



Ю. В. Горнев, генеральный директор ООО «Вистарос»

## ВЫБОР РАСХОДОМЕРОВ ДЛЯ САМОТЕЧНЫХ КАНАЛОВ

Выбор способа учета расхода жидкости в крупных организациях – потребителях воды, на предприятиях, использующих воду на технологические нужды и сбрасывающих стоки, на ТЭЦ и других промышленных объектах зависит от многих факторов. Это – степень загрязнения потока, тип системы (напорная или безнапорная), место планируемой установки и др. Одной из задач, встающих перед проектировщиками, является подбор оборудования для измерения расхода для самотечных каналов. В данной статье рассмотрены основные типы расходомеров, применяемых для самотечных каналов, особенности их выбора.

Измерение расхода жидкости ( $Q$ ) в трубопроводе или канале не может быть выполнено непосредственно. Для его вычисления используется формула

$$Q = \bar{V} \cdot A,$$

где

$A$  – площадь сечения потока,

$\bar{V}$  – его средняя скорость.

При этом основной и непростой задачей является корректное определение средней скорости  $\bar{V}$ , так как площадь сечения  $A$  определяется из формы канала (которая может быть взята из строительной документации либо измерена при создании узла учета) и уровня потока, измерение которого может выполняться различными способами и, как правило, не представляет проблем.

В настоящее время существует несколько методов измерения расхода сточных вод в безнапорных трубопроводах и большое количество различных типов оборудования для решения этой задачи. К таким методам можно отнести:

1) радарные бесконтактные расходомеры, измеряющие уровень и скорость поверхностного стока в открытых и закрытых самотечных потоках. Средняя скорость потока определяется путем умножения скорости поверхностного стока на постоянный коэффициент. Такие устройства используют в труднодоступных местах и сильно загрязненных потоках, где нет возможности установить погружные датчики. Их применяют для учета канализационных и технических стоков;

2) использование в качестве расходомеров уровнемеров, установленных на лотках Паршалля или Вентури, либо непосредственно над каналом,

или в колодце трубопровода. При этом средняя скорость не измеряется вообще, а предполагается, что это величина постоянная и расход зависит только от уровня. При помощи беспроводных уровнемеров можно получить данные об удаленных и труднодоступных объектах;

3) погружные ультразвуковые расходомеры на основе метода Доплера, измеряющие скорость в различных точках потока и вычисляющие среднюю скорость на основе дополнительно вводимых данных о шероховатости стенок трубопровода и т.д.

Счетчики, работающие по данному методу, измеряют разность длины волны, отраженной от движущегося потока, относительно длины волны излучаемого сигнала.

Работающие по эффекту Доплера водомеры используют в напорных и самотечных системах, полностью и частично заполненных трубах, открытых каналах. Они работают в потоках разной степени загрязнения (кроме чистой воды);

4) системы, обеспечивающие перевод безнапорного режима работы трубопровода в напорный. При этом на самотечную трубу устанавливается секция, загнутая вверх, обеспечивающая 100 %-ное заполнение трубы, после чего измерение расхода в этой трубе обеспечивается ультразвуковыми или полнопроходными электромагнитными приборами учета, предназначенными для напорных трубопроводов;

5) погружные ультразвуковые кросс-корреляционные расходомеры, измеряющие скорость в потоке по слоям и вычисляющие среднее ее значение на основе полученных данных о распределении скоростей по всему сечению потока;

6) время-импульсные расходомеры (метод еще называют транзит-тайм, или время переноса) представляют собой два датчика, расположенных на противоположных стенках трубы или канала, каждый из которых является и приемником, и излучателем. Датчики посылают узконаправленный ультразвуковой сигнал один в направлении другого. Ось, проходящая через датчики, расположена под углом от 45 до 70 градусов к оси трубопровода. Двигаясь с потоком по течению, ультразвуковой луч проходит расстояние от одного датчика до другого быстрее, чем против течения. Исходя из этого, определяется скорость течения.

Существуют и некоторые другие типы счетчиков сточных вод, но они мало распространены из-за их очевидных недостатков при работе в стоках. Это, например, электромагнитные точечные расходомеры, датчики которых производят измерение в локализованной области потока. Их недостатком

является то, что электромагнитные точечные датчики способны продолжительно работать только в относительно чистой воде.

Также существуют устройства, определяющие скорость течения на основании измерения угла отклонения штыря (рычага), погруженного в поток. Этот метод достаточно прост, но любая грязь на поверхности течения, особенно в хозяйственных фекальных стоках (волосы, тряпки и т.д.), незамедлительно нарушает показания.

## Выбор типа расходомера для узла учета сточных вод

Для определения применимости перечисленных выше систем в тех или иных условиях рассмотрим их основные преимущества и недостатки.

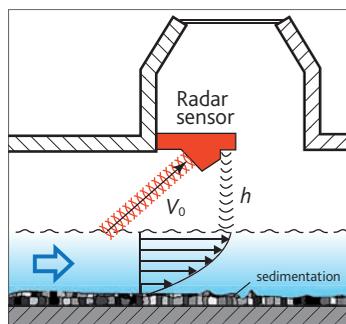
### 1. Радарные бесконтактные расходомеры стоков.

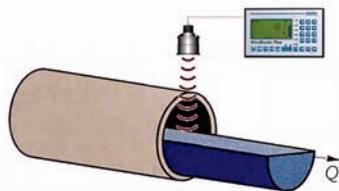
Основное преимущество данных расходомеров: простота и удобство монтажа и обслуживания, которые определяются тем, что бесконтактный датчик находится над поверхностью воды и не контактирует со стоком. Прибор измеряет скорость поверхностного стока, что является существенным преимуществом по сравнению с просто уровнемером.

В то же время следует отметить малое распространение данных систем в настоящее время как в Европе, так и в России. Это связано со следующим недостатком данного метода учета. Основным недостатком является высокая погрешность измерения расхода, достигающая до 30 %, а в определенных условиях – до 50 %. Большая погрешность определяется сильной зависимостью данного метода измерения от состояния поверхности потока (от волн и ряби), а также отсутствием однозначной связи между измеряемой скоростью на поверхности и средней скоростью, которая определяет объемный расход жидкости.

Применять радарные расходомеры рекомендуется только в тех случаях, когда полностью отсутствует возможность установки более точных (погружных) приборов – доплеровских или

**Радарные бесконтактные расходомеры стоков**





Расходомеры для самотечных каналов на основе уровнемеров

кросс-корреляционных. Кроме того, радарные расходомеры на сегодняшний день достаточно дорогостоящие, и их применение на узлах коммерческого учета воды с малым расходом нецелесообразно.

**2. Расходомеры для самотечных каналов на основе уровнемеров.**

Безусловным преимуществом систем измерения расхода на базе уровнемеров являются их невысокая стоимость, а также простота установки и обслуживания. Недостатки данного метода измерения такие же, как и у описанных выше бесконтактных систем. Еще одним недостатком является отсутствие информации о скорости потока.

Такие приборы могут относительно хорошо работать при отсутствии подпоров. Но гарантировать отсутствие подпоров очень проблематично. Если их даже нет в момент установки оборудования, то они могут непредсказуемо появиться с течением времени. Любой начинающийся засор или посторонний предмет в канале приводит к появлению подпора. Если труба от предприятия сбрасывает стоки в городской коллектор,



а коллектор работает в режиме большого заполнения, также возникает подпор. При наличии подпора погрешность данного метода измерений может достигать сотни процентов. Если вода в коллекторе стоит неподвижно, а уровень остается большим из-за подпора, ошибка стремится к бесконечности.

Кроме того, использование ультразвуковых уровнемеров невозможно при наличии пены, пара, тумана, интенсивных осадков, большой волны и т.д.

Применять данный метод рекомендуется либо для технологических (некоммерческих) нужд, либо для коммерческого учета на трубах и каналах с небольшим расходом, когда даже большая ошибка прибора не приводит к большим финансовым потерям.

**3. Доплеровские расходомеры сточных вод.**

Погружные доплеровские расходомеры производят измерение скорости движения частиц в потоке на основе эффекта Доплера (измерения разницы частот излученного ультразвукового сигнала и сигнала, отраженного от движущейся частицы).

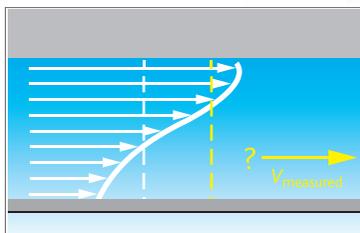
Проблема при измерении состоит в том, что в разных слоях потока частицы движутся с разной скоростью: ближе к дну или стенкам частицы движутся медленнее, ближе к поверхности – быстрее, на поверхности опять медленнее. Распределение скоростей зависит от многих факторов, в том числе от величины и характера донных отложений, шероховатости стенок, характера, скорости и уровня потока и т.д.

Доплеровские датчики не способны определить, на каком уровне находятся частицы, скорость движения которых они измеряют. Средняя скорость в этом случае определяется как произведение измеренной скорости на калибровочный коэффициент  $K$

$$\tilde{V} = V_{\text{изм}} \cdot K.$$

При этом калибровочный коэффициент  $K$  обычно выбирается по таблицам в зависимости от материала стенок трубопровода или канала, времени с момента начала эксплуатации канала и т.д. При этом уже используется существенное допущение, либо коэффициент определяют в процессе калибровки при установке. Но в этом случае надо иметь в виду, что фактическая зависимость средней скорости от измеренной является нелинейной функцией от скорости и уровня, т.е. калибровка, выполненная при одних гидравлических характеристиках, не будет корректна при других характеристиках. Кроме того, на показания доплеровских расходомеров сильно влияет

Доплеровские расходомеры сточных вод



уровень загрязненности стока (количество взвешенных частиц в единице объема).

Доплеровский метод измерения дает значительно более точные результаты, чем использование уровнемеров или бесконтактных радарных расходомеров, но при этом и его погрешность в некоторых случаях может составлять 20–25 % с точным соблюдением всех требований руководства по эксплуатации (что подтверждено рядом сравнительных испытаний). Тем не менее в ряде случаев, в зависимости от конкретных гидравлических условий, доплеровские расходомеры могут давать хорошую точность (2–5 %).

#### 4. Применение электромагнитных и ультразвуковых расходомеров при преобразовании безнапорного потока в напорный.

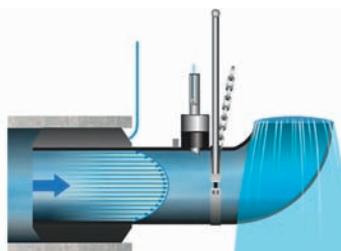
Перевод безнапорного режима работы трубопровода в напорный является достаточно простым решением для труб небольшого диаметра.

После установки в колодце безнапорного трубопровода участка трубы, загнутого вверх, трубопровод полностью заполняется и переходит в напорный режим. Измерение расхода в напорном трубопроводе является более простой и отработанной задачей. Это можно делать как ультразвуковыми датчиками, так и электромагнитными расходомерами, погрешность которых может составлять 0,5–1,0 %. Однако в некоторых случаях при грязном стоке в месте изгиба трубы вверх могут образовываться засоры – в результате растет погрешность из-за отложений (пропорционально росту отложений), и через некоторое время узел становится неработоспособным. Ежедневная чистка трубы в месте узла учета вряд ли будет приемлема для пользователя. Кроме того, этот метод трудно реализуем и достаточно дорогостоящий для труб большого диаметра. Обычно его используют в трубах диаметром менее 300 мм.

#### 5. Кросс-корреляционные приборы учета стоков.

Метод кросс-корреляции был разработан и запатентован фирмой Nivus GmbH в 2000 году. Этот метод иногда путают с методом Доплера, хотя он и не имеет к нему прямого отношения. В методе кросс-корреляции не анализируется изменение частоты сигнала при отражении от движущихся частиц, а сравниваются ультразвуковые фотографии, полученные с частотой от 500 до 2000 единиц в секунду.

На основе сравнений этих ультразвуковых фотографий определяется перемещение частиц в каждом слое потока в единицу времени, т.е. определяется скорость движения всех слоев потока. Таким образом, средняя скорость точно рассчитывается на основе полученных прямых

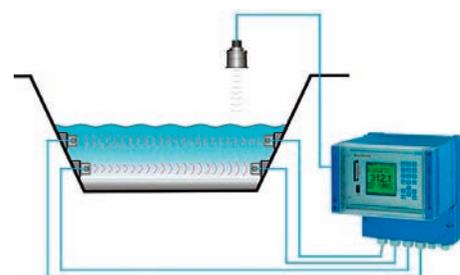
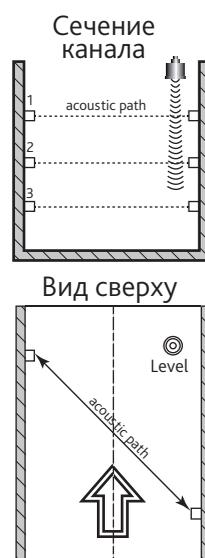


измерений скорости по слоям потока. При этом не требуются ни предварительная калибровка, ни учет шероховатости стенок путем ввода табличных (теоретических) коэффициентов.

#### 6. Время-импульсные расходомеры.

Данный тип расходомеров предназначен прежде всего для измерения в относительно чистых потоках, так как точность их показаний сильно зависит от однородности среды. Такой тип

**Электромагнитные и ультразвуковые расходомеры**



**Время-импульсные расходомеры**

приборов часто используют для измерения расхода чистой питьевой воды либо на водозаборах. В части стоков их обычно применяют на сбросных каналах контуров охлаждения промышленных предприятий, а также для очищенной воды на выходе очистных сооружений. Их преимуществом является возможность измерения очень широких каналов – до 100 метров и более. Время-импульсные расходомеры выпускаются с врезными или накладными датчиками для напорных труб, а для безнапорных труб – в виде трубных или клиновидных датчиков или полусфер.

### Установка погружных датчиков приборов учета стоков

Если с установкой бесконтактных датчиков уровнемеров и радарных расходомеров все достаточно понятно (простота установки является их основным преимуществом в ущерб точности измерений), то монтаж погружных датчиков часто требует специальных технических решений. В самотечных трубах диаметром 200–800 мм доплеровские и кросс-корреляционные датчики устанавливаются, как правило, на распорном монтажном кольце, что обеспечивает минимальное время установки при надежной фиксации.

В трубах диаметром свыше 800 мм пластина с датчиком крепится к стенке трубопровода.

При установке в грязной воде, такой как промышленная или фекальная канализация, нужно внимательно следить за укладкой и фиксацией кабеля, особенно в нижней части трубы. Кроме того что плохо зафиксированный кабель приводит к накоплению на нем волос, грязи и тряпок (с возможностью последующего засора или отрыва всей конструкции потоком), он может болтаться под действием потока и перетираться при трении о конструкцию крепления. При креплении металлических пластин к стенке трубы большого диаметра шурупами большое значение имеют даже форма головки фиксирующих шурупов и многие другие технологические детали.

Установка погружных датчиков приборов учета стоков



Серьезной проблемой является установка погружных датчиков в глубоком потоке, особенно при высокой скорости течения и невозможности временной остановки потока. Для этого могут производиться водолазные работы либо работа при минимальном уровне потока (в ночное время и т.п.). Однако существуют и специальные технические решения, которые позволяют не только опускать датчики в глубокий поток, но и извлекать их оттуда, не прибегая к помощи водолазов для поверки и обслуживания.

Кроме того, датчики могут быть установлены на поплавках «вверх ногами». Это не только облегчает установку датчиков в глубоких каналах, но и дает возможность производить точные вычисления при переменных донных отложениях (в случаях, когда донные отложения зависят от количества выпавших осадков, например), так как встроенный в датчик ультразвуковой уровнемер будет измерять уровень потока от поверхности до фактической поверхности дна с отложениями.

Можно упомянуть еще о дополнительных возможностях кросс-корреляционных расходомеров по измерению широких потоков. Данный тип расходомеров позволяет подключать к вычислителю несколько датчиков скорости, расположенных на дне канала либо на дне и на стенках канала, и за счет этого получать эпюру скоростей не только по глубине потока, но и по ширине. Это обеспечивает высокую точность измерений в широких каналах.

### Возможные проблемы при использовании приборов учета стоков с погружными датчиками

Наиболее серьезными проблемами при использовании погружных датчиков являются возможность потери ими работоспособности в результате загрязнения при работе в грязном канализационном стоке либо разрушения при наличии в потоке перекатывающих камней и других тяжелых предметов. При этом водоканалы России особенно серьезно относятся к этой проблеме, потому что считают канализационные трубы в нашей стране самыми грязными. Но это не совсем так. Погружные датчики используются во всем мире, и не только в хорошо «ухаженных» трубах Германии и Швейцарии, но и в Индии и в других странах, где канализация ничуть не чище отечественной.

Применяемые ультразвуковые датчики специально рассчитаны на тяжелые условия работы и не теряют работоспособности при заиливании, так как мокрый или хорошо пропускает ультразвук.

При покрытии датчиков слоем тряпок или материалом, не прозрачным для ультразвука,

расходомеры ведущих производителей не дают неверных показаний, а сигнализируют об ошибке и необходимости прочистки. Для уменьшения вероятности засорения датчики обычно устанавливают не в нижней точке трубы, а с некоторым смещением (например, на 10 или 20 градусов относительно вертикальной оси трубы).

Применяют также установку на небольшом возвышении (на специальной подставке) и еще целый ряд методов для минимизации проблем, создаваемых грязью.

Для защиты от перекатывающихся камней и других твердых предметов, которые могут разбить корпус датчика, используют металлическую защиту специальной формы.

Еще одной задачей является измерение в потоках, имеющих в некоторые моменты времени низкий уровень. Это приводит к тому, что вода не покрывает датчик и не позволяет производить измерение скорости. Выше уже говорилось о переводе безнапорного потока в напорный за счет использования загнутой вверх трубы. Для поднятия уровня могут также использоваться небольшие плотины. При этом поток остается безнапорным, но уровень повышается.

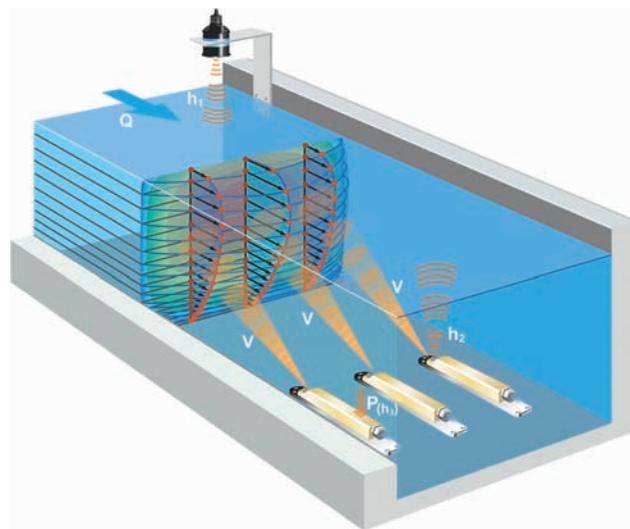
## Обзор наиболее популярных моделей и производителей

Среди сертифицированных и применяемых в России расходомеров можно отметить следующих производителей.

- Кросс-корреляционные приборы поставляет компания Nivus GmbH.
- Доплеровские расходомеры поставляют несколько зарубежных и ряд отечественных компаний.

Среди зарубежных можно отметить Nivus (OCM-F), ISCO, ADS, Hydreka (Mainstream). Отечественные производители «Взлет» и «Днепр» для измерения расхода в открытых каналах советуют ставить более привычные уровнемеры их производства.

- Радарные бесконтактные расходомеры с функцией измерения скорости поверхностного стока предлагают: Nivus (OFR), FlowTronic (RavenEye), Hach (Flo-Dar). ISCO предлагает бесконтактный лазерный расходомер.
- Устройства по переводу безнапорного потока в напорный поставляет: Nivus (Profiler), FlowTronic (Sewer Mag) и отечественный производитель «Энрима» («Стокмер»).
- Время-импульсные расходомеры для каналов предлагают: Nivus, Accusonic и Seba Hydrometrie.



- Среди уровнемеров с функцией измерения расхода наиболее популярны производители «Сигнур» («Эхо-Р»), «Взлет» (РСЛ), «Днепр» и другие. Можно обратить внимание на полностью автономные уровнемеры SonicSens, работающие от батарей в течение 3–5 лет и передающие информацию об уровне и расходе по беспроводным каналам связи GSM.

**Измерение широких потоков кросс-корреляционным расходомером**

## Цены на расходомеры для сточных вод

Кросс-корреляционные приборы учета сточных вод на сегодня являются наиболее точными, надежными и стабильными из всех имеющихся на рынке расходомеров. Но цена их выше, чем доплеровских расходомеров и тем более уровнемеров. Если вы имеете дело с небольшой трубой, с небольшим потоком и если годовые платежи за воду по данному узлу учета существенно ниже стоимости высококачественного расходомера, то, возможно, вам будет выгоднее использовать более дешевую (хотя и менее точную) систему – уровнемер или Доплер. Что касается каналов с большим расходом, то для них метод кросс-корреляции в настоящее время является наилучшим.

На сегодня существует достаточно большой выбор приборов учета сточных вод, отличающихся по цене и качеству. И если перед вами стоит задача купить счетчик для безнапорной промышленной, хозяйственной или ливневой канализации либо для труб и каналов водозабора и водосброса, то для каждого случая применения можно подобрать свой вариант. При этом установку узлов учета сточных вод лучше доверить специалистам, так как от правильного монтажа приборов во многом зависят точность показаний и продолжительность их работы.