

# Измерения - один из важнейших путей познания природы человеком

Измерения - один из важнейших путей познания природы человеком. Они играют огромную роль в современном обществе.

Наука и промышленность не могут существовать без измерений. Каждую секунду в мире производятся многие миллиарды измерительных операций, результаты которых используются для обеспечения надлежащего качества и технического уровня выпускаемой продукции, обеспечения безопасной и безаварийной работы транспорта, для медицинских и экологических диагнозов и других важных целей. Практически нет ни одной сферы деятельности человека, где бы интенсивно не использовались результаты измерений, испытаний и контроля. Для их получения задействованы многие миллионы человек и большие финансовые средства. Примерно 15% общественного труда затрачивается на проведение измерений. По оценкам экспертов от 3 до 6% валового национального продукта передовых индустриальных стран тратится на измерения и связанные с ними операции.

С ростом диапазона измеряемых величин возрастает и сложность измерений. Они, по сути дела, перестают быть одноактным действием и превращаются в сложную процедуру подготовки и проведения измерительного эксперимента, обработки и интерпретации полученной информации. Поэтому следует говорить об измерительных технологиях, понимаемых как последовательность действий, направленных на получение измерительной информации требуемого качества.

Другой причиной важности измерений является их значимость. Основа любой формы управления, анализа, прогнозирования, планирования, контроля или регулирования - достоверная исходная информация, которая может быть получена лишь путем измерения требуемых физических величин, параметров и показателей. И естественно, что только высокая и гарантированная точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений. Современная наука и техника позволяют выполнять многочисленные и точные измерения, однако затраты на них становятся соизмеримыми с затратами на исполнительные операции.

## Уровнемеры

Уровнемер - это прибор для промышленного измерения или контроля уровня разнообразных жидкостей, в том числе газообразующих, сыпучих и других веществ в открытых и закрытых резервуарах, хранилищах, технологических аппаратах и т.п. Уровнемеры иногда называют датчиком уровня, преобразователем уровня.

Уровнемеры позволяют автоматизировать управление и контроль в технологических процессах, снизить влияние человеческого фактора (известно, что ручное измерение не точное и требует многократных повторов), что позволяет, с одной стороны, повысить качество продукции и оптимизировать расход сырья, а, с другой, снизить требования к квалификации и опыту персонала.

Прежде всего, хотелось бы разбить уровнемеры на две большие группы:

- Непрерывного измерения, с возможностью отслеживания градации уровня;
- Сигнализаторы уровня, с измерением граничных (дискретных) точек уровня.

В промышленном производстве в настоящее время существует ряд разнообразных технических средств, позволяющих решить задачу измерения и контроля уровня. Средства измерения уровня воплощают разнообразные методы, основанные на различных физических принципах. К наиболее распространенным методам измерения уровня, которые позволяют преобразовывать значение уровня в электрическую величину и передавать её значение в системы автоматических систем управления относятся:

- контактные методы: поплавковый, емкостный, гидростатический, буйковый, рефлексный (микроволноводный);
- бесконтактные методы: зондирование или сканирование звуком, зондирование электромагнитным излучением, зондирование радиационным излучением, сканирование лазерным лучом.

С развитием измерительной техники, каждый из этих методов приобретает характерный набор своих технических реализаций, которые в каждом конкретном случае имеют как преимущества, так и недостатки.

Уровнемеры, так же, разделяются по продукту, уровень которого измеряют:

- для жидкости (вода, растворы, суспензии, нефтепродукты, и т. п.)
- для сыпучих веществ (порошки, гранулы, и т. п.).

Ограничимся рассмотрением уровнемеров для измерения жидкостей, а сыпучие вещества оставим для приложения №2. Хотя, надо заметить, некоторые методы приемлемы и для обеих групп продуктов.

Основные сложности работы приборов с жидкими продуктами:

- широкий температурный диапазон и давления в резервуаре;
- широкий разброс свойств измеряемой среды;
- часто работа ведется с агрессивными и ядовитыми средами;
- возможна коррозия частей контактирующих с продуктом;
- возможно налипание продукта на погруженные части;
- широкий разброс плотности продукта (даже в одном и том же техпроцессе);
- часто требуется взрывозащищенное исполнение (особенно для нефтепродуктов);
- часто присутствуют бурлящие и пенящиеся поверхности;
- часто необходима высокая точность;

- возможность проникновения паров продукта в прибор с последующей конденсацией;
- необходимость соблюдать санитарные нормы для питьевой воды и пищевых продуктов;
- иногда требуется определять уровни для нескольких продуктов, или уровень раздела сред;

Уровнемеры для жидкостей разделяются на:

- пневматические;
- механические;
- гидростатические;
- ёмкостные;
- акустические (ультразвуковые);
- радиационные
- радарные;
- рефлексные (микроволноводные).

Ознакомимся с ними более подробно. Сразу оговорюсь, пневматику рассматривать не будем, хотя в некоторых случаях её применение оправдано.

*Механические уровнемеры бывают:*

- *поплавковые*, с чувствительным элементом (поплавком), плавающим на поверхности жидкости;
- *буйковые*, действие которых основано на измерении выталкивающей силы, действующей на боек.

Перемещение поплавка или буйка через механические связи или систему дистанционной передачи сообщается измерительной системе прибора.

В *поплавковых уровнемерах* имеется плавающий на поверхности жидкости поплавок, в результате чего измеряемый уровень преобразуется в перемещение поплавка. В таких приборах используется легкий поплавок, изготовленный из коррозионно-стойкого материала. Показывающее устройство прибора соединено с поплавком тросом или с помощью рычагов. Поплавковыми уровнемерами можно измерять уровень жидкости в открытых емкостях.

Сейчас большинство *поплавковых уровнемеров* используют магнитострикционный эффект. Стержень, по которому ходит поплавок, содержит волновод, заключенный в катушку, по которой подаются импульсы тока. Под действием магнитных полей тока и двигающегося магнита (поплавок), в волноводе возникают импульсы продольной деформации, распространяющиеся по волноводу и принимаемые пьезоэлементом сверху стержня. Прибор анализирует время распространения импульсов и преобразует его в выходные сигналы. В более современных моделях по волноводу распространяется ультразвук. Важной

характерной особенностью поплавковых уровнемеров, является высокое разрешение прибора 0,1мм и точность измерений  $\pm 1$  мм.

Область применения этого метода достаточно широка. Он может с успехом применяться и в случае пенящихся жидкостей. Как правило, уровнемер снабжается встроенным термопреобразователем, имеет датчик подтоварной воды и может работать под небольшим давлением. При наличии гибкого волновода, монтаж на высокие емкости очень удобен. Типичным применением поплавковых уровнемеров является измерение уровня топлива, масел, легких нефтепродуктов в емкостях и цистернах в системе коммерческого учета.

Недостатки:

- ограничения накладываются в средах образующих налипания, отложение осадка на поплавок и стержень, а также коррозию поплавка и конструкции чувствительного элемента;
- ограничение по температуре измеряемого продукта;
- при монтаже на крыше резервуара не учитывается изменение геометрии резервуара при перепадах температуры, что ставит под сомнение точность измерений;
- не измеряемый остаток, занятый датчиком подтоварной воды.

В *буйковых уровнемерах* применяется неподвижный, погруженный в жидкость буюк. Принцип действия основан на том, что на погруженный буюк действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной буюком. Количество вытесненной жидкости зависит от глубины погружения буйка, то есть от уровня в емкости. Таким образом, в *буйковых уровнемерах*, измеряемый уровень преобразуется в пропорциональную ему выталкивающую силу. Зависимость выталкивающей силы от измеряемого уровня линейная. В *буйковых уровнемерах*, буюк передает усилие на рычаг промежуточного преобразователя, что позволяет в широких пределах изменять диапазон измерения. Это достигается как заменой буйка, так и изменением передаточного отношения рычажного механизма промежуточного преобразователя.

*Буйковый уровнемер* может работать в емкостях находящихся под вакуумметрическим, атмосферным или избыточным давлением. Измеряет как уровень, так и раздел сред. При применении специальных термокомпенсирующих колонок, работоспособен при больших температурах. Высота измеряемого столба жидкости зависит от высоты самого буйка. Недостатки те же, что и у *поплавковых уровнемеров*.

*Гидростатические уровнемеры* – по сути, те же датчики давления. Как известно, давление столба пресной воды высотой 10 метров равно 1кг/см<sup>2</sup> избыточного давления или 2 кг/см<sup>2</sup> абсолютного. Измеряя давление столба жидкости в емкости, можно определить ее уровень. Применяя дифференциальные манометры (расходомеры) можно измерять уровень жидкости в емкостях находящихся под вакуумметрическим, или избыточным давлением. При измерении уровня агрессивных жидкостей уровнемер защищается разделительными сосудами или мембранными разделителями, что

позволяет заполнить его камеры нейтральной жидкостью. Для защиты от высокой температуры измеряемой среды, применяются импульсные трубки. *Гидростатические уровнемеры* дешевы и просты по конструкции.

#### **Недостатки:**

- имеют ограниченное применение из-за относительно низкой точности,
- сложность применения (монтаж на днище резервуара, требуется постоянная плотность измеряемого объекта, только для спокойных объектов/процессов);
- при повышении температуры измеряемой жидкости, увеличивается её уровень, но давление остается неизменным. Хотя, этот недостаток оборачивается большим плюсом для некоторых других измерений.

Погружные, скважинные уровнемеры являются разновидностью Гидростатических уровнемеров. Хорошо изолированные, они помещаются непосредственно в резервуар, скважину.

#### *Уровеньмер емкостный.*

Работа таких уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. При этом жидкости, уровень которых измеряется, могут быть как проводниками, так и диэлектриками. Основным параметром, определяющим электрические свойства проводников, является их электропроводность, а диэлектриков - относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая, во сколько раз по сравнению с вакуумом уменьшается в данном веществе сила взаимодействия между электрическими зарядами. Простейший первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке. Стержень вместе с трубой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости, так как при его изменении от нуля до максимума диэлектрическая проницаемость будет изменяться от диэлектрической проницаемости воздуха до диэлектрической проницаемости жидкости. Принцип действия *уровнемера емкостного* следующий: при заполнении или опорожнении резервуара электрическая емкость расположенного в уровнемере чувствительного элемента изменяется пропорционально уровню погружения в контролируемую среду. Это изменение емкости преобразуется электронной схемой в нужный сигнал. Более сложные устройства, чем описанное выше, могут применяться для коммерческого учета. *Уровеньмер емкостный* может измерять уровень как жидких, так и сыпучих продуктов и работать под давлением. При упоре на днище резервуара и свободе перемещения в области крышки, температурное изменение геометрии не влияет на точность измерения.

#### **Недостатки:**

- подвержен налипаниям и осаждением осадка на чувствительном элементе, что влияет на точность измерения.

*Акустический (ультразвуковой) уровнемер.*

В акустических, или ультразвуковых, уровнемерах используется явление отражения ультразвуковых колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ. Действие уровнемеров этого типа основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком. Если излучатель расположен над жидкостью, уровнемер называется акустическим; если внутри жидкости — ультразвуковым уровнемером. В первом случае измеряемое время будет тем больше, чем ниже уровень жидкости, во втором — наоборот. Электронный блок служит для формирования излучаемых ультразвуковых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения времени прохождения импульсом двойного пути (в воздухе или жидкости) и преобразования этого времени в унифицированный электрический сигнал. Уровнемер акустический предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе взрывоопасных, агрессивных, вязких, неоднородных, выпадающих в осадок, а также сыпучих материалов с диаметром гранул и кусков от 5 до 300 мм, при температуре контролируемой среды от минус 30 С до плюс 120 С.

Достоинства:

- отсутствие контакта с продуктом;
- возможно применение для различного вида жидкостей и сыпучих продуктов.

Недостатки:

- акустический сигнал плохо реагирует на наличие пены на поверхности продукта, вплоть до невозможности измерения;
- ограничение на избыточное давление в емкости до 3 бар;
- ограничение на температуру продукта измерения до +120 С;
- невозможно применение данного метода измерения в вакууме;
- при монтаже на крыше резервуара не учитывается изменение геометрии резервуара при перепадах температуры.

В последнее время появился новый метод измерения, работающий на сверхнизких частотах, дающий достоверное представление об уровне, объеме и массе материала, находящегося в бункере или на открытой площадке, путем построения объемной 3D модели содержимого. Прибор имеет в своем составе двумерный формирователь луча, который посылает низкочастотные импульсы и принимает отраженное эхо от содержимого силоса, бункера или любого другого контейнера. Цифровой сигнальный процессор обрабатывает и анализирует принимаемые сигналы. Обрабатывая информацию о времени распространения и направлении принимаемых сигналов, процессор создает 3-мерное изображение поверхности, которое может быть отображено на внешнем экране. Такой уникальный прибор может точно рассчитывать объем и массу измеряемого материала. Кроме того, он может работать и на жидких средах как обычный уровнемер.

Примеры инсталляций чрезвычайно многообразны и охватывают практически все отрасли промышленности и широкий спектр продуктов. Поскольку прибор

использует звуковые волны, он не критичен к диэлектрической проницаемости измеряемого продукта.

#### *Радиационный уровнемер.*

В радиационных уровнемерах используют просвечивание объекта измерения гамма-лучами радиоактивных элементов, интенсивность которых зависит от объёма измеряемого вещества. Используются для сложных условий эксплуатации: ядовитые, токсичные, радиоактивные, сильно коррозирующие жидкости, при высокой температуре и давлениях. Для использования подобного уровнемера требуются специальные разрешения.

#### *Радарный уровнемер.*

*Радарные уровнемеры* – наиболее сложные и высокотехнологичные средства измерения уровня. Для зондирования рабочей зоны и определения расстояния до объекта контроля здесь используется электромагнитное излучение СВЧ диапазона. Радарные уровнемеры, подобно акустическим уровнемерам, используют явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ. Являются "интеллектуальными" устройствами, объединяющими в себе и измерительную часть, и обработку полученного сигнала.

Уровень построен по принципу радиолокатора. Это один из классических методов радарного (радиолокационного) измерения расстояния, позволяющий минимизировать влияние паразитных помех и помех, связанных с неровностями (волнениями) поверхности измеряемого объекта. Обычно, рабочая частота радарных уровнемеров независимо от типа варьирует от 5,8 до 26 ГГц. Чем выше частота, тем более узок луч и тем выше энергия излучения, а, следовательно, сильнее отражение.

Принцип действия прибора заключается в следующем. Микроволновый генератор датчика уровня формирует радиосигнал, частота которого изменяется во времени по линейному закону. Этот сигнал излучается в направлении измеряемого объекта, отражается от него и часть сигнала, через определенное время, зависящее от скорости света, возвращается обратно в антенну. Излученный и отраженный сигнал смешиваются в датчике уровня, и в результате образуется сигнал, частота которого равна разности частот принятого и излученного сигнала, соответственно пропорциональна времени распространения, и соответственно расстоянию от антенны до измеряемого объекта. Дальнейшая обработка сигнала осуществляется микропроцессорной системой датчика уровня и заключается в точном определении частоты результирующего сигнала и пересчете ее значения в значение уровня наполнения резервуара. Обработка сигнала в датчиках уровня, как правило, построена с применением процессоров цифровой обработки сигналов и благодаря этому, она производится в реальном масштабе времени без длительного накопления информации.

Отраженный, а значит и результирующий сигнал, несущий в себе информацию об уровне измеряемого объекта, содержит также и различные шумовые и паразитные составляющие, это связано с тем, что измерение производится в реальных условиях возможных волнений объекта, неполных отражений радиосигнала и его частичного поглощения поверхностью измеряемого продукта. Поэтому результирующий сигнал подвергают спектральному анализу. Для этого полученный сигнал внутри датчика уровня оцифровывается, и преобразуется в "спектр". Далее при помощи специальных алгоритмов спектрального анализа, в

реальном масштабе времени фильтруются паразитные составляющие сигнала и с высокой точностью определяется частота результирующего сигнала, соответствующая уровню измеряемого объекта.

Радарные уровнемеры - наиболее универсальные средства измерения уровня. Не имея непосредственного контакта с контролируемой средой, они могут применяться для агрессивных, вязких, неоднородных жидких и сыпучих материалов. От ультразвуковых бесконтактных уровнемеров их выгодно отличает гораздо меньшая чувствительность к температуре и давлению в рабочей емкости, к их изменениям, а также большая устойчивость к таким явлениям как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование. Радарные уровнемеры обеспечивают высокую точность (до  $\pm 1$  мм.), что позволяет использовать их в системах коммерческого учета.

Недостатки:

- «загрязнение» окружающей территории СВЧ излучением
- при монтаже на крыше резервуара не учитывается изменение геометрии резервуара при перепадах температуры.

*Рефлексный (микроволноводный) уровнемер.*

*Рефлексные (микроволноводные) уровнемеры* по принципу работы подобны радарным уровнемерам, но электромагнитный импульс распространяется не в газовой среде, а по специальному зонду - волноводу. В качестве зондов могут выступать: труба, стержень, трос, группа тросов, коаксиальный кабель. Излучение распространяется по наружной поверхности волновода. Рефлексные уровнемеры способны работать в более жестких условиях: высокие температуры (до 600 С), высокое давление (до 100 кг/см<sup>2</sup>), сильное бурление жидкости, резервуары с работающей мешалкой, пары и газы над поверхностью жидкости, сильное запыление (например, угольная пыль, цемент).

Предназначены для измерения уровня, дистанции и объема жидкостей, паст и сыпучих продуктов, а также раздела фаз жидких продуктов. Вполне могут использоваться на установках типа ЭЛОУ. Не боятся налипания продукта, не «фонят» по СВЧ, меряют уровень от дна. При упоре излучателя на днище резервуара и свободе перемещения в области крыши, температурное изменение геометрии не влияет на точность измерения.

Понятно, что рассмотреть все подробности характеристик в данном материале невозможно, но для понимания сути или для выбора прибора вполне достаточно.

Для тренировки обозначим конкретную задачу:

- **выбрать прибор для коммерческого измерения уровня светлых нефтепродуктов в вертикальных емкостях выше шести метров.**

*Требования:*

- высокая точность измерения ( $\pm 1$  мм);
- измерения должны производиться от дна, без «мертвого» остатка;
- измерение уровня подтоварной воды;
- измерение заилинности (твердого осадка) в резервуаре;



