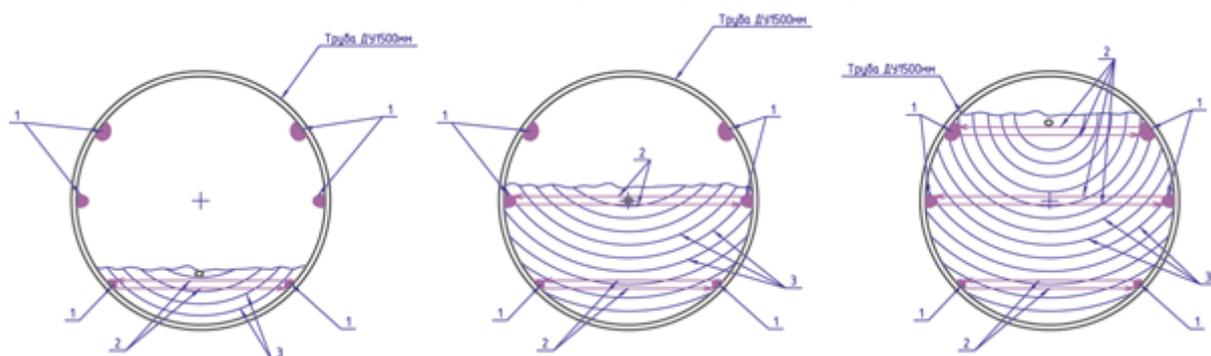
- Обычно ультразвуковой метод измерения скорости применяют **в трубопроводах большого диаметра** с вероятностью появления при нулевых значениях скорости, **либо в каналах шириной более 15 м**.
- Длина прямого участка для установки – не менее  $13 H_{\text{макс}}$  ( $H_{\text{макс}}$  – максимальный уровень потока в измерительном створе).

### **Ограничения в применении**

Сложность монтажа и демонтажа датчиков скорости, например для последующей поверки. Для получения средней скорости потока с помощью ультразвукового метода необходимо выполнить измерения в разных плоскостях измерительного сечения. Как известно, скорость по поперечному сечению потока изменяется: ближе к стенкам сечения скорость ниже, ближе к поверхности потока – выше, такое распределение называется профилем скоростей потока по поперечному сечению. В связи с этим необходимо как минимум предусмотреть установку датчиков на дне трубопровода (канала) и в центре. Выбор количества пар датчиков скорости определяется, исходя из размеров сечения трубопровода или канала и диапазона изменения уровня потока. На рис. 10 показан неправильный способ установки датчиков скорости, на рис. 11 – правильный способ установки датчиков.



**Рис. 10. Неправильная установка ультразвуковых датчиков скорости Transit-Time в зависимости от наполнения трубопровода: 1 – датчик скорости, 2 – ультразвуковой сигнал от датчика к датчику, 3 – профиль скоростей потока**



**Рис. 11. Правильная установка ультразвуковых датчиков скорости Transit-Time в зависимости от наполнения трубопровода: 1 – датчик скорости, 2 – ультразвуковой сигнал от датчика к датчику, 3 – профиль скоростей потока**

### ***Измерение уровня***

Для измерения уровня потока применяются различные методы: бесконтактный ультразвуковой метод, бесконтактный радарный метод, погружной гидростатический метод.

#### ***Представленные на рынке РФ расходомеры, применяющие метод Transit-Time***

- Расходомер Accusonic (номер в Государственном реестре: 42521-09), производство Accusonic Technologies (США).
- Расходомер NivuChannel (номер в Государственном реестре: 39714-08), производство Nivus (Германия).
- Расходомер Flo-Sonic модели FPFM, OCFM, OC Hybrid (номер в Государственном реестре: 55609-13), производство Flow-Tronic (Бельгия).

### **9. Электромагнитный метод**

Принцип действия электромагнитного метода для случаев применения измерителя в безнапорных потоках основан на изменении режима работы частично заполненного трубопровода в трубопроводе, идущем полным сечением.

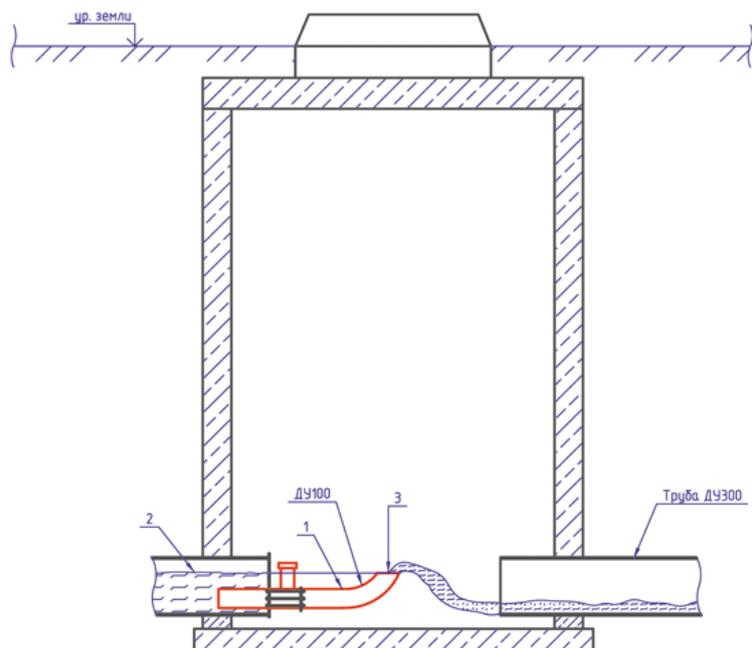
Принцип действия электромагнитного расходомера основан на использовании закона электромагнитной индукции Фарадея. В проводнике, движущемся в электромагнитном поле, индуцируется напряжение, величина которого пропорциональна скорости его движения. В качестве проводника выступает электропроводящая жидкость – вода. Электромагнитные катушки внутри первичного преобразователя создают магнитное поле, а электроды на его внутренней поверхности воспринимают разность потенциалов, возникающую при движении воды в электромагнитном поле. Расход жидкости определяется с учетом внутреннего диаметра измерительного участка трубопровода.

#### ***Практическая область применения***

Электромагнитный метод измерения применяется для потоков с широким диапазоном расходов: от нулевых до величин пропускной способности измерительного участка расходомера.

#### ***Ограничения в применении***

При использовании в качестве технического решения по измерению сточной воды в трубопроводе перед узлом учета образуется застойная зона, которая нуждается в периодической профилактике в виде очистки канализационных сетей (рис. 12).



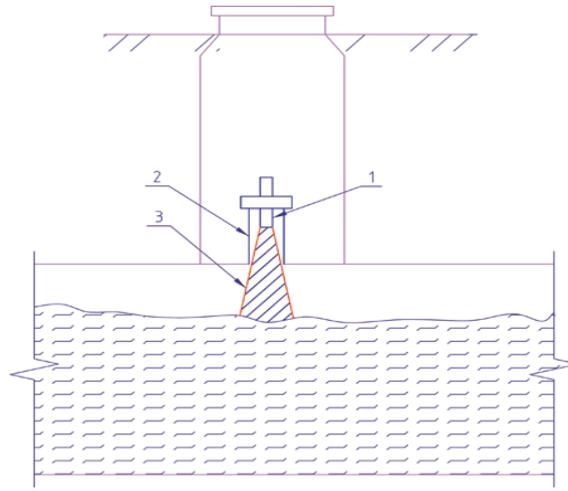
**Рис. 12. Наполнение приходящего трубопровода при установке электромагнитного датчика скорости с вертикальным изливом: 1 – датчик скорости, 2 – уровень потока в приходящем трубопроводе, 3 – уровень излива измерительного участка**

*Представленные на рынке расходомеры, применяющие электромагнитный метод*

- Расходомер Jaeger Observer (номер в Государственном реестре: 71634-18), производство Jaeger Messtechnik (Австрия).
- Расходомер Sewer-Mag (номер в Государственном реестре: 46039-10), производство Flow-Tronic (Бельгия).
- Расходомер АЭФТ Экосток (номер в Государственном реестре: 68933-17), производство ООО «ГД АЭФТ» (Россия).

### **10. Одноканальные расходомеры**

Это расходомеры, выполняющие только измерение уровня потока (измерение по одному каналу). Скорость потока рассчитывается на основании калибровки расходомера по месту его установки (рис. 13). Суть калибровки состоит в том, что в момент монтажа расходомера-уровнемера в выбранном измерительном створе производится мгновенное измерение максимальной или средней скорости потока (в зависимости от выбранной методики измерений). Далее на основании полученных значений, а также с учетом параметров фактического строительного уклона трубопровода и коэффициента шероховатости стенок выполняют калибровку измерительного створа. Такая калибровка в последующем используется расходомером-уровнемером для автоматического расчета расхода по измеренному уровню без измерения значений скорости.



**Рис. 13. Расходомер-уровнемер, установленный на безнапорном трубопроводе: 1 – ультразвуковой датчик уровня, 2 – волновод, 3 – ультразвуковое излучение**

#### ***Практическая область применения***

Безнапорные трубопроводы или открытые каналы без местных сопротивлений, имеющие длину прямого участка более  $30 H_{\text{макс}}$  ( $H_{\text{макс}}$  – максимальный уровень потока в измерительном створе).

#### ***Ограничения в применении***

- Дно измерительного створа не должно подвергаться заилению или отложению осадка.
- В измерительном сечении и вблизи него не должно быть местных выступов, закладных деталей и других предметов местных сопротивлений, вызывающих искажение уровня за счет местных возмущений потока.
- Длина прямого участка – не менее  $30 H_{\text{макс}}$  ( $H_{\text{макс}}$  – максимальный уровень потока в измерительном створе).
- Влияние пара над поверхностью потока в холодное время года на результаты измерения уровня потока. Датчики, основанные на ультразвуковом методе измерения, могут воспринять поверхность пара как поверхность воды, тем самым значительно искажая уровень потока в сторону увеличения, а значит, увеличивая и значение расхода.