

прошло уже почти 3 года с написания этой статьи...

Часть1.

(обзор систем измерения уровня)

Уровень

В обзор вошли основные принципы (способы) измерения уровня нефтепродуктов. Классификация способов измерения уровня в этом обзоре не претендует ни на абсолютную точность, ни на полноту всех возможных вариантов. Основной идеей данного обзора было дать (по возможности) объективную информацию по различным системам измерения. Информация, представленная ниже опубликованная на основании технической документации, рекламной информации и сайтов фирм производителей.

Читатель должен понимать, что не все системы (способы) измерения уровня равнозначны по точности, функциональности, удобству применения и т.п. Многое в конкретном оборудовании **зависит не только от самого способа, но и от его конкретной реализации** и «уровня исполнения» самого оборудования. Т.е. читатель должен сознательно различать одиночные датчики уровня, которые выполняют только одну функцию и датчики уровня в системах измерения (учета) нефтепродуктов, которые сами по себе объединяют несколько датчиков. Во всех случаях, где датчики объединяют (интегрируют) несколько измеряемых параметров сначала будем вести разговор об измерении уровня, затем о других измеряемых параметрах. Также следует понимать, что указанные **погрешности датчиков, могут являться только частью погрешности конечного измерения, т.к. они могут не включать методические (и другие дополнительные) погрешности измерения** (зависящие от места установки датчика, способа крепления и.пр.). которые в свою очередь могут превысить заявленные погрешности аппаратуры в несколько раз.

Следует внимательно изучать техдокументацию на интересующую Вас продукцию, а за разъяснениями по особенностям поведения систем следует обращаться к производителям.

По возможности были использованы самые последние данные на системы измерения. Однако если кто-либо имеет другую подтвержденную информацию по названным системам, автор будет благодарен за присланные в его адрес уточнения info@igla.info.

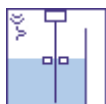
В обзоре даны ссылки или названия наиболее известных систем измерения и фирм их производителей.

Выделенный текст является личными комментариями автора, все мы люди и имеем собственное мнение ИМХО. Вы можете проигнорировать эту информацию, без каких либо последствий для себя.

Ультразвуковой

Основой данного метода служит измерение уровня на принципе: определение времени распространения ультразвуковой волны от излучателя датчика до поверхности жидкости (или до физического тела расположенного на границе жидкости). Различают способы, использующие распространение в газообразной или жидкой среде (открытый канал) и в среде стальных волноводов – «струн» (закрытый канал). Не нужно путать последние с микроволновыми датчиками, где отражение волны происходит от поверхности раздела сред с разной диэлектрической проницаемостью.

Поплавковый (закрытый канал)



В основу метода измерения положен принцип магнестрикции, при котором происходит возбуждение в материале звуковой волны при взаимодействии электрического тока, пропускаемого по волноводу (струне) и магнитного поля. Магнитное поле создается постоянными магнитами, которые располагаются на поплавках. Уровень определяется как функция времени прохождения ультразвуковой волны от момента подачи импульса тока до момента регистрации прихода ультразвуковой волны на специальный приемник.

Один из «классических» методов определения уровня, благодаря своей простоте реализации нашел широкое распространение, как в отечественных, так и импортных датчиках и системах:

«Струна-М» - ЗАО «НОВИНТЕХ»;

ПМП-201 - НПП «СЕНСОР»;

РУПТ-А - СКБ «Приборы и системы»;

«SiteSentinel» - OPW;

TLS-2,300,350R... - Veeder-Root;

Level Plus - MTS-Sensor.

Строго говоря, изначально измеряется расстояние L_f от приемника ультразвуковой волны до магнита (поплавка), затем рассчитывается высота положения поплавка как разность высоты расположения приемника и найденного расстояния $H_f = H_s + L_f$.

Для датчиков с жесткой несущей штангой высота H_s определяется точно на производстве при изготовлении датчика.

Датчики такого типа имеют ограничения:

- длина конструкции одного датчика не превышает 4-6 м;
- сложная конструкция датчика для применения их на РВС (несколько датчиков объединяется в один с перекрытием диапазонов);
- наличие поплавка приводит к дополнительным погрешностям датчика, вследствие его возможного залипания при опарафинивании несущей штанги;
- зависимости положения (степени погружения) поплавка от плотности продукта;
- загрязнение зазора между поплавком и штангой ферромагнитными частицами (ржавчиной, металлическими опилками) в месте расположения магнита, что может приводить к дополнительному трению между поплавком и штангой;
- возможность примерзания поплавка к штанге при низких температурах.

Основное преимущество датчиков в возможности работать на любой жидкости с достаточно низкой вязкостью.

Как правило, датчики для РГС выполняют измерение уровня «от дна», а для РВС – «от крыши» (т.к. в последнем случае датчики висят на фланце).

Эхолот ультразвуковой (открытый канал)



В данных приборах используется способ бесконтактного акустического измерения дистанции до измеряемой поверхности через газовую среду (воздух). Уровень рассчитывается, как разность расстояний: высоты базовой точки крепления уровнемера H_s и измеренного расстояния L_f , $H_f = H_s - L_f$, т.е. уровень рассчитывается «от крыши». Значение H_s является параметром резервуара и зависит от нескольких факторов, таких как температура стенок, уровень заполнения резервуара продуктом. Параметр L_f сильно зависит от скорости распространения звука в воздухе, т.е. от температуры, влажности, парциального давления паров нефтепродуктов, а также их размещения («слоистости») на пути акустического сигнала. Для уменьшения влияния (компенсации) указанных влияющих факторов датчики оснащают температурными датчиками и уголковыми отражателями, которые служат реперами при измерении.

«ВЗЛЕТ УР» - ЗАО «ВЗЛЕТ»;

Prosonic - Enderess+Hauser.

В любом случае разрешение и точность не могут быть лучше $\frac{1}{2}$ длины акустической волны, которую использует данный датчик.

Для измерения температуры НП, уровня подтоварной воды требуется использовать дополнительные датчики.

Как правило не используются в качестве уровнемеров светлых нефтепродуктов.

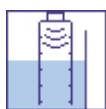
Эхолот ультразвуковой обратный (канал в жидкости)



Принцип действия аналогичен предыдущему, но акустическая волна распространяется внутри жидкой среды, датчик располагается на дне резервуара, т.е. измерения выполняются «от дна». Имеет более высокие частоты и как следствие лучшее разрешение. Как правило, показывают лучшую точность т.к. ряд факторов, воздействующих на точность, не влияют на жидкостную среду. Однако вследствие зоны нечувствительности на близком расстоянии для данных датчиков трудно добиться измерения ниже уровня 0.3...0.5 м.

Аналоги автору не известны.

Эхолот ультразвуковой с волноводом



Принцип действия датчика полностью совпадает с классической схемой открытого канала, но ультразвуковая волна распространяется внутри металлического волновода, внутри которого через известные фиксированные расстояния имеются отражатели (например, кольца или отверстия). Тем самым датчик дополнительно получает отраженные сигналы от реперов, обрабатывая которые можно повысить точность измерения расстояния. Однако проблемы измерения «от крыши» остаются. Кроме того, достаточно узкий волновод без отверстий (с малым их количеством) может сам служить источником погрешности, вследствие того, в нем будут присутствовать застойные явления и уровень нефтепродукта внутри его будет устанавливаться с погрешностью, вызванной разным удельным весом НП внутри и вне волновода.

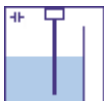
Кроме того при работе на дизельном топливе или подготовленной нефти опарафинивание волновода может стать серьезной проблемой при эксплуатации («замыливание» реперных отверстий)

Емкостной

Принцип измерения уровня жидкости емкостными датчиками основан на измерении емкости чувствительного элемента (ЧЭ), которая изменяется при заполнении чувствительного элемента диэлектрической жидкостью. В датчиках этого типа отсутствуют промежуточные подвижные механические элементы (поплавки, рулетки, приводы и пр.), что делает конструкции таких датчиков надежными и простыми. Емкостные датчики являются, пожалуй, единственными датчиками в которых уровень жидкости воздействует на ЧЭ напрямую, минуя промежуточные преобразования, что повышает точность датчиков и снижает вероятность ошибки измерения.

Кроме того, емкостные датчики могут обладать рядом уникальных свойств, делающих этот тип датчиков одним из самых универсальных средств измерения уровня диэлектрических сред.

Непрерывный (емкостной тип 1)



Принцип действия датчика основан на измерении емкости чувствительного элемента (ЧЭ), которая изменяется при заполнении чувствительного элемента диэлектрической жидкостью. Чувствительный элемент выполнен в виде конденсатора, непрерывного по всей высоте резервуара. Существует две основные модификации таких датчиков:

1-я – **одноэлектродный**, имеет чувствительный элемент в виде металлического стержня (полосы), который может быть покрыт диэлектриком для защиты от агрессивной среды. Роль второй обкладки конденсатора выполняет сам металлический резервуар.

2-я – **двухэлектродный**, имеет чувствительный элемент в виде коаксиального конденсатора, образованного внешней трубой и внутренним стержнем. Такая конструкция позволяет улучшить стабильность показаний датчика и снизить помехи от внешних воздействий.

Датчики такого типа имеют простую конструкцию, невысокую стоимость т.к. чувствительный элемент прост в изготовлении и не имеет активных узлов в своей конструкции. Одновременно такие датчики имеют небольшую точность (стандартная точность не лучше 0.5% от измеряемого диапазона) вследствие того, что емкость ЧЭ зависит как от уровня заполнения жидкостью, так и от изменения диэлектрической проницаемости самой жидкости (например, вследствие изменения температуры или непостоянного фракционного состава жидкостей).

Данные датчики применимы как технологический инструмент контроля технологических процессов, где не нужна высокая точность, а основным критерием является **надежность конструкции** и **невысокая стоимость**. В случае герметизации центрального элемента датчик может работать также в агрессивных и электропроводных средах, но в этом случае, как правило, на длину датчика могут быть наложены ограничения вследствие трудностей герметизации электродов большой длины.

Одно из названий датчиков этого типа «емкостные электроды».

Как правило, не применяются для коммерческого учета нефтепродуктов из-за недостаточной точности. Широко распространены в качестве пороговых датчиков-рэле.

ДУЖ-12 - ООО «OmniCOMM», датчики в составе системы FMS;

VEGACAP - «VEGA» (Германия);

РИС 101 - ОАО «Теплоприбор»;

РОС 101, 201,301 – датчики-рэле ОАО «Теплоприбор».

Сегментированный 1 (емкостной тип 2)



Чувствительный элемент датчиков этого типа изготавливается как набор коаксиальных конденсаторов с непрерывной внешней обкладкой. Такие конденсаторы располагаются друг за другом по всей длине датчика с минимальным зазором. Конструкция таких датчиков выполняется из труб различного диаметра. Внутренний электрод является, как правило, набором из отрезков труб одинаковой длины, называемых сегментами. Количество таких отдельных сегментов составляет от 4 до 16. Внешняя труба ЧЭ является одновременно общей обкладкой, экраном и корпусом датчика (ЧЭ).

Разделение ЧЭ на сегменты приводит к качественному изменению метрологических свойств датчика. В таком датчике можно учитывать изменения свойства продукта, анализируя емкость нижних полностью заполненных сегментов и корректируя характеристику рабочего сегмента в зависимости от типа, свойств жидкости и температуры. (Под рабочим сегментом понимается сегмент, который находится на границе раздела фаз.) Кроме того, т.к. сигналы, получаемые с измерительных сегментов, независимы, то имеется возможность измерения подтоварной воды на нижнем сегменте (сегментах). Датчики такого типа обладают свойствам самокалибровки.

Сегментирование ЧЭ датчика позволяет также повысить абсолютную точность датчика, т.к. измерение уровня выполняется только в диапазоне одного сегмента. А расчет полного уровня осуществляется на основании количества полностью заполненных сегментов, их длины и уровня измеренного на рабочем сегменте.

Конструкции ЧЭ таких датчиков выполняются как пассивные элементы (без электроники), что делает их особенно надежными.

Датчики такого типа имеют ограничения, которые определяются конструкцией:

- длина конструкции не превышает 4-6 м (в зависимости от производителя), что ограничивает их применение для РВС;
- невозможно одновременно измерять уровень воды и нефтепродукта, если оба уровня находятся на одном сегменте;
- погрешность датчика может возрастать, если диэлектрические свойства продукта изменяются от сегмента к сегменту (в резервуаре имеется сильное расслоение продукта).

Так при высоте сегмента 250 мм существует вероятность, для фракционного продукта (которым является бензин), что условия, в которых работает рабочий сегмент и следующий, расположенный ниже рабочего, не идентичны вследствие расслоения топлива. Практика показывает, что для того, чтобы считать два слоя топлива идентичными их «высота» не должна превышать 100-150мм. Но при интенсивном перемешивании (интенсивной работе АЗС) эта проблема не возникает.

«OPTILEVEL» - «Hectronics» (Германия)];

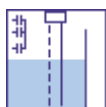
«Labko-3000» - «Oy Labkotec Ab» (Финляндия).

Существует промежуточный вариант между емкостным типом 1 и типом 2, который представляет собой модификацию типа 1, но с дополнительной нижней «опорной» секцией, которая всегда погружена в продукт или модификация состоящая из 2-х сенсоров типа 1, но имеющих разную длину (один сенсор короче другого на известную длину). Обе эти модификации позволяют ввести в датчик адаптацию к изменению диэлектрических свойств среды. В основу этой возможности положен принцип «образцовой емкости» в качестве которой служит или отдельная секция или часть секции с которой снимается сигнал пропорциональный изменению диэлектрическим свойствам продукта, и не зависящий от уровня. На основании этого дополнительного сигнала производится масштабирование характеристики основного чувствительного элемента и тем самым повышается точность измерения.

Данный способ хорошо зарекомендовал себя на химически чистых жидкостях (у которых не изменяется фракционный состав) или на таких резервуарах, где расслоение продукта маловероятно, например резервуары СУГ и баки автомобилей.

ДЖС-7 - ЗАО «Техносенсор» - датчик для СУГ;

Сегментированный 2 (емкостной тип 3)



Чувствительный элемент (ЧЭ) этих датчиков имеет большое количество отдельных сегментов – конденсаторов (до 128 шт. на 1 м длины датчика). Т.о. конструкция датчика этого типа устраняет недостатки датчика типа 2. ЧЭ этих датчиков имеют встроенные активные схемы возбуждения и изготовлены из двух печатных плат, металлизация которых образует обкладки измерительных конденсаторов. Размер каждого измерительного сегмента по высоте колеблется от 8 до 64 мм в зависимости от производителя.

В результате небольшой высоты конденсаторов для абсолютной точности в ± 1 мм, необходимо иметь относительную точность $\pm 5\%$ для высоты конденсаторов 15-20 мм. Т.о. упрощаются требования по точности к электронике датчика. Кроме того, адаптация датчика к изменению диэлектрической проницаемости (смене типа нефтепродукта, изменению температуры и пр.) происходит уже после небольшого изменения уровня (на высоту одного сегмента).

Применяя специальные алгоритмы обработки сигнала с отдельных сегментов, в датчиках такого типа реализуется **встроенный механизм поверки датчика** на резервуаре. Кроме того, **датчик осуществляет постоянную калибровку** себя для компенсации воздействия факторов внешней среды.

Реализация ЧЭ в виде плоского составного конденсатора позволяет снять ограничения на длину датчика. Легко реализуется жесткая конструкция **датчика уровнем высотой до 20 м**. При этом конструкция датчика всегда будет стоять на дне резервуара и следовательно **измерения уровня** будут вестись **от дна резервуара**.

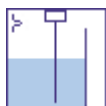
Легко реализуется **модульность датчика**, когда **отдельные части взаимозаменяемые**, и блочный ремонт датчика можно реализовать на объекте, используя минимальный ЗИП.

Т.о. данный тип датчика обладает наиболее современным, технически совершенным принципом измерения уровня диэлектрических жидкостей среди контактных уровнемеров.

«СИ ИГЛА» - ООО «НПФ «Спецтехнологии», ООО «НПП «ИИТ»;

«UltraATG» - Ultra Energy (Словения).

Канализируемые микроволны (рефлекс-радар)



Принцип измерения уровня основан на измерении коэффициента отражения методом наблюдения за формой отраженного сигнала. Маломощные короткие волны импульсами направляются по проводнику (проводникам). Столкновение волн с жидкостью вызывает образование отраженной волны, мощность которой зависит от разности диэлектрических проницаемостей двух сред, от

границы которой отражается волна. По времени между моментом возбуждения прямой волны и моментом регистрации отраженной волны рассчитывают значения уровня жидкости.

Датчик такого типа имеет разрешающую способность тем выше, чем больше разность диэлектрических проницаемостей двух сред, границу которых надо определить.

Данный тип датчиков используется обычно в нефтехимической промышленности, где классические радары не приемлемы из-за недостатка свободного пространства для радиолуча, или там где жесткие условия (температура, давление, агрессивная среда) не позволяют применить другие методы.

Способ хорошо зарекомендовал себя также для сыпучих продуктов,

BM 100 - «KROHNE» (Германия);

VEGAFLEX - «VEGA» (Германия);

Levelflex - Endress+Hauser.

Радарный



В данных приборах используется способ бесконтактного радиолокационного измерения дистанции до измеряемой поверхности через газовую среду (воздух, пары продукта). Уровень рассчитывается, как разность расстояний: высоты базовой точки крепления уровнемера H_s и измеренного расстояния L_f , $H_f = H_s - L_f$, т.е. уровень рассчитывается «от крыши».

Разрешающая способность датчиков этого типа зависит от длины волны, на которой они работают, как правило, чем меньше длина волны, тем более узконаправленный луч можно получить и выше разрешающей способности можно добиться от датчика.

На измерение уровня, как правило, не влияют влажность, запыленность воздуха и температура продукта. Однако на точность измерения влияет изменение температуры окружающей среды, для ее компенсации обычно применяют термостабилизацию электроники датчиков, что увеличивает стоимость оборудования и накладывает определенные требования к монтажу (датчики такого типа, обычно, используют взрывозащиту типа «взрывозащищенная оболочка»).

BM 702 - «KROHNE» (Германия);

VEGAPULS - «VEGA» (Германия);

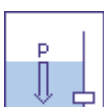
УЛМ-11(31) - ЛИМАКО;

Серии 5400,560 - EMERSON;

Микропилот М - Endress+Hauser.

Гидростатический

Непрерывный



Принцип определения уровня основан на измерении веса столба жидкости при известной плотности и известном атмосферном давлении. Датчики такого типа, как правило, являются технологическими и имеют невысокую точность.

Для компенсации атмосферного давления используется дифференциальный датчик, один вход которого измеряет атмосферное давление, тем самым устраняется влияние атмосферного

давления на показания датчика.

Т.к. давление это функция уровня и плотности $P = F(L, \rho)$, то для измерения уровня необходимо знать точную среднюю плотность продукта.

К преимуществам датчика следует отнести отсутствие подвижных частей и нечувствительность к загрязнению мембраны, однако датчики такого типа могут иметь сложный монтаж (необходим доступ к боковой стенке резервуара) и дрейфы от температуры и времени.

Стандартная точность датчиков такого типа 0.25-1% от высоты максимального уровня (при более высоких точностях стоимость датчиков резко увеличивается).

В последнее время в связи с появлением высокоточных датчиков давления датчики получают все большее распространение, но используются они, как правило, не в качестве уровнемеров, а в качестве дополнительного канала измерения плотности к уровнемерам других типов.

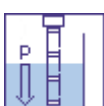
Необходимо помнить, что кроме основной приведенной погрешности измерения все датчики давления имеют дополнительные погрешности, которые при некоторых условиях (диапазоне измерения, диапазоне температур) могут в несколько раз превосходить основную погрешность.

VEGACAP - «VEGA» (Германия);

Серия 3051S - EMERSON;

Метран-100ДГ,ДД - МЕТРАН.

Секционированный



В основу принципа измерения уровня положен тот же принцип, что и в предыдущем способе, но используются несколько высокоточных датчиков давления, расстояние (база) между которыми

точно известно. Т.о. разность давления между любыми двумя датчиками, полностью погруженными в продукт, позволяет определить среднюю плотность продукта в этом слое (между двумя датчиками). Верхний датчик давления, погруженный в жидкость, используется для вычисления уровня. В расчете уровня используется значение плотности, измеренное нижерасположенными датчиками. Кроме того, зная плотность продукта, по давлению, измеренному нижним датчиком давления, можно определить уровень подтоварной воды. Это один из самых технологичных способов измерения уровня, но и у него присутствуют недостатки.

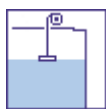
- нельзя измерить уровень подтоварной воды, если уровень топлива опустился ниже второго снизу датчика давления (зависит от конструкции секции). В этом диапазоне уровня НП при наличии воды уровень НП нельзя будет определить точно, т.е. такой датчик может только запомнить уровень воды, когда уровень топлива был выше второго датчика давления. А ниже его нельзя определить, чем вызвано изменение давления: изменением уровня топлива или уровнем воды, т.к. нет опорных измерений.

- стоимость систем такого типа велика, например, для системы CIS-Controls стоимость оснащения одного резервуара может быть равна стоимости оснащению одной небольшой нефтебазы отечественной системой типа СИ ИГЛА.

Нужно признать, что технически, данный способ имеет также ряд существенных преимуществ, где другие способы работать нормально просто не будут. В частности это резервуары с вязкими нефтепродуктами или маслами, т.к. в данном случае имеется возможность измерять не только уровень, но и плотность, и массу, а также массу балласта.

«MTG» - «CIS-Control» (США)

Сервоуровнемер



Принцип измерения уровня этого типа датчика основан на отслеживании положения груза на поверхности жидкости, в результате чего длина троса, на котором расположен груз, изменяется. Измерение длины размотанного троса служит мерой расстояния жидкости от места установки уровнемера. Отслеживание положения груза на поверхности жидкости происходит на основе уравновешивания силы выталкивающей силы, действующей на груз и веса груза с помощью сервопривода.

Уровнемеры данного типа являются уровнемерами следящего типа, с типовой скоростью отслеживания скорости изменения уровня 30 мм/с.

Уровень рассчитывается как разность между высотой установки уровнемера и расстоянием от места установки уровнемера и жидкостью, т.е. «от крыши», но если в уровнемер встроен алгоритм определения базовой высоты (расстояния от дна до фланца уровнемера) то можно считать, что измерения выполняются «от дна».

Кроме уровня такие уровнемеры могут измерять плотность жидкости, измеряя силу сопротивления груза, который с равномерной скоростью протягивается сквозь жидкость, но точность таких измерений не велика (обычно $\pm 5 \text{ кг/м}^3$).

Стоимость и конструкция уровнемера накладывает ограничения на его использование только для РВС, для светлых нефтепродуктов.

«FP740» - «AUXITROL» (Франция);

«ATG854» - «ENRAF» (Швеция).