

Измерение расхода жидкости в безнапорных потоках. Анализ современных методов



Разрабатывая нашим клиентам решения по измерению расхода жидкостей, мы создали отличную методику выбора расходомеров, которой готовы поделиться. Три несложных шага – и вы безошибочно выберете нужный расходомер даже из сотни моделей.

Испытательная лаборатория «Технометр», г. Санкт-Петербург

За последние 10–15 лет рынок средств измерений безнапорных потоков стал весьма разнообразным. Европейские и западные технологии, активно внедряющиеся на территории Российской Федерации, значительно преобразили ассортимент доступных приборов.

Сегодня рынок предлагает сотни расходомеров, а каждый поставщик очень убедительно призывает покупать именно у него. Конечно, простым мониторингом цен не обойтись. Нужно иметь представление о том, на основании чего делается выбор, а только потом заказывать само средство измерения.

Мы часто выбираем приборы измерения безнапорных потоков для своих клиентов, поэтому разработали систему, позволяющую уже на втором шаге отсеять до 90% неподходящих к конкретной задаче расходомеров:

1. Оцениваем характеристики объема измерения.
2. Выбираем метод измерения, подходящий под характеристики.
3. Из расходомеров, использующих этот метод, отбираем прибор по соотношению «цена/качество».

Ключевой шаг – выбор метода. На сегодняшний день в мировой практике активно используются всего четыре метода измерения расхода безнапорного потока: бесконтактный радарный, погружной доплеровский, ультразвуковой и электромагнитный метод. Определиться с методом измерения, мы значительно сокращаем диапазон поиска.

В этой статье мы представим анализ существующих в настоящий момент методов измерения расхода воды в безнапорных потоках с описанием

как их практической области применения, так и ограничений в применении. Для каждого метода мы выбрали имеющиеся на российском рынке модели расходомеров, которые уже внесены в Государственный реестр средств измерений РФ, а также те, которые, возможно, будут внесены в реестр.

Подход к измерению

Расход воды для любого сечения определяется формулой: $Q = V_{\text{ср.}} \times S$, где Q – это расход воды, $V_{\text{ср.}}$ – средняя скорость, S – измеренное сечение. Таким образом, для того чтобы вычислить расход в безнапорном потоке, нам необходимо достоверно определить геометрические размеры измерительного створа, а с помощью средства измерения измерить скорость и уровень потока.

Методы измерения расхода воды в безнапорных потоках можно подразделить на две основные группы:

- ▶ двухканальные расходомеры, основанные на принципе измерения «площадь – скорость», выполняющие прямые измерения скорости и уровня потока. К этому типу относятся и гибридные системы, которые применяются для обеспечения достоверного определения объемного расхода воды в безнапорных трубопроводах, как правило, при имеющемся широком диапазоне значений расхода и скорости, например, для городской ливневой канализации;
- ▶ одноканальные расходомеры, которые измеряют только значения уровня, а скорость потока вычисляется на основании существующих методов измерения.

В табл. 1 приведены все существующие методы измерения скорости

и уровня потока и их возможные сочетания в различных моделях расходомеров для безнапорных потоков.

Двухканальные расходомеры

Эти приборы, основанные на методе «площадь – скорость», выполняют измерения и скорости потока, 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 выдерживать длительную работу в агрессивной среде (например, если речь идет об измерении 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,

Таблица 1. Методы измерения скорости и уровня потока и их возможные сочетания в различных моделях расходомеров для безнапорных потоков

Тип расходомера	Метод установки расходомера	Метод измерения скорости потока	Метод измерения уровня потока
Двухканальный расходомер «площадь – скорость»	Бесконтактный метод установки	Бесконтактный радарный метод	Бесконтактный радарный метод
			Бесконтактный ультразвуковой метод
	Погружной метод установки	Ультразвуковой метод измерения на основе эффекта Доплера	Бесконтактный радарный метод
			Бесконтактный ультразвуковой метод
			Погружной гидростатический метод
	Погружной метод установки	Погружной ультразвуковой метод Transit-Time	Бесконтактный радарный метод
			Бесконтактный ультразвуковой метод
Погружной гидростатический метод			
Контактный метод: преобразование безнапорного потока в напорный	Электромагнитный метод измерения	Измерения уровня не требуется	
Одноканальный расходомер-уровнемер	Бесконтактный метод установки	Отсутствует	Бесконтактный ультразвуковой метод

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.

Бесконтактный радарный метод

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.

Важно! Выбирая бесконтактный радарный датчик скорости, нужно понимать, какую антенну использует датчик: рупорную или планарную.

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. 1). 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. 2);

- ▶ 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

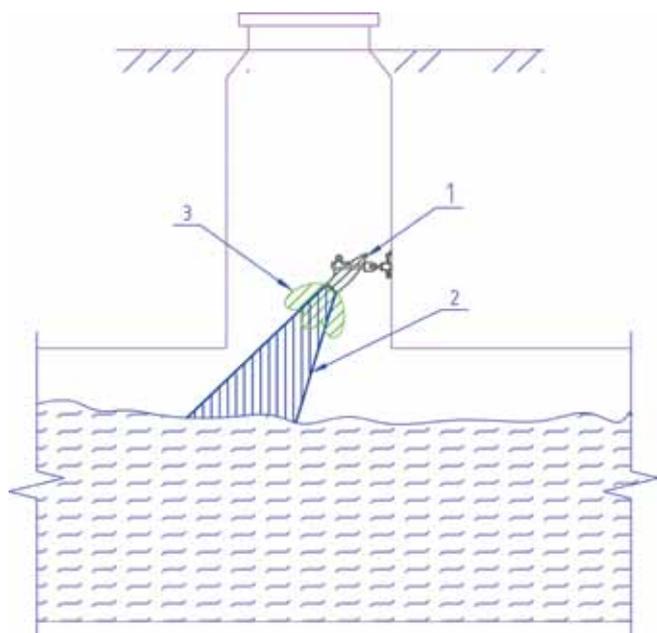


Рис. 1. Условная схема диаграммы направленности основного лепестка и боковых лепестков рупорной антенны датчика скорости, установленного в канализационном колодце: 1 – датчик скорости, 2 – диаграмма направленности основного лепестка, 3 – диаграмма направленности боковых лепестков

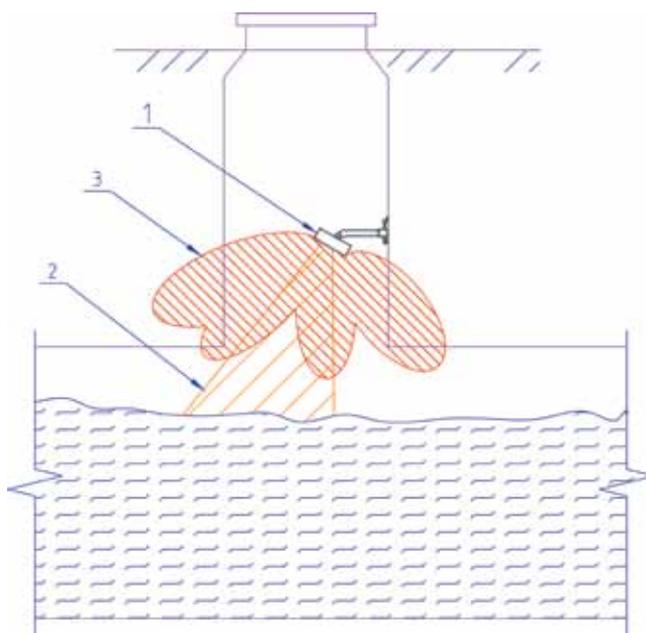


Рис. 2. Условная схема диаграммы направленности основного лепестка и боковых лепестков патч-антенны датчика скорости, установленного в колодце: 1 – датчик скорости, 2 – диаграмма направленности основного лепестка, 3 – диаграмма направленности боковых лепестков

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 направлении датчику.

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 состав-

ляет 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.

Представленные на рынке РФ расходомеры, применяющие бесконтактный радарный метод

Датчик на базе конструкции рупорной антенны: расходомер RavenEye (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.

Погружной 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, про-

порциональный 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 дат-

чик 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 кросс-корреляционные датчики скорости. Эти датчики тоже используют метод измерения, основанный на эффекте Доплера, но обработка полученного датчиком сигнала выполняется кросс-корреляционным 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. 3 условно показана ситуация с умеренным содержанием взвешенных частиц в потоке. На рис. 4 – с повышенным содержанием взвешенных частиц в потоке, а на рис. 5 – с высоким содержанием взвешенных частиц в потоке.

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.

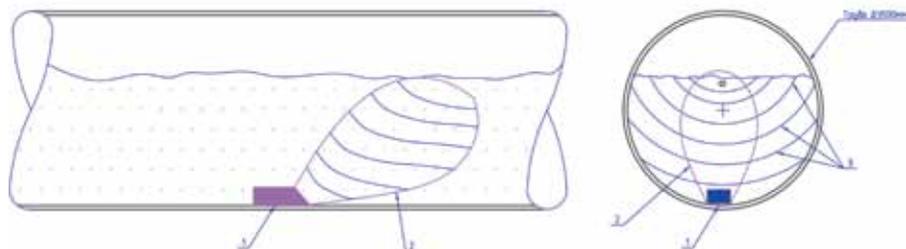


Рис. 3. Установленный датчик скорости в условиях умеренной концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока

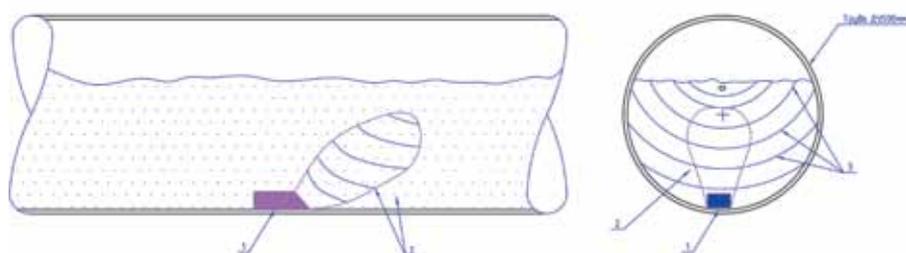


Рис. 4. Установленный датчик скорости в условиях повышенной концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока

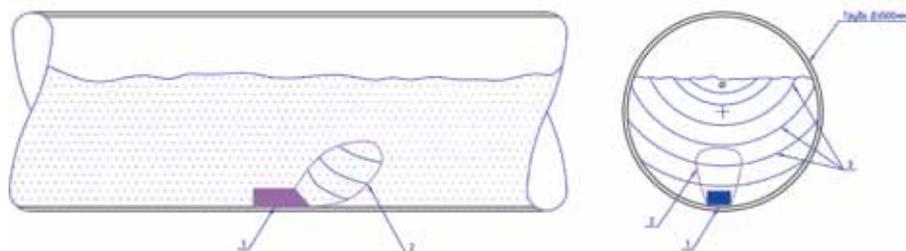


Рис. 5. Установленный датчик скорости в условиях высокой концентрации взвешенных частиц: 1 – датчик скорости, 2 – покрытие ультразвукового сигнала датчика скорости, 3 – профиль скоростей потока

Представленные на рынке РФ расходомеры, применяющие доплеровский метод *Доплер непрерывного действия*:

- ▶ расходомер Beluga (номер в Государственном реестре: 63804-16), производство Flow-Tropic (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 Transit-Time

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 принудительных значений скорости либо в каналах шириной более 15 м.
- ▶ Длина прямого участка для установки – не менее 13 Н_{макс} (Н_{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 ско-

рости определяется, исходя из размеров сечения трубопровода или канала и диапазона изменения уровня потока. На рис. 6 показан неправильный способ установки датчиков скорости, на рис. 7 – правильный способ установки датчиков.

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).

Электромагнитный метод

Принцип действия электромагнитного метода для случаев применения измерителя в безнапорных по-

токах 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

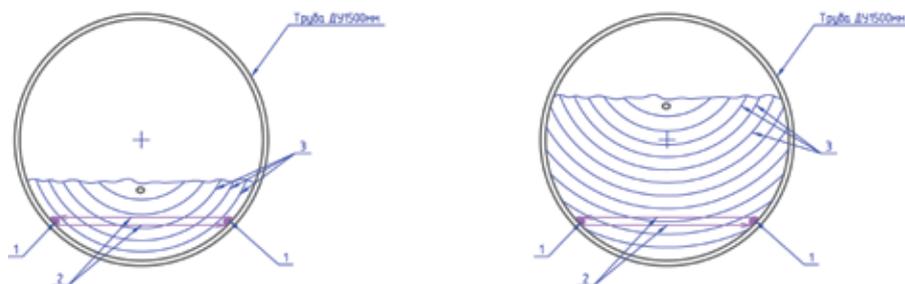


Рис. 6. Неправильная установка ультразвуковых датчиков скорости Transit-Time в зависимости от наполнения трубопровода: 1 – датчик скорости, 2 – ультразвуковой сигнал от датчика к датчику, 3 – профиль скоростей потока

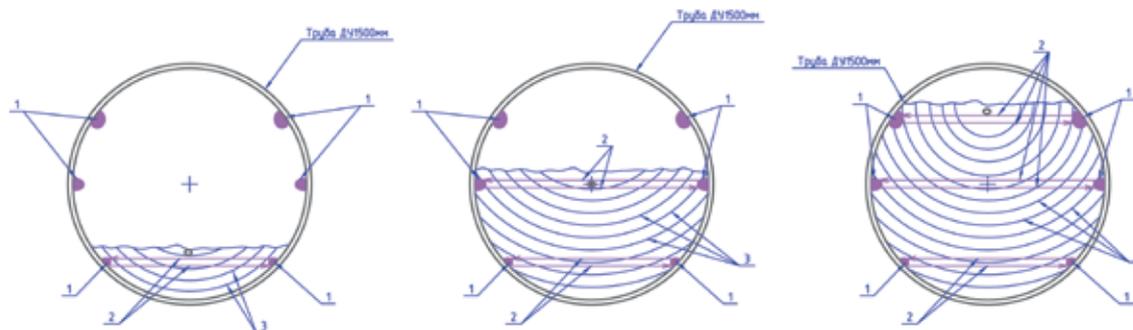


Рис. 7. Правильная установка ультразвуковых датчиков скорости Transit-Time в зависимости от наполнения трубопровода: 1 – датчик скорости, 2 – ультразвуковой сигнал от датчика к датчику, 3 – профиль скоростей потока

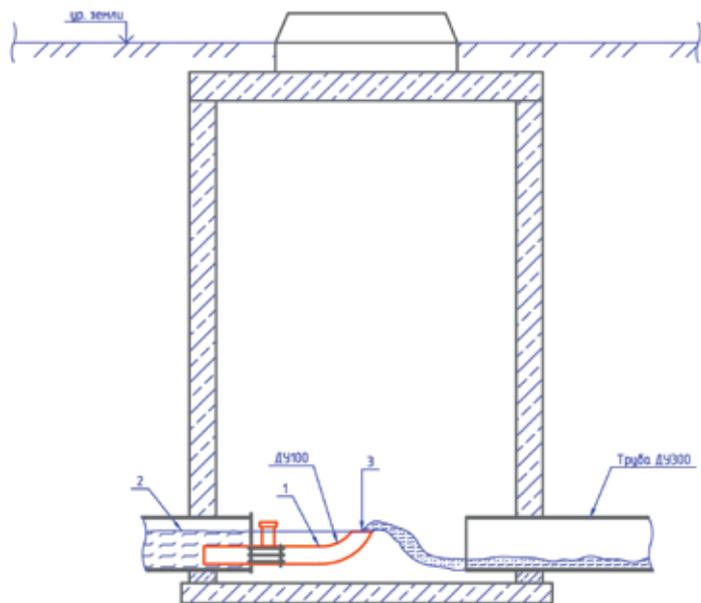


Рис. 8. Наполнение приходящего трубопровода при установке электромагнитного датчика скорости с вертикальным изливом:
1 – датчик скорости, 2 – уровень потока в приходящем трубопроводе, 3 – уровень излива измерительного участка

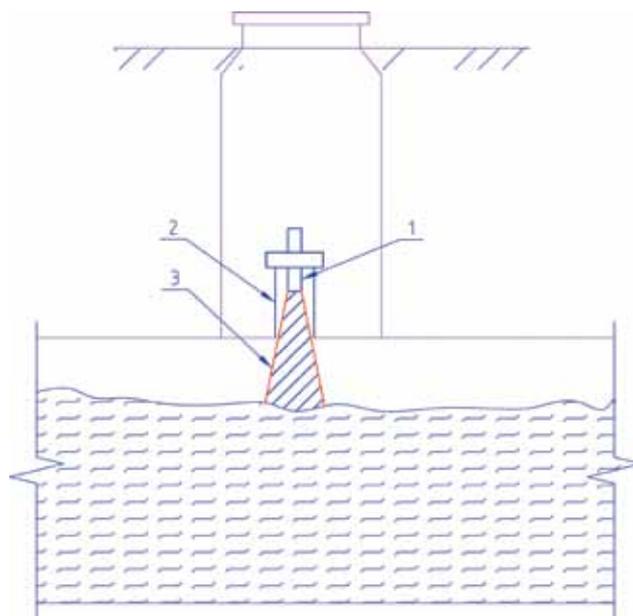


Рис. 9. Расходомер-уровнемер, установленный на безнапорном трубопроводе:
1 – ультразвуковой датчик уровня, 2 – волновод, 3 – ультразвуковое излучение

сточной воды в трубопроводе перед узлом учета образуется застойная зона, которая нуждается в периодической профилактике в виде очистки канализационных сетей (рис. 8).

Представленные на рынке РФ 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 «ТД АЭФТ» (Россия).

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. 9). 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.

Практическая область применения

Безнапорные трубопроводы или открытые каналы без местных сопротивлений, имеющие длину прямого участка более 30 Нмакс (Нмакс – 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 Нмакс (Нмакс – 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.

Представленные на рынке РФ одноканальные средства измерения (расходомеры-уровнемеры)

- ▶ Эхо-Р-02 (номер в Госреестре: 21807-06), производство ООО ПНП «Сигнур» (Россия).

- ▶ Взлет РСЛ (номер в Госреестре: 60777-15), производство АО «Взлет» (Россия).

- ▶ LT-US (номер в Госреестре: 61687-15), производство компании Lacroix Sofrel (Франция).

Определив метод измерения и тип расходомера, по возможности произведите кратковременное измерение расхода воды, установив выбранный прибор в будущем узле учета, чтобы подтвердить правильность своего выбора.

А.В. Конев, главный метролог,
испытательная лаборатория «Технометр»,
г. Санкт-Петербург,
e-mail: tm-metrology@yandex.ru,
сайт: tehnometr.ru



Компания КВЕСТ
Тел./факс (81378) 33780, 32755
E-mail: info@icquest.ru
www.icquest.ru

Официальный дистрибьютор
KERLINK

quest
СОВЕРШЕНСТВО
ТЕХНОЛОГИЙ



АО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

ЭТАЛОН

г. Омск, ул. Лермонтова, 175,
тел. (3812) 36-79-18, 36-94-53, 32-80-51
www.omsketalon.ru;
e-mail: fgup@omsketalon.ru

**Беспроводные
системы измерения
температуры
и других физических
величин ПИ РМ**



МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ И БЕСКОНТАКТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

**ИЗЛУЧАТЕЛИ В ВИДЕ МОДЕЛЕЙ
АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА**
-40... +2500°C

- ЭТС-100, ППО, ПРО;
- установки для поверки и градуировки датчиков температуры;
- криостаты; термостаты; печи; калибраторы,
- измерители универсальные прецизионные В7-99 и др.
- ВЧ и СВЧ устройства



**КИП, ПИРОМЕТРЫ
ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

153 типа (8000 модификаций)

