

Модуль 4 Датчики уровня

План лекции

- 4.1 Датчики уровня. Общие сведения
- 4.2 Поплавковые и буйковые датчики
- 4.3 Гидростатические уровнемеры
- 4.4 Емкостные уровнемеры
- 4.5 Вибрационные конечные выключатели
- 4.6 Кондуктометрические датчики уровня
- 4.7 Акустические уровнемеры
- 4.8 Радарные уровнемеры

4.1 Датчики уровня. Общие сведения

Как известно, уровнем принято называть глубину заполнения резервуара технологической средой – жидкостью либо сыпучим материалом, измеряемую в единицах длины. Уровень технологической среды – один из важнейших параметров значительного количества технологических процессов во всех отраслях промышленности. Обычно средства измерения и контроля уровня среды разделяют на три основные группы:

- уровнемеры, обеспечивающие измерение уровня заполнения емкости либо сосуда;
- датчики-реле уровня, позволяющие реализовать двухпозиционное регулирование уровня среды в сосудах;
- сигнализаторы уровня – датчики пороговых значений, предназначенные для контроля достижения уровня среды определенного, как правило, предельного значения заполнения резервуара. В настоящее время известна большая номенклатура технических средств измерения и контроля уровня заполнения резервуаров, использующих различные физические методы и принципы действия.

В связи с этим средства измерения и контроля уровня среды принято разделять на следующие типы устройств:

- визуальные;
- поплавковые;
- буйковые;
- емкостные;
- гидростатические;
- акустические;
- ультразвуковые и радарные;
- волноводные;
- радиоизотопные;
- вибрационные;
- фотоэлектрические;
- оптические;
- мембранные;

- кондуктометрические и др.

Эти устройства обеспечивают измерение и контроль уровня различных сред: жидких (как чистых, так и загрязненных), пульп, нефтепродуктов, сыпучих твердых различной дисперсности.

При выборе средств измерения и контроля уровня среды необходимо учитывать такие физические и химические свойства контролируемой среды, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность и т.д.

При этом:

- поплавковые и радиоизотопные датчики уровня получили распространение как простейшие датчики-реле для контроля и сигнализации предельных уровней невязких жидкостей;
- вибрационные датчики – для контроля уровня жидких, сыпучих и вязких веществ с низкой текучестью;
- емкостные уровнемеры – для непрерывного измерения уровня либо контроля пороговых значений уровня среды при высокой температуре и/или давлении в резервуаре;
- радарные, ультразвуковые и лазерные датчики – для удаленного и бесконтактного измерения текущих и/или предельных значений уровня во взрыво- и огнеопасной среде;
- магнитострикционные датчики – для измерений с высокой степенью точности и надежности для систем коммерческого учета;
- гидростатические датчики уровня – для непрерывного измерения и контроля предельного уровня жидкостей и высокодисперсных растворов;
- кондуктометрические датчики-реле – для контроля одного или нескольких пороговых значений уровня электропроводящих жидкостей и сыпучих масс.

Степень распространенности средств контроля уровня жидкостей и сыпучих материалов в промышленности приблизительно оценивают таким образом:

- поплавковые – 20÷25 %;
- вибрационные – 15÷20 %;
- гидростатические – 20 %;
- емкостные – 15 %;
- на основе измерения времени прохождения сигнала – 15 %;
- кондуктометрические – 5÷10 %.

4.2 Поплавковые и буйковые датчики

Из существующих в настоящее время датчиков уровня и уровнемеров к одним из наиболее простых следует отнести поплавковые.

Поплавковые уровнемеры узкого диапазона (рисунок 4.1, а) обычно представляют собой устройства, содержащие шарообразный или сфероцилиндрический поплавок, выполненный из нержавеющей стали либо

полипропилена, устойчивых к воздействию неконцентрированных кислот и щелочей, большинства растворителей, спирта, бензина, воды, консистентных масел и др. У фланцевых уровнемеров и датчиков уровня находящийся на поверхности жидкости поплавков (пустотелый предмет, на который, в соответствии с законом Архимеда, действует выталкивающая сила), через штангу (рычаг) соединяется с показывающим либо регистрирующим измерительным преобразователем П.

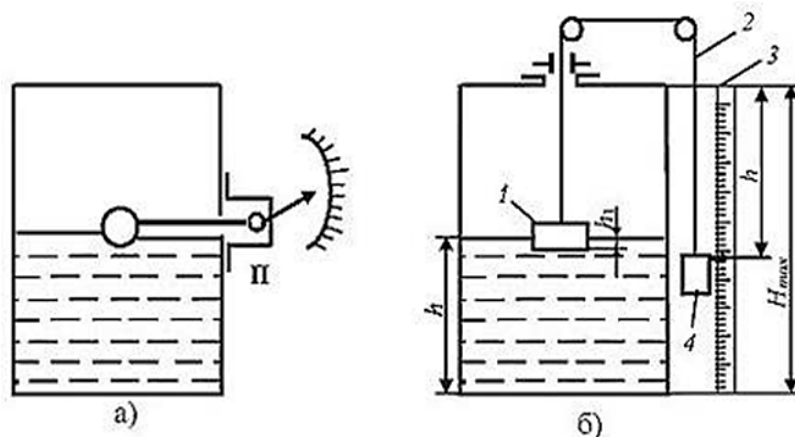


Рисунок 4.1 – Поплавковые и буйковые датчики*

В основу работы буйковых датчиков и уровнемеров положено действие выталкивающей силы, действующей на поплавков произвольной формы (по закону Архимеда). Конструкция буйковых уровнемеров широкого диапазона (рисунок 4.1, б) может представлять собой поплавков 1, связанный посредством тросика 2 с противовесом 4. При расчете конструкции поплавковых уровнемеров подбирают такие параметры поплавка, чтобы обеспечить устойчивое состояние равновесия системы «поплавок — противовес» при определенной глубине погружения поплавка. При увеличении уровня жидкости в резервуаре изменяется глубина погружения поплавка, при этом на него действует дополнительная выталкивающая сила (сила Архимеда). В результате чего противовес 4 опускается до тех пор, пока глубина погружения поплавка не достигнет h_1 . При понижении уровня выталкивающая сила уменьшается и поплавков погружается в жидкость до тех пор, пока глубина погружения поплавка также не достигнет h_1 .

Широкое распространение получили поплавковые датчики-реле уровня. Конструкция таких датчиков состоит из поплавка, который посредством рычага воздействует на контакты переключателя для управления насосом, сигнализатором или другими устройствами.

На рисунке 4.2 представлен поплавковый датчик-реле уровня PFGLP 22F компании Camlogic (Италия) с литым алюминиевым корпусом и поплавком из нержавеющей стали. Сигнализатор предназначен для работы при температуре измеряемой среды от -10 до $+120$ °C и давлении до 25 бар.



Рисунок 4.2 – Поплавковый датчик-реле уровня жидкости PFGLP 22F (исполнение с фланцем)*

На рисунке 4.3 представлен поплавковый датчик-реле ДРУ-1ПМ (ООО ТД «Автоматика», Россия), предназначенный для контроля уровня воды, дизельного топлива, авиационного масла и прочих сред, динамическая вязкость которых не превышает 2,4 Па·с, а плотность составляет не менее 0,8 г/см³. Его максимальная коммутируемая мощность достигает: на постоянном токе – 70 В·А, а на переменном токе – 300 В·А. ДРУ-1ПМ исполнения А позволяет эксплуатировать его на объектах атомной энергетики.



Рисунок 4.3 – Поплавковый датчик-реле уровня жидкости ДРУ-1ПМ*

Отдельную группу устройств измерения и контроля уровня жидкостей в резервуарах составляют сигнализаторы уровня, построенные на основе поплавка со встроенным кольцевым магнитом и установленными внутри направляющей герконами (герметизированными магнитоуправляемыми контактами) – так называемые магнитные погружные зонды (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Поплавковый магнитный погружной зонд*

Конструкция поплавковых магнитных уровнемеров содержит направляющую – трубку, в которой на определенном расстоянии закреплены герконы, соединенные через резисторы, имеющих одинаковый температурный коэффициент сопротивления, с одинаковыми номиналами по схеме резистивного делителя напряжения, что обеспечивает условную линейность измерения. По направляющей свободно перемещается кольцевой поплавок из вспененного эбонита с магнитом. В верхней части направляющей закреплена коробка с клеммными зажимами и кабельным вводом.

Особую группу поплавковых уровнемеров представляют уровнемеры, действие которых основано на магнитострикционном методе измерения. Внутри направляющего элемента, по которому перемещается поплавок с магнитом, находится волновод из магнитострикционного материала (рисунок 4.4). При протекании по волноводу электрического сигнала возникает магнитное поле, которое взаимодействует с постоянным магнитом поплавка. Перемещающийся по волноводу магнит и возникающие магнитные токовые поля генерируют импульсы, которые распространяются по волноводу. Электронный блок уровнемера измеряет время распространения этих импульсов и преобразовывает полученные значения в выходной сигнал преобразователя. Магнитострикционные датчики уровня позволяют проводить наиболее точные непрерывные измерения уровня жидкостей контактным способом. Так, уровнемеры серии EG компании FineTek Co., Ltd. (Тайвань) отличаются точностью измерения до 0,005 % и коэффициентом искажения показаний менее 0,0035 %, что в несколько раз меньше по сравнению с радарными и ультразвуковыми приборами.

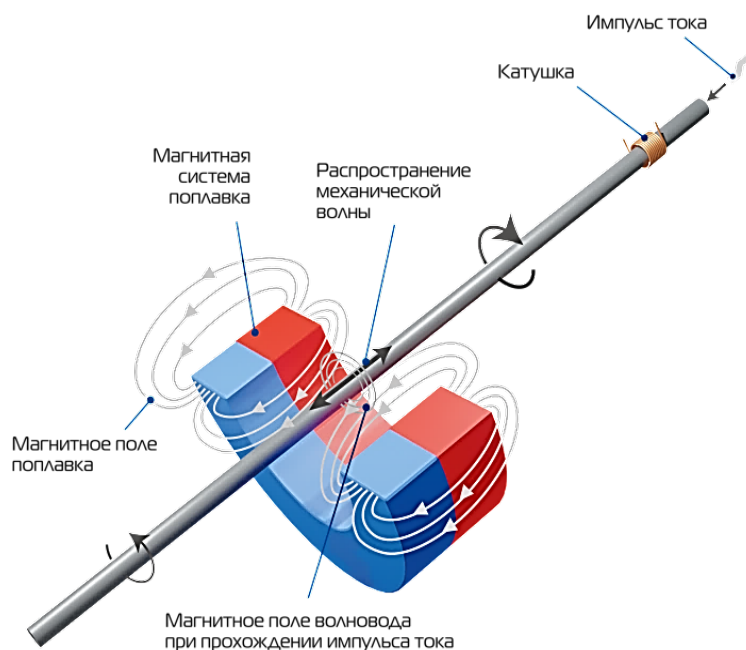


Рисунок 4.4 – Принцип действия магнитострикционного поплавкового уровнемера*

Буйковый интеллектуальный измерительный преобразователь с вытеснителем и торсионной трубкой 244LD Levelstar компании Foxboro Eckardt (рисунок 4.5) предназначен для измерения уровня, а также уровня поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей различной плотности, с непрерывной самодиагностикой.

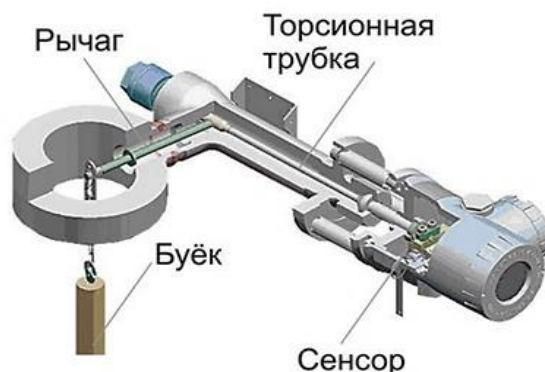


Рисунок 4.5 – Буйковый интеллектуальный измерительный преобразователь 244LD Levelstar*

Буйковый измерительный преобразователь 244LD Levelstar обладает диапазоном измерения – от 50 мм до 10 м; погрешность – до $\pm 0,2 \%$; широким рабочим диапазоном температур – от -196 до $+500$ °С; имеет ЖК-индикатор на 5 цифр для отображения данных в %-х или физических величинах измерения и позволяет выбирать по желанию заказчика выходную характеристику преобразования (линейную или нелинейную).

Буйковые уровнемеры с выносной камерой Fisher 249 компании Emerson Electric Co (США) представляют собой устройство (рисунок 4.6), преобразующий изменение выталкивающей силы во вращательное движение вала вокруг оси торсионной трубки уровнемера. При изменении уровня жидкости (или уровня поверхности раздела сред) и плотности жидкости происходит смещение буйка, которое приводит к повороту торсионной трубки (угол поворота пропорционален изменению выталкивающей силы, моменту силы, действующей на боек). Поворотное движение торсионной трубки передается на цифровой контроллер серии DLC3000, который преобразует угол поворота в электрический сигнал.

Цифровой контроллер уровня позволяет измерять как уровень жидкостей (границу раздела сред между двумя жидкостями), так и удельный вес жидкости (плотность).

Fisher 249 обладает следующими характеристиками:

- погрешность измерений уровня от $\pm 0,25 \%$;
- диапазон рабочего давления до 42 МПа;
- температура рабочей среды от -29 до $+593$ °С;
- степень защиты от проникновения пыли и воды – IP66.

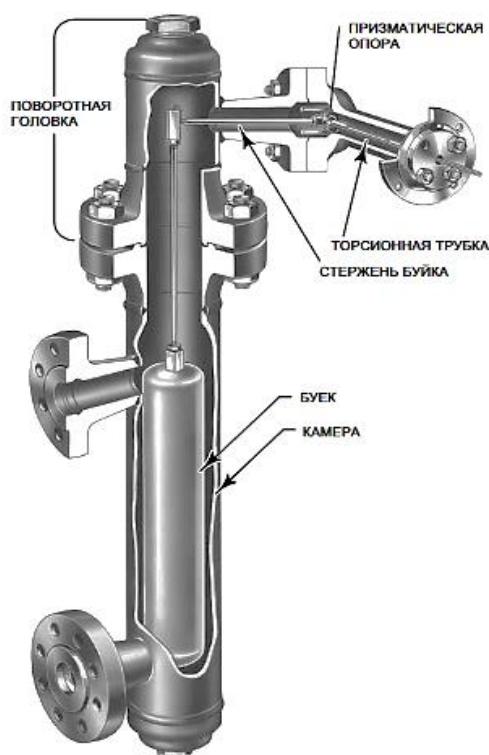


Рисунок 4.6 – Буйковые уровнемеры с выносной камерой Fisher 249*

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.3 Гидростатические уровнемеры

Измерение уровня гидростатическими уровнемерами основано на измерении гидростатического давления P , создаваемого столбом h жидкости постоянной плотности ρ :

$$P = \rho gh.$$

Способ применим, как правило, для однородных жидкостей в резервуарах без существенного волнения измеряемой среды.

На рисунке 4.7, а представлена типовая схема гидростатического измерения уровня посредством манометра.

При измерении уровня данным способом также присутствуют погрешности измерения, определяемые классом точности измерительного прибора, изменениями плотности жидкости, а также колебаниями атмосферного давления. Измерение гидростатического давления манометрами целесообразно лишь в резервуарах, работающих при атмосферном давлении. Иначе показания манометра будут представлять собой суммарное давление гидростатического и избыточного давлений.

На практике широко применяются дифференциальные манометры (рисунок 4.7, б), посредством которых возможно измерение уровня жидкости в открытых резервуарах и измерение уровня раздела жидкостей. Здесь дифманометр ДМ через импульсную трубку плюсовой камеры соединен с

резервуаром в его нижней точке. При этом минусовая камера должна сообщаться с атмосферой. В этом случае устраняется погрешность, связанная с колебаниями атмосферного давления.

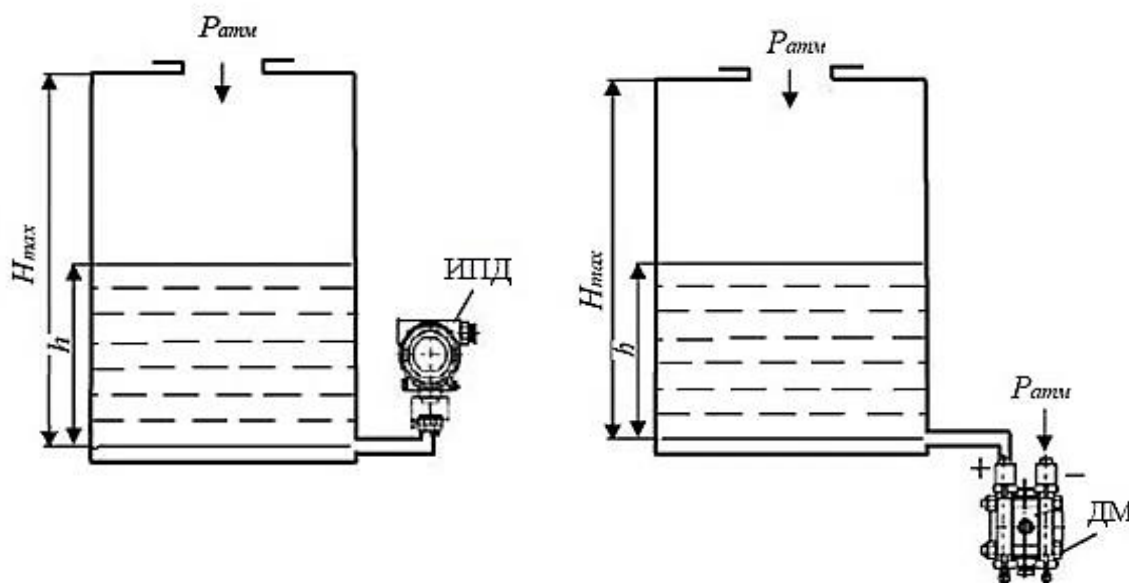


Рисунок 4.7 – Схемы измерения уровня манометрами*

Рассмотренная на рисунке 4.7, б схема применима, когда дифференциальный манометр находится на одном уровне с нижним уровнем резервуара. В тех же случаях, когда дифманометр оказывается ниже него на высоту h_1 , целесообразно применять так называемые «уравнительные сосуды» (УС).

Схемы измерения с такими уравнительными сосудами и дифференциальными манометрами ДМ для резервуаров, находящихся под атмосферным давлением, представлены на рисунке 4.8.

Уравнительный сосуд применяется для компенсации статического давления, создаваемого столбом жидкости h_1 в импульсной трубке.

На рисунке 4.8, а приведена схема с нижним расположением уравнительного сосуда, а на рисунке 4.8, б – с верхним расположением того же (УС в этом случае устанавливают на высоту, соответствующую максимальному значению уровня).

Схема измерения уровня в закрытом резервуаре, находящимся под избыточным давлением $P_{изб}$, представлена на рисунке 4.9. При это избыточное давление присутствует в обеих импульсных трубках дифференциального манометра, в результате измеряемый перепад давления ΔP равен:

$$\Delta P = \rho g H_{max} - \rho g h.$$

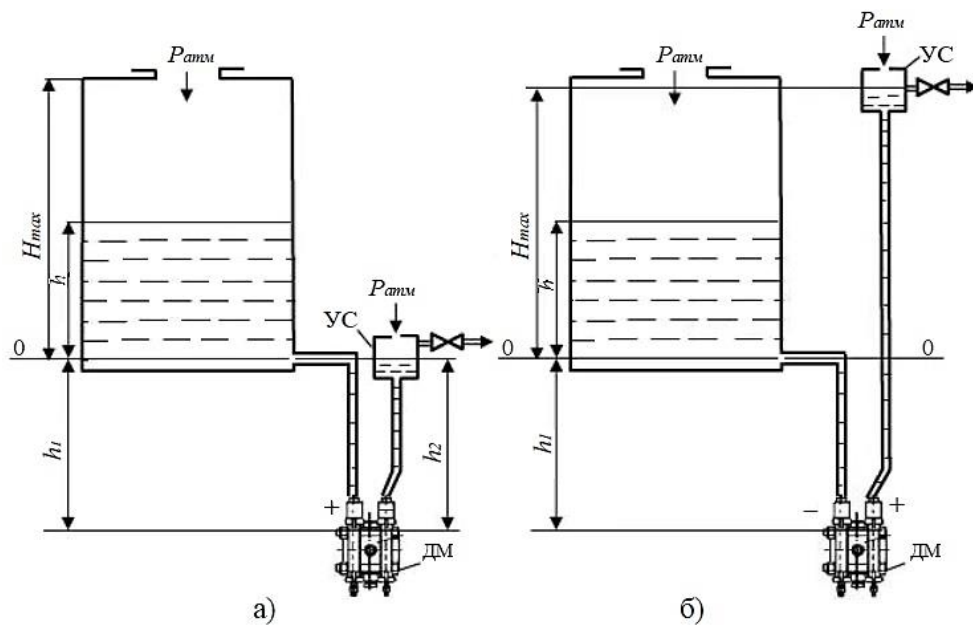


Рисунок 4.8 – Схемы измерения с такими уравнительными сосудами и дифференциальными манометрами*

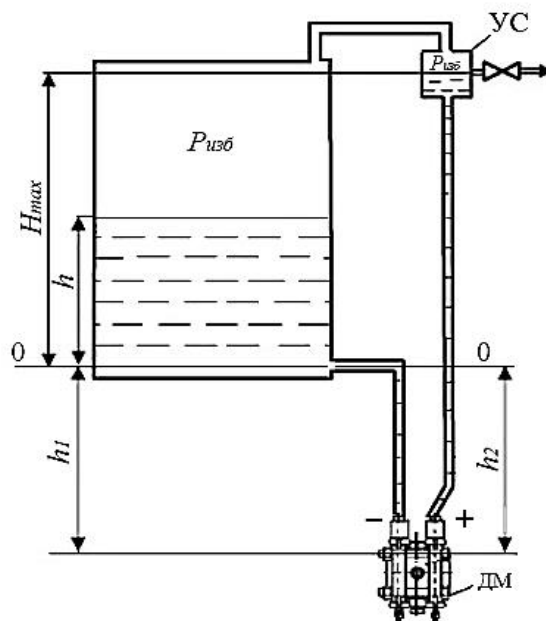


Рисунок 4.9 – Схема измерения уровня в закрытом резервуаре*

В зависимости от требований, предъявляемых к автоматизации технологических процессов, применяют различные типы дифманометров. Если нет необходимости в дистанционной передаче показаний уровня, применяют дифманометры с непосредственным отсчетным устройством, которые могут быть снабжены электроконтактным устройством для сигнализации предельных значений уровня, например, приборы серии ЭКМ.

В последние годы распространение получают датчики гидростатического

давления, у которых, как и у дифманометров, имеются две измерительные камеры, одна из которых выполнена в виде открытой мембраны, а вторая – в виде штуцера. Такой уровнемер устанавливается на дно резервуара и поэтому не имеет импульсных трубок, следовательно, у него отсутствует необходимость в компенсации высоты импульсной трубки h_1 .

Датчики гидростатического давления LHC-M40 серии Varcon фирмы PEPPERL+FUCHS (рисунок 4.10) предназначены для применения в химической, нефтехимической, фармацевтической и пищевой отраслях.



Рисунок 4.10 – Датчики гидростатического давления LHC-M40*

Основными достоинствами гидростатического способа измерения уровня жидкости являются:

- достаточно высокая точность;
- возможность применения для загрязненных жидкостей, включая пульпу;
- способ не предполагает наличия движущихся механизмов;
- используемое оборудование не требует сложного технического обслуживания.

К недостаткам этого метода обычно относят:

- перемещение жидкости в резервуаре, например при его заполнении, вызывает изменение давления и, как следствие, приводит к погрешности измерения;
- необходимость компенсации атмосферного давления для уменьшения погрешности;
- влияние величины плотности жидкости (или его изменения) на точность измерения.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.4 Емкостные уровнемеры

В емкостных уровнемерах применяется зависимость электрической емкости чувствительного элемента измерительного преобразователя от уровня жидкости. Обычно емкостные уровнемеры выполняют в виде конструкции с коаксиально расположенными цилиндрическими либо параллельно расположенными плоскими электродами.

Конструкция емкостного чувствительного элемента с коаксиально расположенными электродами определяется физико-химическими свойствами жидкости. Для неэлектропроводных жидкостей, имеющих удельную электропроводность менее 10^{-6} См/м, как правило, применяют устройства, снабженные чувствительными элементами, схемы которых представлены на рисунке 4.11.

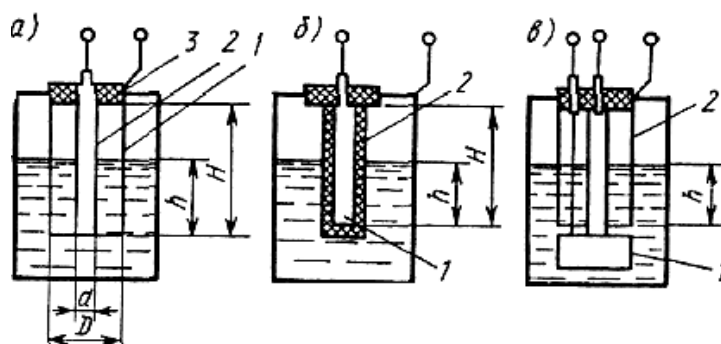


Рисунок 4.11 – Конструкции емкостных уровнемеров*

Конструкция датчика на рисунке 4.11, а состоит из двух коаксиально расположенных электродов 1 и 2, частично погруженных в жидкость и образующих таким образом конденсатор, межэлектродное пространство которого до высоты h заполнено жидкостью, а пространство $(H-h)$ – парогазовой смесью. Фиксацию расположения электродов друг относительно друга обеспечивает изолятор 3.

Для электропроводных жидкостей (с удельной проводимостью более 10^{-4} См/м) применяются уровнемеры, оснащенные емкостным чувствительным элементом (рисунок 4.11, б). Конструкция такого уровнемера включает в себя электрод 1, покрытый фторопластовым изолятором 2 и частично погруженный в жидкость. Вторым электродом является стенка резервуара (в том случае, если она металлическая) или отдельный металлический электрод.

Преобразование электрической емкости чувствительных элементов датчиков в измерительный сигнал может обеспечиваться мостовым, резонансным или импульсным методом.

Емкостные датчики-реле уровня LCL фирмы PEPPERL+FUCHS (рисунок 4.12) могут поставляться модификациями с длиной зонда 140 мм или с длиной кабеля зонда 6000 мм.



Рисунок 4.12 – Емкостные датчики-реле уровня LCL*

Емкостные выключатели LCL выпускаются в исполнении с релейным выходом и питанием от сетей переменного или постоянного тока, а также с PNP-выходом и трехпроводной схемой питания постоянным током. LCL позволяют контролировать уровень сыпучих материалов – цемента, песка, угольной пыли, стирального порошка, крупы, муки, сухого молока и др.

Уровнемеры обеспечивают непрерывное измерение уровня различных жидких (нефти, нефтепродуктов, воды, щелочей, кислот, масла, пищевых жидкостей и др.) и сыпучих (цемента, извести, песка, щебня, руды, шихты, угля, гранулированного порошка и др.) сред, а также контроль двух заданных предельных уровней в резервуарах, в том числе в емкостях, находящихся под избыточным давлением. Принцип действия уровнемеров основан на преобразовании микроконтроллером длительности частотного сигнала, поступающего от емкостного датчика уровня, в пропорциональный сигнал постоянного тока на выходе. Длительность входного сигнала зависит от электрической емкости датчика уровня, которая определяется глубиной его погружения в контролируемую среду.

К основным преимуществам емкостных уровнемеров принято относить простоту монтажа, возможность использования с клейкими веществами и твердыми сыпучими материалами, а также возможность компенсировать влияние раскачивания датчика в жидкости.

К недостаткам относятся: зависимость погрешности измерения или

срабатывания от изоляции, пространственного размещения зонда, от формы резервуара, абразивности, дисперсности, агрессивности и температуры контролируемой жидкости, а также наличия конденсата или пенообразования

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.5 Вибрационные конечные выключатели

Конечные выключатели с вибрирующим чувствительным элементом – это устройства с колебательной вилкой (резонатором камертонного типа), в которых механические колебания в диапазоне резонансных частот образуются посредством пьезоэлектрического элемента. При попадании вибрирующего чувствительного элемента в жидкость либо сыпучую массу происходит значительное снижение амплитуды его колебаний. Чувствительным элементом датчика может быть как вибрационная вилка, так и вибрационный штырь.

Вибрационные конечные выключатели (рисунок 4.13) можно применять в качестве датчиков предельного уровня жидкостей и сыпучих материалов различной плотности и вязкости в широком диапазоне давлений и температур.



Рисунок 4.13 – Вибрационные конечные выключатели*

Вибрационные выключатели могут выпускаться в различных исполнениях как с прочным алюминиевым или пластиковым корпусом, так и с корпусом из нержавеющей стали – для жестких условий эксплуатации, для эксплуатации в агрессивных жидкостях применяются датчики, колебательные вилки которых покрыты термопластичным фторопластом, а для использования в пищевой отрасли производятся устройства с полированной колебательной вилкой. Кроме того, вибрационные выключатели, как правило, производители предлагают в компактном либо удлиненном вариантах исполнения. В последнем случае датчики могут иметь удлинительную трубку длиной до 3000 мм.

Вибрационные конечные выключатели серии Vibracon компании PEPPERL+FUCHS (рисунок 4.14) предназначены для контроля уровня

жидкостей и сыпучих материалов с точностью до 10 мм, температурой среды до 150 °С, плотности контролируемой среды не менее 0,6 г/см³ и давлением до 64 бар; они могут применяться в очистных системах, резервуарах со смазочными материалами и теплоносителями с низкой температурой, в трубопроводах, для защиты насосов от «сухого хода».



Рисунок 4.14 – Вибрационный сигнализатор серии Vibracon*

На рисунке 4.15 представлены варианты монтажа вибрационных выключателей.

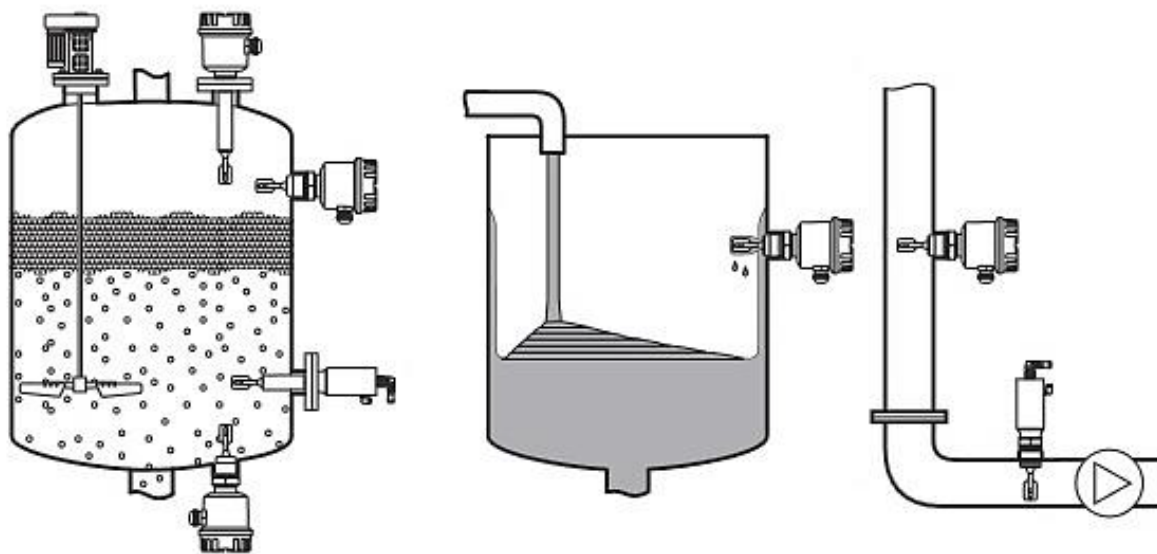


Рисунок 4.15 – Варианты монтажа вибрационных конечных выключателей*

На рисунке 4.16 приведены варианты применения вибрационных конечных выключателей.

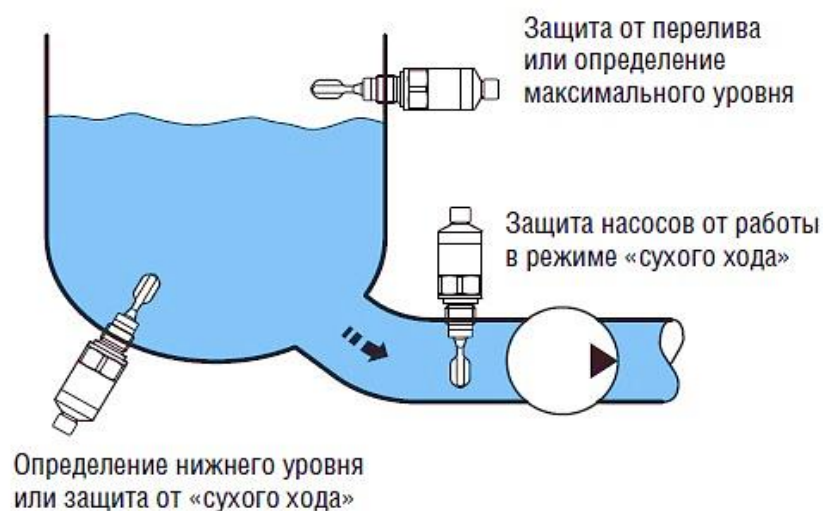


Рисунок 4.16 – Варианты применения вибрационных выключателей*

Кроме того, некоторые модели вибрационных конечных выключателей, такие как Vibracon LVL-E5 и серии LVL-N компании PEPPERL+FUCHS позволяют также контролировать изменение вязкости материала, что может быть применено, например, для контроля коррозии или налипания продукта на чувствительный элемент – колебательную вилку. Ко всему прочему у выключателей Vibracon LVL-E5 имеются еще и средства самодиагностики и возможности для задания времени задержки срабатывания датчика от 0,2 до 5 сек., а также светодиодные индикаторы для индикации состояния выключателей.

К преимуществам вибрационных конечных выключателей принято относить: относительную простоту и неприхотливость, отсутствие движущихся частей, невосприимчивость к размерам частиц, плотности и влажности среды, к влиянию электрических и магнитных полей, отсутствие необходимости регулировки в точке монтажа. На показания вибрационных датчиков уровня не влияет наличие пены, пузырьков, взвешенных частиц в измеряемой среде. Основной недостаток – излишне клейкие вещества и твердые включения в составе контролируемой среды могут вывести из строя вибрирующий чувствительный элемент.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.6 Кондуктометрические датчики уровня

Кондуктометрический метод контроля уровня электропроводящих и условно электропроводящих жидкостей и сыпучих или вязких материалов основан на изменении величины оперативного тока, протекающего через датчик: при отсутствии контролируемой среды (на воздухе) сопротивление между двумя электродами бесконечно велико, при погружении же концов электродов в проводящую или условно проводящую среду сопротивление

уменьшается пропорционально величине ее проводимости. Однако для применения данного метода необходимо наличие у контролируемой среды минимальной проводимости, чтобы можно было получить различимое изменение токового сигнала.

Для реализации кондуктометрического метода датчик с двумя электродами монтируется на необходимом уровне и, когда уровень контролируемой среды достигает места установки датчика, оба электрода вступают в контакт с электропроводящей средой, в результате замыкания электрической цепи происходит срабатывание сигнального реле.

Другой вариант (рисунок 4.17) предполагает установку одного из электродов на необходимом уровне контроля и, когда жидкость достигает уровня, при котором электрод вступает в контакт с контролируемой средой, замыкается электрическая цепь между первым электродом и вторым – общим электродом, установленным ниже первого, либо электропроводящим корпусом резервуара.

В результате появления сигнала оперативного тока срабатывает реле сигнализации.

В случае, когда необходим контроль нескольких значений уровня, используется соответствующее количество электродов. Для исключения электролиза жидкости, как правило, применяют постоянный ток достаточно малой величины либо сигнал переменного тока.

Данный метод используется в основном для контроля уровня электропроводящей среды в цистернах, бункерах, баках и паровых котлах. Легковоспламеняющиеся жидкости, различные виды топлива, масла и растворители, являются диэлектриками, для них этот метод неприменим.

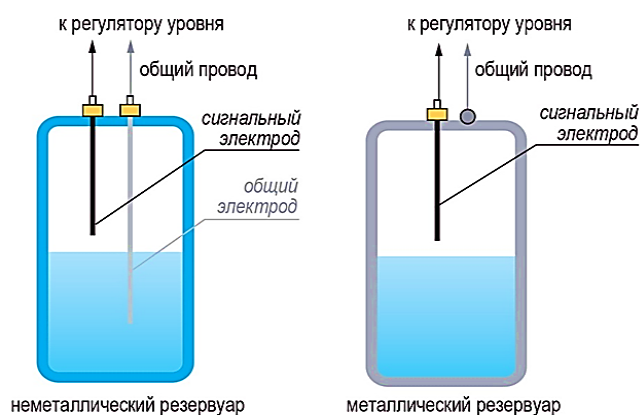


Рисунок 4.17 – Кондуктометрический метод контроля уровня*

Для контроля предельного уровня агрессивных жидкостей применяются электроды из нержавеющей стали, титана, тантала, а также специальных сплавов – Hastelloy B (NiMo_{28}), Hastelloy C ($\text{NiMo}_{16}\text{Cr}_{16}\text{Ti}$) и др.

Кондуктометрические выключатели с одностержневыми электродами HR-6001 компании PEPPERL+FUCHS (рисунок 4.18) производятся с электродами длиной до 1,5 м, а выключатели HR-6051 с многостержневыми

электродами могут поставляться с количеством электродов от 1 до 4.



Рисунок 4.18 – Кондуктометрический выключатель HR-6001

Точность выключателей HR-6001 составляет не менее 4 мм, температура контролируемого вещества – до 150 °С, а рабочее давление достигает 30 бар.

На основе использования кондуктометрических либо емкостных датчиков возможна также реализация метода измерения электрического поля, позволяющего обеспечить также контроль межфазного уровня, например, границы между водой и непроводящими жидкостями в разделителях-сепараторах масла или нефтепродуктов. При взаимодействии двух электродов либо электрода и проводящей поверхности резервуара со схемой генератора колебаний преобразователя наводится переменное электрическое поле. Когда контролируемая среда, на которую настроен генератор устройства, входит в контакт с электродами, колебательный контур генератора демпфируется, а детектор с регулируемым порогом чувствительности фиксирует изменение электрического поля и формирует соответствующий сигнал.

В горной промышленности широкое распространение получили электродные датчики, предназначенные для контроля уровня воды в водосборниках и сыпучих масс – угля, руды, породы – в бункерах и в местах пересыпа и т. п. Как правило, такие датчики представляют собой одноцепные подвесные устройства на гибком кабеле, работающие в комплексе с аппаратурой автоматизации.

Электродные датчики уровня ЭД-1 (рисунок 4.19) и ДУ-1 применяются совместно с реле контроля уровня РКУ.1М и искробезопасным реле контроля сопротивления ИКС-2.

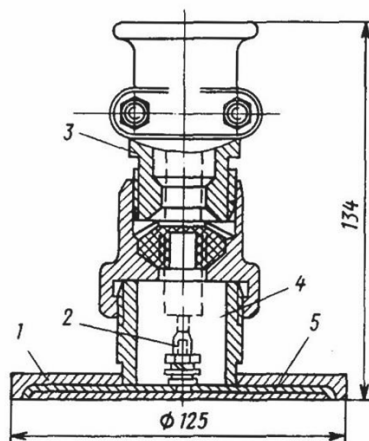


Рисунок 4.19 – Электродный датчик уровня ЭД-1

В корпус датчика ЭД-1 встроена свинцовая обкладка 5, прикрепленная к контактной шайбе 2. Между втулкой 3 и кабельным вводом образуется кабельная полость 4, которая заливается кабельной массой на основе эпоксидной смолы.

Электродные датчики не имеют подвижных частей, что повышает надежность их работы. В зависимости от выбранного режима работы аппаратуры автоматизации производят наладку электродных датчиков с учетом удельной электропроводимости шахтной воды, угля или руды, максимального сопротивления самих электродных датчиков и уровня контролируемой среды в резервуаре.

Искробезопасное реле контроля сопротивления ИКС-2 (рисунок 4.20) обеспечивает контроль уровня и автоматизацию заполнения бункеров и течек такими сыпучими материалами, как уголь, руда, порода, сажа. При этом максимальное сопротивление цепи датчика может достигать 1 МОм. В цепи управления этого реле предусмотрены 1 замыкающий и 2 переключающих контакта с разрывной мощностью не более 500 В·А.

ИКС-2 обеспечивает надежную работу при колебаниях напряжения питания (~127 В) в пределах от 0,85 до 1,1 номинального значения. Настройка реле контроля заключается в выборе и установке напряжения в искробезопасной цепи управления, при котором реле четко срабатывает, если замкнута цепь «электрод-материал-земля (корпус)».

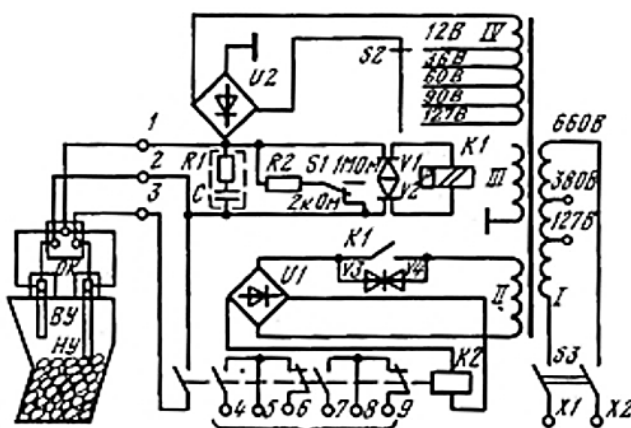


Рисунок 4.20 – Схема искробезопасного реле контроля сопротивления ИКС-2

К достоинствам кондуктометрического метода можно отнести простоту конструкции, возможность применения в средах с высокой температурой и давлением, достаточно простое обслуживание. А к недостаткам – невозможность применения в клейких средах и диэлектриках, значительная стоимость комплекта оборудования и сложность его настройки.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.7 Акустические уровнемеры

В настоящее время принято различать следующие разновидности акустических уровнемеров:

- локационные уровнемеры, использующие эффект отражения ультразвуковых УЗ колебаний (с частотой выше 20 кГц) от границы раздела сред (именно эти уровнемеры называются ультразвуковыми); уровень среды в них определяется по времени прохождения ультразвуком расстояния от источника до поверхности и обратно до приемника;

- уровнемеры поглощения, в основе принципа действия которых лежит явление рассеивания или поглощения звуковой энергии в различных веществах; в таких уровнемерах для определения уровня среды в емкости определяется степень ослабления интенсивности ультразвуковых волн при прохождении через слои газа и жидкости, сигнал здесь учитывается при отражении не от границы раздела двух сред, а от дна резервуара;

- резонансные уровнемеры, работающие по принципу возбуждения колебаний столба газа над уровнем жидкости и в последующем измерении резонансной частоты, при которой наблюдается возникновение так называемой «стоячей волны».

Локационные ультразвуковые уровнемеры получили наибольшее распространение. Измерение уровня локационным способом может осуществляться либо через воздушно-газовую среду над жидкостью либо снизу через слой жидкости.

На рисунке 4.21 показан принцип действия ультразвукового измерения уровня локационным способом через воздушный (газовый) слой.



Рисунок 4.21 – Принцип действия ультразвукового измерения уровня локационным способом через воздушный слой

Локационные уровнемеры, работающие через газовый слой, имеют погрешность, зависящую от скорости звука в определенных условиях давления и температуры газа. Также на уровнемеры этого типа оказывает влияние поглощение ультразвуковых волн газом, что требует более мощного источника УЗ волн. Локационные уровнемеры верхней установки не зависят от изменения физических характеристик жидкости, поэтому они используются для измерения уровня неоднородных, кристаллизующихся и

кипящих жидкостей, содержащих пузырьки газа и др.

Уровнемеры типа «локация через жидкость» используются для сред с высоким давлением. Они требуют значительно менее мощного источника излучения УЗ волн, однако, они требовательны к различным включениям в жидкости (вплоть до того, что пузырьки газа при вскипании оказывают на них огромное влияние). Такие уровнемеры используются только для однородных жидкостей.

Как правило, акустические уровнемеры представляют собой сочетание первичного, промежуточного, а в некоторых случаях и передающего измерительных преобразователей. Поэтому, строго говоря, акустические уровнемеры следует рассматривать как часть измерительной системы с акустическими измерительными преобразователями.

В таблице 4.1 приведены значения времени прохождения ультразвуковым сигналом некоторых расстояний в воздушной среде при нормальных условиях (двойное расстояние уже учтено); эти данные помогают учесть инерционность ультразвукового метода в некоторых применениях.

Таблица 4.1 – Время прохождения УЗ-сигналом некоторых расстояний

Расстояние, м	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
Время прохождения УЗ сигнала, мс	0,6	1,2	3	6	12	30	60

Ультразвуковые бесконтактные датчики Sonar-BERO фирмы Siemens (рисунок 4.22) обладают дальностью действия от 60 мм до 10 м. Датчики Sonar-BERO предлагаются в двух вариантах исполнения: с коммутирующим и с аналоговым выходом.

Датчики с коммутирующим выходом применяются для распознавания объектов на ленточных транспортерах, для управления дверьми при приближении людей, для фиксирования предельных уровней заполнения различных емкостей. Sonar-BERO с аналоговым выходным сигналом используются в тех случаях, когда необходимо обеспечить непрерывное измерение изменяющегося объема или расстояния, например, для измерения уровня заполнения резервуара.



Рисунок 4.22 – Ультразвуковые бесконтактные датчики Sonar-BERO

В зоне действия датчика можно устанавливать коммутационную зону. Коммутирующий выход датчика можно настроить таким образом, чтобы он срабатывал лишь при появлении какого-либо объекта в установленной коммутационной. При применении *Sonar-BERO* в качестве классического бесконтактного датчика распознавание попавших в установленную коммутационную зону объектов будет сигнализироваться цифровым сигналом на коммутирующем выходе.

Ультразвуковые уровнемеры широко применяют для дистанционного измерения уровня жидкостей в пищевой, химической, бумажной и других отраслях промышленности. Уровеньмеры этого типа могут быть использованы для измерения уровня различных жидкостей (однородных и неоднородных, вязких, агрессивных, кристаллизующихся, выпадающих в осадок), находящихся под давлением до 4 МПа. Однако акустические уровнемеры не могут быть использованы для измерения уровня жидкостей, находящихся под высоким избыточным и вакууметрическим давлением.

Основным преимуществом ультразвуковых уровнемеров является независимость их показаний от физико-химических свойств и состава рабочей среды. Это позволяет использовать их для измерения уровня неоднородных кристаллизующихся и выпадающих в осадок жидкостей. К недостаткам следует отнести влияние на показания уровнемеров температуры, давления, состава газа, наличие пены, пара и др.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

4.8 Радарные уровнемеры

В промышленных целях радарный уровнемер был применен впервые в 1976 году шведской фирмой SAAB для измерения уровня сырой нефти, перевозимой в супертанкерах. Уровеньмеры, основанные на радарном (локационном) методе измерения, в отличие от использовавшихся в то время контактных датчиков, оказались практически свободными от необходимости частого технического обслуживания, связанного с периодической очисткой поверхности датчика от различного рода отложений и загрязнений.

В радарных системах измерения уровня применяются преимущественно две технологии: с непрерывным частотно-модулированным излучением *Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)* и с импульсным излучением сигнала.

Радарный принцип действия измерения уровня среды FMCW основан на том, что уровнемер излучает микроволновый сигнал, частота которого изменяется непрерывно по линейному закону между двумя значениями f_1 и f_2 (рисунок 4.23).

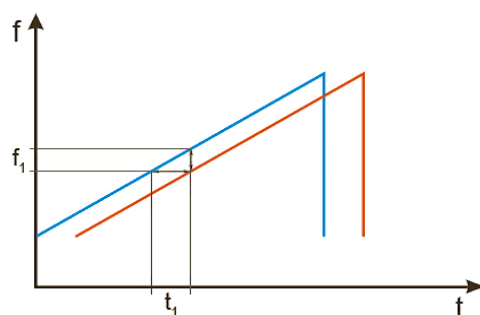


Рисунок 4.23 – К принципу действия FMCW-технологии*

Отраженный от поверхности контролируемой среды сигнал принимается антенной уровнемера и его частота сравнивается с частотой сигнала, излучаемого передатчиком уровнемера. При этом разность частот

$$f_d = f_1 - f_2$$

будет прямо пропорциональна расстоянию до контролируемой поверхности.

Идеальными для уровнемера этого типа будут условия, когда поверхность контролируемой среды имеет достаточно большую площадь и на ней отсутствуют какие-либо возмущения, а сам резервуар полностью свободен от каких-либо внутренних конструктивных элементов (откосов, балок и т. п.). Но в реальных условиях наблюдаются проблемы, связанные в первую очередь с образованием отраженных паразитных эхо-сигналов от различных конструктивных элементов и неровностей контролируемой поверхности (рисунок 4.24).

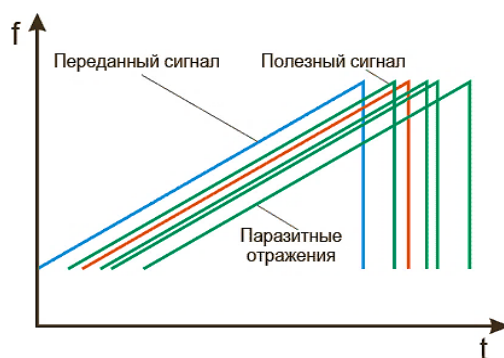


Рисунок 4.24 – Отражения при использовании технологии FMCW*

Кроме того, прием и передача сигнала осуществляются одновременно. В итоге на входе радарного приемника наблюдается набор сигналов со значительным разбросом по амплитуде. Для выделения частот отраженных эхо-сигналов обычно применяется алгоритм, основанный на методе быстрого преобразования Фурье, для реализации которого необходимо относительно продолжительное время. В результате преобразования получается частотный спектр сигнала, в котором относительная амплитуда каждой частотной составляющей пропорциональна мощности соответствующего отраженного эхо-сигнала, а частотный сдвиг пропорционален расстоянию от излучателя до поверхности – источника этого эхо-сигнала (рисунок 4.25).

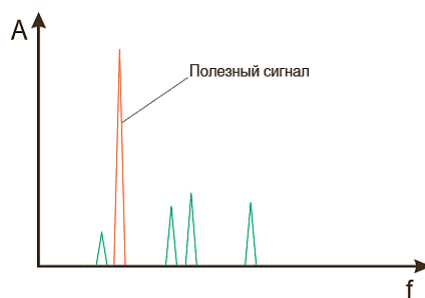


Рисунок 4.25 – Частотный спектр эхо-сигнала*

Затем осуществляется определение частоты полезного сигнала и вычисление расстояния от антенны приемника радарного уровнемера до поверхности контролируемой среды.

Одним из наиболее важных элементов радарного уровнемера является его антенная система. Именно от антенны зависит, какая часть излученного сигнала достигнет поверхности контролируемого материала и какая часть отраженного сигнала будет принята и передана на вход электронного блока для последующей обработки. В радарных системах контроля уровня преимущественно используются антенны пяти типов: рупорная, стержневая, трубчатая, параболическая, планарная и каплевидная.

Рупорная и стержневая антенны наиболее широко используются в составе приборов, предназначенных для контроля уровня в технологических установках. Трубчатые антенны применяются в тех случаях, когда выполнение измерения посредством рупорной или стержневой антенны связано с большими трудностями, например, при наличии пены, сильного испарения или высокой турбулентности контролируемой жидкости. Параболические и планарные антенны используются исключительно в составе систем коммерческого учета нефтепродуктов. Конструкция каплевидной антенны позволяет минимизировать отложения и не подвержена влиянию угла естественного откоса, благодаря чему отсутствует необходимость использования дорогостоящих приспособлений для прицельного ориентирования антенны или систем продувки.

Вне зависимости от используемого принципа в радарных уровнемерах применяются СВЧ-сигналы с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 100 ГГц. В высокочастотных приборах антенна имеет меньшие размеры и при равных габаритах с антеннами низкочастотного уровнемера обеспечивает более узкую диаграмму направленности. Это позволяет использовать для установки уровнемера отверстия в резервуаре гораздо меньших размеров, что в некоторых случаях может иметь решающее значение. Более узкая диаграмма направленности очень важна для получения эхо-сигнала с наименьшим числом паразитных отражений от различных внутренних конструктивных элементов резервуара, таких как швы, дефлекторы, мешалки и т.д.

Влияние пены на результат измерения определяется такими ее параметрами, как плотность, диэлектрическая проницаемость и

проводимость. Сухая пена достаточно легко проницаема для СВЧ-излучения. Мокрая пена, присутствующая, например, в бродильных чанах, представляет для него труднопреодолимое препятствие.

Получившие известность радарные (FMCW) уровнемеры компании KROHNE (Герм.) обеспечивают с высокой точностью бесконтактное измерение уровня жидкостей, паст, гранулированных, порошкообразных и других сыпучих веществ (рисунок 4.26).



Рисунок 4.26 – Радарные уровнемеры компании KROHNE*

Различные варианты антенн позволяют их эксплуатацию в различных условиях производства, в том числе, для коррозионно-активных или абразивных сред, работы при высоком давлении или температуре и применений с технологическими мешалками, во взрывоопасных зонах.

*Использованы иллюстрации из источника: Эм Г.А. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 2: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин. – Караганда: Изд-во КарТУ им. А. Сагинова, 2024.

Список рекомендуемой литературы

1. Датчики и измерительные преобразователи. Часть 1: учебное пособие / Г. А. Эм, В. В. Каверин, В. А. Иванов; Карагандинский технический университет. – Караганда: Изд-во КарТУ, 2020. – 72 с.
2. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с.
4. Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: Учеб. пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009 – 150 с..