

ГИБРИДНЫЙ РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК

ВОЛГА ТРИТОН

Для тех, кому важен результат

РАЗРАБОТАН СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА

- Универсальность применения
- Любые гидравлические режимы
- Комбинация методик измерений
- Удобное снятие показаний
- Беспроводная телеметрия
- Работа в сетях IIoT
- Полноцветный сенсорный дисплей
- Счетчик наработки и журнал ошибок/событий
- Простой и удобный монтаж
- Бесконтактные и контактные измерения
- Особые условия гарантийного обслуживания
- Служба заботы о клиентах

НКФ ВОЛГА — победитель международной экологической премии EWA AWARDS 2020 в номинации «Лучшая технология»



Радарный
бесконтактный
преобразователь



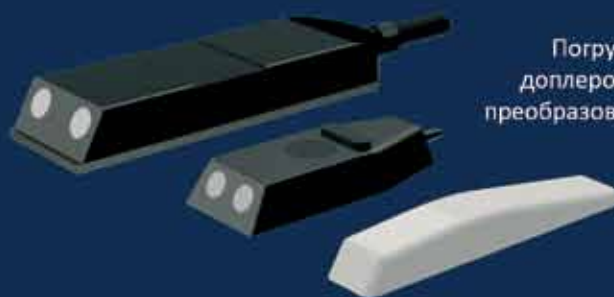
Вторичный
преобразователь
ВОЛГА ТРИТОН



Электромагнитная
L-система



Погружные
доплеровские
преобразователи



VOLGALTD.RU

ВОЛГА - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
127550 Москва, ул. Большая Академическая, д. 44-2
+7 (499) 976-49-49 www.volgaltd.ru volga@volgaltd.ru



НКФ ВОЛГА
ГРУППА КОМПАНИЙ

Выбор технологии измерения объемного расхода безнапорного потока в условиях самотечной городской канализационной системы.

Гибридный расходомер ВОЛГА ТРИТОН



В настоящее время большое значение придается экономии и рациональному использованию природных ресурсов. Для определения объема потребленных ресурсов используются различные счетчики – устройства, определяющие объем потребленного ресурса в единицу времени. Вода, безусловно, является одним из самых ценных природных ресурсов, поэтому инженерным сообществом ведется непрерывная работа по совершенствованию существующих и внедрению новых технологий для ее учета. Выбор той или иной технологии измерения объемного расхода воды зависит от многих факторов. Статья посвящена описанию имеющихся технологий учета очищенных и неочищенных сточных вод в самотечных канализационных коллекторах промышленных предприятий и жилищно-коммунального комплекса и их использованию в новейшем гибридном расходомере ВОЛГА ТРИТОН.

000 НКФ «Волга», г. Москва

Самотечный безнапорный режим транспортировки сточных вод является наиболее распространенным способом отвода ливневых и хозяйственных сточных вод с территорий промышленных предприятий и жилых зон, а также транспортировки сточных вод к очистным сооружениям или КНС. В этом режиме жидкость двигается по водоводам, имеющим уклон, к го-

ризонту под действием силы тяжести. Водовод в таких условиях заполнен не полностью (рис. 1), однако при определенных условиях уровень потока может доходить до верха водовода и режим течения становится слабонапорным. Эта особенность работы самотечных коллекторов должна быть учтена при выборе технологии измерения объемного расхода сточной воды.

В общем случае объемный расход жидкости есть произведение средней скорости течения жидкости и площади поперечного сечения потока:

$$Q = V_{cp} \cdot \omega,$$

где:

- Q – объемный расход;
- V_{cp} – средняя скорость по живому сечению потока;
- ω – площадь живого сечения потока.

Площадь живого сечения потока в конкретном водоводе зависит от его глубины. Таким образом, задача автоматического непрерывного измерения объемного расхода жидкости, текущей в безнапорном режиме, сводится к определению глубины потока и его средней скорости.

Существует три основных способа измерения объемного расхода в самотечных канализационных системах:

- ▶ по уровню;
- ▶ площадь – скорость;
- ▶ L-система.

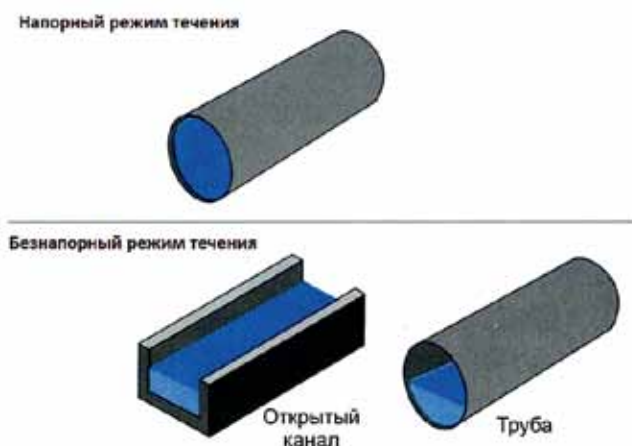


Рис. 1. Режимы течения жидкости

Рассмотрим каждый из способов более подробно.

Измерение по уровню

Еще во времена Священной Римской империи при строительстве акведуков люди заметили, что при условии постоянного уклона водовода, формы его поперечного сечения и шероховатости стенок глубина безнапорного потока и его объемный расход имеют между собой однозначную зависимость. Впервые эту зависимость для определения средней скорости потока при установившемся равномерном движении жидкости описал французский инженер-гидравлик Антуан де Шези в 1769 году. Эта зависимость получила его имя и выглядит следующим образом (рис. 2):

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

где:

Q – объемный расход;

χ – смоченный периметр;

ω – площадь живого сечения потока;

C – коэффициент Шези (коэффициент сопротивления сил трения по длине);

R – гидравлический радиус;

i – гидравлический уклон.

Таким образом, при равномерном безнапорном течении для конкретного водотока объемный расход есть функция глубины $Q = f(h)$. Осталось лишь определить эту функцию, и становится возможным в дальнейшем определять объемный расход, измеряя только глубину потока. И, казалось бы, задача упростилась. Зависимость $f(h)$ можно найти двумя путями: натурной калибровкой другими средствами измерений и теоретически –

применяя ту или иную эмпирическую зависимость коэффициента Шези от гидравлических и геометрических параметров потока и водовода. В нашей стране для расчета коэффициента Шези чаще всего используют формулу академика Н. Н. Павловского, тогда как во всем мире наиболее популярной вот уже много лет остается упрощенная формула Р. Маннинга. Ни один из этих способов расчета не позволяет однозначно определить коэффициент Шези с необходимой точностью, соответствующей современным стандартам, при всех режимах течения и на протяжении всего срока эксплуатации сооружения. В целях использования данных, полученных описываемым способом, для коммерческого учета, а также для соответствия требованиям российского законодательства в области единства измерений Росстандартом была аккредитована методика измерений МИ2220-2013. Однако ограничения возможности ее применения, накладываемые на гидравлические режимы в канализационных системах, не изменились с XVIII века, как не изменились и основные законы гидравлики. Вот эти ограничения:

1. Движение потока жидкости в водоводе должно быть или может быть принято равномерным.

2. Режим течения потока – спокойный (волны перемешивания отсутствуют, расход изменяется плавно; число Фруда меньше единицы).

3. Вышеприведенные требования к виду и режиму движения потока обеспечиваются при соблюдении следующих практических условий:

▶ длина прямолинейного (измерительного) участка водовода перед измерительным сечением (по ходу движения воды) должна быть не менее $20 H_m$,

где H_m – максимальное наполнение водовода в процессе эксплуатации;

▶ длина прямолинейного участка после измерительного створа должна быть не менее $10 H_m$. Эта длина может быть сокращена вдвое, если за створом находится сбросной колодец или уклон линии резко увеличивается, то есть подпор отсутствует;

▶ на измерительном участке не должно быть местных выступов, закладных деталей и других предметов, вызывающих искажение уровня за счет местных возмущений потока;

▶ уклон и поперечное сечение водовода на измерительном участке должны быть постоянными;

▶ дно водовода не должно подвергаться заилению или отложению осадка.

Если толщина осадка превышает нормативную, то возможно внесение изменений в регламент технической эксплуатации водовода, предусматривающих более частую его промывку.

На практике одновременное соблюдение указанных условий возможно далеко не всегда, особенно в канализационных системах, находящихся в эксплуатации в течение длительного времени. Кроме того, соблюдение этих условий должно быть гарантировано на протяжении всего срока службы узлов учета, использующих данный способ измерений, в противном случае возможен непредсказуемый существенный рост погрешности измерений как в пользу абонента, так и в пользу ресурсоснабжающей организации. Именно поэтому узлы учета, использующие данный метод измерений, получили распространение главным образом только благодаря относительно невысокой цене оборудования. В последнее время наметилась тенденция к замене расходомеров «по уровню» на доплеровские расходомеры «площадь – скорость» вследствие снижения стоимости последних. Однако при соблюдении указанных выше требований применение методики дает приемлемый результат, особенно при использовании этого метода как резервного, например на случай выхода из строя первичного преобразователя скорости в методе «площадь – скорость».

Способ измерений «площадь – скорость»

Оборудование, использующее этот способ измерений, определяет скорость потока и его глубину независи-

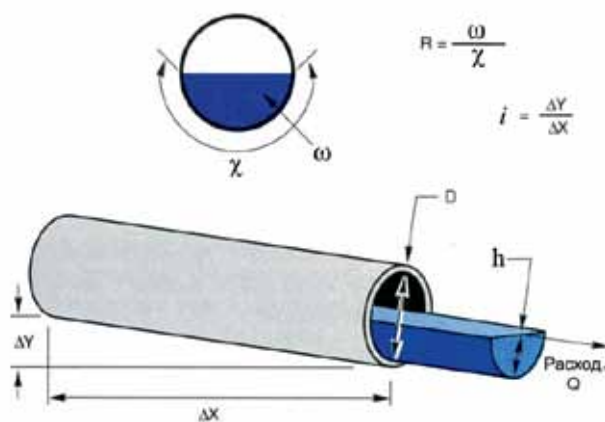


Рис. 2. Зависимость Шези

мо друг от друга. Это позволяет значительно расширить диапазон гидравлических режимов в самотечном коллекторе, при которых возможно производить измерения с приемлемой точностью.

По физическому принципу определения средней скорости потока этот тип измерительного оборудования подразделяют на несколько групп.

Метод Доплера

Для измерения скорости движения жидкости доплеровским методом (Doppler) в поток устанавливают акустический преобразователь, который излучает ультразвуковой сигнал навстречу потоку и получает отраженное эхо от имеющихся в потоке твердых частиц и (или) пузырьков воздуха или других нерастворенных газов (рис. 3), двигающихся навстречу излучаемому сигналу со скоростью, условно равной скорости потока (почему «условно», оставим для следующих публикаций). Согласно принципу Доплера, частота излучаемого и отраженного ультразвуковых сигналов различается на величину, пропорциональную скорости движения частицы, от которой этот сигнал отразился. Подавляющее большинство людей многократно сталкивались в своей жизни с этим эффектом, например обнаруживая разницу тонов сирены спецавтомобиля при приближении, а затем – удалении от наблюдателя. Таким образом, после обработки сигналов от всех частиц в потоке становится возможным определить среднюю скорость всех частиц, что условно соответствует средней скорости потока в зоне измерений. Если исходить из принципа работы расходомеров данного типа, станет очевидным, что приемлемый результат может быть получен только при равномерном распределении частиц в потоке. Однако на практике это, как правило, не так, поэтому в 2003 году НКФ «Волга» разработала методику выполнения измерений МВИ 208/613-03, для которой распределение частиц в потоке неважно.

Радар

Первичный преобразователь устанавливается над потоком и измеряет скорость движения поверхности воды, посылая прямой сигнал и получая сигнал, отраженный от неровностей на поверхности потока (рис. 4). Скорость

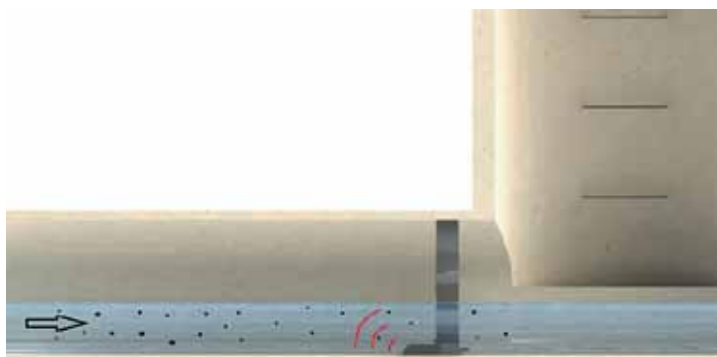


Рис. 3. Принцип Доплера

движения поверхности жидкости определяется по величине частотного смещения радарного сигнала.

Необходимо отметить, что средняя скорость движения жидкости на поверхности V_n и средняя скорость по сечению V_{cp} не равны друг другу, поэтому при установке подобного расходомера производится поиск зависимости коэффициента пересчета средней скорости движения потока на его поверхности в среднюю скорость в поперечном сечении: $K = V_n/V_{cp}$. Эта зависимость находится, например, с помощью точечных расходомеров, позволяющих определить фактическую среднюю скорость. Некоторые производители оборудования, включая НКФ «Волга», позволяют наряду с калировкой выбирать из «предложенных» прибором типовых расчетных гидравлических профилей потока $K = f(H)$ различного вида после введения данных – конфигурации водовода, шероховатости, уклона и т. д.

Многочувствительный импульсный метод

Времяимпульсный метод измерения скорости (Multipath Acoustic Transit-Time) потока основан на определении разности времени прохождения акустического сигнала под углом

к вектору скорости потока в прямом и обратном направлениях (рис. 5). Поток жидкости, проходящей через акустический луч, увеличивает скорость звука вдоль луча в прямом направлении и уменьшает его в обратном направлении. При известной длине луча и разнице времени прохождения сигнала в прямом и обратном направлениях становится возможным определить компоненту скорости, добавленную текущей водой. Для реализации данного метода на противоположных стенках водовода устанавливаются акустические преобразователи, которые формируют условный акустический луч под углом θ к оси водовода, излучая и принимая ультразвуковой сигнал. Этот метод измерения на практике редко применяется в канализационных системах, поскольку имеющиеся в потоке нерастворенные пузырьки газов и взвешенные частицы высокой концентрации негативно влияют на точность и стабильность измерений.

Кросс-корреляция

В 2000 году немецкая компания NIVUS GmbH представила свою инновационную технологию измерения объемного расхода жидкости

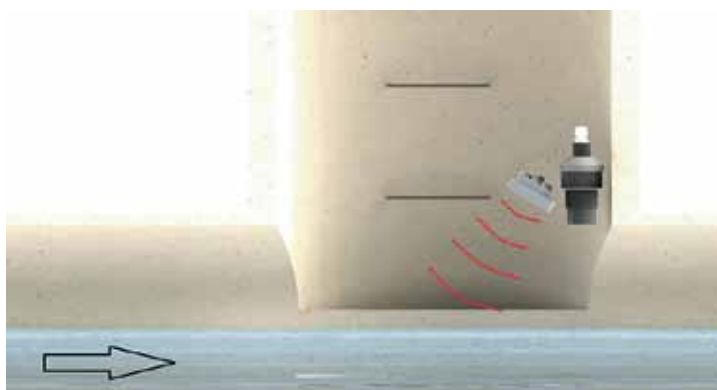


Рис. 4. Радарный принцип измерения

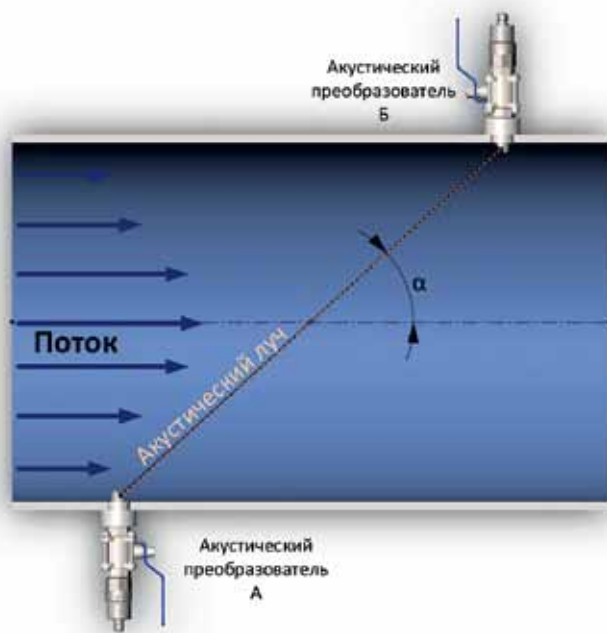


Рис. 5. Времяимпульсный метод измерения

под названием «кросс-корреляция» (Cross-Correlation). Суть метода состоит в том, что находящийся в потоке ультразвуковой датчик делает так называемые «фотографии» потока (как в медицине) с частотой от 500 до 2000 Гц. Сравнение соседних «фотографий» позволяет определить скорость перемещения частиц. Для решения этой задачи в датчик вмонтированы два мощных микропроцессора. Отраженный частотный спектр от каждого ультразвукового импульса датчика запоминается в цифровом формате в виде «слайда». Микропроцессоры сравнивают соседние слайды и вычисляют перемещение каждой из частиц за временной промежуток, заданный тактовой частотой ультразвукового излучателя. Необходимым условием применения данного метода является содержание в потоке достаточного количества твердых частиц и (или) мелких пузырьков нерастворенных газов, по которым, собственно, и определяется средняя скорость движения жидкости. Кросс-корреляционные расходомеры дают неплохие результаты измерений, особенно в сложных гидравлических условиях, со сложной пространственной эпюрой скорости по сечению, в тех средах, для которых он и был разработан, а именно — для средне и сильно загрязненных жидкостей, например хозяйственной неочищенной канализации, ливневой канализации, стоков с очистных сооружений и т.п. Однако несмотря на

очевидные преимущества применение подобного оборудования имеет ряд существенных недостатков, а именно:

- ▶ высокая стоимость покупки оборудования. Двукратное превышение стоимости по сравнению с классическими доплеровскими расходомерами не всегда возможно компенсировать более высокой точностью измерений;
- ▶ размещение основной электроники внутри корпуса первичного преобразователя — это расплата за требу-

мое высокое быстродействие системы обработки сигналов. Вследствие такого технического решения стоимость первичного преобразователя, находящегося непосредственно в потоке, компоненты которого наиболее подвержены износу и порче, составляет больше половины стоимости всего расходомера. Не говоря уже о стоимости работ по его замене в случае повреждения. Все это ощутимо влияет на долговечность измерительного оборудования и является причиной высоких эксплуатационных расходов при использовании кросс-корреляционных расходомеров.

Для определения глубины потока при безнапорном течении используется несколько типов первичных преобразователей.

▶ **Ультразвуковые и радарные надводные** (рис. 6). Первичный преобразователь устанавливается над потоком и излучает сигнал перпендикулярно поверхности воды. Измерив время прохождения сигнала до поверхности потока и обратно (эхо), определяет его глубину.

Преимущество: отсутствие контакта с жидкой средой.

Недостаток: влияние волнения поверхности при сильном ветре, пены и парения на результаты измерений (для ультразвукового преобразователя).

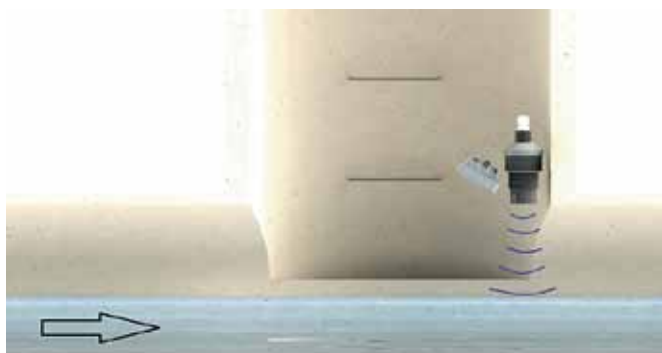


Рис. 6. Бесконтактные преобразователи глубины

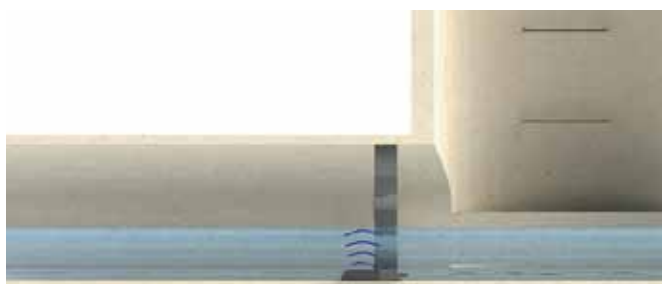


Рис. 7. Погружные подводные ультразвуковые преобразователи глубины

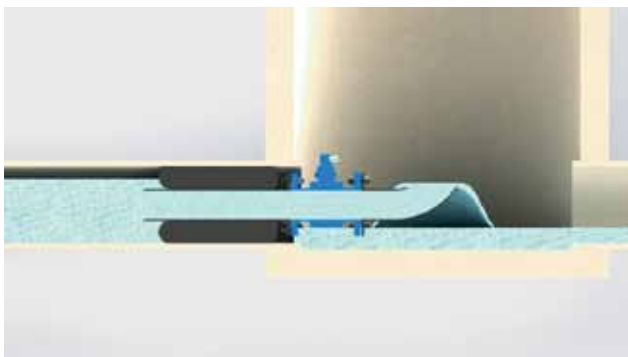


Рис. 8. Принцип работы L-системы

► **Ультразвуковые подводные (погружные)** (рис. 7). Принцип действия схож с надводными. Сигнал излучается первичным преобразователем, установленным на дне или на стенках водовода ниже минимального уровня, вверх — к поверхности потока (границе раздела сред «вода — атмосфера»). По времени прохождения сигнала до поверхности и обратно определяется расстояние до поверхности.

Преимущество: не влияют парение и пена.

Недостаток: при погружном способе установки существует вероятность влияния илистых отложений и твердых наносов.

► **Гидростатические.** Основой метода является определение давления столба жидкости над погруженным в жидкость первичным преобразователем. Первичный преобразователь является, по сути, датчиком давления, который определяет полное давление, складывающееся из атмосферного давления и давления жидкости:

$$P_{полн} = P_{атм} + P_{ст} .$$

Для исключения составляющей атмосферного давления на чувствительную мембрану датчика с обрат-

ной стороны подается атмосферное давление через тонкую трубку, проходящую внутри кабеля. Для предотвращения попадания влаги внутрь трубки на трубку со стороны атмосферы устанавливается осушитель.

Преимущество: можно установить внутрь закрытой трубы.

Недостаток: вероятность попадания влаги внутрь канала вентиляции кабеля и его засорения.

L-система

Очень заманчиво выглядит идея использовать электромагнитные непроводные расходомеры для задач измерения расхода жидкости, поскольку электромагнитные расходомеры обладают высокой точностью, надежностью и широким динамическим диапазоном. Однако для этого необходимо перевести безнапорный поток в напорный, для чего в смотровой колодец во входящую трубу устанавливается специальный комплект арматуры с небольшим отводом, направленным вверх (рис. 8). Благодаря этому отводу уровень потока выше по течению повышается, и поток в непроводном первичном преобразователе электромагнитного расходомера становится слабонапорным. Такой

способ измерения объемного расхода в самотечной канализации имеет как преимущества, так и недостатки.

Преимущества:

► измерение расхода воды при сверхмалых расходах (например, при измерении расхода воды в водоводе Ду 110 и расхода с одного лишь санузла способ является практически безальтернативным);

► высокая точность (до $\pm 0,5\%$).

Недостатки:

► скорость потока в водоводе по течению до узла учета падает по сравнению с нормальными эксплуатационными значениями, определенными при проектировании, что увеличивает осаждение твердых частиц и повышает вероятность заиливания;

► система может забиться крупными предметами, попадающими в канализацию (культура пользования коммунальными канализационными системами в нашем обществе пока еще недостаточна высока).

Гибридный расходомер ВОЛГА ТРИТОН

Как можно видеть из сказанного, не существует абсолютно универсального, технически и экономически приемлемого метода измерений объемного расхода в канализационных



Рис. 9. Пример использования гибридных технологий



Рис. 10. Вторичный преобразователь гибридного расходомера ВОЛГА ТРИТОН

системах, поэтому НКФ «Волга» был разработан и внедрен в производство гибридный расходомер ВОЛГА ТРИТОН. Использование расходомером различных методов измерения расхода в любом их сочетании позволяет внедрять узлы учета сточных вод практически на любом объекте с безнапорной канализацией. А понимание основ гидравлики и практический опыт помогают нам реализовывать подобные проекты без нарушения проектных гидравлических режимов работы канализационных систем, определенных стандартами.

На рис. 9 приведен пример использования гибридных технологий для измерения объемного расхода жидкости в канализационной системе с комбинированным напорно-безнапорным режимом течения. В данном случае это водовод с лотком в канализационном смотровом колодце. В случае малых наполнений водовода измерения ведутся по бесконтактной радарной технологии, а в случае переполнения, когда измерение поверхностной скорости бессмысленно, измерение ведется по принципу Доплера первичным преобразователем, установленным на образующей входящего водовода.

Гибридный расходомер ВОЛГА ТРИТОН (рис. 10) позволяет реализовать алгоритмы обработки данных

и может комплектоваться первичными преобразователями, позволяющими измерять расход по следующим методам:

- ▶ МИ 2220-2013 «Методика измерений в безнапорных водоводах по уровню заполнения с предварительной калибровкой измерительного створа» (радарные и ультразвуковые бесконтактные первичные преобразователи глубины);

- ▶ МИ 2406 «Расход жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков» (радарные и ультразвуковые бесконтактные первичные преобразователи глубины);

- ▶ МВИ 208/613-03 «Расход жидкости в гидротехнических водоводах. Методика выполнения измерения расхода при независимых измерениях максимальной скорости течения и глубины жидкости» (ультразвуковой доплеровский первичный преобразователь максимальной скорости, радарные и ультразвуковые бесконтактные первичные преобразователи глубины, гидростатический и ультразвуковой погружной первичный преобразователь глубины);

- ▶ доплеровский метод по средней скорости (ультразвуковой доплеровский первичный преобразователь

средней скорости, радарные и ультразвуковые бесконтактные первичные преобразователи глубины, гидростатические и ультразвуковые погружные первичные преобразователи глубины);

- ▶ бесконтактный радарный метод (радарный первичный преобразователь скорости и глубины);

- ▶ L-система с использованием электромагнитного первичного преобразователя расхода.

Помимо широких возможностей в использовании различных методов измерения расхода расходомер обладает следующими отличительными особенностями:

- ▶ полноцветный сенсорный экран с интуитивно понятным интерфейсом;
- ▶ регистрация времени наработки, ведение журнала ошибок и событий;

- ▶ встроенный VNC-сервер;
- ▶ работа в сетях IoT (протокол MQTT);

- ▶ сохранение данных на внешний USB-накопитель;

- ▶ встроенный FTP-сервер;
- ▶ модем 4G GPRS (опция);

- ▶ поддержка цифровых протоколов Modbus RTU, Modbus TCP/IP;

- ▶ аналоговые и импульсные выходы;

- ▶ интерфейсы RS-485, Ethernet;
- ▶ установка первичных преобразователей в три створа измерений одновременно с возможностью ведения баланса (сумма и/или разность).

Расходомер ВОЛГА ТРИТОН является современным средством измерений, предоставляющим возможность организовать гибридные схемы алгоритмизации вычисления объемного расхода жидкости и установить разные первичные преобразователи, что позволяет применять его при любых гидравлических режимах работы канализационной системы.

Расходомер ВОЛГА ТРИТОН является современным средством измерений, предоставляющим возможность организовать гибридные схемы алгоритмизации вычисления объемного расхода жидкости и установить разные первичные преобразователи, что позволяет применять его при любых гидравлических режимах работы канализационной системы.

В. В. Бирюков, технический директор,
С. А. Панкратов, заместитель директора,
ООО НКФ «Волга», г. Москва,
тел.: +7 (499) 976-4949,
e-mail: volga@volgald.ru,
сайт: www.volgald.ru