



Методы и средства измерений и эталоны

Лекция 9. Методы и средства измерений количества и расхода жидкостей, газов
и сыпучих тел

направление 27.04.01 «Стандартизация и метрология»

Квалификация (степень) - МАГИСТР

Форма обучения: очная

г. Казань
2020-2021



Казанский федеральный
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНЫ
ЛЕКЦИЯ 9. МЕТОДЫ И СИ РАСХОДА



Фазлыйхматов Марсель Галимзянович

К.т.н., ст. преподаватель каф. БМИиУИ
Инженерный институт КФУ

<https://kpfu.ru/Marsel.Fazlyjyahmatov>

mfazlyjy@kpfu.ru
+7 (927) 676-58-87



Средства измерения расхода

Условно расходомеры и счетчики можно подразделить на следующие группы:

Расходомеры, основанные на различных физических принципах:

- Ультразвуковые расходомеры;
- Оптические расходомеры;
- Термально-массовые расходомеры;
- Ядерно-магнитные расходомеры;
- Электромагнитные расходомеры;
- Меточные расходомеры;



Средства измерения расхода

Условно расходомеры и счетчики можно подразделить на следующие группы:

Приборы, основанные на гидродинамических методах:

- Расходомеры с переменным перепадом давления;
- Вихревые расходомеры;
- Расходомеры обтекания;
- Парциальные расходомеры;

Расходомеры с непрерывно движущимся телом:

- Тахометрические расходомеры;
- Кориолисовые расходомеры.



Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые (или акустические) расходомеры – это приборы, основанные на измерении зависящего от скорости потока измеряемой среды (расхода) эффекта, возникающего при проходе акустических колебаний через поток жидкости или газа. Существующие ультразвуковые расходомеры очень разнообразны как по устройству первичных преобразователей, так и по применяемым измерительным схемам:

- основанные на перемещении акустических колебаний движущейся средой;
- основанные на измерении разности времен прохождения акустических колебаний по потоку и против него (времяимпульсные; частотные; фазовые);
- основанные на измерении степени отклонения колебаний от первоначального направления, направленные перпендикулярно потоку;
- основанные на эффекте Доплера.



Ультразвуковые расходомеры

В зависимости от количества пьезоэлементов ультразвуковые расходомеры разделяются на:

- одноканальные – два пьезоэлемента, каждый по очереди выполняет функции излучения и приема;
- двухканальные – два излучателя и два приемника, образующих два независимых акустических канала, которые располагаются параллельно или перекрещиваются друг с другом;
- многоканальные – имеют больше двух излучателей и приемников и применяются при необходимости измерения расхода деформированных потоков или для достижения повышенной точности.



Оптические расходомеры

Оптические расходомеры – расходомеры, основанные на зависимости от расхода вещества того или иного оптического эффекта в потоке.

Оптические расходомеры разделяются на:

- доплеровские расходомеры (измерение разности частот, появляющейся при отражении светового луча движущимися частицами потока);
- расходомеры, основанные на эффекте Физо-Френеля (измеряется сдвиг интерференционных полос или частоты световых колебаний, связанный с зависимостью скорости света в движущемся прозрачном веществе от его скорости);



Оптические расходомеры

Оптические расходомеры разделяются на:

- особые оптические расходомеры;
- корреляционные оптические расходомеры;
- расходомеры, основанные на измерении времени перемещения на определённом участке пути оптической метки, введённой в поток.



Термально-массовые (тепловые) расходомеры

Тепловыми называются расходомеры, основанные на измерении зависящего от расхода эффекта теплового воздействия на поток или тело, контактирующее с потоком.

Тепловые расходомеры различаются по:

- способу нагрева;
- расположению нагревателя (снаружи или внутри трубопровода);
- характеру функциональной зависимости между расходом и измеряемым сигналом.



Термально-массовые (тепловые) расходомеры

По характеру теплового взаимодействия с потоком тепловые расходомеры подразделяются на:

- калориметрические (при электрическом омическом нагреве нагреватель расположен внутри трубы);
- термоконвективные (нагреватель расположен снаружи трубы);
- термоанемометрические.



Меточные расходомеры

Меточными называют расходомеры, основанные на измерении времени перемещения какой-либо характерной части (метки) потока на контрольном участке пути. Меточные расходомеры могут быть с одним или двумя детекторами метки. В первом случае контрольное расстояние считается от места ввода метки до детектора, во втором – между двумя детекторами.



Меточные расходомеры

Метку в потоке создают искусственным путем. Разновидности меток:

- ионизационные;
- радиоактивные;
- физико-химические;
- тепловые;
- оптические;
- ядерно-магнитные.



Ядерно-магнитные расходомеры

Ядерно-магнитные расходомеры основаны на зависимости ядерно-магнитного резонанса от расхода потока.

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) – это резонансное поглощение электромагнитной энергии веществом, содержащим ядра с ненулевым спином во внешнем магнитном поле, обусловленное переориентацией магнитных моментов ядер.



Ядерно-магнитные расходомеры

Разновидности ядерно-магнитных расходомеров:

- амплитудные расходомеры;
- частотные расходомеры;
- нутационные расходомеры;
- меточные расходомеры (разделяются на временные, амплитудно-частотные и фазово-частотные).



Электромагнитные расходомеры

Электромагнитные расходомеры – это расходомеры, в основе работы которых лежит взаимодействие движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем, подчиняющейся закону электромагнитной индукции.



Электромагнитные расходомеры

Достоинства электромагнитных расходомеров:

- независимость показаний от вязкости и плотности измеряемого вещества;
- возможность реализации метода для очень больших диаметров трубопроводов и отсутствие при этом дополнительного динамического сопротивления;
- линейность шкалы;



Электромагнитные расходомеры

Достоинства электромагнитных расходомеров:

- необходимость в меньших длинах прямых участков труб, чем у других расходомеров;
- высокое быстродействие;
- возможность измерения агрессивных, абразивных и вязких жидкостей;
- работоспособность при высоких давлениях среды – до 100 МПа.



Электромагнитные расходомеры

Недостатки электромагнитных расходомеров:

- невозможность использования расходомеров для непроводящих жидкостей (углеводороды, аммиак, кислоты и др.);
- наличие дополнительной погрешности от величины электропроводности жидкости;
- возможность отложения магнетита на стенках измерительного трубопровода расходомера и значительное увеличение погрешности при наличии окис-лов железа в воде;
- необходимость разрезки трубопровода, приварки фланцев и установки измерительного трубопровода, что часто невыполнимо.



Средства измерения уровня

Средства для измерения уровня жидкостей можно подразделить на следующие, с указанием степени их распространения:

- визуальный;
- поплавковый;
- гидростатический;
- кондуктометрический;
- ёмкостной;
- на основе измерения времени прохождения сигнала.



Визуальные средства измерения уровня

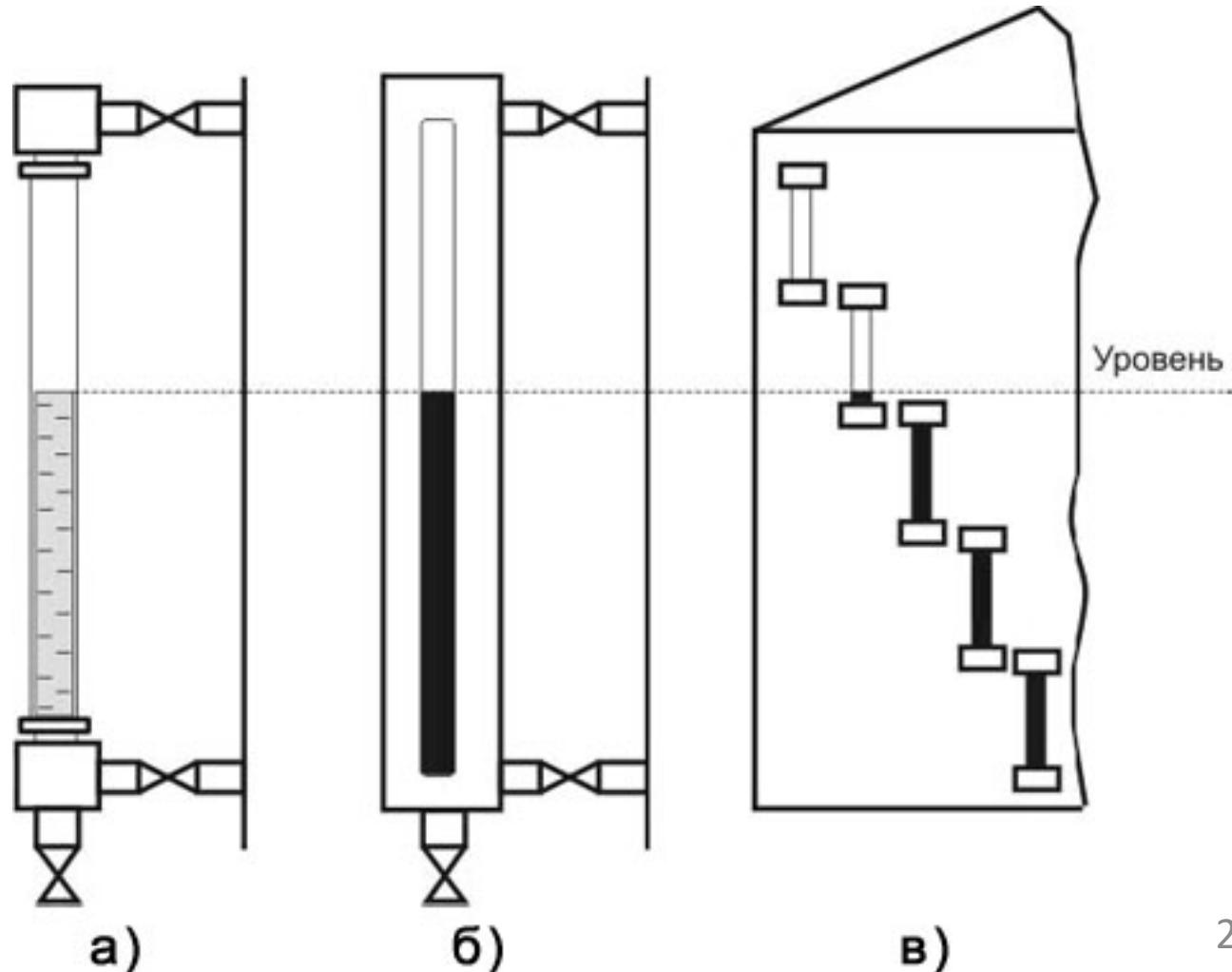
Простейшие измерители уровня – **указательные стёкла**. Работа указательных стёкол основана на принципе сообщающихся сосудов. Указательное стекло соединяют с сосудом нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разряжением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в сосуде.

Плоские указательные стёкла рассчитаны на давление до 2.94 МПа и температуру до 300 °С. Указательные стёкла не рекомендуется употреблять длиной более 0.5 м.



Визуальные средства измерения уровня

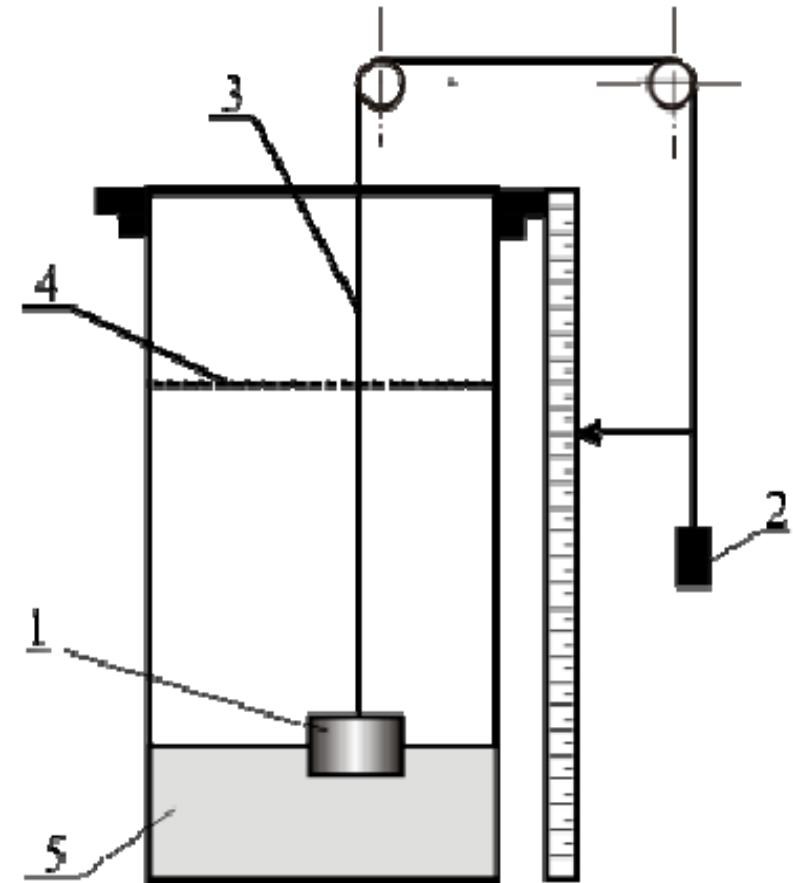
- а – проходящего света;
- б – отражённого света;
- в – составного типа





Поплавковые средства измерения уровня

Чувствительным элементом данного уровнемера является поплавок 1, плавающий на поверхности жидкости. Поплавок уравновешивается грузом 2, который связан с поплавком гибким тросом 3. Положение груза относительно шкалы определяет уровень жидкости. Пределы измерения устанавливают в соответствии с принятыми значениями верхнего 4 и нижнего 5 уровней.





Поплавковые средства измерения уровня

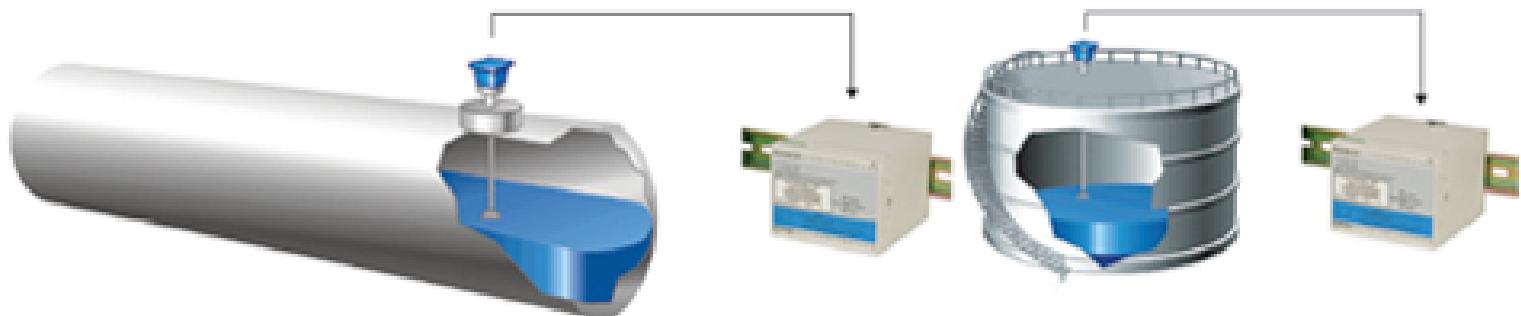
Основной эксплуатационный недостаток поплавков - возможность коррозии и протравления тонких стенок поплавка, приводящих к его потоплению. Это ограничивает область применения поплавковых измерителей уровня.

Интервал измерения уровня поплавковых уровнемеров выбирают из ряда: от 0 до 0.25; 0.4; 0.6; 1.0; 1.6; 2.5; 4.0; 6.0; 10.0; 16.0 и 20 м.

Класс точности может быть 0.6; 1.0; 1.6 и 2.5.



Поплавковые средства измерения уровня





Гидростатические средства измерения уровня

Данный метод измерения уровня основан на определении **гидростатического давления**, оказываемого жидкостью на дно резервуара.

Величина гидростатического давления на дно резервуара зависит от высоты столба жидкости над измерительным прибором и от плотности жидкости.

В закрытых резервуарах давление над жидкостью $P_{изб}$ оказывает влияние на результат измерения. Поэтому давление $P_{изб}$ необходимо подать на датчик давления, соединив статическую полость датчика с объёмом резервуара над жидкостью.



Гидростатические средства измерения уровня

Достоинства гидростатического метода:

- точность;
- пена, отложения, изменение электрических свойств жидкости и форма резервуара не оказывают влияния на результат измерения;
- реализация метода не предполагает применения подвижных механизмов;
- соответствующее оборудование не нуждается в сложном техническом обслуживании.



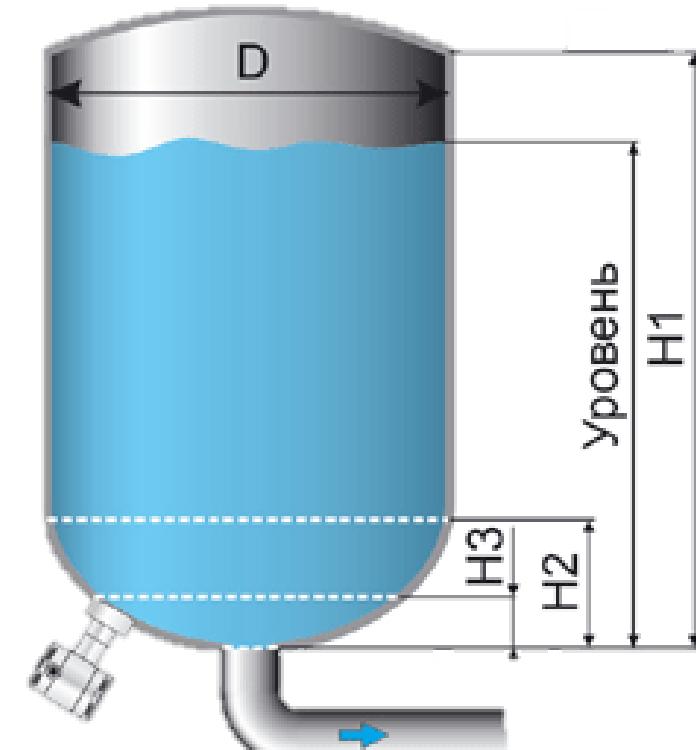
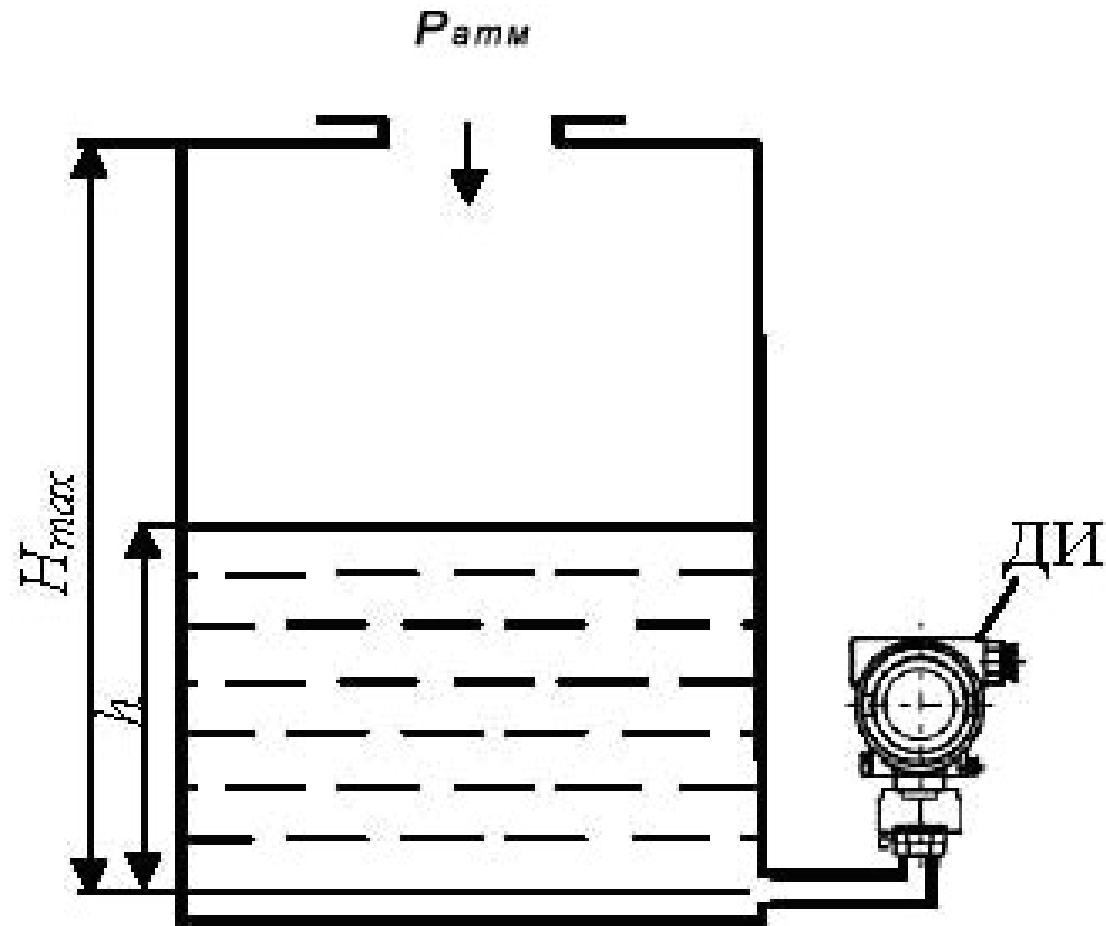
Гидростатические средства измерения уровня

Недостатки гидростатического метода:

- движение жидкости вызывает изменение давления и приводит к ошибкам измерения;
- атмосферное давление должно быть скомпенсировано;
- изменение плотности жидкости может быть причиной ошибки измерения.



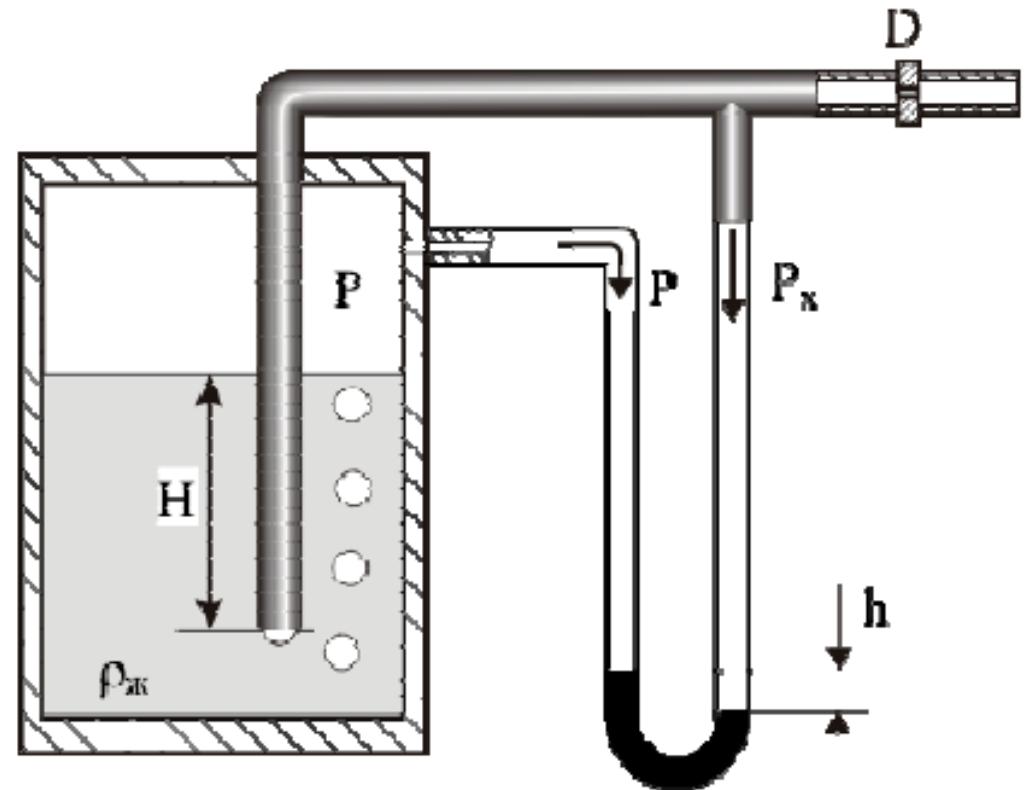
Гидростатические средства измерения уровня





Пьезометрические средства измерения уровня

Работа основана на принципе гидравлического затвора. Для измерения уровня используется воздух или инертный газ под давлением, который продувают через слой жидкости. Количество продуваемого воздуха ограничивают диафрагмой D или иным способом так, чтобы скорость движения его в трубопроводе была минимально возможной. Это приближает к нулю потери на трение в трубопроводе после диафрагмы D .





Пьезометрические средства измерения уровня

Уровень жидкости определяется по установившемуся давлению $(P - P_x)$ в системе:

$$P - P_x = \rho_{жc} g H,$$

$$H = (P - P_x) / \rho_{жc} g,$$

Давление $(P - P_x)$ определяется по высоте h столба жидкости U-образного манометра или любым иным способом.



Ёмкостные средства измерения уровня

Ёмкостные преобразователи применяются для измерения и сигнализации уровня как электропроводных, так и неэлектропроводных жидкостей.

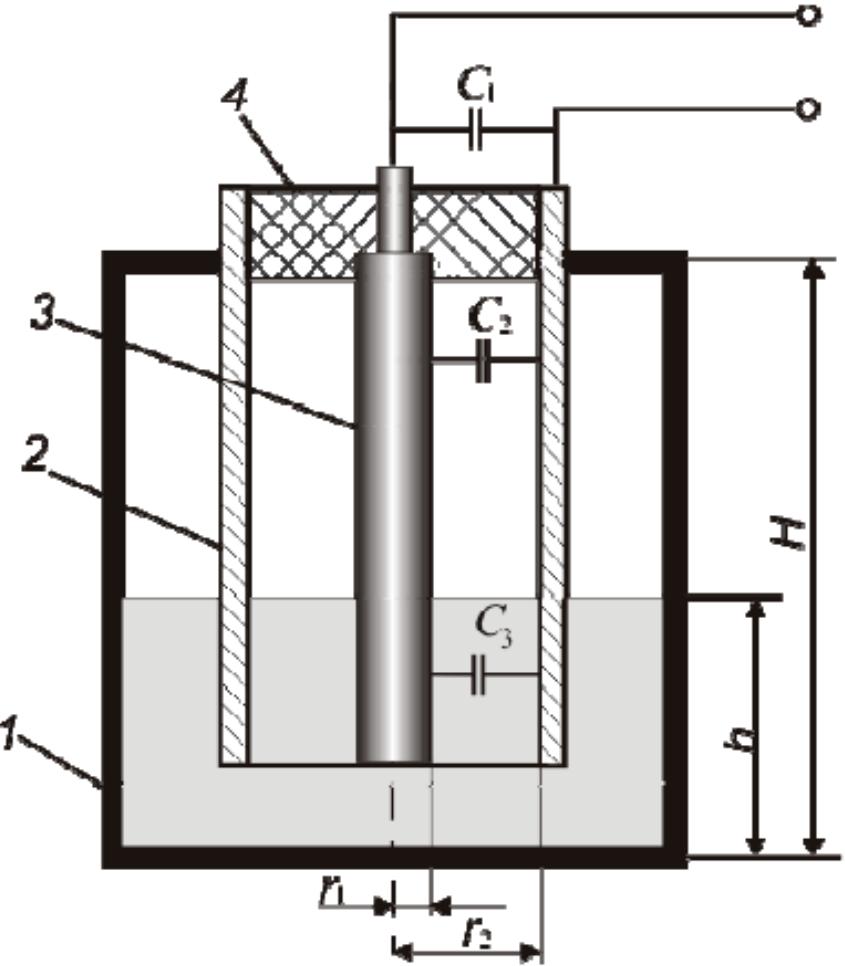
Эти преобразователи ёмкостных уровнемеров выполняют цилиндрического и пластинчатого типа, а также в виде жёсткого стержня или троса. В последнем случае вторым электродом служит металлическая стенка резервуара.

Для обеспечения постоянства характеристик преобразователя и повышения точности измерения уровня целесообразно применять преобразователи со стержнем или тросом, располагаемым в стальной трубе, являющейся вторым электродом преобразователя.



Ёмкостные средства измерения уровня

Ёмкостной преобразователь уровня, выполнен в виде цилиндрического конденсатора из двух коаксиально расположенных стальных труб 2 и 3, изолированных друг от друга слоем диэлектрика 4, и предназначенного для измерения уровня неэлектропроводных сред. Преобразователь погружен в резервуар 1





Ёмкостные средства измерения уровня





Кондуктометрические средства измерения уровня

Принцип действия **омических сигнализаторов** основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролирующую среду, представляющую собой участок электрической цепи, обладающей определённым омическим сопротивлением (растворы кислот и щелочей).

Практически омические сигнализаторы уровня могут быть применены для сред с проводимостью от $2 \cdot 10^{-3}$ См и выше. Прибор представляет собой электромагнитное реле, которое включается в цепь, образующуюся между электродом и контролируемым материалом.

Недостаток: невозможность сигнализации уровня неэлектропроводных сред, а также окисление поверхности электродов, что влечёт за собой увеличение контактного электрического сопротивления и потерю работоспособности преобразователей.



Кондуктометрические средства измерения уровня





Методы определения уровня по времени прохождения сигнала

Методы, основанные на измерении времени прохождения сигнала, используют принцип эхолота и подразделяются на две основные группы:

- ультразвуковые (УЗК);
- методы направленного электромагнитного излучения.



Ультразвуковые датчики уровня

Действие средств измерения и контроля уровня этого типа основано на свойстве ультразвуковых колебаний проникать через металлические стенки резервуаров практически любой толщины и отражаться от границ раздела сред. Это свойство реализуется в двух вариантах.

В первом варианте используется способ отражения ультраакустической волны от границы раздела воздух-жидкость со стороны воздуха.

Во втором варианте используется способ отражения импульсных сигналов от границы жидкость–воздух со стороны жидкости.



Ультразвуковые датчики уровня

Ультразвуковые измерители уровня имеют диапазон измерения 1...15 м при погрешности, не превышающей 2.5%.

Основные достоинства УЗК-метода:

- бесконтактный;
- применим для загрязнённых жидкостей;
- реализация метода не предъявляет высоких требований к износостойкости и прочности оборудования;
- независимость от плотности исследуемой среды.



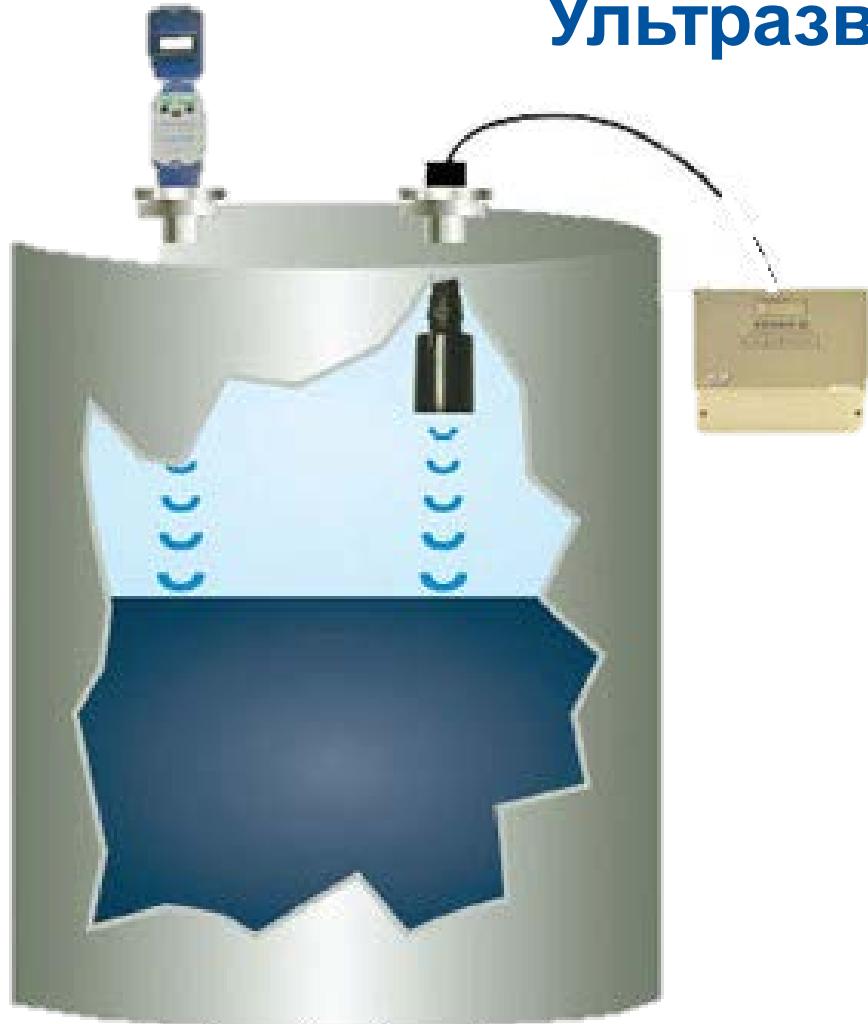
Ультразвуковые датчики уровня

Недостатки:

- большое расхождение конуса излучения;
- отражения от нестационарных препятствий (например, мешалок) могут вызвать ошибки измерения;
- применим только в резервуарах с нормальным атмосферным давлением;
- на сигнал оказывают влияние пыль, пар, газовые смеси и пена.



Ультразвуковые датчики уровня





Радарные датчики уровня

Радарные уровнемеры реализуют метод направленного электромагнитного излучения. Датчик уровнемера монтируется при помощи фланца на крышке ёмкости, в которой измеряется уровень жидкости. Принцип действия основан на измерении времени прохождения излучённого импульса электромагнитной волны частотой 6...26 ГГц от антенны до поверхности контролируемой среды и обратно. Это время зависит от уровня жидкости и преобразуется датчиком в унифицированный токовый сигнал



Радарные датчики уровня

Достоинства:

- надёжное измерение уровня порошкообразных материалов даже в процессе наполнения ёмкости;
- измерение уровня жидкостей при образовании пены;
- возможность эффективного устранения помех отражения от арматуры и структурных элементов стенок, резервуаров или узких силосных бункеров;
- независимость погрешности измерений от вида материала (жидкий, сыпучий), плотности, значения диэлектрической постоянной, химической агрессивности среды, проводимости;
- независимость метода от давления, температуры, пены, тумана, пыли.



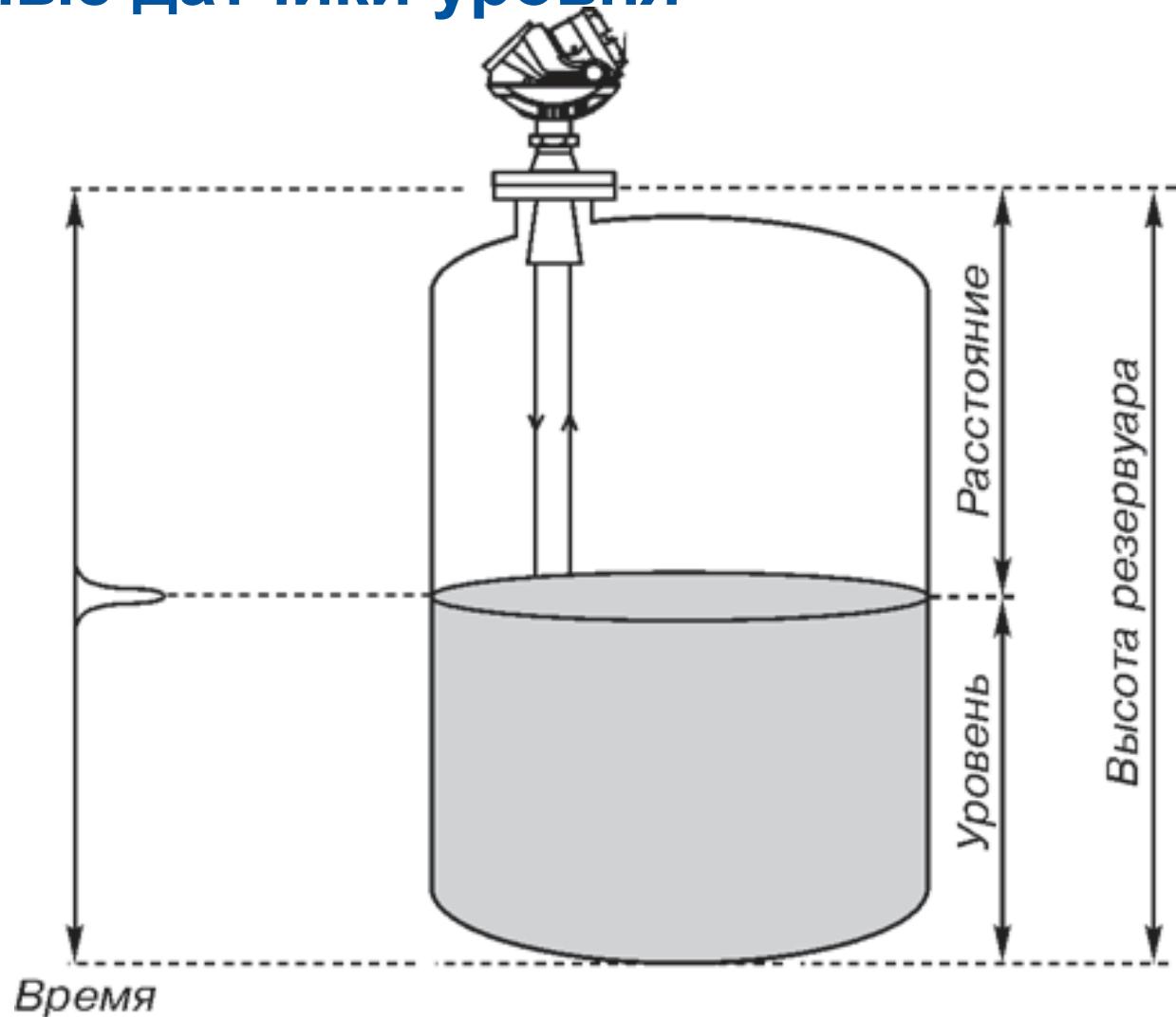
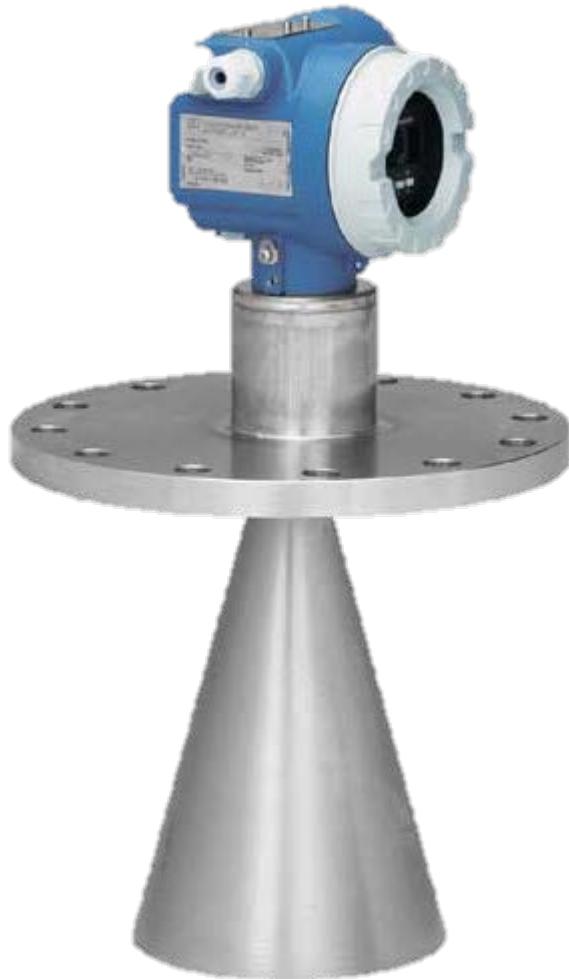
Радарные датчики уровня

Недостатки:

- клейкие вещества могут вызвать отказы в работе датчиков;
- диэлектрическая постоянная измеряемого вещества должна быть больше 1.6.

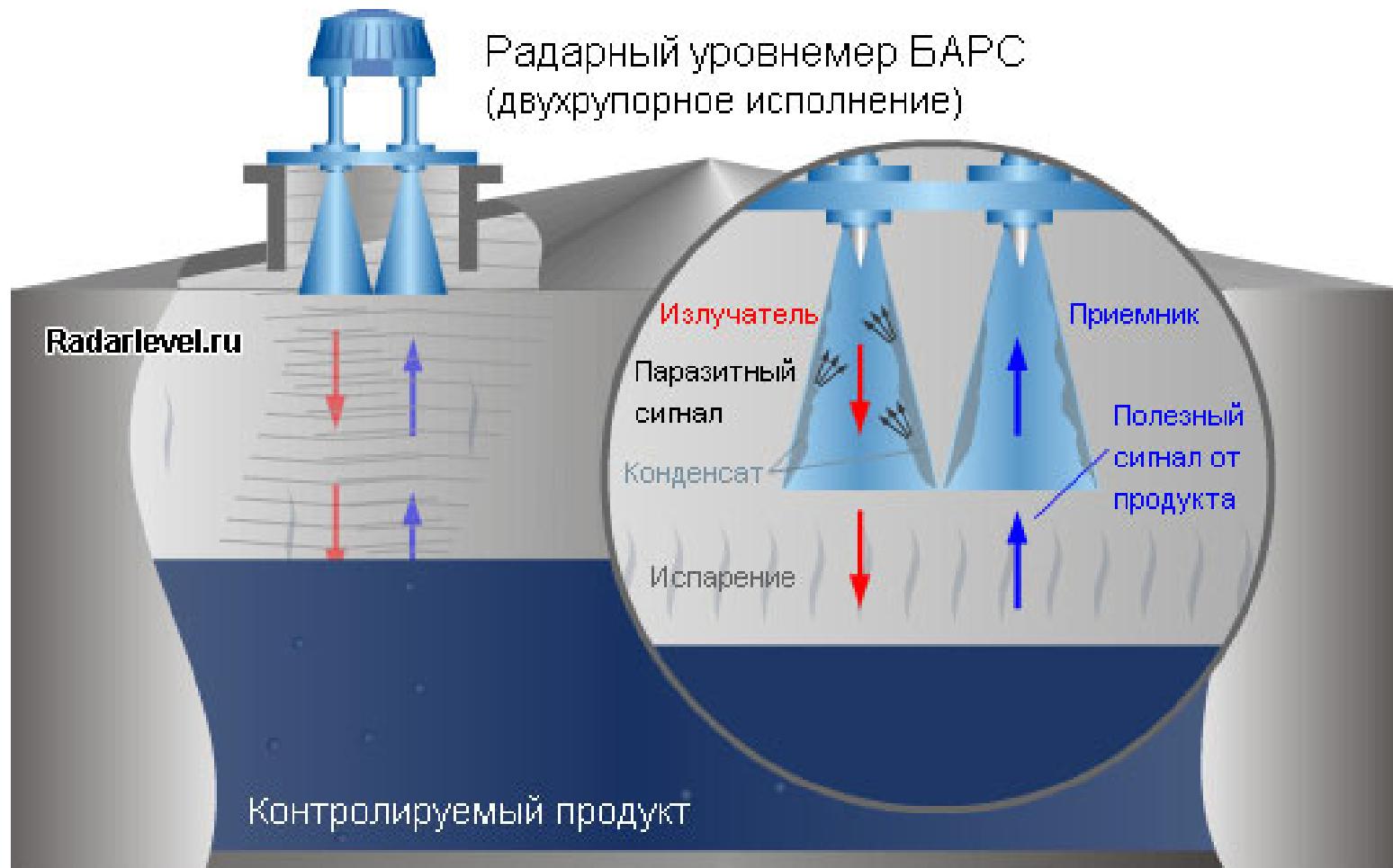


Радарные датчики уровня





Радарные датчики уровня





Радарные датчики уровня

