

## Приборы для измерения уровня

Уровнем называют высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой — жидкостью или сыпучим телом. Уровень рабочей среды является технологическим параметром, информация о котором необходима для контроля режима работы технологического аппарата, а в ряде случаев для управления производственным процессом.

Путем измерения уровня можно получать информацию о массе жидкости в резервуарах. Подобная информация широко используется для проведения товароучетных операций и для управления производственным процессом. Уровень измеряют в единицах длины. Средства измерений уровня называют уровнемерами.

Различают уровнемеры, предназначенные для измерения уровня рабочей среды; измерений массы жидкости в технологическом аппарате; сигнализации предельных значений уровня рабочей среды — сигнализаторы уровня.

По диапазону измерения различают уровнемеры широкого и узкого диапазонов. Уровнемеры широкого диапазона (с пределами измерений 0.5—20 м) предназначены для проведения товароучетных операций, а уровнемеры узкого диапазона [пределы измерений  $(0 \div \pm 100)$  мм или  $(0 \div \pm 450)$  мм] обычно используются в системах автоматического регулирования.

В настоящее время операция измерения уровня является ключевой для организации контроля и управления технологическими процессами в во многих отраслях промышленности. К приборам для измерения уровня заполнения ёмкостей и сосудов, или уровнемерам, предъявляются различные требования: в одних случаях требуется только сигнализировать о достижении определённого предельного значения, в других необходимо проводить непрерывное измерение уровня заполнения.

Существует широкая номенклатура средств контроля и измерения уровня, использующих различные физические методы: ёмкостный, электроконтактный, гидростатического давления, поплавковый, ультразвуковой, радиоволновый. Эти методы и средства позволяют контролировать уровень различных сред: жидких (чистых, загрязнённых), пульп, нефтепродуктов, сыпучих твёрдых различной дисперсности. При выборе уровнемера необходимо учитывать такие физические и химические свойства контролируемой среды, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность и т.д. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него: давление, вакуум, нагревание, охлаждение, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический), наличие мешалки, огнеопасность, взрывоопасность и другие.

Современные системы автоматизации производства требуют статистических и информационных данных, позволяющих оценить затраты, предотвратить убытки, оптимизировать управление производственным процессом, повысить эффективность использования сырья. Этот постоянно возрастающий спрос на информацию приводит к необходимости применения в системах контроля не простых сигнализаторов, а средств, обеспечивающих непрерывное измерение.

В настоящее время измерение уровня во многих отраслях промышленности осуществляют различными по принципу действия уровнемерами, из которых распространение получили поплавковые, буйковые, гидростатические, электрические, ультразвуковые и радиоизотопные. Применяются и визуальные средства измерений.

### Визуальные средства измерений уровня

К визуальным средствам измерений уровня относятся мерные линейки, рейки, рулетки с лотами (цилиндрическими стержнями) и уровнемерные стекла.

В производственной практике широкое применение получили уровнемерные стекла. Измерение уровня с помощью уровнемерных стекол (рис. 1, а) основано на законе

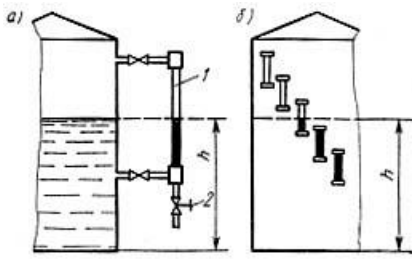


Рис. 1. Уровнемерные стекла

сообщающихся сосудов. Указательное стекло 1 с помощью арматуры соединяют с нижней и верхней частями емкости. Наблюдая за положением мениска жидкости в трубке 1, судят о положении уровня жидкости в емкости. Для исключения дополнительной погрешности, обусловленной различием температуры жидкости в резервуаре и в стеклянной трубке, перед измерением осуществляют промывку уровнемерных стекол. Для этого предусмотрен вентиль 2. Арматура уровнемерных стекол оснащается предохранительными клапанами, обеспечивающими автоматическое перекрытие каналов, связывающих указательное стекло с технологическим аппаратом при случайной поломке стекла. Из-за низкой механической прочности уровнемерные стекла обычно выполняют длиной не более 0,5 м. Поэтому для измерения уровня в резервуарах (рис. 1,б) устанавливается несколько уровнемерных стекол с тем расчетом, чтобы они перекрывали друг друга. Абсолютная погрешность измерения уровня уровнемерными стеклами  $\pm (1-2)$  мм. При измерении возможны дополнительные погрешности, связанные с влиянием температуры окружающей среды. Уровнемерные стекла применяются до давлений 2,94 МПа и до температуры 300°С.

### Поплавковые средства измерений уровня

Среди существующих разновидностей уровнемеров поплавковые являются наиболее простыми. Получили распространение поплавковые уровнемеры узкого и широкого диапазонов. Поплавковые уровнемеры узкого диапазона (рис. 2) обычно представляют собой устройства, содержащие шарообразный поплавок диаметром 80—100 мм, выполненный из нержавеющей стали. Поплавок плавает на поверхности жидкости и через штангу и специальное сальниковое уплотнение соединяется либо со стрелкой измерительного прибора, либо с преобразователем 1 угловых перемещений в унифицированный электрический или пневматический сигналы. Уровнемеры узкого диапазона выпускаются двух типов: фланцевые (рис. 2, а) камерные (рис. 2,б), отличающиеся способом их установки на технологических аппаратах.

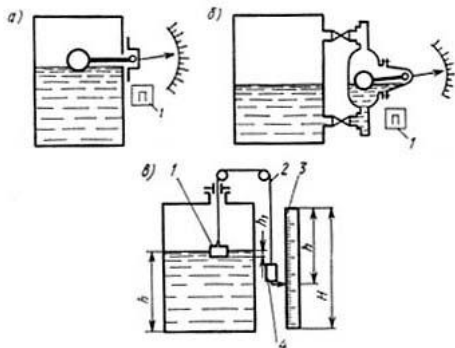


Рис. 2. Схемы поплавковых уровнемеров

Минимальный диапазон измерений этих уровнемеров—10-0-10 мм, максимальный — 200-0-200 мм. Класс точности 1,5. Поплавковые уровнемеры широкого диапазона (рис. 2, в) представляют собой поплавок 1, связанный с противовесом 4 гибким тросом 2. В нижней части противовеса укреплена стрелка, указывающая по шкале 3 значения уровня жидкости в резервуаре. При расчетах поплавковых уровнемеров подбирают такие конструктивные параметры поплавка, которые обеспечивают состояние равновесия системы «поплавок — противовес» только при определенной глубине погружения поплавка. Если пренебречь силой тяжести троса и трением в роликах, состояние равновесия системы «поплавок — противовес» описывается уравнением

$$G_{\Gamma} = G_{\Pi} + Sh_1 r_{жс} g, \quad (1)$$

где  $G_{\Gamma}$ ,  $G_{\Pi}$  — силы тяжести противовеса и поплавка;

$S$  — площадь поплавка;

$h_1$  — глубина погружения поплавка;

$r_{жс}$  — плотность жидкости.

Повышение уровня жидкости изменяет глубину погружения поплавка и на него действует дополнительная выталкивающая сила. В результате равенство (1) нарушается и противовес опускается вниз до тех пор, пока глубина погружения поплавка не станет равной  $h_1$ . При понижении уровня действующая на поплавок выталкивающая сила уменьшается и поплавок начинает опускаться вниз до тех пор, пока глубина погружения поплавка не станет равной  $h_1$ . Для передачи информации о значении уровня жидкости в резервуаре применяют сельсинные системы передачи. Обычно ось сельсина-датчика кинематически связана с барабаном, вращение которого осуществляется в процессе перемещения троса, а ось сельсина-приемника — со счетным механизмом.

### Поплавковые выключатели



Рис. 3. Принцип действия поплавкового выключателя



Рис. 4. Устройство поплавковых выключателей

Поплавковые выключатели используются для сигнализации о предельных значениях уровня жидкостей. Они обладают необходимой плавучестью, позволяющей им в незакрепленном состоянии находиться на поверхности жидкости в строго горизонтальном положении. В конкретных применениях поплавковый датчик закрепляется посредством собственного кабельного зажима на высоте, соответствующей предельному уровню жидкости. Процесс переключения запускается качанием датчика, когда он отклоняется от горизонтального положения в любом направлении, как это представлено на рис. 3. В качестве коммутационных устройств часто применяются жидкометаллические микровыключатели, в которых в настоящее время вместо ртути используется галинстан (Galinstan — жидкий металлический сплав, включающий галлий, индий и олово и сохраняющий жидкое состояние при температурах выше — 19°C).

Поплавковый выключатель состоит из корпуса поплавка со встроенным микровыключателем и присоединительного кабеля.

Современные поплавковые датчики используют три разновидности не содержащих ртути коммутационных устройств:

1. Шаровой микро выключатель с определением положения на основе индуктивного метода (рис. 4 а):

- пригоден для применения во взрывоопасных зонах класса 1;
- номинальное напряжение 8В;
- подключается через барьер безопасности с гальванической изоляцией;
- угол срабатывания  $\pm 12^\circ$  относительно горизонтальной плоскости.

2. Шаровой концевой микро выключатель (рис. 4 б):

- тип выхода — коммутируемые каналы;
- непосредственно подключается ко входу измерительного преобразователя, не требует дополнительных средств сопряжения;

- коммутируемое напряжение 250В переменного/постоянного тока, коммутируемый ток до 3А (1А);

- угол срабатывания  $+18 \pm 6^\circ$  (верхняя точка),  $+5 \pm 3^\circ$  (нижняя точка) относительно горизонтальной плоскости.

3. Микровыключатель, использующий жидкий металлический сплав Galinstan (рис. 4 в):

- коммутируемое напряжение 250В переменного тока (150В постоянного тока), коммутируемый ток до 4А;
- тип выхода — коммутируемые контакты;
- подключается непосредственно ко входу измерительного преобразователя, не требует дополнительных средств сопряжения;
- угол срабатывания:  $\pm 5^\circ$  относительно горизонтальной плоскости.

В качестве поплавков применяют преимущественно полые шаровидные или сфероцилиндрические тела, выполненные из полипропилена, устойчивого к воздействию неконцентрированных кислот и щелочей, большинства растворителей, спирта, бензина, воды, консистентных смазок и масел. Датчики имеют выходные контакты с коммутируемым напряжением 20...264 В переменного тока или 6...60 В постоянного тока.

Присоединительные кабели изготавливаются из поливинилхлорида (PVC) для применений в водной среде, включая сточную воду, и в слабоагрессивных жидкостях; из полиуретана (PUR), устойчивого к горюче смазочным материалам, нагретым маслам и жидкостям, содержащим масла; из хлорсульфированного полиэтилена (CSM, Hupalon), устойчивого к воздействию кислот, щелочей и многих растворителей. Длина кабеля составляет 3, 5 или 10 метров. Поплавок закрепляется или за боковые выступы резервуара через кабельный уплотнитель с резьбой, или посредством дополнительной массы или стержней, зафиксированных в верхней части резервуара. Изгиб кабеля допускается только в горизонтальной плоскости. Минимальная длина кабеля между точкой закрепления и поплавком зависит от материала кабеля.

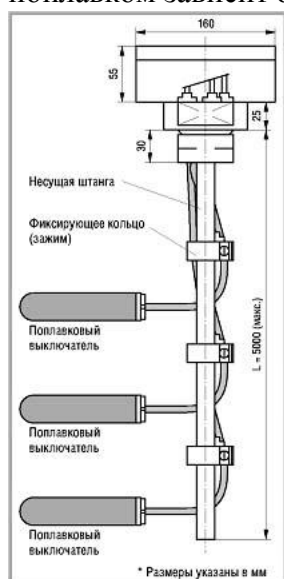


Рис. 5. Регулируемое устройство.

По заказу поставляется регулируемое комбинированное устройство из поплавковых выключателей (до 5 датчиков), позволяющее изменять уровни срабатывания выключателей, если этого потребуют новые эксплуатационные условия. При поставке данного устройства поплавки настраиваются по концу несущей штанги. Подстройка по уровням срабатывания производится пользователем на месте применения посредством перемещения установочных фиксирующих колец (рис. 5).

#### Общие технические данные поплавковых выключателей

- ✓ Точность: зависит от угла срабатывания ( $5...25^\circ$ ) и длины кабеля.
- ✓ Температура контролируемой среды: до  $120^\circ\text{C}$ .
- ✓ Рабочее давление: до 16 бар.
- ✓ Плотность измеряемого вещества: не менее  $0,6 \text{ г/см}^3$  (для обеспечения необходимой плавучести форма поплавка выключателя определяется по минимальному значению плотности измеряемого вещества).

#### Основные достоинства:

- ✓ простота;
- ✓ прочность;
- ✓ невысокая стоимость.

#### Недостатки:

- ✓ непригодны для клейких жидкостей;
- ✓ проблемы с плещущимися жидкостями;
- ✓ плавучесть зависит от размеров поплавка;
- ✓ точка срабатывания зависит от изменений (колебаний) плотности вещества.

#### Буйковые средства измерений уровня

В основу работы буйковых уровнемеров положено физическое явление, описываемое законом Архимеда. Чувствительным элементом в этих уровнемерах является

цилиндрических буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. При изменении уровня жидкости в аппарате масса буюка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Преобразование веса буюка в сигнал измерительной информации осуществляется с помощью унифицированных преобразователей «сила — давление» и «сила — ток». В соответствии с видом используемого преобразователя силы различают пневматические и электрические буюковые уровнемеры.

Схема буюкового пневматического уровнемера приведена на рис. 6, а. Уровнемер

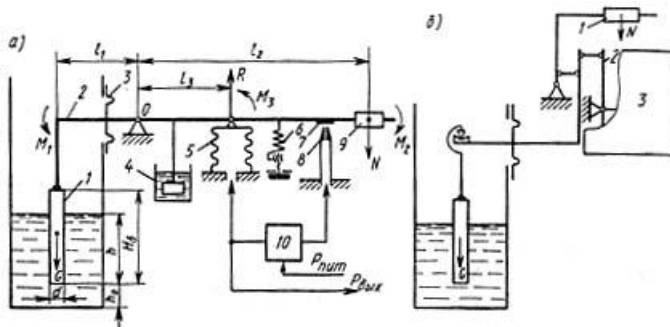


Рис. 6. Схемы пневматических буюковых уровнемеров

работает следующим образом. Когда уровень жидкости в аппарате равен начальному  $h_0$  (в частном случае  $h_0$  может быть равен 0), измерительный рычаг 2 находится в равновесии, так как момент  $M_1$  создаваемый весом буюка  $G$ , уравнивается моментом  $M_2$ , создаваемым противовесом  $N$ .

Когда уровень жидкости становится больше  $h_0$ , часть буюка погружается в жидкость. Поэтому вес

буюка уменьшается, а следовательно, уменьшается и момент  $M_1$ , создаваемый буюком на рычаге 2. Так как  $M_2$  становится больше  $M_1$ , рычаг 2 поворачивается вокруг точки  $O$  по часовой стрелке и прикрывает заслонкой 7 сопла 8. Поэтому давление в линии сопла увеличивается. Это давление поступает в пневматический усилитель 10, выходной сигнал которого является выходным сигналом уровнемера. Этот же сигнал одновременно посылается в сильфон отрицательной обратной связи 5. При действии давления  $P_{\text{Вых}}$  возникает сила  $R$ , момент  $M_3$  которой совпадает по направлению с моментом  $M_1$ , т.е. действие силы  $R$  направлено на восстановление равновесия рычага 2. Движение измерительной системы преобразователя происходит до тех пор, пока сумма моментов всех сил, действующих на рычаг 2, не станет равной 0.

Выходной сигнал пневматических буюковых уровнемеров изменяется в диапазоне 0,02—0,1 МПа при изменении уровня от нуля до максимального значения. Начальное значение выходного сигнала (0,02 МПа) задается пружиной 6 (см. рис. 6, а). Для предотвращения автоколебаний измерительной системы уровнемера служит демпфер 4. Герметизация технологического аппарата при установке в нем чувствительного элемента достигается уплотнительной мембраной 3. При необходимости буюк может быть Установлен в выносной камере, располагаемой вне технологического аппарата. Минимальный верхний предел измерений пневматических уровнемеров — 0,02 м, максимальный — 16 м.

Кроме рассмотренной модификации пневматических уровнемеров выпускаются уровнемеры, оснащенные унифицированным преобразователем «сила — давление». Схема соединения буюка с унифицированным преобразователем приведена на рис. 6, б. Здесь 1 — груз, уравнивающий вес буюка; 2 — Т-образный рычаг унифицированного преобразователя 3.

Для преобразования уровня в унифицированный токовый сигнал разработаны буюковые электрические уровнемеры, оснащенные унифицированным преобразователем «сила — ток». Подключение буюка к унифицированному преобразователю осуществляется по схеме, аналогичной схеме, приведенной на рис. 6, б. Верхние пределы измерений уровнемера с унифицированным электрическим сигналом ограничены значениями 0,02—16 м.

Буюковые средства измерений уровня применяются при температуре рабочей среды от  $-40$  до  $+400^\circ\text{C}$  и давлении рабочей среды до 16 МПа. Классы точности буюковых уровнемеров 1,0 и 1,5.

### **Магнитные погружные зонды предельного уровня**

Магнитные погружные зонды предельного уровня серии LML разработаны для использования в очищенных жидкостях, таких как вода, растворители, масла, различные виды топлива. В зависимости от вида контролируемой жидкости возможны различные исполнения зондов:

- пластиковые для агрессивных кислот и щелочей;
- из нержавеющей стали для воды, масел и т.п.;
- из нержавеющей стали во взрывозащищённом исполнении для горючих жидкостей, таких как топливо, растворители, спирты.

Эти датчики работают следующим образом: поплавков, направляемый трубкой зонда, плавает на поверхности жидкости; тороидальный магнит, смонтированный на поплавке, в соответствующем положении замыкает язычковые герметизированные контакты, установленные на направляющей трубке, посредством магнитного поля.

Поставляются модели с числом контактов от 1 до 3. Переключатели выполняются размыкающие, замыкающие и переключающие. Точность измерения не зависит от давления, плотности и электрических свойств жидкости.

#### **Общие технические данные магнитных погружных зондов**

Температура контролируемой жидкости:  $-20...+70^{\circ}\text{C}$ . Рабочая плотность контролируемого вещества: не менее  $0,7 \text{ г/см}^3$ . Рабочее давление:

- ✓ до 3 бар (исполнение из пластика);
- ✓ до 25 бар (исполнение из нержавеющей стали).

#### **Основные достоинства:**

- ✓ простой принцип действия;
- ✓ несложный монтаж;
- ✓ несложное техническое обслуживание;
- ✓ не требуется регулировка в месте установки.

#### **Недостатки:**

- ✓ плавучесть зависит от размера поплавка;
- ✓ точки переключения зависят от плотности среды;
- ✓ максимальная длина трубки зонда около 6 м;
- ✓ минимально допустимая плотность контролируемого вещества равна  $0,7 \text{ г/см}^3$ .
- ✓ можно использовать только в очищенных жидкостях.

### **Гидростатические средства измерений уровня**

Данный метод измерения уровня основан на определении гидростатического давления, оказываемого жидкостью на дно резервуара. Величина гидростатического давления на дно резервуара ( $p$ ) зависит от высоты столба жидкости над измерительным прибором ( $h$ ) и от плотности жидкости ( $r$ ):  $p = rgh$ , соответственно  $h = p/rg$ , где  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  (это справедливо только для неподвижных жидкостей).

Измерение гидростатического давления осуществляется:

- ✓ манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня;
- ✓ дифференциальным манометром, подключаемым к резервуару на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня, и к газовому пространству над жидкостью;
- ✓ измерением давления газа (воздуха), прокачиваемого по трубке, опущенной в заполняющую резервуар жидкость на фиксированное расстояние.

На рис. 7, а приведена схема измерения уровня манометром. Применяемый для этих целей манометр 1 может быть любого типа с соответствующими пределами измерений, определяемыми зависимостью  $p = rgh$ . Измерение гидростатического давления манометром может быть осуществлено и по схеме, приведенной на рис. 7, б. Согласно данной схеме о значении измеряемого уровня судят по давлению воздуха,

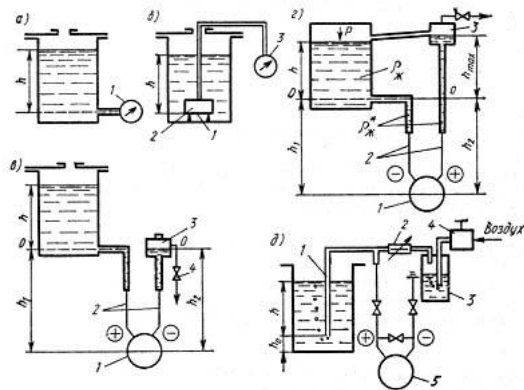


Рис. 7. Схемы измерения уровня гидростатическими уровнемерами

При измерении уровня по рассмотренным схемам имеют место погрешности измерения, определяемые классом точности манометров и изменениями плотности жидкости.

Измерение гидростатического давления манометрами целесообразно в резервуарах, работающих при атмосферном давлении. В противном случае, показания манометра складываются из гидростатического и избыточного давлений.

Для измерения уровня жидкости в технологических аппаратах, находящихся под давлением, широкое применение получили дифференциальные манометры. С помощью дифференциальных манометров возможно также измерение уровня жидкости в открытых резервуарах, уровня раздела фаз и уровня раздела жидкостей.

Измерение уровня в открытых резервуарах, находящихся под атмосферным давлением, осуществляется по схеме, представленной на рис. 7, в. Дифманометр 1 через импульсные трубки 2 соединен с резервуаром и уравнительным сосудом 3. Уравнительный сосуд применяется для компенсации статического давления, создаваемого столбом жидкости  $h_1$  в импульсной трубке. В процессе измерения уровень жидкости в уравнительном сосуде должен быть постоянным. Вентиль 4 служит для поддержания постоянного уровня в сосуде 3. При равенстве плотностей жидкостей, заполняющих импульсные трубки и резервуар, и при условии  $h_1 = h_2$  перепад давления, измеряемый дифманометром,

$$\Delta P = r_{жс} gh \quad (2)$$

При измерении уровня в аппаратах, находящихся под давлением, применяют схему, приведенную на рис. 7, з. Уравнительный сосуд 3 в этом случае устанавливают на высоту, соответствующую максимальному значению уровня, и соединяют с аппаратом. Статическое давление  $P$  в аппарате поступает в обе импульсные трубки, поэтому измеряемый перепад давления  $\Delta P$  можно представить в виде

$$\Delta P = r_{*жс} gh_{\max} - r_{жс} gh. \quad (3)$$

При  $h = 0$   $\Delta P = \Delta P_{\max}$ , а при  $h = h_{\max}$   $\Delta P = 0$ .

Как следует из уравнения (3), шкала измерительного прибора уровнемера будет обращенной. В рассмотренных схемах могут быть использованы дифманометры с унифицированным токовым или пневматическим сигналом.

Если жидкость, заполняющая резервуар, агрессивна, то подключение дифманометра к резервуару осуществляется через разделительные сосуды.

Уровнемеры, в которых измерение гидростатического давления осуществляется путем измерения давления газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, заполняющую резервуар, называют *пьезометрическими*. Схема пьезометрического уровнемера приведена на рис. 7, д. Пьезометрическая трубка 1 размещается в аппарате, в котором измеряется уровень. Газ поступает в трубку через дроссель 2, служащий для ограничения расхода. Для измерения

заполняющего манометрическую систему.

В нижней части манометрической системы расположен колокол 2, отверстие которого перекрыто тонкой эластичной мембраной 1, а в верхней — манометр 3. Применение эластичной мембраны исключает растворение воздуха в жидкости, однако вводит погрешность в определение уровня из-за упругости мембраны. Преимуществом данной схемы измерения гидростатического давления является независимость показаний манометра от его расположения относительно уровня жидкости в резервуаре.

расхода газа служит стаканчик 3 (расход с помощью стаканчика определяется по числу пузырьков, пробулькивающих через заполняющую его жидкость в единицу времени), а давление поддерживается постоянным с помощью стабилизатора давления 4. Давление газа после дросселя измеряется дифманометром 5 и служит мерой уровня.

При подаче газа давление в пьезометрической трубке постепенно повышается до тех пор, пока указанное давление не станет равным давлению столба жидкости высотой  $h$ . Когда давление в трубке станет равным гидростатическому давлению, из нижнего открытого конца трубки начинает выходить газ. Расход подбирают такой, чтобы газ покидал трубку в виде отдельных пузырьков (примерно один пузырек в секунду).

При большем расходе давление, измеряемое дифманометром, может быть несколько большим, чем гидростатическое, из-за дополнительного падения давления, возникающего за счет трения газа о стенки трубки при его движении. При очень малом расходе газа увеличивается инерционность измерения. Оба фактора могут увеличить погрешность измерения уровня.

В пьезометрических уровнемерах при больших изменениях уровня расход газа может существенно измениться, что, в свою очередь, может вызвать дополнительную погрешность измерения.

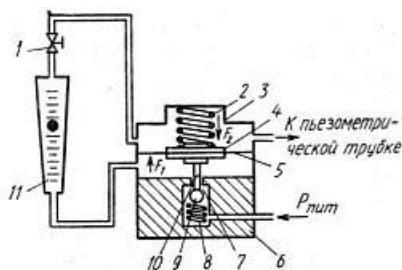


Рис. 8. Мембранный стабилизатор расхода

Для стабилизации расхода газа в пьезометрических уровнемерах промышленностью выпускается мембранный стабилизатор расхода, схема которого показана на рис. 8.

Действие стабилизатора основано на автоматическом регулировании постоянного перепада давления на дросселе 1, который обуславливает постоянство расхода через него. Для регулирования этого перепада используется статический мембранный регулятор, который состоит из корпуса 6 и крышки 3,

между которыми установлена резиноканевая мембрана 5 с жестким центром 4. Последний опирается на толкатель 10, а сверху на него воздействует пружина 2. Шарик 9, на который воздействует пружина 8, образует вместе с отверстием 7 в корпусе управляемый клапан. Ротаметр 11 служит для измерения расхода газа, подаваемого к пьезометрической трубке. Дроссель 1 выполнен переменным, что позволяет задавать регулируемое значение расхода.

Стабилизатор расхода работает следующим образом. Если по каким-либо причинам расход газа изменяется, например уменьшается, соответственно уменьшается перепад давления на дросселе 1. В результате действующая на мембрану сила  $F_1$ , обусловленная перепадом давления на мембране, также уменьшается. Из-за того что сила  $F_2$ , развиваемая пружиной 2, постоянна, уменьшение силы  $F_1$  вызовет перемещение мембраны вниз. При этом толкатель 10 несколько увеличит зазор между шариком 9 и отверстием 7, что увеличивает подачу газа под мембрану 5, а следовательно, и давление в пространстве под ней и на входе дросселя 1. Увеличение этого давления будет происходить до тех пор, пока с точностью до статической ошибки не будет восстановлен перепад давления на дросселе 1, а следовательно, и расход. В состоянии равновесия силы  $F_1$  и  $F_2$ , действующие на мембрану, равны.

Пьезометрические уровнемеры позволяют измерять уровень в широких пределах (от нескольких десятков сантиметров до 10—15 м), и при использовании для измерения давления в пьезометрической трубке дифманометра с унифицированным выходным сигналом имеют относительную приведенную погрешность  $\pm(1,0—1,5)\%$ .

### Гидростатические изделия измерения уровня зарубежных фирм.

Пьезорезистивный тензодатчик (или ёмкостный керамический измерительный преобразователь, который не заполнен усредняющим давлением веществом) связан с



измеряемой жидкостью через изолирующую мембрану из нержавеющей стали и вещество, усредняющее давление. Выходной сигнал тензодатчика преобразуется формирователем в сигнал, соответствующий уровню жидкости.

Пена, отложения, изменения электрических свойств жидкости и форма резервуара не оказывают влияния на результат измерения при реализации гидростатического метода.

**Основные достоинства гидростатического метода:**

- ✓ точность;
- ✓ применим для загрязнённых жидкостей;
- ✓ реализация метода не предполагает использования подвижных механизмов;
- ✓ соответствующее оборудование не нуждается в сложном техническом обслуживании.

**Недостатки:**

- ✓ движение жидкости вызывает изменение давления и приводит к ошибкам измерения (давление относительно плоскости отсчёта зависит от скорости потока жидкости вследствие закона Бернулли);
- ✓ атмосферное давление должно быть скомпенсировано;
- ✓ изменение плотности жидкости может быть причиной ошибки измерения.

Рассмотрим гидростатические средства контроля уровня на примере изделий фирмы Pepperl+Fuchs, которая в настоящее время предлагает измерительные зонды серии LGC и ряд датчиков гидростатического давления под общей торговой маркой Varcon (PPC-M20, LHC-M20, PPC-M10, LHC-M40).

**Гидростатические зонды для измерения уровня LGC**



Рис. 9. Гидростатические зонды серии LGC

Зонды уровня серии LGC (рис. 9) являются датчиками гидростатического давления для измерения уровня пресной воды, питьевой воды и сточных вод. Модели со встроенным термопреобразователем сопротивления из платиновой проволоки P1100 одновременно определяют температуру в месте установки датчика. Соответствующий преобразователь (поставляется отдельно по заказу) трансформирует сигнал термопреобразователя сопротивления в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА.

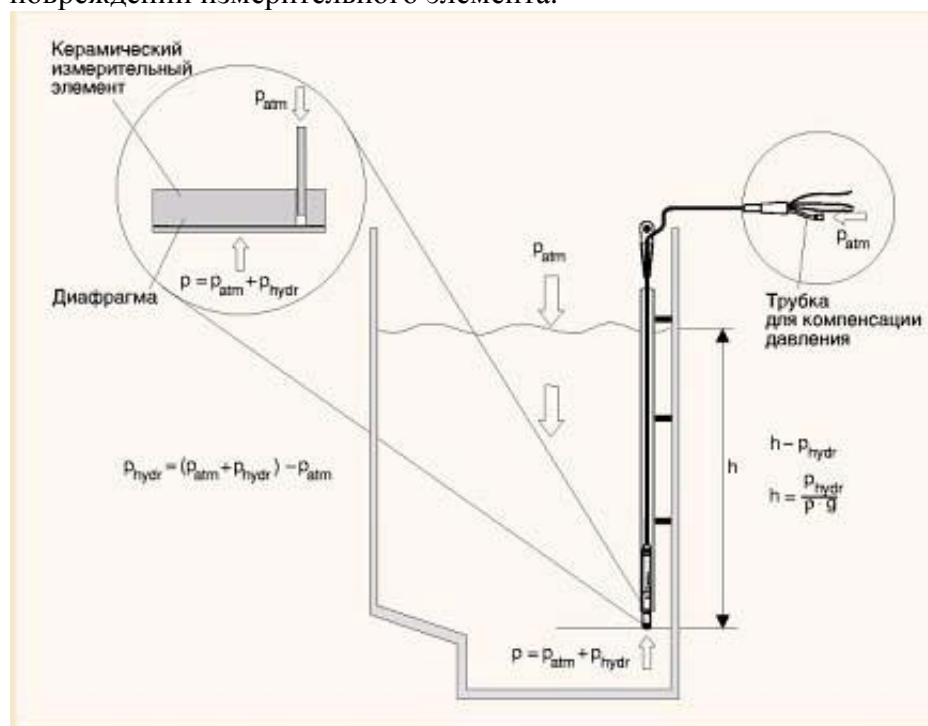
Керамический измерительный элемент зонда является «сухим», то есть давление воздействует непосредственно на прочную керамическую диафрагму датчика и вызывает её перемещение максимум на 0,005 мм. Влияние атмосферного давления, действующего на поверхность жидкости, устраняется посредством его приложения через специальную трубку для компенсации давления к задней стороне керамической диафрагмы (рис. 10). Изменения ёмкости, вызванные перемещением диафрагмы под действием давления, выявляет керамический измерительный элемент. Электронная часть датчика преобразовывает их в сигналы, пропорциональные текущим значениям давления, которое связано линейной зависимостью с величиной уровня измеряемой среды.

На рис. 11 представлен пример монтажа гидростатического зонда уровня серии LHC.

Необходимо отметить следующие моменты:

- ✓ боковое перемещение кабеля зонда может вызвать ошибки измерения, поэтому зонд необходимо устанавливать в месте, где отсутствуют движение жидкости и турбулентные потоки, или применять направляющую трубу с внутренним диаметром более 23 мм;
- ✓ конец кабеля должен размещаться в сухом помещении или соответствующей распределительной оболочке;
- ✓ защитный колпачок предназначен для предупреждения механических

повреждений измерительного элемента.



Условные обозначения:  $h$  — высота уровня жидкости;  $p$  — общее давление (гидростатическое + атмосферное);  $\rho$  — плотность измеряемой среды;  $g$  — ускорение свободного падения;  $p_{hydr}$  — гидростатическое давление;  $p_{atm}$  — атмосферное давление.

Рис.10. Физические принципы функционирования гидроstaticеской измерительной системы

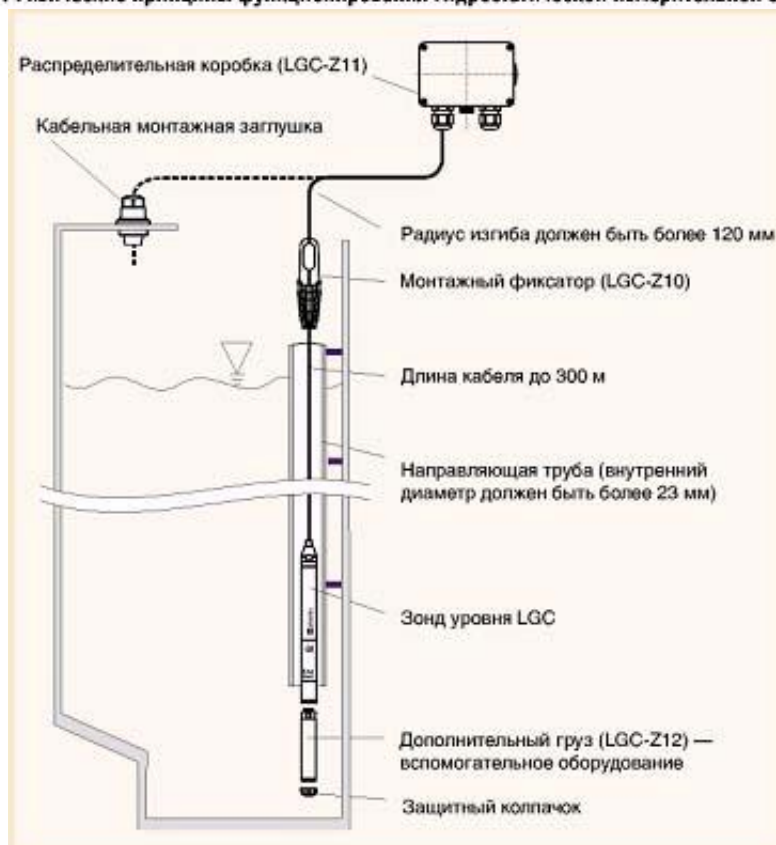


Рис. 11. Пример установки гидроstaticеского зонда уровня

### Датчики гидроstaticеского давления Varcon

Как отмечалось ранее, при управлении технологическими процессами в резервуарах-хранилищах предприятий химической, нефтехимической, фармацевтической

или пищевой отраслей промышленности в применениях, связанных с охраной окружающей среды, уровень жидкостей или взвесей определяется по давлению, оказываемому ими на первичный измерительный преобразователь.

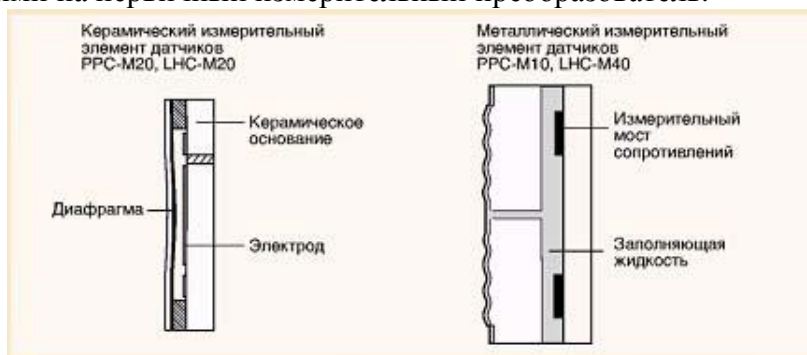


Рис.12. Мембранные преобразователи датчиков Varcon

Широко используемые в перечисленных отраслях датчики гидростатического давления серии Varcon позволяют строить надёжные и недорогие измерительные системы, отличающиеся разнообразными гибкими возможностями. Основным элементом этих датчиков является первичный измерительный преобразователь. Керамические или металлические мембранные преобразователи (рис. 12), разнообразные способы монтажа на резервуары, многочисленные варианты конструкции корпусов датчиков, выполненных из разных материалов, обеспечивают многообразие изделий серии Varcon. Для данных устройств могут быть реализованы различные способы электрических подключений, в том числе на базе сетевых протоколов PROFIBUS-PA или HART. Всё это позволяет создавать специальные измерительные приборы для решения конкретных задач заказчика. Варианты установки датчиков гидростатического давления LHC показаны на рис. 13.

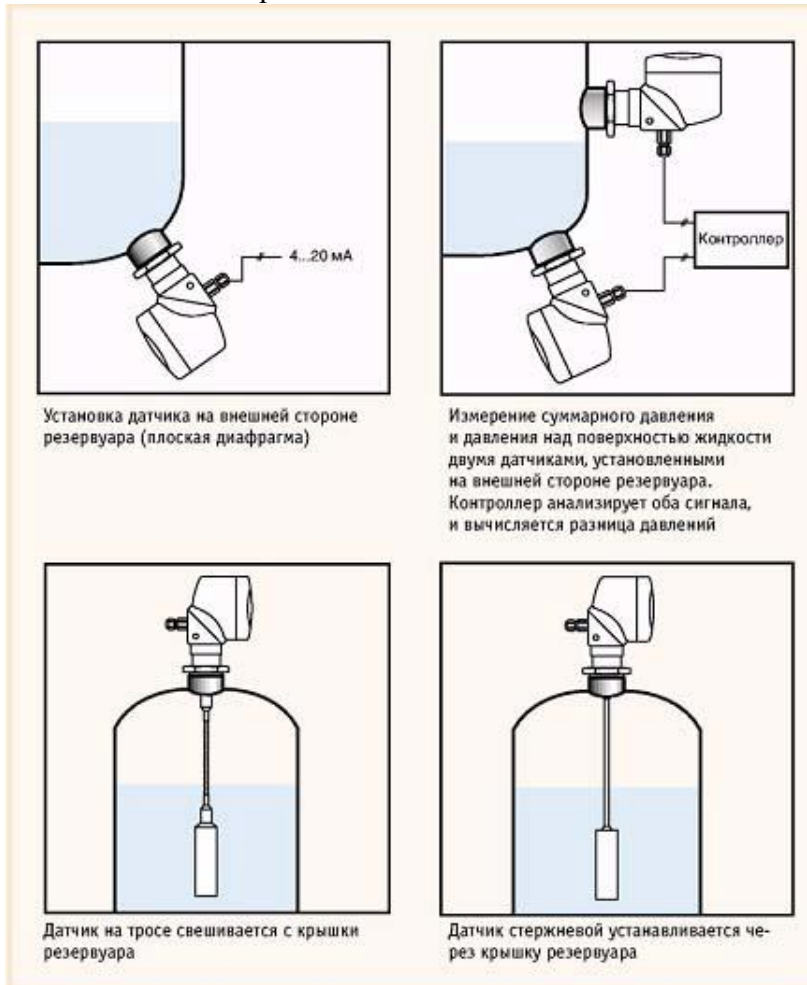


Рис. 13. Примеры вариантов установки датчиков гидростатического давления серии LHC

## Общие технические данные датчиков серии Varcon

*Датчики с керамическим измерительным элементом:*

- ✓ керамический ёмкостный первичный измерительный преобразователь;
- ✓ диапазон измерений от 100 мбар до 40 бар;
- ✓ герметизированы с защитой от перегрузки;
- ✓ соответствуют высоким санитарно-гигиеническим требованиям;
- ✓ могут работать в коррозионных и абразивных средах.

*Датчики с металлическим измерительным элементом:*

- ✓ сварной пьезорезистивный металлический преобразователь;
- ✓ диапазон измерений от 1 до 400 бар;
- ✓ защита от перегрузки до 600 бар.

*Точность измерения:*

- ✓ не хуже 0,2% установленного диапазона;
- ✓ возможность установки диапазона измерения с диапазоном изменения в соотношении 10:1;
- ✓ долговременная нестабильность менее 0,3% диапазона за год.

## Электрические средства измерений уровня

По виду чувствительного элемента электрические средства измерений уровня подразделяют на ёмкостные и кондуктометрические.

**Ёмкостные уровнемеры.** В уровнемерах этого типа используется зависимость электрической ёмкости чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя от уровня жидкости. Конструктивно ёмкостные чувствительные элементы выполняют в виде коаксиально расположенных цилиндрических электродов или параллельно расположенных плоских электродов. В номенклатуру средств измерений уровня ГСП входят ёмкостные уровнемеры с коаксиально расположенными электродами. Конструкция ёмкостного чувствительного элемента с коаксиально расположенными электродами определяется физико-химическими свойствами жидкости. Для неэлектропроводных (диэлектрических) жидкостей — жидкостей, имеющих удельную электропроводность менее  $10^{-6}$  См/м, применяют уровнемеры, оснащенные чувствительным элементом, схемы которого представлены на рис. 14.

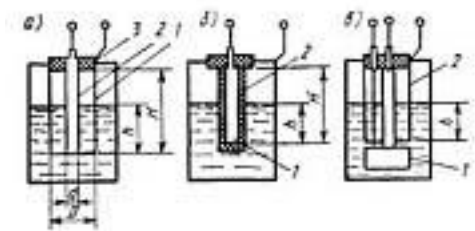


Рис. 14. Ёмкостные уровнемеры.

Чувствительный элемент (рис. 14, а) состоит из двух коаксиально расположенных электродов 1 и 2, частично погруженных в жидкость. Электроды образуют цилиндрический конденсатор, межэлектродное пространство которого до высоты  $h$  заполнено жидкостью, а пространство  $H - h$  — парогазовой смесью. Для фиксирования взаимного расположения электродов предусмотрен изолятор 3.

В общем виде электрическая ёмкость цилиндрического конденсатора определяется уравнением

$$C = 2\pi e e_0 H / [\ln(D/d)], \quad (4)$$

где  $e$  — относительная диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего межэлектродное пространство;

$e_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума;

$H$  — высота электродов;

$D, d$  — диаметры соответственно наружного и внутреннего электродов.

Для цилиндрического конденсатора, межэлектродное пространство которого заполняется веществами, обладающими различными диэлектрическими проницаемостями, как показано на рис. 9, а, полная ёмкость  $C_{\Pi}$  определяется выражением:

$$C_{\Pi} = C_0 + C_1 + C_2, \quad (5)$$

где  $C_0$  — ёмкость проходного изолятора;

- $C_1$  — емкость межэлектродного пространства, заполненного жидкостью;  
 $C_2$  — емкость межэлектродного пространства, заполненного парогазовой смесью.

С учетом уравнения (4) полную емкость чувствительного элемента представим в виде

$$C_{II} = C_0 + \frac{2pe_0e_{жс}h}{\ln(D/d)} + \frac{2pe_0e_{Г}(H-h)}{\ln(D/d)}, \quad (6)$$

Так как для паров жидкости и газов  $e_{Г} \approx 1$ , а  $C_0$  — величина постоянная, уравнение (6) можно преобразовать следующим образом:

$$C_{II} = C_0 + \frac{2pe_0h}{\ln(D/d)} H \left[ 1 + (e_{жс} - 1) \frac{h}{H} \right], \quad (7)$$

Уравнение (7) представляет собой статическую характеристику емкостного чувствительного элемента для неэлектропроводных сред. Величина  $e_{жс}$  является функцией температуры, поэтому для исключения влияния температуры жидкости на результат измерения применяют компенсационный конденсатор (рис. 9, в). Компенсационный конденсатор 1 размещается ниже ёмкостного чувствительного элемента 2 и полностью погружен в жидкость. В некоторых случаях при постоянстве состава жидкости его заменяют конденсатором постоянной емкости.

Для измерения уровня электропроводных жидкостей — жидкостей с удельной проводимостью более  $10^{-4}$  См/м применяют уровнемеры, оснащенные емкостным чувствительным элементом, изображенным на рис. 14, б. Чувствительный элемент представляет собой металлический электрод 1, покрытый фторопластовой изоляцией 2. Электрод частично погружен в жидкость. В качестве второго электрода используется либо стенка резервуара, если она металлическая, либо специальный металлический электрод, если стенка резервуара выполнена из диэлектрика. Полная емкость чувствительного элемента, изображенного на рис. 9, в, определяется уравнением:

$$C_{II} = C_0 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad (8)$$

где  $C_0$  — емкость проходного изолятора;

$C_1$  — емкость конденсатора, образованного электродом 1 и поверхностью жидкости на границе с изолятором;

$C_2$  — емкость конденсатора, образованного поверхностью жидкости на границе с изолятором и стенками резервуара.

Преобразование электрической емкости чувствительных элементов в сигнал измерительной информации осуществляется резонансным, импульсным методом или с помощью мостов переменного тока с самоуравновешиванием.

В точном определении уровня решающую роль играют конструкция, изоляция и правильное размещение ёмкостного зонда. Поэтому необходимо учитывать следующие факторы: изоляцию зонда, форму резервуара, давление в резервуаре, температуру контролируемого материала, его зернистость, абразивность, химическую агрессивность, вязкость, возможность образования конденсата или пены.

Измерительный зонд в зависимости от требуемой длины выполняют из проволочного тросика, металлического стержня или трубки.

В емкостных уровнемерах, входящих в номенклатуру ГСП, преобразование емкости осуществляется импульсным методом, в реализации которого используются переходные процессы, протекающие в чувствительном элементе, периодически подключаемом к источнику постоянного напряжения.

Емкостные уровнемеры выпускаются классов точности 0,5; 1,0; 2,5. Их минимальный диапазон измерений составляет 0—0,4 м, максимальный 0—20 м; давление рабочей среды 2,5—10 МПа; температура от —60 до +100°С или от 100 до 250°С. На базе

рассмотренных емкостных чувствительных элементов разработаны взрывобезопасные сигнализаторы уровня раздела жидкостей «нефтепродукт— вода» и других жидкостей с различными значениями относительной диэлектрической проницаемости. При длине погруженной части чувствительного элемента 0,25 м погрешность срабатывания сигнализатора  $\pm 10$  мм.

Ёмкостные средства контроля предельного уровня представлены в номенклатуре фирмы Pepperl+Fuchs концевыми выключателями серии LCL.

### Ёмкостные сигнализаторы предельного уровня LCL

Новая серия ёмкостных концевых выключателей LCL предназначена для определения уровня как жидкостей, так и сыпучих материалов в бункерах и хранилищах. Типичными сыпучими материалами являются гипс, цемент, песок, известь, угольная пыль, стиральный порошок, крупы, смешанный фураж, мука или сухое молоко. Поставляются датчики в компактном исполнении с длиной зонда всего 140 мм и модели с длиной кабеля зонда 6000 мм. Ёмкостные выключатели легко вводятся в эксплуатацию (технология plug-and-play), активная компенсация влияния раскачивания зонда и конструктивная прочность являются их дополнительными достоинствами.

Ёмкостные выключатели LCL поставляются в следующих вариантах исполнения:

- релейный выход, питание от сетей переменного и постоянного тока;
- PNP-выход, трёхпроводная схема питания напряжением постоянного тока.

Рис. 10 и 11 показывают требования к установке ёмкостных датчиков LCL1 и LCL2 с кабельным зондом.

Если стенка резервуара выполнена из электропроводящего материала, то её необходимо соединить с землёй; если резервуар изготовлен из неметаллического материала, то следует снабдить электроды дополнительным противоположным электродом (или металлической лентой) и соединить его с землёй.

#### Основные достоинства:

- ✓ простота установки и эксплуатации;
- ✓ многофункциональность применения;
- ✓ возможность использования с клейкими веществами;
- ✓ активная компенсация влияния раскачивания зонда.

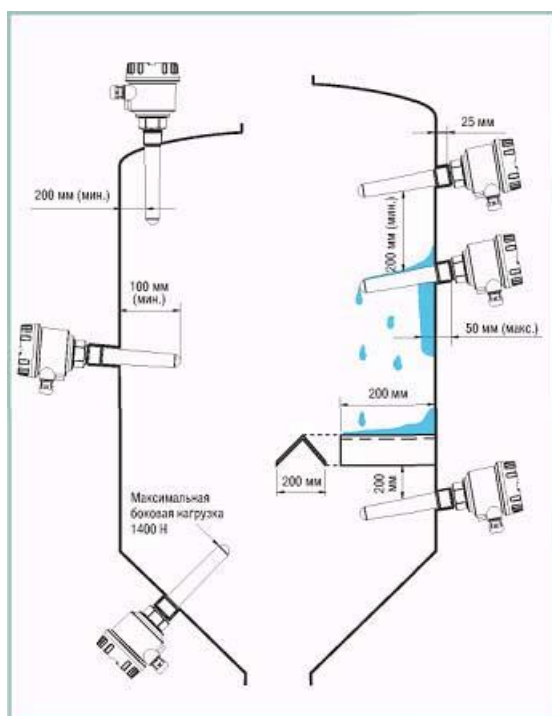


Рис. 15. Требования к установке датчиков LCL1

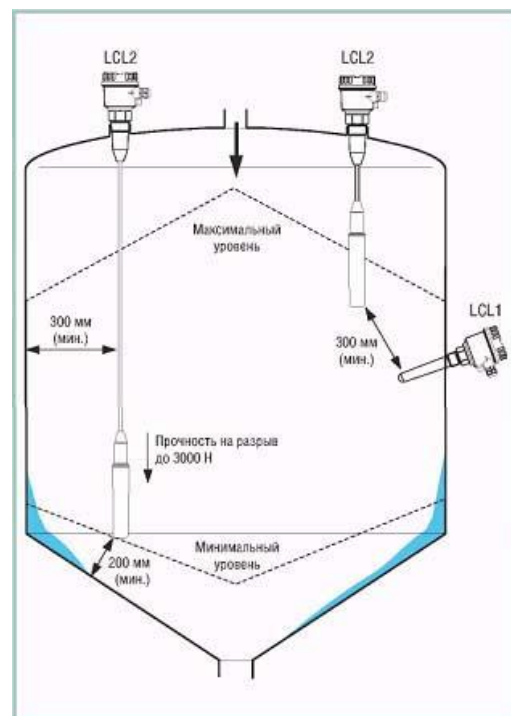


Рис. 16. Требования к установке датчиков LCL2



### Кондуктометрические сигнализаторы уровня.

Этот метод основан на изменении силы тока. При пустом резервуаре сопротивление между двумя электродами бесконечно велико; при погружении концов электродов в проводящую среду сопротивление уменьшается соответственно величине её проводимости. Область применения метода распространяется исключительно на контроль уровня проводящих жидкостей. Следовательно, уровень сыпучих или вязких материалов измерять указанным методом нельзя. Необходимо наличие у контролируемого вещества определённой минимальной проводимости (более 1 мкС/см), чтобы при измерении уровня кондуктометрическим методом можно было получить различимый сигнал изменения тока.

Настоящий метод применяют главным образом для измерения предельного уровня в цистернах, баках и паровых котлах. Воспламеняющиеся жидкости, такие как различные виды топлива, масла и растворители, являются диэлектриками, поэтому для них этот метод неприменим в отличие от кислот, щелочей и растворов, содержащих воду и являющихся проводниками. Уровень агрессивных жидкостей определяется без проблем, путём использования электродов, выполненных из высокопрочных материалов.

При реализации кондуктометрического метода два электрода устанавливаются выше поверхности проводящей жидкости, уровень которой контролируется. Когда жидкость достигает той точки, где оба электрода контактируют с жидкостью, электрический ток вызывает срабатывание реле. Если требуется выявить несколько значений уровня, используется соответствующее кратное число электродов. Для того чтобы исключить такие эффекты, как электролиз жидкости или взрыв, применяются постоянный ток достаточно малой величины и переменный ток.

На основе данного метода может быть легко и экономично реализовано определение не только предельного, но и межфазного уровня; например, достаточно просто выявляется граница между водой и непроводящими жидкостями в разделителях (сепараторах) масла или бензина.

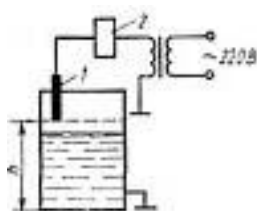


Рис. 17. Уровнемер кондуктометрический

Уровнемеры этого вида предназначены для сигнализации уровня электропроводящих жидких сред и сыпучих сред с удельной проводимостью более  $10^{-3}$  См/м. На рис. 17, приведена схема сигнализатора верхнего предельного уровня жидкости. В соответствии со схемой при достижении уровнем значения  $h$  замыкается электрическая цепь между электродом 1 и корпусом технологического аппарата. При этом срабатывает реле 2, контакты которого включены в схему сигнализации.

Электроды, применяемые в кондуктометрических сигнализаторах уровня, изготавливают из стали специальных марок или угля. Причем угольные электроды используются только при измерении уровня жидких сред.

### Кондуктометрические концевые выключатели с одно-стержневыми электродами HR-6001 фирмы Pepperl+Fuchs

Эта серия включает модели с электродом диаметром 4 или 6 мм. Длина электродов диаметром 6 мм достигает 1,5 м. Для изготовления электродов применяются различные материалы: нержавеющая сталь, Hastelloy В (NiMo28), Hastelloy С (NiMo16Cr16Ti), титан, тантал, а также покрытие из политетрафторэтилена; материал резьбовых соединителей: нержавеющая сталь, политетрафторэтилен (устойчив к воздействию многих химикатов), полипропилен (устойчив к воздействиям кислот, щелочей, смазок, масел и растворителей).

Принцип действия выключателя с одно-стержневыми электродами достаточно прост: реле электрода вырабатывает измерительное напряжение переменного тока; когда проводящая среда устанавливает контакт с электродом, измерительная цепь замыкается и реле электрода формирует переключательный сигнал в соответствии с выбранным порогом чувствительности.

### Кондуктометрические концевые выключатели с много стержневыми

## электродами HR-6051 фирмы Pepperl+Fuchs

Серия HR-6051 включает модели с числом электродов от 1 до 4.

### **Общие технические данные кондуктометрических выключателей**

- ✓ Точность: 4 мм.
- ✓ Температура контролируемого вещества: до 150°C.
- ✓ Рабочее давление: до 30 бар.

### **Основные достоинства:**

- ✓ простота и прочность;
- ✓ отсутствие движущихся механических частей;
- ✓ нечувствительны к турбулентности;
- ✓ технологическим процессом допускаются высокая температура и давление;
- ✓ простая регулировка и обслуживание.

### **Недостатки:**

- ✓ непригодны для клейких веществ и диэлектриков;
- ✓ масляные вещества могут вызывать налипание на электроды тонкого слоя непроводящего покрытия, что может быть причиной отказа.

## **Концевые выключатели на основе метода измерения электрического поля**

Взаимодействие двух электродных стержней (или электрода и металлической стенки резервуара) со схемой генератора колебаний преобразователя приводит к созданию переменного электрического поля. По мере того как уровень вещества увеличивается и контролируемое вещество входит в контакт с электродами, колебательный контур демпфируется. Детектор с регулируемым порогом фиксирует изменение электрического поля и формирует соответствующий сигнал.

Этот метод определения предельного уровня может быть реализован с использованием стандартных электродов, применяемых для кондуктометрического или ёмкостного методов, и используется практически для любого вещества:

- жидкостей или зернистых материалов;
- веществ с различным характером электрической проводимости (и диэлектрики, и проводники);
- материалов, способных налипать на стержни электродов.

Метод находит наиболее широкое применение при определении границ раздела в масляных или бензиновых сепараторах и отстойниках.

В качестве примера рассмотрим концевой выключатель с одно-стержневым электродом серии HR-6011. Этот датчик имеет электроды диаметром 4 мм или 6 мм, точка срабатывания для разных веществ может регулироваться в соответствии с длиной электрода. Электронная схема преобразователя обнаруживает искажения электрического поля, вызванные изменением уровня контролируемого вещества, и преобразует их в соответствующее изменение тока. Если сигнал соответствует превышению значения установленного предельного уровня, выходной ток дискретно увеличивается до более чем 2,2 мА и барьер с трансформаторной изоляцией коммутирует выходные контакты. Этот барьер также обнаруживает неисправности преобразователя и подводящих проводов посредством проверки значения потребляемого тока.

Кроме описанного, поставляются устройства с двумя электродами, выполненными из различных материалов: нержавеющая сталь, Hastelloy В (NiMo28), Hastelloy С (NiMo16Cr16Ti), тантал — и покрытыми политетрафторэтиленом. Основные технические характеристики этих изделий подобны характеристикам кондуктометрических устройств.

## **Датчики Pulscon, реализующие метод направленного электромагнитного излучения**

Датчики недавно предложенной серии **Pulscon** работают на основе измерения



коэффициента отражения методом совмещения прямого и отражённого испытательных сигналов и определения времени прохождения излученного импульса до поверхности контролируемой среды (временного сдвига отражённого сигнала — рис. 18).

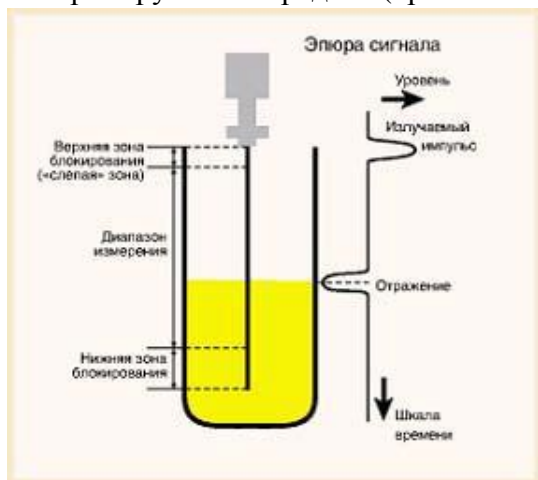


Рис. 18. Принципы измерения методом направленного электромагнитного излучения

Повторяющиеся импульсы наносекундного диапазона длительностей излучаются с интервалом 1 мкс. Принцип измерения напоминает ультразвуковой метод определения уровня. Только в системе с направленным электромагнитным излучением импульсы распространяются не равномерно в пределах границ диаграммы направленности, а локализованы вдоль стержня или троса датчика, играющего роль волновода.

Данный метод базируется на новейших технологиях и дополняет собой список контактных методов измерения. Из-за чрезвычайно низкой мощности и направленности излучения импульсов микроволны не

рассеиваются в пространстве, поэтому применение этих устройств не требует согласований с комитетами по радиочастотам. Благодаря низкому энергопотреблению достаточно двухпроводной системы подключения микроволнового датчика с питанием через информационный канал. В силу этой же причины датчики являются взрывобезопасными, что позволяет устанавливать их во взрывоопасных зонах вплоть до зон класса 0.

Для обеспечения электромагнитной совместимости микроволновых датчиков предложен специальный метод со скачкообразной перестройкой частоты, который позволяет обнаруживать электромагнитные помехи и маскировать их в динамическом режиме.

Реализуемый в режиме меню пользовательский интерфейс с простым управлением кнопками и поддерживаемая ПК процедура задания параметров через HART-протокол являются стандартными для датчиков этого типа. При этом можно установить такие функции, как маскирование помех или запоминание характеристик для линейаризации резервуара. Измерительный блок можно предустановить, используя «сухую» калибровку, реализуемую по технологии plug-and-play несколькими нажатиями кнопок. Результаты многолетней исследовательской работы и многочисленных экспериментов на базе метода *time domain reflectometry* по идентификации отражённого сигнала с целью определения положения контролируемого уровня легли в основу программного обеспечения PulseMaster®.

Простой принцип действия, гибкость установки соответствующего оборудования и отсутствие необходимости в его обслуживании, а также относительно низкая стоимость являются важными факторами в пользу широкого применения метода. Суммируя приведённые данные, можно сформулировать и другие достоинства и преимущества метода направленного электромагнитного излучения.

*Основные достоинства метода направленного электромагнитного излучения:*

- ✓ управление микроволновыми датчиками посредством меню и их калибровка на этапе изготовления обеспечивают простой ввод в эксплуатацию;
- ✓ надёжное измерение порошкообразных материалов даже в процессе наполнения ёмкости;
- ✓ измерение уровня жидкостей при образовании пены в условиях повышения давления;
- ✓ надёжное и точное измерение в обводных и расширительных трубах;
- ✓ возможность эффективного устранения помех отражения от арматуры (балок,

укосин и др.) и структурных элементов стенок (например гофрированных листов), резервуаров или узких силосных бункеров;

✓ независимость метода от

- вида материала (жидкий/сыпучий),
- плотности,
- значения диэлектрической постоянной,
- химической агрессивности среды,
- проводимости,
- изменения свойств материала, вызванных процессом комкования;

✓ абсолютная независимость метода от влияний таких факторов технологического процесса, как

- давление.
- температура,
- наличие подвижных поверхностей,
- пена/туман/пыль.

**Недостатки:**

✓ клейкие вещества могут вызвать отказы;

✓ диэлектрическая постоянная измеряемого вещества должна быть больше 1,6.

### Магнитные погружные зонды серии LMC для непрерывного измерения уровня

Основные принципы методов непрерывного измерения уровня, основанных на использовании магнитных погружных зондов, рассмотрим на примере работы иммерсионного зонда LMC8S3 G6S I Ex (рис. 19).

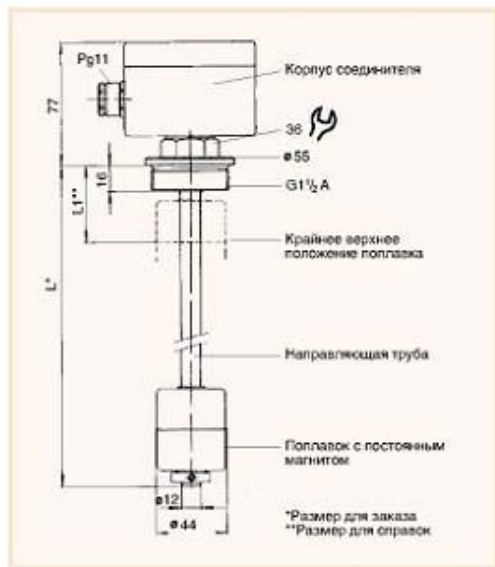


Рис. 19. Установочные размеры магнитного погружного зонда

Постоянный магнит, смонтированный на поплавке зонда, вызывает срабатывание герметизированных магнитоуправляемых контактов, установленных на направляющей трубе. При срабатывании эти контакты включаются между последовательно включёнными резисторами внутри направляющей трубы; таким образом при перемещениях поплавка общее значение сопротивления изменяется квазинепрерывно, в зависимости от разрешающей способности зонда. Точность измерения не зависит от электрических свойств среды, а также от давления, температуры и плотности.

Поставляются модификации зонда в корпусах из пластика или нержавеющей стали, во взрывозащищённом исполнении (маркировка взрывозащиты EEx 1a ПС Т6), с шаровидными или

цилиндрическими поплавками. Максимальная длина направляющей трубы достигает 3 м. Выход устройства — 2-проводной токовый (4...20 мА) или 3-проводной для подключения к потенциометру (40 кОм). В месте резьбового соединения используются такие материалы, как нержавеющая сталь или полипропилен, или поливинилиденфторид (чрезвычайно устойчив к воздействию масел, смазок, кислот, щелочей и растворителей).

#### Общие технические данные магнитных погружных зондов

Разрешающая способность: от 8 мм (12мм, 16 мм).

Допустимая температура контролируемой жидкости: —20...+120°С.

Рабочее давление: до 3 бар (пластиковая модификация), до 16 бар (модификация из нержавеющей стали).

Плотность измеряемого вещества: не менее 0,6 г/см<sup>3</sup>.

### **Основные достоинства:**

- ✓ простой принцип действия;
- ✓ несложный монтаж;
- ✓ не нуждаются в сколь-ни-будь значительном техническом обслуживании;
- ✓ не требуется регулировка в месте установки.

### **Недостатки:**

- ✓ подъемная сила зависит от размера поплавка;
- ✓ фактическое положение уровня, соответствующее точке срабатывания, разное для веществ с различной плотностью;
- ✓ максимальная длина направляющей трубы не более 3 м;
- ✓ минимальная плотность измеряемой среды равна  $0,6 \text{ г/см}^3$ ;
- ✓ можно использовать только в очищенных жидкостях.

### **Акустические средства измерений уровня**

В настоящее время предложены различные принципы построения акустических уровнемеров, из которых широкое распространение получил принцип локации.

В соответствии с этим принципом измерение уровня осуществляют по времени прохождения ультразвуковыми колебаниями расстояния от излучателя до границы раздела двух сред и обратно до приемника излучения. Локация границы раздела двух сред осуществляется либо со стороны газа, либо со стороны рабочей среды (жидкости или сыпучего материала). Уровнемеры, в которых локация границы раздела двух сред осуществляется через газ, называют акустическими, а уровнемеры с локацией границы раздела двух сред через слой рабочей среды — ультразвуковыми.

Преимуществом акустических уровнемеров является независимость их показаний от физико-химических свойств и состава рабочей среды. Это позволяет использовать их для измерения уровня неоднородных кристаллизирующихся и выпадающих в осадок жидкостей. К недостаткам следует отнести влияние на показания уровнемеров температуры, давления и состава газа.

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.

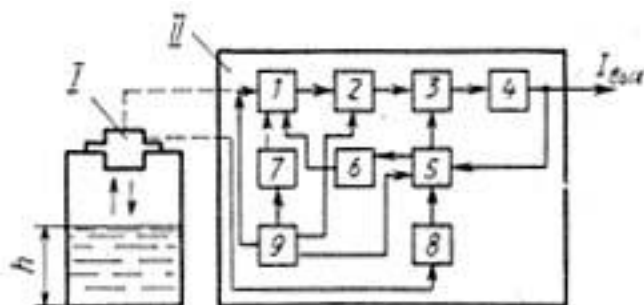


Рис. 20. Схема акустического уровнемера.

На рис. 20. приведена схема акустического уровнемера жидких сред. Уровнемер состоит из первичного I и промежуточного II преобразователей. Первичный преобразователь представляет собой пьезоэлемент, выполняющий одновременно функции источника и приемника ультразвуковых колебаний. При измерении генератор 9 с определенной частотой вырабатывает

электрические импульсы, которые преобразуются пьезоэлементом I в ультразвуковые импульсы. Последние распространяются вдоль акустического тракта, отражаются от границы раздела жидкость — газ и воспринимаются тем же пьезоэлементом, преобразующим их в электрические импульсы. После усиления устройством 1 импульсы подаются на схему измерения 2 времени отражения сигнала, где они преобразуются в прямоугольные импульсы определенной длительности. В ячейке сравнения 3 осуществляется сравнение импульса, подаваемого со схемы 2, с длительностью импульса, подаваемого с элемента обратной связи 5, который преобразует унифицированный токовый сигнал в прямоугольный импульс определенной длительности. Если

длительность импульса схемы измерения 2 отличается от длительности импульса цепи обратной связи, то на выходе ячейки сравнения 3 появляется сигнал разбаланса, который усилительно-преобразующим устройством 4 изменяет выходной унифицированный токовый сигнал до тех пор, пока не будет достигнуто равенство длительностей импульсов. Для уменьшения влияния температуры на сигнал измерительной информации предусмотрен блок температурной компенсации 8. Контроль за работой электрической схемы осуществляется блоком контроля 7. Исключение влияния различного рода помех на работу промежуточного преобразователя достигается с помощью помехозащитного устройства 6.

Расстояние между первичным и промежуточным преобразователями — не более 25 м. Диапазоны измерений уровня 0—1; 0—2; 0—3 м. Класс точности 2,5. Температура контролируемой среды 10—50 °С, давление в технологическом аппарате до 4 МПа.

Акустические уровнемеры сыпучих сред по принципу действия и устройству аналогичны акустическим уровнемерам жидких сред. Акустические уровнемеры сыпучих сред входят в номенклатуру приборов ГСП и имеют унифицированный токовый сигнал. Они могут быть одноточечными и многоточечными. Многоточечные уровнемеры состоят из нескольких (до 30) первичных измерительных преобразователей акустического типа, каждый из которых размещается на отдельном технологическом аппарате и через коммутатор подключаются к промежуточному измерительному преобразователю. Уровнемеры выпускаются во взрывобезопасном исполнении. Классы точности 1,0; 1,5. Минимальный диапазон измерений 0—2,5 м, максимальный 0—30 м. Контролируемая среда — гранулы диаметром 2—200 мм.

#### **Концевые выключатели с вибрирующим чувствительным элементом**

В качестве вибрационных концевых выключателей применяют устройства с резонатором камертонного типа (из-за формы его часто называют колебательной вилкой), в которых пьезоэлектрическим способом возбуждаются сильные механические колебания в диапазоне резонансных частот. Благодаря высоким механическим качествам вибрирующей системы вполне достаточна весьма малая мощность возбуждения. Размещение чувствительного элемента внутри контролируемой среды вызывает резкое уменьшение амплитуды колебаний вплоть до их полного гашения. Смена состояния колебания состоянием покоя или наоборот в виде электрического сигнала предельного уровня поступает на индикатор. При этом функционирование данных устройств не зависит от флуктуации физических свойств контролируемого вещества.

Вибрационные концевые выключатели можно использовать для определения предельного уровня практически всех жидкостей и сыпучих материалов.

В номенклатуре фирмы Pepperl+Fuchs представлена широкая гамма вибрационных концевых выключателей под торговой маркой Vibrason в разных конструктивных исполнениях, с различными техническими характеристиками.

#### **Общие технические данные вибрационных концевых выключателей**

✓ Точность: до 10 мм. Температура контролируемой среды: до 150°С.

✓ Рабочее давление: до 64 бар.

✓ Плотность измеряемого вещества: не менее 0,6 г/см<sup>3</sup>

#### **Основные достоинства:**

✓ простота;

✓ не требуется регулировка в месте установки;

✓ отсутствуют движущиеся части;

✓ нечувствительны к турбулентности, образованию пены и внешней вибрации;

✓ допускают любую пространственную ориентацию;

✓ нечувствительны к большинству физических свойств измеряемого вещества (исключение — плотность  $\rho$ );

✓ проверка функционирования может проводиться на месте монтажа.

### **Недостатки:**

- ✓ клейкие вещества и твёрдые частицы в жидкостях могут служить причиной отказов;
- ✓ твёрдые частицы могут заклинивать колебательную вилку.

### **Вибрационные концевые выключатели Vibracon Mini LVL-A1**

Вибрационные концевые выключатели Vibracon Mini LVL-A1 применяются для определения уровня жидкостей там, где ранее использовались поплавковые выключатели, кондуктометрические, ёмкостные и оптические датчики, но оказались малопригодными из-за электропроводности или налипания измеряемого вещества, проявления турбулентности в жидкости, образования всплесков или воздушных пузырьков. Вибрационные выключатели применяются в очистных и фильтрующих системах, резервуарах со смазочными материалами и теплоносителями с низкой температурой, трубопроводах, а также могут быть использованы для защиты насосов. Но главной областью их применения остаются резервуары, содержащие жидкости.

Vibracon Mini LVL-A1 может быть установлен в любом положении в резервуаре или трубопроводе диаметром до 40 мм, так как длина самого датчика составляет всего 148,5 мм (рис. 21). Образование пены не ухудшает его функционирование.

Эти датчики применимы для любых жидкостей, которые после извлечения колебательной вилки из контролируемой среды стекают с неё и не препятствуют свободной вибрации. В жидкости допускается содержание частиц с размерами меньше 5 мм.

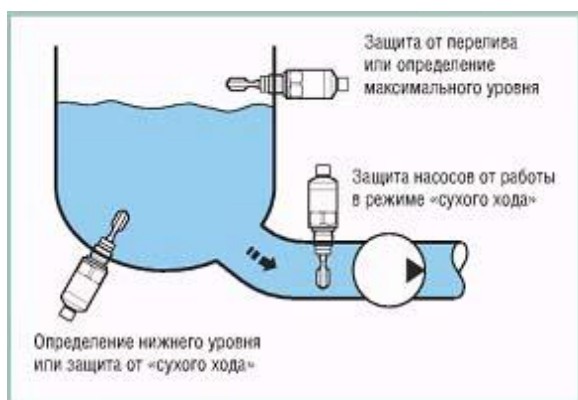


Рис.21. Применения вибрационного концевых выключателя Vibracon Mini LVL-A1

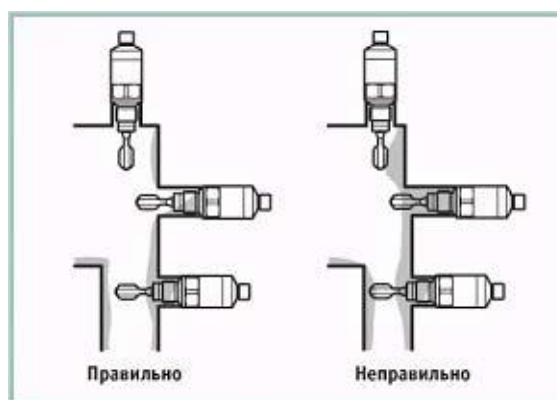


Рис.22. Монтаж датчиков Vibracon Mini LVL-A1 с учётом свойств контролируемой среды

При установке в замкнутых объёмах или при контакте с вязкими жидкостями колебательная вилка может полностью не освобождаться от контролируемого вещества, что приводит к ложному срабатыванию датчика (рис. 22).

LVL1-A1 может быть включен в двух рабочих режимах. Вне зависимости от выбранного режима работы датчик безопасно выключится даже в случае аварии (например при обрыве линии сети электропитания).

Режим MAX — безаварийный режим при определении максимального уровня: LVL-A1 сохраняет электронный ключ в замкнутом состоянии, пока уровень жидкости находится ниже уровня колебательной вилки (светится только зелёный светодиодный индикатор); применение — защита от переполнения.

Режим MIN — безаварийный режим при определении минимального уровня: LVL-A1 сохраняет электронный ключ в замкнутом состоянии, пока колебательная вилка погружена в жидкость (светится только зелёный светодиодный индикатор); применение — защита насосов от «сухого» режима работы.

Электронный ключ разомкнётся, если уровень жидкости достигнет предела, или если случится авария, или если возникнет перебой в электропитании.

Для проверки работоспособности вибрационного концевых выключателя Vibracon Mini LVL-A1 применяется тестовый магнит. При приближении магнита к



контрольной точке датчика текущее состояние его выходного каскада изменяется на противоположное.

### **Вибрационные концевые выключатели Vibracon LVL1-A2**

Вибрационные выключатели серии LVL-A2 также предназначены для определения уровня жидкостей. Выпускаются модели в компактном и удлинённом исполнении. Компактная модель имеет длину корпуса 110 мм и длину колебательной вилки 127 мм; удлинённые модели могут иметь удлинительную трубку длиной 220...3000 мм.

Для жёстких условий эксплуатации предлагается модель с корпусом из нержавеющей стали. Для применений в пищевой промышленности имеется модель с полированной колебательной вилкой. Для определения уровня агрессивных жидкостей выпускаются датчики, колебательные вилки которых покрыты термопластичным фторопластом (Halar). Необходимо отметить следующее обстоятельство: модели с вилками, покрытыми термопластичным фторопластом, имеют исполнение только с крепёжными фланцами (не резьбовое соединение), так как в процессе резьбового соединения со стенками резервуара покрытие может нарушиться и защитные свойства утратятся.

### **Вибрационные концевые выключатели Vibracon LVL-E5**

Вибрационные выключатели LVL-E5 используются для определения уровня как жидкостей, так и сыпучих материалов; предлагаются изделия в компактном и удлинённом исполнении (длина трубки 220...3000 мм). Встроенные средства самодиагностики обеспечивают проверку датчика от колебательной вилки до схемы обработки; коммутационный выход настраивается как нормально открытый или нормально закрытый; имеется возможность выбора времени задержки включения (в зависимости от режима работы — 0,2/1/5 с). Функция отображения изменения консистенции материала (жидкость/сыпучий материал) у датчиков этой серии аналогична подобной функции у изделий серии LVL-N и также может быть использована для сигнализации об изменении контролируемой среды, о коррозии или о налипании продукта на колебательную вилку.

Состояние датчика отображают четыре светодиодные индикатора.

### **Вибрационные концевые выключатели Vibracon**

T/S

Вибрационные концевые выключатели серий LVL-T1 и LVL-S1 предназначены для определения предельных уровней жидкостей в небольших резервуарах и баках со смесителями. Корпуса изделий выполнены из нержавеющей стали, а корпуса выключателей серии LVL-S1, кроме того, отполированы, что позволяет применять их в технологических процессах производства пищевых продуктов и фармакологической промышленности. Датчики LVL-T1 имеют двухпроводной выход, способный коммутировать цепи с напряжениями 19...253 В переменного тока, и 3-проводной выход (PNP), способный коммутировать цепи с напряжениями 10...55 В постоянного тока.

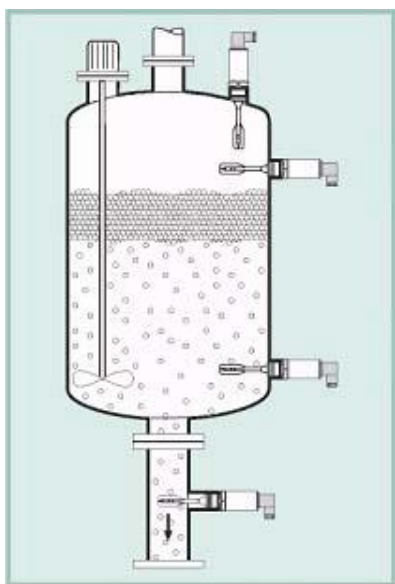


Рис. 23. Примеры установки вибрационных выключателей серий Vibracon T/S

Примеры установки выключателей данных серий показаны на рис. 23.

### **Вибрационные концевые выключатели Vibracon M**

Вибрационные концевые выключатели серии Vibracon M предназначены для применения на предприятиях химической, фармакологической, пищевой промышленности. Эти датчики во взрывозащищённом исполнении с видами взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» и «взрывонепроницаемая

оболочка» можно устанавливать во взрывоопасных зонах.

Особенности конструктивного исполнения и защита от попадания внутрь оболочки твёрдых посторонних тел и воды позволяют эксплуатировать датчики серии Vibracon M в условиях повышенного и пониженного давления, в широком температурном диапазоне, подвергать их воздействию дезинфицирующих растворов и стерилизации. Данные датчики можно применять для сигнализирования о предельных значениях абразивных веществ, жидкостей с включениями твёрдых материалов, для работы в условиях турбулентности и налипания продукта.

Основными достоинствами вибрационных концевых выключателей серии Vibracon M являются:

- ✓ простой ввод в промышленную эксплуатацию;
- ✓ миллиметровая точность и постоянный уровень срабатывания;
- ✓ отсутствие необходимости технического обслуживания и повышенный ресурс;
- ✓ возможность различного исполнения корпусов (прочный алюминиевый корпус, пластиковый корпус, корпус из нержавеющей стали);
- ✓ различные типы выходных каскадов (PNP для коммутации цепей постоянного тока, двухпроводные для коммутации цепей переменного тока, реле переменного и постоянного тока, NAMUR);
- ✓ размер удлинительной трубки, к которой крепится колебательная вилка, от 40 мм до 3 м;
- ✓ допускаются разнообразные виды монтажа.

### 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) и методы направленного электромагнитного излучения. При известной скорости распространения импульса и измеренном временном интервале можно вычислить расстояние, пройденное импульсом. Необходимо учитывать, что импульс проходит расстояние между излучателем и поверхностью контролируемой среды дважды. В таблице 1 приведены значения времени прохождения ультразвуковым сигналом и электромагнитной волной некоторых расстояний в воздушной среде при нормальных условиях (двойное расстояние уже учтено); эти данные помогают учесть инерционность УЗК - метода в некоторых применениях.

Таблица 1.

Расстояние, м	Время прохождения	
	Ультразвуковой сигнал	Электромагнитная волна
0.1	0.6 мс	0.7 нс
0.2	1.2 мс	1.3 нс
0.5	3 мс	3.3 нс
1	6 мс	6.6 нс
2	12 мс	13.3 нс
5	30 мс	33.3 нс
10	60 мс	66.6 нс

### Ультразвуковые датчики уровня

В простейшем и наиболее распространённом случае, когда УЗК - датчик расположен в верхней точке резервуара, уровень среды вычисляется как разность между высотой резервуара и расстоянием между датчиком и поверхностью среды (в общем случае необходимо вносить поправку, учитывающую разность между реальной высотой установки датчика и высотой резервуара). Это расстояние вычисляется по измеряемому времени, которое необходимо ультразвуковому импульсу для прохождения пути от датчика до поверхности контролируемой среды и обратно (рис. 24).

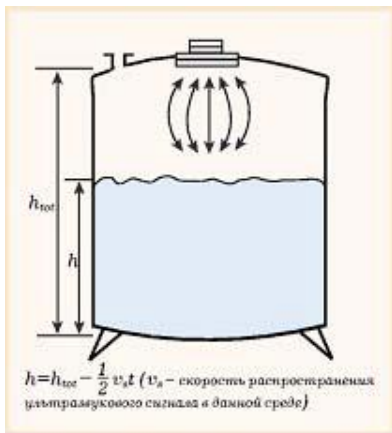


Рис. 24. Принцип реализации ультразвукового метода определения уровня

$$h = h_{tot} - 1/2 v_s t .$$

Здесь  $v_s$  — скорость распространения ультразвукового сигнала в данной среде.

Химические и физические свойства среды не влияют на результат измерения, полученный УЗК - методом, поэтому без проблем может измеряться уровень агрессивных, абразивных, вязких и клейких веществ. Однако необходимо помнить, что на скорость распространения ультразвука оказывает влияние температура воздуха в среде его распространения.

Кроме того, будучи сильно зависимой от температуры, скорость ультразвука зависит от давления воздуха: она увеличивается с ростом давления. Связанные с изменениями давления в нормальной атмосфере относительные изменения скорости звука составляют приблизительно 5%. Скорость ультразвука также зависит от состава воздуха, например, от процентного содержания  $CO_2$  и влажности. Влияние относительной влажности на скорость ультразвука является меньшим по сравнению с влиянием, оказываемым температурой и давлением: дополнительная разница скорости в сухом и насыщенном влагой воздухе составляет около 2%.

#### **Основные достоинства УЗК - метода:**

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

#### **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 серии LUC4**

УЗК - датчики серии **LUC4** специально разработаны для измерения уровня как жидкостей, так и сыпучих материалов. Тефлоновое покрытие корпуса датчика позволяет применять датчик с коррозионными жидкостями. Маскирование стационарных объектов даёт возможность устанавливать датчик в местах, где подпорки или другие элементы внутренней конструкции резервуара попадают в зону измерения.

Датчик также оснащён средствами для компенсации влияния изменений температуры. Кроме того, можно установить внешние зонды, которые контролируют температуру измеряемой поверхности независимо от условий в месте монтажа датчика, что минимизирует погрешности, вызванные температурными колебаниями.

#### **Ультразвуковые датчики серии LUC-T**

Компактные УЗК - датчики серии **LUC-T** предназначены для бесконтактного измерения уровня жидкостей и насыпных твёрдых сред. Серия **LUC-T** включает в себя три типа датчиков с различными видами электрических выходов (2- или 4-проводное подключение) и диапазонами измерения расстояния до уровня раздела сред, начиная с 0,25 м.

**LUC-Txx-x5:** в случае 4-проводного подключения при измерении с размерами структурных компонентов материала от 4 мм гарантированный диапазон измерения составляет до 2 м, при измерении уровня жидкостей — до 5 м (2-проводное подключение с питанием через информационный канал — до 4 м).



**LUC-Txx-x6:** в случае 4-проводного подключения при измерении уровня сыпучих материалов с размерами структурных компонентов материала от 4 мм гарантированный диапазон измерения составляет до 3,5 м, при измерении уровня жидкостей — до 8 м (2-проводное подключение с питанием через информационный канал — до 7 м).

**LUC-T30** (только 4-проводное подключение): гарантированный диапазон измерения при определении уровня сыпучих материалов с размерами структурных компонентов материала от 4 мм составляет до 7 м, при измерении уровня жидкостей — до 15 м.

Все датчики имеют встроенную систему компенсации влияния температурных колебаний на результаты измерений.

### **Радарные системы контроля уровня**

Существует множество самых различных методов контроля уровня, позволяющих получать информацию как о предельных его значениях, так и о текущем значении. Гораздо меньшее число методов реализовано в промышленных системах. Некоторые из реализованных методов являются уникальными, и случаи их применения можно пересчитать по пальцам одной руки, другие — гораздо более универсальны и потому широко используются в серийных системах. Но есть и методы, удачно сочетающие в себе и уникальность, и универсальность. В первую очередь, к ним можно отнести микроволновый бесконтактный метод, в просторечии небезосновательно именуемый радарным. Этот метод, с одной стороны, обеспечивает минимальный контакт измерительного устройства с контролируемой средой, а с другой стороны — практически полностью нечувствителен к изменению её температуры и давления. Причем и температура, и давление могут иметь значения, недопустимые для применения других методов, в первую очередь, контактных. Безусловно, уникальность возможностей не может не сказываться на цене приборов. Но прогресс в этой области настолько велик, а преимущества метода столь очевидны, что можно достаточно уверенно прогнозировать очень широкое распространение радарных систем контроля уровня уже в самом недалеком будущем.

При всех существующих различиях общим остается принцип действия: излучённый СВЧ - сигнал отражается от контролируемого объекта, принимается обратно и соответствующим образом обрабатывается. Результатом обработки является значение того или иного параметра объекта: дальность, скорость, направление движения и т.д.

Радиолокаторы широко используются в метеорологии, в космических исследованиях для дистанционного зондирования планет и т.д. И вот в 1976 году фирма SAAB первой в мире применяет радарную технологию для контроля уровня сырой нефти, перевозимой супертанкерами. К тому моменту для подобной цели широко использовались поплавковые, буйковые и диф. - манометрические (разновидность гидростатических) измерительные системы, основной недостаток которых заключался в большой зависимости точности измерения от таких физических параметров контролируемой среды, как температура, давление и плотность. Кроме того, для этих систем требовалось довольно частое техническое обслуживание этих систем, связанное с необходимостью удаления различного рода отложений и загрязнений, поскольку все перечисленные системы являются контактными по своей природе. Уровнемеры же, основанные на радарном методе измерения, оказались практически свободными от всех этих недостатков. Именно это обстоятельство и обеспечило их широкое применение в самых различных отраслях промышленности.

В настоящее время в радарных системах контроля уровня применяются преимущественно две технологии: с непрерывным частотно-модулированным излучением (FMCW — frequency modulated continuous wave) и импульсным излучением сигнала.

Технология FMCW еще с 30-х годов прошлого века широко применялась в радиовысотомерах военных и гражданских самолетов. Она же после соответствующей

адаптации была использована в первых радарных уровнемерах фирмы SAAB. Эта технология реализует косвенный метод измерения расстояния. Уровнемер излучает микроволновый сигнал, частота которого изменяется непрерывно по линейному закону между двумя значениями  $f_1$  и  $f_2$  (рис. 25). Отраженный от поверхности контролируемой

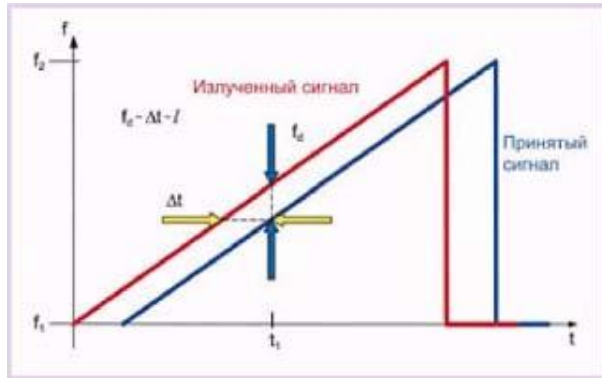


Рис. 25. Принцип измерения расстояния ( $l$ ) с использованием технологии FMCW

среды (жидкость, сыпучий материал и т.п.) сигнал принимается той же антенной и обрабатывается. Его частота сравнивается с частотой сигнала, излучаемого в данный момент времени. Значение разности частот ( $f_d$ ) прямо пропорционально расстоянию до поверхности ( $l$ ). Принцип очень прост, но на пути его практической реализации существует множество технических и технологических проблем. Одной из важнейших, непосредственно влияющих на

точность измерения, является обеспечение высокой линейности изменения частоты сигнала и особенно ее температурной стабильности, поскольку уровнемеры, как правило, предназначены для эксплуатации в очень широком температурном диапазоне.

Идеальными для уровнемера FMCW являются условия, когда поверхность контролируемой среды имеет достаточно большую площадь, на ней отсутствуют какие-либо возмущения, а сам резервуар полностью свободен от каких-либо внутренних конструктивных элементов. Однако реальные условия разительно отличаются от идеальных и привносят дополнительные проблемы, связанные с образованием большого числа паразитных эхо-сигналов от элементов конструкции, неровностей поверхности (особенно при контроле сыпучих материалов) и т.п. (рис. 26). Кроме того, приём и передача сигнала осуществляются одновременно. В результате на входе приёмника уровнемера присутствует сложная смесь сигналов с очень большим разбросом по амплитуде. Для выделения частот эхо-сигналов применяется алгоритм, основанный на методе быстрого преобразования Фурье. Для его реализации требуются значительные вычислительные ресурсы и относительно продолжительное время. Результатом преобразования является частотный спектр принятого сигнала, в котором относительная амплитуда каждой частотной составляющей ( $U$ ) пропорциональна мощности конкретного эхо-сигнала, а величина частотного сдвига пропорциональна расстоянию источника этого эхо-сигнала от излучателя (рис. 27). Выделять полезный эхо-сигнал и игнорировать остальные позволяет специальное программное обеспечение, установленное на сервисном компьютере или встроенное в уровнемер. Главная проблема заключается в том, что каждому эхо-сигналу в частотном спектре соответствует не одиночная частота, а интервал частот, ограниченный некоторой огибающей. Это вносит дополнительную погрешность в определение расстояния.

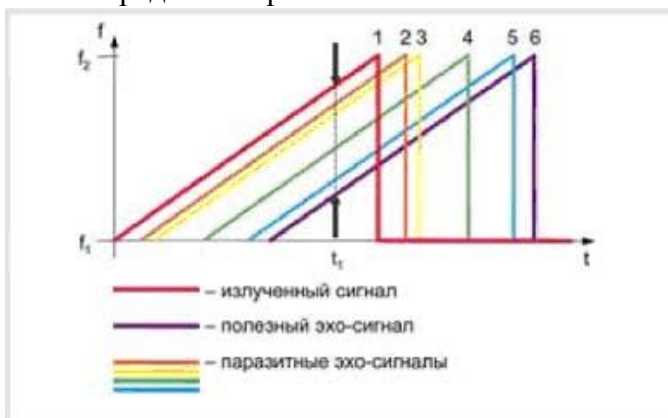


Рис. 26. Паразитные отражения при использовании технологии FMCW

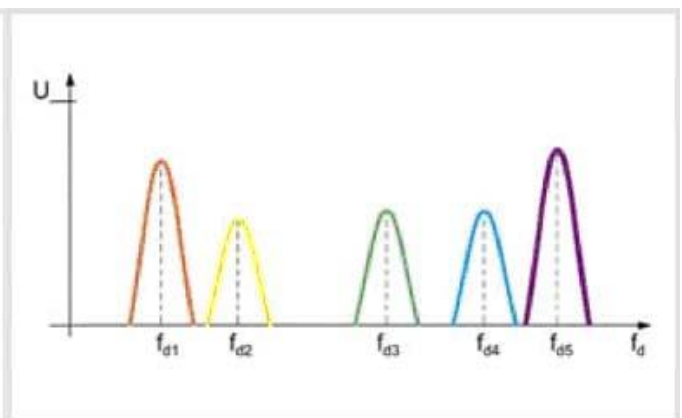


Рис. 27. Частотный спектр эхо-сигнала

В радарных импульсного типа используется метод определения расстояния, основанный на непосредственном измерении времени прохождения СВЧ - импульса от излучателя до контролируемой поверхности и обратно. В результате для отраженного сигнала применение процедуры быстрого преобразования Фурье не требуется. Однако время прохождения сигналом дистанции в несколько метров составляет всего единицы наносекунд. Поэтому для обеспечения измерения столь малых значений с требуемой точностью все-таки требуется применение специальных методов обработки сигнала. Для этого обычно используется преобразование СВЧ - сигнала в сигнал промежуточной частоты ультразвукового диапазона. Так, например, в радарных уровнемерах фирмы Endress+Hauser с несущей частотой 6,3 ГГц промежуточная частота равна 70 кГц, а частота повторения импульсов с 3,6 МГц уменьшается до 44 Гц. После такого преобразования к обработке сигналов радарного уровнемера могут быть легко применимы методы и алгоритмы, используемые в ультразвуковых приборах контроля уровня.

Радарные уровнемеры импульсного типа обладают рядом преимуществ перед устройствами, использующими технологию FMCW. Во-первых, принимаемые эхо-сигналы вне зависимости от природы их источника разнесены во времени, что обеспечивает их более простое разделение. Во-вторых, среднее энергопотребление импульсных уровнемеров составляет единицы мкВт (пиковая мощность при излучении СВЧ-импульса составляет около 1 мВт), что позволяет использовать для их подключения двухпроводную схему с питанием от измерительной цепи со стандартным токовым сигналом 4-20 мА; в приборах, работающих по технологии FMCW, энергопотребление существенно выше из-за непрерывного характера излучения, а также постоянно выполняемой математической обработки эхо-сигнала. И, в-третьих, в импульсных уровнемерах электроника для выполнения первичной обработки сигнала проще, а сама обработка выполняется исключительно аппаратными средствами; в результате благодаря меньшему числу комплектующих надёжность прибора получается потенциально выше.

Одним из самых важных элементов радарного уровнемера является его антенная система. Именно от антенны зависит, какая часть излучённого сигнала достигнет поверхности контролируемого материала и какая часть отражённого сигнала будет принята и передана на вход электронного блока для последующей обработки.

В радарных системах контроля уровня преимущественно используются антенны пяти типов:



Рис. 28. Радарные уровнемеры Siemens Milltronics с рупорной и стержневой антеннами

- рупорная;
- стержневая;
- трубчатая;
- параболическая;
- планарная.

Рупорная и стержневая антенны (рис. 28) наиболее широко используются в составе приборов, предназначенных для контроля уровня в технологических установках. Трубчатые антенны (рис. 29) применяются в тех случаях, когда выполнение измерения посредством рупорной или стержневой антенны связано с очень большими трудностями или просто невозможно, например при наличии пены, сильного испарения или высокой турбулентности контролируемой жидкости. Параболические и планарные антенны (рис. 30, 31) используются исключительно в составе систем коммерческого учета нефтепродуктов.

При контроле уровня в закрытых емкостях, а это наиболее частое применение радарных уровнемеров, антенна, находясь внутри резервуара, подвергается воздействию всех неблагоприятных факторов, которые там только могут присутствовать. К ним относятся и



высокое давление, и высокая температура, и агрессивные испарения, и пыль, и т.д. Безусловно, конструкция антенны и материалы, используемые для ее изготовления, должны всему этому успешно противостоять. Кроме того, конструкция самих резервуаров отличается огромным разнообразием и потому способна создать массу проблем при установке уровнемера. Вот почему у ведущих мировых производителей радарных уровнемеров в программе поставок имеется большое количество вариантов исполнения оборудования, и особенно антенных систем.

Электронный блок радарного уровнемера составляет единое целое с антенной системой вследствие особенностей используемого принципа действия. Данный блок отвечает как за формирование зондирующего сигнала, так и за обработку принятого эхо-сигнала. Измерительная информация (расстояние, уровень, объем и т.п.) может либо просто отображаться на встроенном индикаторе, либо выдаваться вовне с помощью различных аналоговых и цифровых интерфейсов. В простейшем случае применяется стандартная токовая петля 4-20 мА с 2- или 3-проводной схемой подключения. В последнее время в таких приборах обычно имеется поддержка HART-протокола,

который используется, в частности, для удаленной настройки измерительной системы. Для этой же цели производители оборудования предлагают специальные программные продукты, функционирующие на сервисном компьютере и обеспечивающие в удобной и наглядной форме настройку, калибровку и диагностику уровнемеров. Одной из важнейших функций таких программ является построение профиля отраженного сигнала по всей трассе измерения и отстройка от паразитных эхо-сигналов.

Вне зависимости от используемого принципа в радарных уровнемерах применяются СВЧ - сигналы с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 26 ГГц. К сожалению, не существует какой-то одной оптимальной частоты для всех возможных случаев применения радарных систем контроля уровня: любое преимущество в одном случае может оказаться существенным недостатком в другом. С этой позиции и рассмотрим особенности низкочастотных и высокочастотных радарных уровнемеров.

В высокочастотных приборах антенна имеет меньшие размеры и при равных размерах с антенной низкочастотного прибора 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. Сравните: рупорная антенна радарного уровнемера диапазона 26 ГГц диаметром 40 мм имеет диаграмму направленности приблизительно такой же ширины, что и антенна уровнемера диапазона 6 ГГц диаметром 150 мм. 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. Для высокочастотных уровнемеров ситуация осложняется тем, что из-за более короткой длины волны излучения паразитные эхо-сигналы будут формироваться от более мелких объектов, которые для низкочастотных уровнемеров будут просто незаметны.

По этой же причине высокочастотные уровнемеры более чувствительны к

наличию разного рода неровностей на контролируемой поверхности, которые вызывают повышенное рассеивание зондирующего излучения и, как следствие, снижают уровень полезного эхо-сигнала. Вот почему низкочастотные уровнемеры лучше приспособлены для контроля уровня жидкостей с беспокойной поверхностью и сыпучих материалов.

Высокочастотные уровнемеры более чувствительны к наличию конденсата и отложениям материала на поверхности антенны, поскольку эти факторы вызывают более сильное ослабление именно высокочастотного сигнала. Кроме того, одинаковый уровень отложений или конденсата сильнее сказывается на эффективности работы антенн с меньшими размерами. В то же время, например, рупорная антенна диаметром 6 дюймов для диапазона 5,8 ГГц практически нечувствительна к конденсату и гораздо более устойчива к отложениям материала на ее поверхности.

Для контроля уровня при наличии высокого уровня пыли (цемент) или испарений (паровой котёл) низкочастотные уровнемеры имеют преимущество благодаря меньшему ослаблению сигнала, вызываемому указанными факторами.

Влияние пены на результат измерения определяется такими её параметрами, как плотность, диэлектрическая проницаемость и проводимость. Сухая пена достаточно легко проницаема для СВЧ - излучения. В то же время, мокрая пена, присутствующая, например, в бродильных чанах, представляет для него труднопреодолимое препятствие. В общем же случае низкочастотные уровнемеры показывают лучшие результаты работы при наличии пены на поверхности контролируемого вещества. Так, например, тонкий слой пены моющего средства на поверхности воды непреодолим для сигнала высокочастотного уровнемера, в то время как уровнемер диапазона 5,8 ГГц позволяет производить измерения при толщине слоя пены до 150 мм и даже выше. Здесь следует иметь в виду, что толстый слой пены способен вносить небольшую дополнительную погрешность в результат измерения из-за различия скорости распространения СВЧ - сигнала в воздушной среде и пене.

Для высокочастотных уровнемеров характерны гораздо меньшие размеры зоны нечувствительности по сравнению с низкочастотными, поэтому они имеют дополнительное преимущество при использовании в резервуарах и успокоительных трубах небольшого размера.

Между радарными уровнемерами импульсного типа и уровнемерами, использующими технологию FMCW, не существует принципиального различия по достигаемой точности измерения.

Приборы, используемые для контроля уровня в технологических установках, обладают точностью порядка нескольких миллиметров. Реально же достигаемая точность измерения определяется и такими факторами, как конкретные условия применения, тип и конструктивное исполнение антенны, качество электронных компонентов, возможности программного обеспечения обработки эхо-сигнала.

Существует особый класс радарных уровнемеров, предназначенных для использования в системах коммерческого учета нефтепродуктов. Для этих приборов гарантированная точность измерения должна быть не хуже +1 мм. Для ее обеспечения предпринимается ряд специальных мер. В частности, используются антенны параболического или планарного типа для получения максимально узкой диаграммы направленности излучения, а в алгоритм обработки эхо-сигнала дополнительно вводится оценка фазы сигнала. Кроме того, несмотря на очень малую зависимость от температуры и давления, в результат измерения также вводится поправка на изменение значения этих параметров в контролируемом резервуаре.

Благодаря своим уникальным возможностям радарные уровнемеры, использующие микроволновый бесконтактный метод измерения, способны обеспечить достоверной информацией о контролируемом параметре в самых разнообразных условиях применения. Безусловно, некоторым сдерживающим фактором является относительно высокая стоимость оборудования. Однако следует иметь в виду, что при его

использовании доля эксплуатационных расходов в общей структуре затрат существенно ниже по сравнению с традиционными средствами измерения. Кроме того, наблюдающийся значительный прогресс в этой области техники в сочетании с жесткой конкуренцией между производителями неизбежно ведет к постоянному снижению цен. Поэтому будущее радарных уровнемеров видится вполне оптимистичным.

Вместе с тем нельзя рассматривать этот класс оборудования как средство для решения всех задач измерения уровня. Только учитывая особенности используемого метода, грамотно осуществляя выбор конфигурации уровнемера, скрупулезно прорабатывая способ и место монтажа, а затем также скрупулезно его осуществляя и, наконец, тщательно выполняя настройку всей системы, можно получить ожидаемый результат.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Что касается представленных методов контроля уровня, то по данным ряда источников степень их распространения оценивается в процентном отношении приблизительно следующими показателями: поплавковый — 24%, вибрационный — 21%, гидростатический — 20%, кондуктометрический — 5%, ёмкостный — 15%, на основе измерения времени прохождения сигнала — 15%. Примечательно, что чаще приходится измерять уровень жидких материалов: 82% случаев применения, а остальные 18% приходятся на сыпучие материалы; при этом в последние годы нарастающими темпами увеличивается доля использования методов измерения времени прохождения сигналов (ультразвукового и направленного микроволнового излучения).