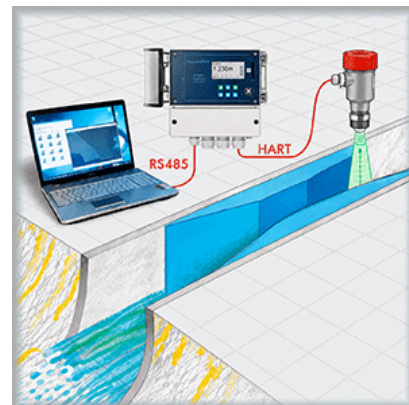


Измерение расхода сточных вод в открытых каналах

Открытые каналы используются на очистных сооружениях, промышленных предприятиях, канализационных станциях и других объектах, где жидкость движется самотеком. В отличие от закрытого трубопровода, поток здесь имеет свободную поверхность, поэтому применять обычный расходомер, установленный непосредственно в трубу, зачастую невозможно или нецелесообразно.

Сначала измеряют высоту жидкости в заданной точке канала, затем по известной зависимости между уровнем и расходом вычисляют объем проходящих сточных вод.



Для этого применяют измерительные лотки, водосливы и другие первичные устройства с известной геометрией. Уровнемер непрерывно контролирует высоту потока, а контроллер или ПЛК преобразует полученное значение в расход. Такой принцип используется как с ультразвуковыми, так и с радарными датчиками.

Как уровень жидкости превращается в значение расхода?

Сам по себе бесконтактный уровнемер определяет расстояние до поверхности жидкости. После настройки известна отметка дна или нулевая точка измерительной конструкции, поэтому система получает текущую высоту потока (h).

Далее используется расходная характеристика конкретного первичного устройства:

$$Q = f(h),$$

где Q – расход жидкости, а h – измеренный уровень.

Зависимость определяется конструкцией измерительного участка. Это может быть, например, водослив или измерительный лоток. Для стандартных конструкций соответствующие зависимости известны заранее, а для нестандартного канала может использоваться индивидуальная таблица или функция пересчета. Современные системы также позволяют суммировать мгновенный расход и получать накопленный объем стоков. Подобные схемы измерения уровня с последующим пересчетом в расход применяются на входных и выходных потоках очистных сооружений.



Расходомерные лотки и водосливы

На практике зависимость между уровнем и расходом задается геометрией первичного измерительного устройства. Для этого используют расходомерные лотки и водосливы разных конструкций. Можно использовать стандартные готовые решения, заказать изготовление лотка под параметры конкретного объекта или изготовить его самостоятельно по проектной документации.

Лотки Вентури имеют суженную горловину и относятся к лоткам критической глубины. Применяются варианты с боковым сужением при горизонтальном дне и конструкции с донным порогом. Первый вариант особенно подходит для жидкостей со взвешенными частицами, поскольку в канале нет порога, на котором могли бы накапливаться отложения. Лотки Вентури могут использоваться в каналах различной формы и естественных водотоках.

Лотки Паршалла состоят из сужающегося входного участка, горловины и расширяющейся выходной части. Их применяют прежде всего в прямоугольных каналах, но допускается установка и в каналах трапецеидального сечения и естественных водотоках. В отличие от лотков Вентури, типоразмеры Паршалла не являются геометрически подобными: для каждого нормализованного размера используются свои гидравлические характеристики. Подробнее о конструкции и принципе работы – в статье [«Измерение потока сточных вод с помощью лотка Паршалла»](#).

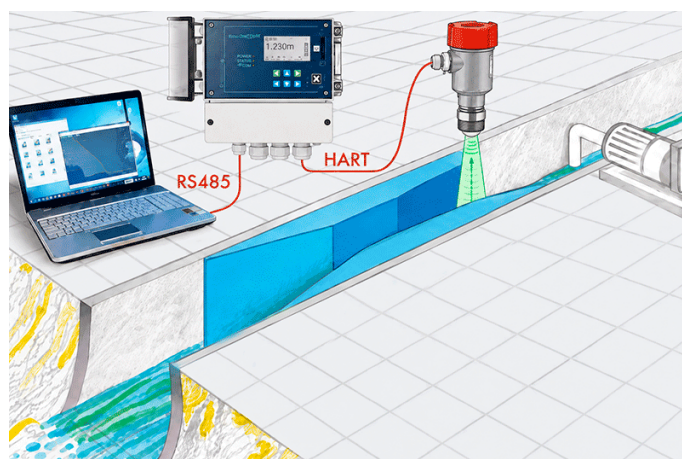
Лотки Палмера–Боулуса имеют исполнения для круглых каналов, а также прямоугольные конструкции; для каждого варианта используется своя зависимость уровня и объема проходящей жидкости.

Также применяют **водосливы** – конструкции с вырезом или порогом определенной формы. Тонкостенные водосливы бывают треугольными, прямоугольными и трапецеидальными. Треугольные удобны при значительном диапазоне изменения потока, а форму остальных подбирают в том числе с учетом сечения канала.

Выбор между лотком и водосливом зависит от формы и уклона канала, диапазона расходов, состава сточной воды и допустимых потерь напора. Например, в каналах с малыми уклонами, где сложно обеспечить достаточный перепад уровней, рекомендуются лотки критической глубины. При этом независимо от типа устройства точность расчета расхода напрямую зависит от корректного измерения уровня – поэтому выбор и правильная установка уровнемера остаются ключевой частью системы.

Типовая система включает:

- участок канала или первичное измерительное устройство с известной геометрией;
- бесконтактный уровнемер, установленный над поверхностью потока;
- контроллер, ПЛК или другое устройство, выполняющее пересчет уровня в расход;
- систему отображения, регистрации или передачи данных;



- при необходимости – функцию суммирования прошедшего объема сточных вод.

При такой схеме даже небольшие ошибки измерения уровня способны повлиять на рассчитанный расход. Поэтому особенно важна стабильность уровнемера при изменении окружающих условий.

Что осложняет измерение уровня сточных вод?

Открытый канал редко представляет собой идеальные лабораторные условия. Особенно это заметно на очистных сооружениях и промышленных объектах.

Температура воздуха в течение суток и года меняется, над теплыми стоками может появляться пар и конденсат, а сам объект нередко расположен на улице. Дополнительные сложности создают рябь и колебания поверхности, загрязнения, плавающие включения и пена.

Именно здесь становится заметна разница между ультразвуковым и микроволновым радарным принципами измерения.

Радар или ультразвук: в чем разница?

Оба метода бесконтактные. Датчик располагается над жидкостью, поэтому его чувствительный элемент не требуется погружать в сточные воды. Это уменьшает риск загрязнения и механического повреждения прибора.

Различается физический принцип получения измерительного сигнала.

[Ультразвуковой уровнемер](#) посылает к поверхности звуковой импульс и определяет время его прохождения до жидкости и обратно. Скорость распространения звука зависит от свойств газовой среды, прежде всего от температуры. Поэтому изменение условий между датчиком и поверхностью жидкости может влиять на точность ультразвукового измерения.



[Радарный уровнемер](#) использует электромагнитные микроволны. На их распространение изменения температуры воздуха, давление, плотность среды и многие другие факторы, критичные для акустического метода, практически не влияют. Поэтому радарные уровнемеры хорошо подходят для наружных объектов и открытых каналов с изменяющимися условиями окружающей среды.



Условия эксплуатации	Ультразвуковой уровнемер	Микроволновый радарный уровнемер
Перепады температуры воздуха	Могут влиять на скорость распространения звука, требуется компенсация	Изменение температуры воздушной среды практически не влияет на принцип измерения
Пар и конденсация над стоками	Способны ослаблять или искажать акустический сигнал	Радар не зависит от подобных изменений газовой среды
Ветер и наружная установка	Сильное движение воздуха может осложнять акустическое измерение	Электромагнитная волна не распространяется вместе с воздушной массой, поэтому влияние ветра отсутствует
Контакт со сточными водами	Не требуется	Не требуется
Рябь и волны	Возможны нестабильные отражения	Часто обеспечивает более устойчивое измерение, однако результат зависит от конкретных условий
Пена	Возможны нестабильные отражения	Влияние стремится к нулю
Работа зимой	Температурные градиенты, снег, лед и обмерзание могут создавать дополнительные сложности	Радарные приборы широко применяются для наружных измерений при низких температурах
Необходимость обслуживания	Зависит от загрязнения поверхности излучателя и условий эксплуатации	Бесконтактный принцип позволяет свести обслуживание измерительной части к минимуму

Преимущества радарного метода становятся особенно заметны, например, при сильном морозе: образование инея может нарушать работу ультразвукового датчика, тогда как радарный датчик продолжает стабильно измерять уровень.

Для измерения расхода эта разница особенно важна: уровень служит исходным значением для дальнейшего расчета $Q(h)$, поэтому изменение условий между датчиком и поверхностью жидкости не должно заметно влиять на результат. У радарного метода эта зависимость значительно слабее, чем у ультразвукового.



Как радар работает при пене и загрязненной поверхности?

Пена и сильное волнение поверхности могут осложнять измерение и для радарного датчика. Интенсивная турбулентность, неоднородная поверхность и сложная геометрия измерительного участка способны создавать нестабильные или ложные отражения.

Современные радарные системы анализируют отраженные сигналы и позволяют отфильтровывать часть помех от окружающих объектов. Эта технология применяется в том числе при измерении уровня и расчете расхода в открытых каналах.

Поэтому при выборе прибора важно учитывать условия на конкретном объекте: характер пены и волнения поверхности, диапазон уровня, расстояние до воды, наличие конструкций в зоне излучения и требуемую точность.

Микроволновые уровнемеры IL-MP для контроля уровня

Для построения такой измерительной системы можно использовать [микроволновые радарные уровнемеры INNOLevel Micropulse](#).

Датчики имеют выход 4–20 мА / HART, питание 24 В DC и степень защиты корпуса IP66. Рабочий температурный диапазон от –40 до +100 °С. Взрывозащищенные исполнения позволяют использовать IL-MP на объектах с особыми требованиями к безопасности.

Для контроля расхода в открытом канале важны несколько особенностей датчика:

- **бесконтактное измерение** – датчик не приходится погружать в загрязненный поток;
- **микроволновый радарный принцип** – подходит для объектов с изменяющимися условиями окружающей среды;
- **выход 4–20 мА / HART** – позволяет передавать измеренный уровень в ПЛК, контроллер или систему диспетчеризации;
- **исполнение IP66** – рассчитано на промышленную эксплуатацию в условиях воздействия пыли и влаги.

[INNOLEVEL Micropulse](#) в открытом канале измеряет уровень. Пересчет измеренного значения в мгновенный и накопленный расход выполняет внешний контроллер, ПЛК или система автоматизации с учетом расходной характеристики измерительного участка.



На что обратить внимание при установке?

Точность расчета зависит не только от уровнемера, но и от проектирования измерительного участка и выбора точки монтажа.

В частности, следует учитывать диапазон изменения уровня, минимальное и максимальное расстояние до поверхности, расположение стенок и металлических конструкций, возможные зоны турбулентности, образование пены и отложений.

Уровнемер желательно устанавливать над тем участком, для которого определена зависимость уровня от расхода. Если используется водослив или измерительный лоток, точку контроля выбирают в соответствии с требованиями к данной конструкции. В зоне измерения следует по возможности исключить препятствия, способные создавать сильные паразитные отражения.

Не менее важно корректно задать нулевую отметку, диапазон преобразования и характеристику $Q(h)$. После монтажа систему целесообразно проверить при нескольких значениях расхода.

Когда ультразвукового уровнемера достаточно?

Переходить на радар только потому, что это более современная технология, необходимо не всегда.

Если канал расположен в стабильных условиях, перепады температуры невелики, над водой нет значительного количества пара и конденсата, а требования к измерению умеренные, ультразвуковой уровнемер может успешно выполнять задачу и оказаться экономически оправданным.

Преимущество радара становится особенно заметно там, где условия постоянно меняются: на наружных каналах, очистных сооружениях, промышленных стоках, при значительной сезонной разнице температур или высокой влажности. Для таких объектов меньшая зависимость измерения от состояния воздуха позволяет повысить стабильность исходного сигнала уровня и, соответственно, расчетного расхода.

Что выбрать для измерения расхода сточных вод?

Выбор уровнемера зависит от условий эксплуатации и требований к стабильности измерения. Для наружных объектов, участков с перепадами температуры, высокой влажностью и испарениями преимущества радарного метода становятся более заметны.

В таких задачах [уровнемеры INNOLEVEL Micropulse](#) могут использоваться как бесконтактные датчики уровня с передачей сигнала 4–20 мА / HART в систему автоматизации. Пересчет измеренного уровня в мгновенный и накопленный расход выполняется контроллером, ПЛК или другой системой управления.

