

Государственное автономное образовательное учреждение
среднего профессионального образования Ленинградской области

Киришский политехнический техникум

**ПМ. 02 Обслуживание и настройка средств контроля и
автоматического регулирования**

Методическое пособие

« Первичные измерительные преобразователи уровня»

для студентов среднего профессионального образования по специальности:

18.01.28 Оператор нефтепереработки

РАССМОТРЕНО

На заседании МК

Протокол № _____ от _____ 20__ г.

Председатель МК _____

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УПР

_____ М.В. Титова

« _____ » _____ 20__ г.

Методическое пособие составлено в соответствии с рабочей программой по ПМ. 02 Обслуживание и настройка средств контроля и автоматического регулирования в соответствии с ФГОС по специальности СПО 18.01.28 Оператор нефтепереработки

Разработчик:

Косарева И.Ю., преподаватель высшей категории

« _____ » _____ 2013г.

Пояснительная записка

Методическое пособие предназначено для изучения принципа действия и устройства прибора контроля основного параметра химико-технологического процесса: уровня.

Содержание методического пособия основано на программе дисциплины «Обслуживание технических средств автоматизации», изучаемой студентами по специальности 18.01.28 Оператор нефтепереработки.

Методическое пособие посвящено изучению методов и средств контроля уровня жидкостей и сыпучих материалов. В данной главе рассматриваются приборы как для непрерывного слежения за уровнем, так и для его сигнализации о выходе за предельные значения.

Методическое пособие сопровождается контрольными вопросами для самопроверки и тестом.

Автоматический контроль является логически первой ступенью автоматизации, без успешного функционирования которых невозможно создание эффективных АСУ ТП.

Содержание

1. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ.....	3
1.1. Основные понятия.....	3
1.2. Классификация приборов для измерения уровня	3
1.3. Уровнемеры непрерывного действия.....	4
1.3.1. Визуальные уровнемеры.....	4
1.3.2. Поплавковые уровнемеры	5
1.3.3. Буйковые уровнемеры	6
1.3.4. Гидростатические уровнемеры	8
1.3.5. Электрические уровнемеры.....	13
1.3.6. Радиоизотопные уровнемеры.....	15
1.3.7. Ультразвуковые уровнемеры	16
1.3.8. Радарные уровнемеры.....	18
1.3.9. Волноводные уровнемеры.....	22
1.4. Сигнализаторы уровня.....	25
1.4.1. Поплавковые сигнализаторы уровня.....	26
1.4.2. Вибрационные сигнализаторы уровня	28
1.4.3. Кондуктометрические сигнализаторы уровня	29
1.4.4. Ёмкостные сигнализаторы уровня.....	30
1.4.5. Магнитные сигнализаторы уровня	31
Контрольные вопросы.....	32
Список литературы.....	33

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

1.1. Основные понятия

Операция измерения уровня является основной для организации контроля и управления технологическими процессами в химическом, нефтехимическом и нефтеперерабатывающем производствах, в пищевой промышленности, промышленности строительных материалов, в системах экологического мониторинга и во многих других отраслях. 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.

1.2. Классификация приборов для измерения уровня

Существует широкая номенклатура средств контроля и измерения уровня, использующих различные физические методы: поплавковый, буйковый, ёмкостный, гидростатического давления, ультразвуковой, радарный и др. 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.

Устройства для измерения уровня жидкостей можно подразделить на следующие:

- *визуальные*;
- *поплавковые*, в которых для измерения уровня используется поплавок или другое тело, находящееся на поверхности жидкости;
- *буйковые*, в которых для измерения уровня используется массивное тело (буйёк), частично погружаемое в жидкость;
- *гидростатические*, основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;

- *электрические*, в которых величины электрических параметров зависят от уровня жидкости;
- *ультразвуковые*, основанные на принципе отражения от поверхности звуковых волн;
- *радарные и волноводные*, основанные на принципе отражения от поверхности сигнала высокой частоты (СВЧ);
- *радиоизотопные*, основанные на использовании интенсивности потока ядерных излучений, зависящих от уровня жидкости.

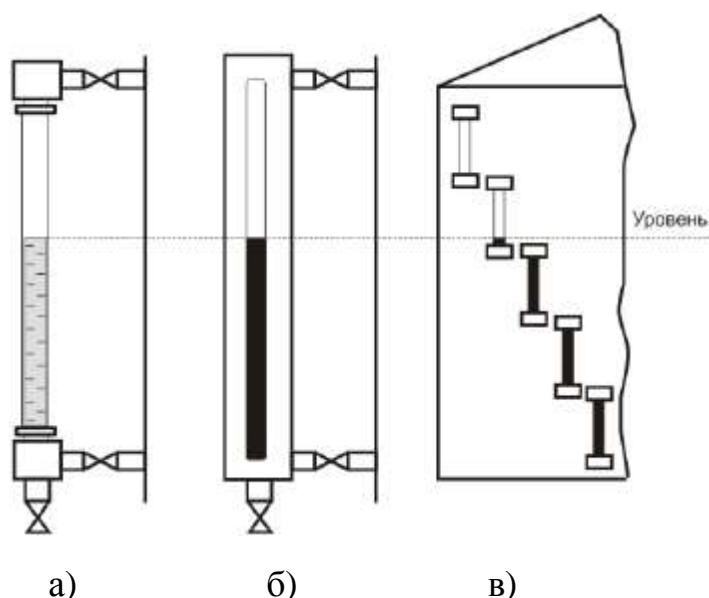
Помимо классификации уровнемеров по принципу действия, эти приборы делятся на:

- приборы для непрерывного слежения за уровнем;
- приборы для сигнализации о предельных значениях уровня (сигнализаторы уровня).

1.3. Уровнемеры непрерывного действия

1.3.1. Визуальные уровнемеры

Простейшим измерителем уровня жидкости служат указательные стекла (рис. 5). Работа указательных стекол основана на принципе сообщающихся сосудов. Указательное стекло соединяют с сосудом нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избы-



точным давлением или разрежением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в сосуде. Указательные стёкла снабжают вентилями или кранами для отключения их от сосуда и продувки системы.

В арматуру указательных стекол сосудов, работающих под давлением, обычно вводят предохранительные устройства, автоматически закрываю-

Рис.5. Указательные стёкла:
 а - проходящего света;
 б - отраженного света;
 в - составного типа

щие каналы в головках при случайной поломке стекла.

Существуют указательные стекла проходящего (рис.5,а) и отраженного света (рис.5,б). Плоские указательные стекла рассчитаны на давление до 2,94 МПа и температуру до 300 °С.

Указательные стекла не рекомендуется употреблять длиной более 0,5 м, поэтому при контроле уровня, изменяющегося больше чем на 0,5 м, устанавливают несколько стекол (рис. 5, в) так, чтобы верх предыдущего стекла перекрывал низ последующего.

1.3.2. Поплавковые уровнемеры

Среди существующих разновидностей уровнемеров поплавковые являются наиболее простыми. Получили распространение поплавковые уровнемеры узкого и широкого диапазонов. Поплавковые уровнемеры узкого диапазона (рис. 6, а) 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 Π угловых перемещений в унифицированный электрический или пневматический сигналы.

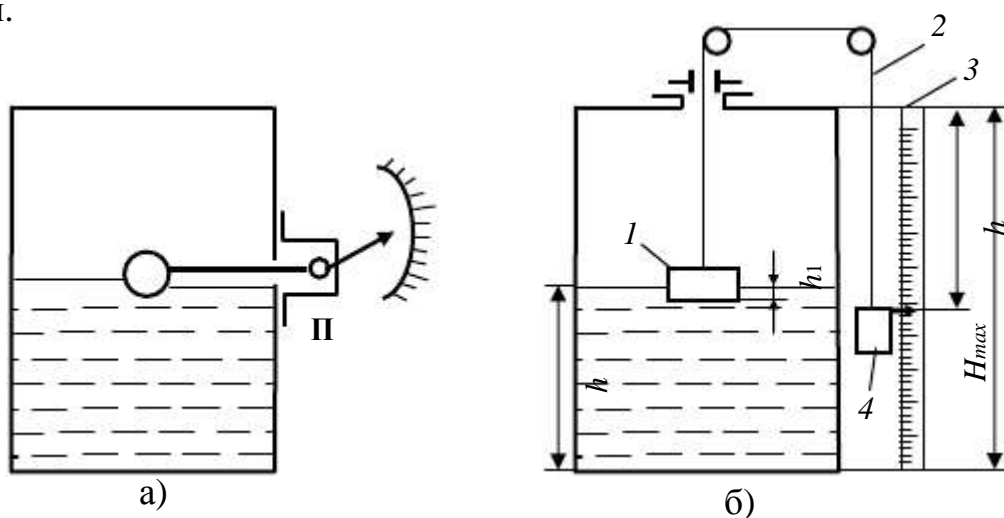


Рис. 6 Поплавковые уровнемеры:

а – узкого диапазона; б – широкого диапазона;

1 – поплавок; 2 – гибкий трос; 3 – шкала; 4 – противовес

Поплавковые уровнемеры широкого диапазона (рис.6, б) 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 уров-

немеров подбирают такие конструктивные параметры поплавка, которые обеспечивают состояние равновесия системы «поплавок — противовес» только при определенной глубине погружения поплавка.

1.3.3. Буйковые уровнемеры

В основу работы буйковых уровнемеров положено физическое явление, описываемое законом Архимеда. Он гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила F , пропорциональная весу вытесненной им жидкости. Чувствительным элементом в этих уровнемерах является цилиндрических боек, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Боек находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. Длина буйка H_0 подбирается приближенной к максимальному измеряемому уровню в аппарате. Уровнемер работает следующим образом. Когда уровень жидкости в Аппарате равен или меньше начального h_0 (величина h_0 называется зоной нечувствительности уровнемера), измерительная штанга 2, на которую подвешен боек 1, находится в равновесии, так как момент M_1 создаваемый весом буйка G_1 , уравновешивается моментом M_2 , создаваемым противовесом.

Когда уровень жидкости становится больше h_0 (например, h), часть буйка длиной $(h - h_0)$ погружается в жидкость, поэтому вес буйка уменьшается, а следовательно, уменьшается и момент M_1 , создаваемый буйком на штанге 2. Так как M_2 становится больше M_1 , штанга поворачивается вокруг точки O по часовой стрелке на небольшой угол и перемещает рычаг 3 преобразователя 5. Преобразователь (электрический или пневматический) формирует выходной сигнал, который является выходным сигналом уровнемера. Движение измерительной системы преобразователя происходит до тех пор, пока сумма моментов всех сил, действующих на рычаг 2, не станет равной нулю.

Герметизация технологического аппарата при установке в нем чувствительного элемента достигается уплотнительной мембраной 6. При необходимости боек может быть установлен в выносной камере, располагаемой вне технологического аппарата.

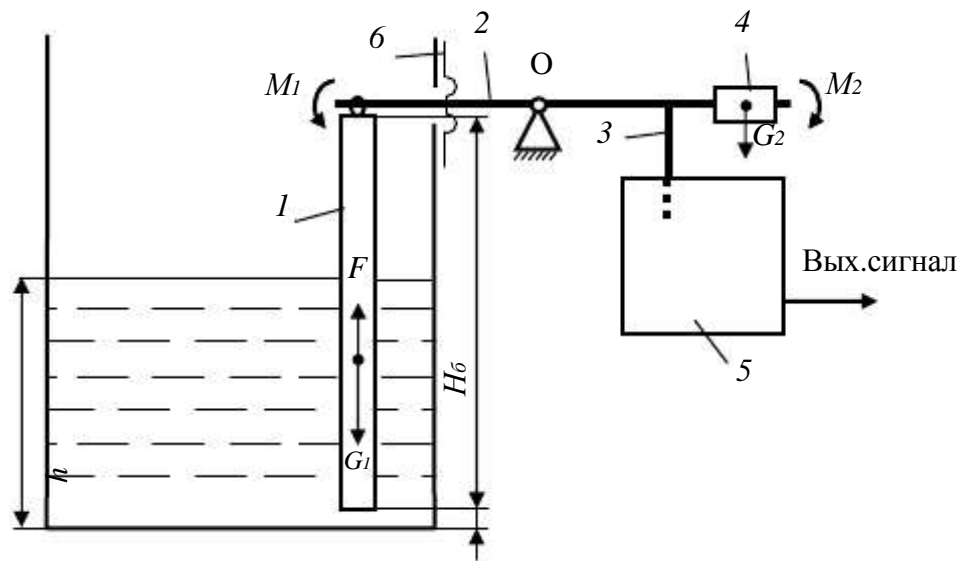


Рис.7 Измерительная схема буйкового уровнемера:
 1 – буйёк; 2 – штанга; 3 – рычаг; 4 – противовес;
 5 – преобразователь; 6 – уплотнительная мембрана

Минимальный верхний предел измерений буйковых уровнемеров - 0,025 м, максимальный - 16 м. Значение верхнего предела измерений приборов должно выбираться из ряда: 250; 400; 600; 1000; 1600; 2500; 4000; 6000; 8000; 10000 мм, хотя по согласованию с заказчиком длина буйка может быть выполнена индивидуально.

1.3.4. Гидростатические уровнемеры

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

Измерение гидростатического давления может осуществляться:

- датчиком избыточного давления (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 (пьезометрический метод).

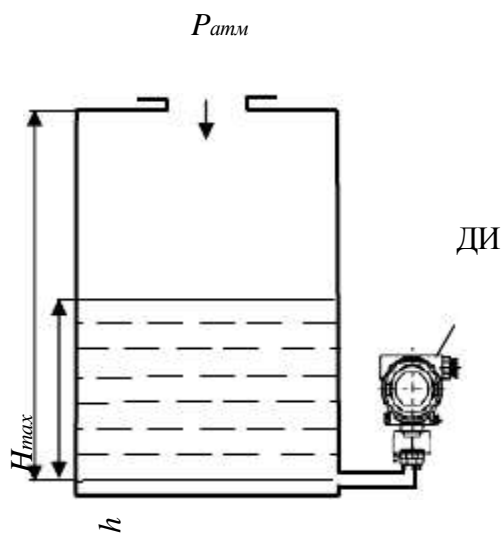


Рис.8. Измерение уровня в резервуаре при помощи датчика избыточного давления

На рис. 8 приведена схема измерения уровня датчиком избыточного давления (манометром). Применяемый для этих целей датчик ДИ может быть любого типа с соответствующими пределами измерений, определяемыми зависимостью $P_{г}=\rho gh$.

При измерении уровня данным способом имеют место погрешности измерения, определяемые классом точности измерительного прибора, изменениями плотности жидкости, а также колебаниями атмосферного

давления. Если сосуд находится под избыточным давлением, данная измерительная схема непригодна, т.к. к гидростатическому давлению прибавляется избыточное давление над поверхностью жидкости, не учитываемое данной измерительной схемой.

Более широкое применение получили схемы измерения уровня с использованием дифференциальных датчиков давления (дифманометров). Эти схемы используются для измерения уровня жидкости в технологических аппаратах, находящихся под избыточным давлением. С помощью

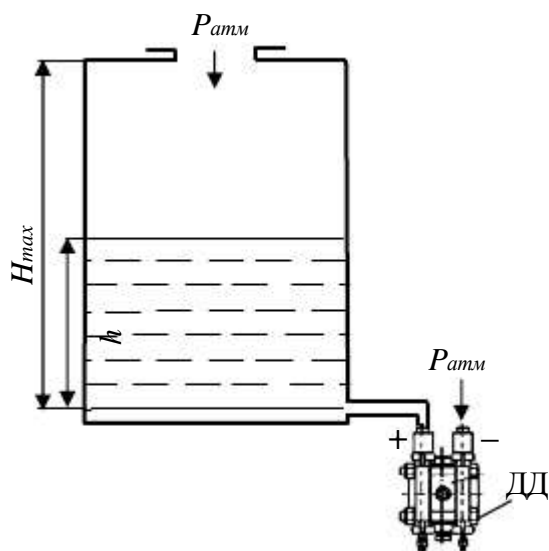


Рис. 9 Измерение уровня в открытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления

дифференциальных датчиков давления возможно также измерение уровня жидкости в открытых резервуарах, уровня раздела жидкостей.

Измерение уровня в открытых резервуарах, находящихся под атмосферным давлением, осуществляется по схеме, представленной на рис. 9

Дифманометр ДД 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, т.к. результирующий перепад давления на дифманометре равен:

$$\Delta P = (P_{\Gamma} + P_{атм}) - P_{атм} = P_{\Gamma}.$$

Данная измерительная схема используется, если дифманометр расположен на одном уровне с нижней плоскостью резервуара. В случае, если дифманометр оказывается ниже него на высоту h_1 , целесообразно использование **уравнительных сосудов (УС)**. Схемы измерения с уравнительным сосудом для резервуаров, находящихся под атмосферным давлением представлены на рис. 10

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

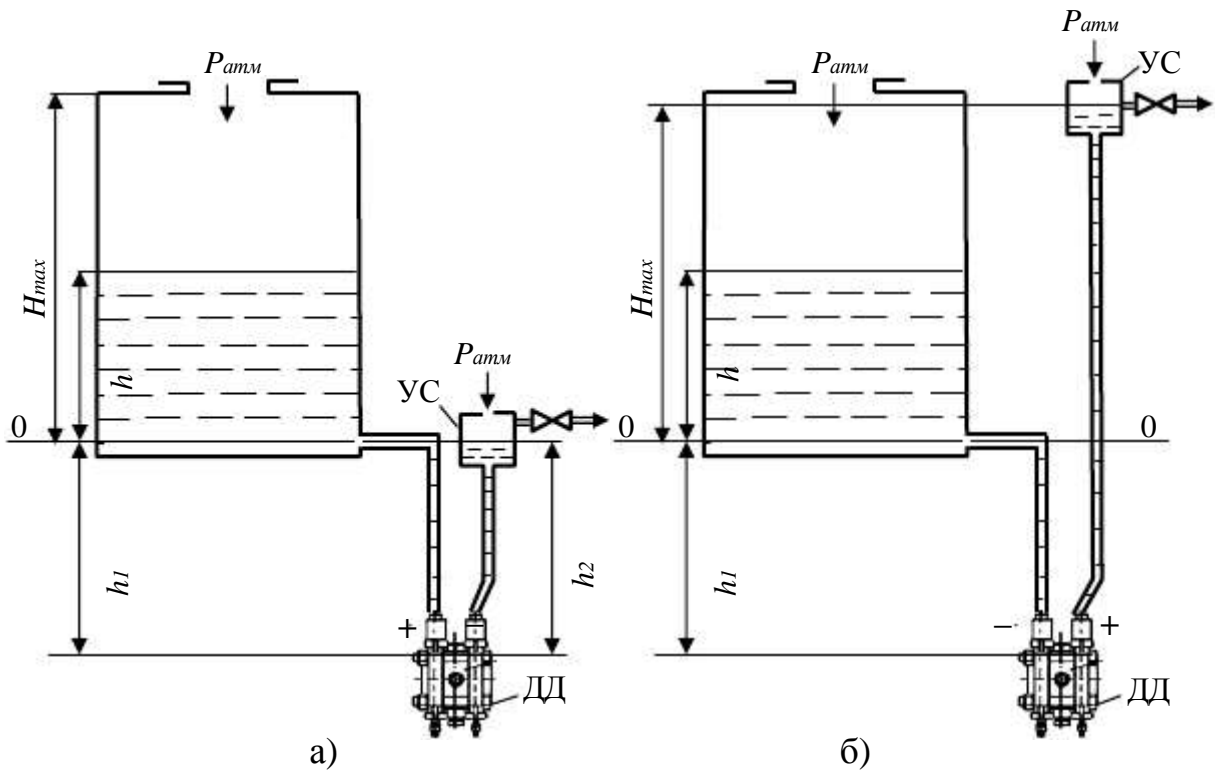


Рис.10 Измерение уровня в открытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления с использованием уравнительного сосуда:
 а – с нижним расположением уравнительного сосуда;
 б – с верхним расположением уравнительного сосуда

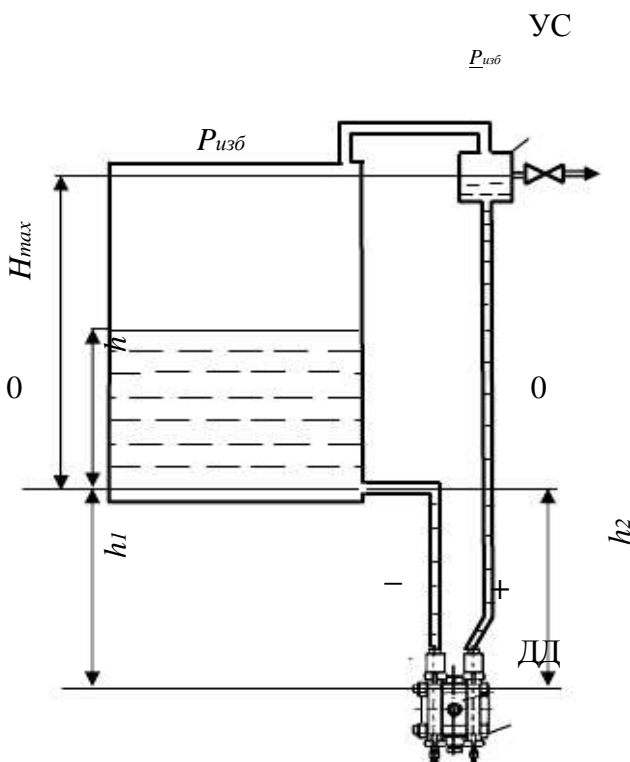


Рис.11 Измерение уровня в закрытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления

При измерении уровня в аппаратах, находящихся под избыточным давлением $P_{изб}$, применяют схему, приведенную на рис. 11 $P_{изб}$ поступает в обе импульсные трубки дифманометра, поэтому измеряемый перепад давления ΔP можно представить в виде:

$$\Delta P = \rho g H_{max} - \rho g h. \quad (5.5)$$

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



Рис.12. Датчик гидростатического давления
трубки h_1 .

В последнее время широкое распространение получили датчики гидростатического давления ДГ (рис. 12). У них, как и у дифманометров, имеются две измерительные камеры, одна из которых выполнена в виде открытой мембраны, а вторая в виде штуцера. Данный уровнемер всегда закрепляется непосредственно у дна резервуара, поэтому не имеет импульсных трубок, а значит, отсутствует необходимость в компенсации высоты импульсной

Уровнемеры, в которых измерение гидростатического давления осуществляется путем измерения давления газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, заполняющую резервуар, называют **пьезометрическими**.

Его работа основана на принципе гидравлического затвора. Пьезометрическая трубка **П** размещается в аппарате, в котором измеряется уровень. Для измерения уровня используют воздух или инертный газ под давлением P_n , который продувают через слой жидкости. Газ поступает в трубку через дроссель **Д**, служащий для ограничения расхода. Давление P газа после дросселя измеряется дифманометром **ДД**.

При подаче газа давление в пьезометрической трубке постепенно повышается до тех пор, пока не станет равным давлению столба жидкости высотой H плюс давление над жидкостью $P_{изб}$ (если имеется). Когда давление в трубке станет равным сумме этих давлений, из нижнего открытого конца трубки начинает выходить газ. Расход подбирают такой, чтобы газ покидал трубку в виде отдельных пузырьков (примерно один пузырек в секунду).

В случае измерения уровня в сосудах, заполненных агрессивными жидкостями и газами обязателен непрерывный подвод воздуха или инертного газа в обе линии, подсоединяемые к дифференциальному манометру. Для наблюдения за непрерывностью на каждой линии устанавливают стеклянные контрольные сосуды КС с водяным затвором, по которому видно движение воздуха, или ротаметры. Количество подводимого воздуха устанавливают регулирующими вентилями РВ.

1.3.5. Электрические уровнемеры

В электрических уровнемерах уровень жидкости преобразуется в какой-либо электрический сигнал. Наиболее распространены емкостные и омические уровнемеры.

Работа **емкостных уровнемеров** основана на том, что диэлектрическая проницаемость водных растворов солей, кислот и щелочей отличается от диэлектрической проницаемости воздуха либо водных паров.

Принципиальная схема емкостного уровнемера показана на рис.13

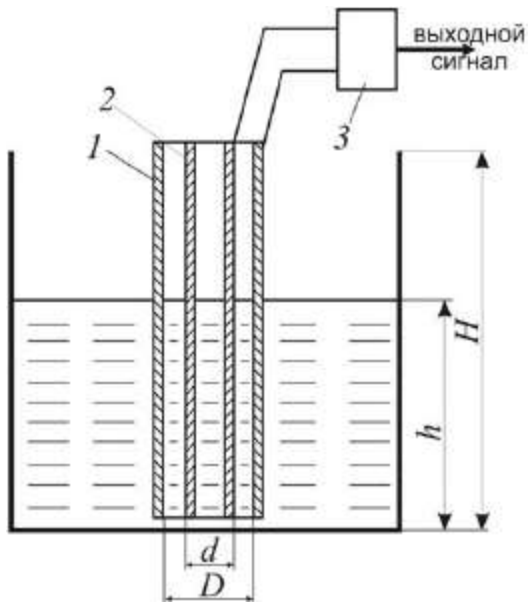


Рис.13 Емкостный уровнемер:

1, 2 - электроды;
3-электронный блок

В сосуд с жидкостью, уровень которой необходимо измерить, опущен преобразователь, представляющий собой электрический конденсатор, емкость которого зависит от уровня жидкости. Преобразователи выполняют цилиндрического и пластинчатого типов, а также в виде жесткого стержня. Цилиндрический емкостной преобразователь выполнен из двух или нескольких concentрично расположенных труб, между которыми находится слой жидкости высотой h . Емкость преобразователя равна сумме емкостей двух участков - погруженного в жидкость с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{ж}$ и находящегося в среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{ср}$ (для воздуха $\epsilon_{ср}=1$).

При измерении уровня агрессивных, но неэлектропроводных жидкостей обкладки преобразователя выполняют из химически стойких сплавов или покрывают тонкой антикоррозионной пленкой, диэлектрические свойства которой учитывают при расчете. Покрытие обкладок тонкими пленками применяют также при измерении уровня электропроводных жидкостей.

Омические уровнемеры используют главным образом для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей. Принцип их действия основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляющую собой участок электрической цепи с определенным омическим сопротивлением. Прибор представляет собой электромагнитное реле, включаемое в цепь между электродом и контролируемым материалом. Схемы включения релейного сигнализатора уровня могут быть различны в зависимости от типа объекта и числа контролируемых уровней.

1.3.6. Радиоизотопные уровнемеры

Уровнемеры с радиоизотопными излучателями делятся на две группы:

- 1) со следящей системой, для непрерывного измерения уровня;
- 2) сигнализаторы (индикаторы) отклонения уровня от заданного значения.

Принципиальная схема следящего уровнемера приведена на рис. 14 Действие прибора основано на сравнении интенсивностей потоков \odot лучей, проходящих выше или ниже уровня раздела двух сред разной плотности. Комплект прибора состоит из трех блоков:

- 1) преобразователя, содержащего источник и приемник излучения;
- 2) электронного блока;
- 3) показывающего прибора.

Преобразователь на фланцах 4 присоединен к вертикальным трубкам 2, установленным внутри объекта измерения. Расположенный в герметичном корпусе преобразователя реверсивный двигатель 6 через червячную передачу 7 вращает барабан 8, на котором укреплена стальная лента 3. На концах ленты свободно висят источник излучения 1 и приемник излучения 13. Электрический сигнал от приемника излучения через гибкий кабель 11 передается на электронный блок. При перемещении приемника кабель фиксируется в определенном положении при помощи ролика 14 с грузом. Лента 3 проходит через зубчатый ролик 9, на оси которого расположен первичный сельсин 10.

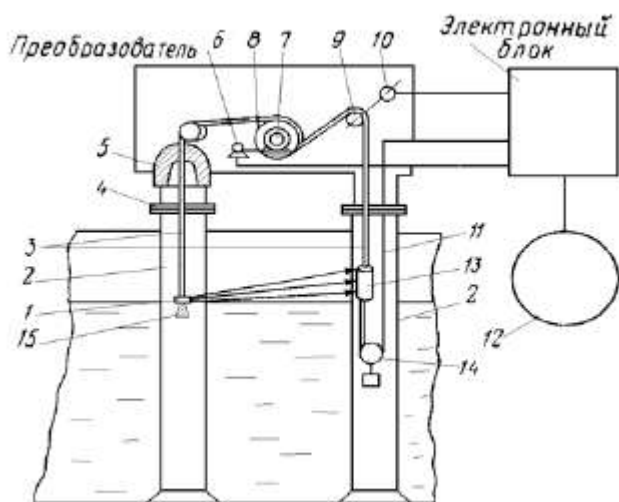


Рис.14 Радиоизотопный уровнемер:

- 1-источник излучения; 2-трубки; 3- стальная лента; 4-фланцы; 5-свинцовый контейнер; 6-реверсивный двигатель; 7- червячная передача; 8-барабан; 9- зубчатый ролик; 10-первичный сельсин; 11-гибкий кабель; 12-показывающий прибор; 13-приемник излучения; 14- ролик с грузом; 15-свинцовая пробка

Вторичный сельсин находится в показывающем приборе. Ось вторичного сельсина через редуктор связана со стрелками показывающего прибора 12, который имеет две шкалы, градуированные в метрах и сантиметрах. В показывающем приборе имеется преобразователь, преобразующий угловое перемещение оси вторичного сельсина, пропорциональное положению уровня, в стандартный пневматический сигнал. Стандартная индукционная катушка служит для связи с вторичными приборами дифференциально-трансформаторной системы.

Для обеспечения радиационной защиты персонала при транспортировке, монтаже и ремонтных работах внутри объекта измерения источник излучения перемещается автоматически в свинцовый контейнер 5. Отверстие в контейнере при этом закрывается свинцовой пробкой 15, жестко связанной с источником. Диапазон измерения уровня прибором до 10 м, основная погрешность измерения не превышает 1 см.

Использование приборов с радиоизотопными излучателями целесообразно там, где другие методы измерения непригодны.

1.3.7. Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры (частота выше 20 КГц) позволяют измерять уровень в отсутствие контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах. В ультразвуковых уровнемерах обычно используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела «жидкость - газ (воздух)». На рис.15 показана измерительная схема ультразвукового уровнемера, работающего на отражении звука от границы раздела двух сред.

Прибор состоит из электронного блока (ЭБ), пьезоэлектрического излучателя (преобразователя) и вторичного прибора. Электронный блок состоит из генератора 1, задающего частоту повторения импульсов, генератора импульсов 2, посылаемых в измеряемую среду, приемного усилителя 4 и измерителя времени 5.

Генератор 1 управляет работой генератора 2 и схемой измерения времени. Генератор 2 формирует короткие импульсы для возбуждения пьезоэлектрического излучателя 3. Электрический импульс, преобразованный в ультразвуковой в пьезоэлектрическом излучателе, распространяется в газовой среде, отражается от границы раздела «жидкость – воздух», возвращается обратно, воздействуя спустя некоторое время на тот же излучатель,

и преобразуется в электрический сигнал. Оба импульса: посланный и отраженный, разделенные во времени, поступают на усилитель 4.

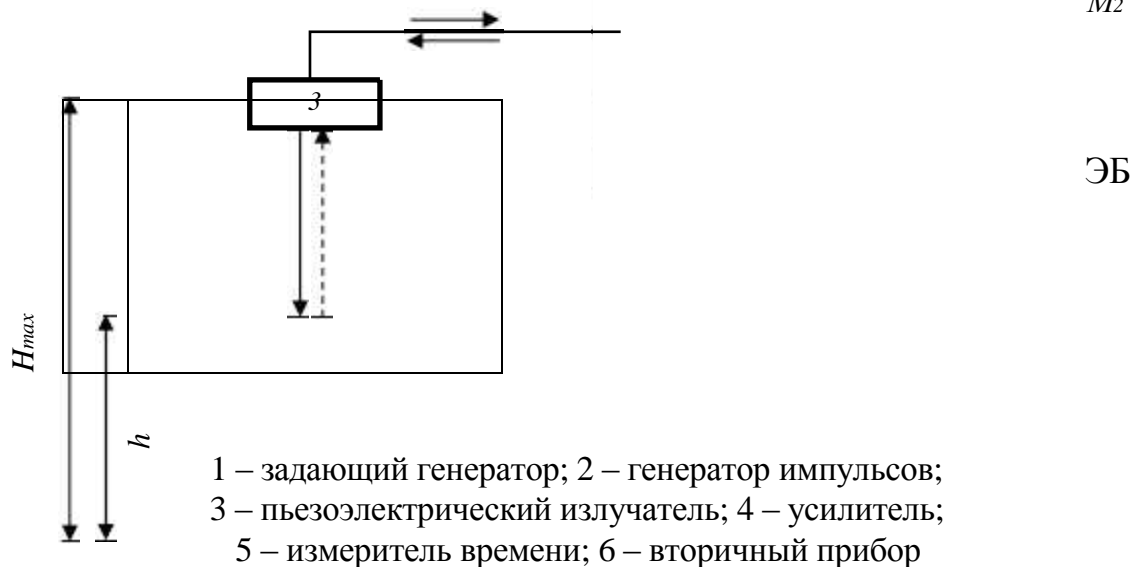


Рис.15 Измерительная схема ультразвукового уровнемера:

Постоянное напряжение, пропорциональное времени запаздывания отраженного сигнала (уровню), получаемое в измерителе времени, подается на вторичный прибор 6.

Химические и физические свойства среды не влияют на результат измерения, полученный ультразвуковым 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 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.

1.3.8. Радарные уровнемеры

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: излученный СВЧ - сигнал отражается от контролируемого объекта, принимается обратно и соответствующим образом обрабатывается (рис.

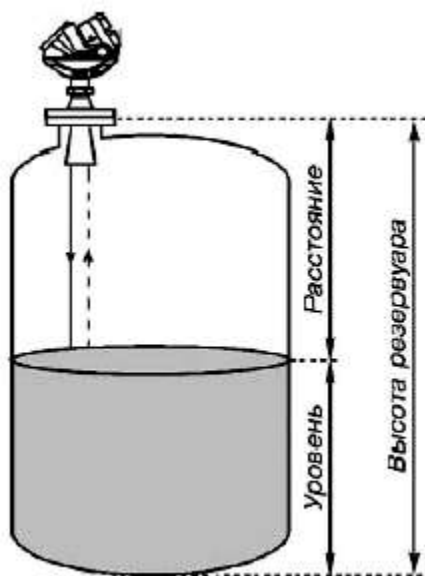


Рис. 16 Схема измерения уровня радарным уровнемером

16. Результатом обработки является значение того или иного параметра объекта: дальность, скорость, направление движения и т.д. Вне зависимости от используемого принципа в радарных уровнемерах применяются СВЧ - сигналы с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 26 ГГц.

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. 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.

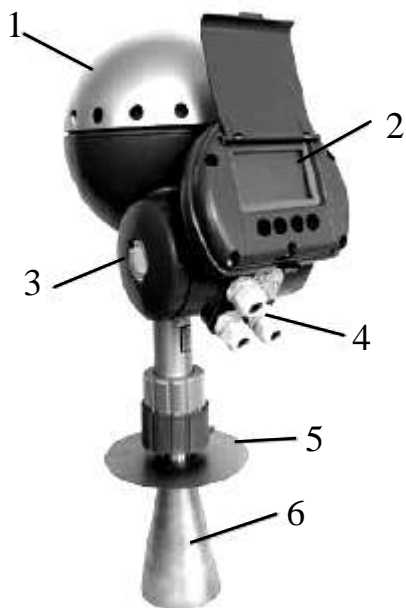


Рис. 17 Конструкция радарного уровнемера:
 1 – электронный блок; 2 – дисплей;
 3 – распределительная коробка;
 4 – кабельные вводы; 5 – крепежное приспособление; 6 – антенна

Конструкция одного из типов радарного уровнемера представлена на рис. 17. 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: рупорная; стержневая; трубчатая; параболическая; планарная.

Стержневая и рупорная антенны (рис. 18, а,б) наиболее широко используются в составе приборов, предназначенных для контроля уровня в технологических установках. Трубчатые антенны (рис. 5.19, в) 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. 18, г,д) 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.



Рис. 18. Типы антенн радарных уровнемеров:
 а – стержневая; б – рупорная; в – трубчатая;
 г – параболическая; д – планарная

1.3.9. Волноводные уровнемеры

Данный тип уровнемеров относится к уровнемерам контактного типа. Принцип действия волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением TDR (Time Domain Reflectometry). Микроволновые радиоимпульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду, уровень которой нужно определить (рис.5.20). Когда радиоимпульс достигает среды с коэффициентом диэлектрической проницаемости, отличной от проницаемости газа над поверхностью среды, то из-за разности коэффициентов диэлектрических проницаемостей происходит отражение микроволнового сигнала в обратном направлении. Временной интервал между моментом передачи зондирующего импульса и моментом приема эхо-сигнала пропорционален расстоянию до уровня контролируемой среды. Аналогичным образом измеряется расстояние между датчиком и границей раздела двух жидких сред с различными коэффициентами диэлектрической проницаемости. Интенсивность отраженного сигнала зависит от диэлектрической проницаемости среды. Чем выше диэлектрическая проницаемость, тем выше интенсивность отраженного сигнала. Волноводная технология имеют ряд пре-

имущества по сравнению с другими методами измерения уровня, поскольку радиоимпульсы практически невосприимчивы к составу среды, атмосфере резервуара, температуре и давлению.

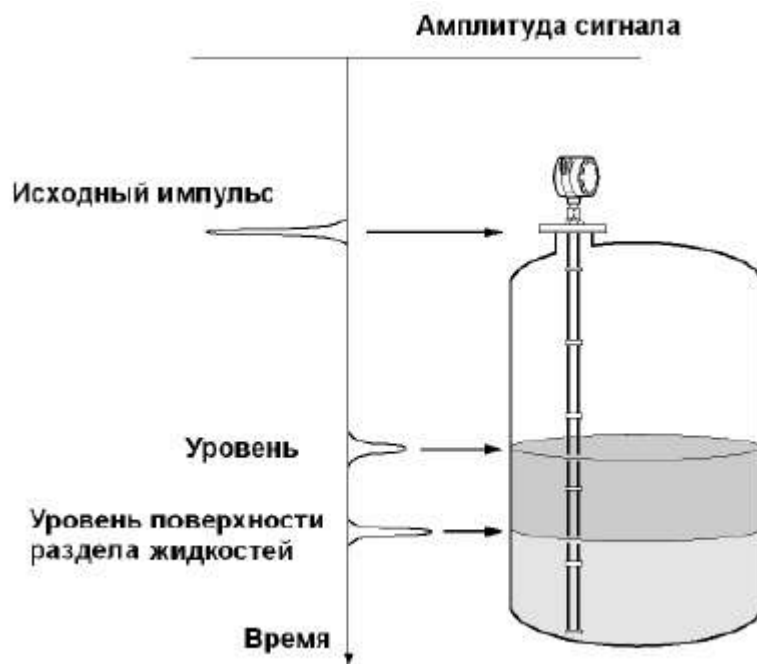


Рис. 19 Схема измерения уровня волноводным уровнемером

Поскольку радиоимпульсы направляются по зонду, а не свободно распространяются в пространстве резервуара, то волноводная технология может с успехом применяться для малых и узких резервуаров, а также для резервуаров с узкими горловинами. В случае необходимости съемная голова датчика позволяет заменять модуль электроники, не нарушая герметичности резервуара, что может быть важно при измерении уровня сжиженных газов и аммиака.

Волноводный уровнемер (рис 20) включает следующие основные элементы: корпус, электронный модуль, фланцевое или резьбовое соединение с резервуаром и зонд. Корпус уровнемера, состоящий из двух независимых отсеков (отсек электроники и клеммный отсек для подключения кабелей), может быть снят с зонда, при этом открывать резервуар не требуется. Кроме того, корпус такой конструкции повышает надежность и безопасность уровнемера при эксплуатации в опасных производствах. Электронный модуль излучает электромагнитные импульсы, которые распространяются по зонду, выполняет обработку отраженного (принятого) сигнала и выдает информацию в виде аналогового или цифрового сигнала на встроенный жидкокристаллический индикатор или в систему измерения.

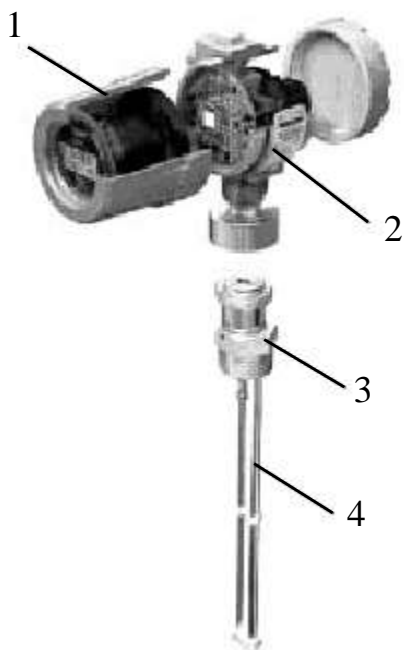


Рис. 20. Волноводный уровнемер:

- 1 – корпус;
- 2 – электронный модуль;
- 3 – крепление к резервуару;
- 4 – зонд

В зависимости от условий технологического процесса используется один из пяти типов зондов: коаксиальный, жесткий двухстержневой, жесткий одностержневой, гибкий двухпроводный и гибкий однопроводный. Выбор зонда обуславливается свойствами среды (плотность, вязкость, агрессивность), уровень которой необходимо измерить.

Коаксиальный зонд (рис.21, а) – оптимальное решение для измерения уровня внешней поверхности и уровня раздела двух жидкостей, например, растворителей, спиртов, водных растворов, сжиженных газов и жидкого аммиака.

Коаксиальный зонд обеспечивает самое высокое отношение сигнал/шум. Рекомендуется для измерения уровня жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью, а также для измерений в условиях турбулентности, в присутствии пены или потоков жидкости или пара вблизи зонда (оболочка коаксиального зонда работает как успокоительный колодец).

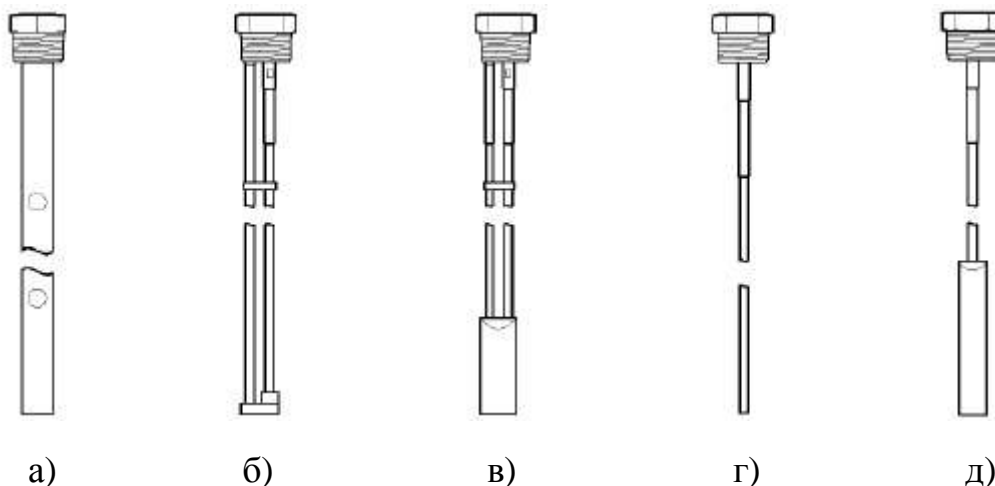


Рис. 21. Типы зондов волноводных уровнемеров:
 а) коаксиальный; б) жесткий двухстержневой;
 в) гибкий двухпроводный; г) жесткий одностержневой;
 д) гибкий однопроводный

Он может использоваться в условиях электромагнитных помех, допускается контакт зонда с металлическими конструкциями. Не рекомендуется для сред, склонных к кристаллизации или налипанию, а также для порошков. Максимальный диапазон измерений при использовании коаксиального зонда составляет 6 м.

Двухстержневой жесткий (рис. 21 б) или двухпроводной гибкий (рис. 21, в) зонды рекомендуются при измерении уровня жидкостей (нефтепродукты, растворители, водные растворы и т.п.). Возможно применение для измерения уровня и раздела жидких сред. Могут применяться с более вязкими жидкостями, чем рекомендовано для коаксиального зонда, однако не следует применять этот зонд для липких продуктов, когда существует вероятность налипания и образования перемычек между двумя стержнями или проводами зонда. Двухстержневой зонд с жесткими стержнями подходит для измерений в диапазоне до 3 м. Для гибкого двухпроводного зонда диапазон измерений до 23,5 м.

Одностержневой жесткий (рис., 21 г) или однопроводной гибкий

(рис. 21, д) зонды менее восприимчивы к налипанию среды и образованию наростов. Они могут применяться для вязких жидкостей, взвесей, водных растворов и алкогольных напитков, а также использоваться для санитарных целей в пищевой и фармацевтической промышленности. Можно использовать для измерения уровня твердых частиц, гранул и порошков, например, зерна, песка, сажи и т.п. Применяются для измерения уровня вязких жидкостей, например, сиропа, меда и т.п., а также водных растворов. Одностержневой зонд рекомендуется для измерений в диапазоне до 3 м, а однопроводный гибкий - до 23,5 м.

1.4. Сигнализаторы уровня

Концевые выключатели предельного уровня (сигнализаторы уровня) формируют выходной сигнал в тех случаях, когда уровень контролируемого материала достигает, поднимается выше или опускается ниже определенного уровня, заданного относительно высоты установки датчика. Примерами могут служить: защита от переполнения, защита оборудования от режима «сухого хода», проверка минимального и максимального уровней заполнения резервуаров. Для определения предельного уровня существуют следующие средства контроля: поплавковые выключатели, концевые выключатели с вибрирующим чувствительным элементом, кондуктометрические выключатели, ёмкостные зонды, погружные магнитные зонды.

В табл.1. представлены основные типы средств определения предельного уровня и области их применения.

Таблица 1

Средства контроля уровня	Определение предельного уровня	
	Жидкости	Сыпучие материалы
Поплаковые выключатели	Да	Нет
Вибрационные концевые выключатели	Да	Да
Кондуктометрические выключатели	Да	Нет
Емкостные выключатели	Да	Да
Магнитные погружные зонды	Да	Нет

1.4.1. Поплавковые сигнализаторы уровня

Поплавковые сигнализаторы 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.22 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 $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Рис.22 Принцип действия поплавкового сигнализатора

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

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

1. Шаровой микровыключатель с определением положения на основе индуктивного метода;

2. Шаровой концевой микровыключатель;

3. Микровыключатель, использующий жидкий металлический сплав Galinstan.

В качестве поплавков применяют преимущественно полые шаровидные или сферо-цилиндрические тела, выполненные из полипропилена, устойчивого к воздействию неконцентрированных кислот и щелочей, большинства растворителей, спирта, бензина, воды, консистентных смазок и масел.

На рис.23 представлено регулируемое комбинированное устройство из поплавковых выключателей, позволяющее изменять уровни срабатывания выключателей, если этого потребуют новые эксплуатационные условия. В этом сигнализаторе поплавки настраиваются по концу несущей штанги. Подстройка по уровням срабатывания производится пользователем на месте применения посредством перемещения установочных фиксирующих колец.

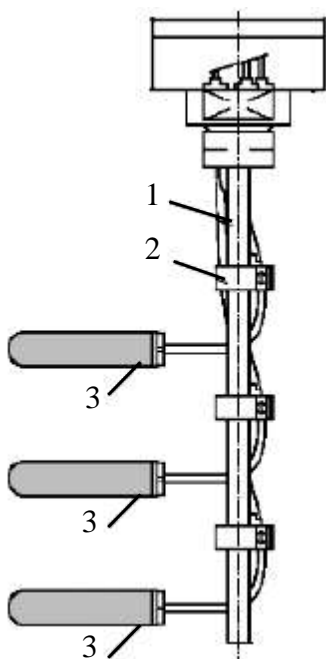


Рис.23 Регулируемое комбинированное устройство с поплавковыми выключателями:

1 – несущая штанга;

2 – фиксирующее кольцо;

3 – поплавковый выключатель

на месте применения посредством перемещения установочных фиксирующих колец.

Основные достоинства метода:

- простота;
- прочность;
- невысокая стоимость.

Недостатки:

- непригодны для вязких жидкостей;
- проблемы с плещущимися жидкостями;
- плавучесть зависит от размеров поплавка;
- точка срабатывания зависит от колебаний плотности среды.

1.4.2. Вибрационные сигнализаторы уровня



Рис.24. Внешний вид вибрационного сигнализатора

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.

Внешний вид вибрационного датчика представлен на рис.24. Благодаря высоким механическим качествам вибрирующей системы вполне достаточно 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 флуктуаций физических свойств контролируемого вещества.

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

Основные достоинства метода:

- 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);
- 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.

1.4.3. 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. Внешний вид кондуктометрического концевого выключателя представлен на рис.25



Рис.25 Внешний вид кондуктометрического концевого выключателя

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; напри-

мер, достаточно просто выявляется граница между водой и непроводящими жидкостями в разделителях (сепараторах) масла или бензина.

Основные достоинства метода:

- 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.

1.4.4. Ёмкостные сигнализаторы уровня

Название метода предполагает, что в его основе лежит определение изменений электрической ёмкости в зависимости от уровня наполнения резервуара. Конденсатор образован стенкой резервуара и щупом, погруженным в его содержимое. Измерение ёмкости осуществляют, как правило, при помощи резонансных схем или мостов переменного тока с самоуравновешиванием.



Рис. 26 Внешний вид емкостного сигнализатора

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 выполнен из проволочного тросика, металлического стержня или трубки.

Внешний вид емкостного конечного выключателя представлен на рис.26

Основные достоинства метода:

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

1.4.5. Магнитные сигнализаторы уровня

Магнитные погружные зонды предельного уровня 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. Внешний вид магнитного погружного зонда представлен на рис.27



Рис.27. Внешний вид магнитного погружного зонда

Основные достоинства метода:

- простой принцип действия;
- несложный монтаж;
- несложное техническое обслуживание.

Недостатки:

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

Контрольные вопросы

1. На какие основные группы делятся приборы для измерения уровня?
2. Как классифицируются приборы для измерения уровня по принципу действия?
3. На каком принципе основана работа визуальных уровнемеров?
4. Повлияет ли избыточное давление в емкости на показания буйкового уровнемера?
5. Повлияет ли избыточное давление в емкости на показания емкостного уровнемера?
6. На чем основано измерение уровня радиоизотопным уровнемером?
7. Какие свойства измеряемой жидкости оказывают влияние на результат измерения поплавкового уровнемера? Буйкового уровнемера? Радиоизотопного уровнемера?
8. Чем ограничен диапазон измерения буйкового уровнемера?
9. Какие приборы могут быть использованы для измерения уровня гидростатическим способом и почему?
10. Каково назначение уравнительного сосуда при гидростатическом способе измерения уровня?
11. На чем основано действие пьезометрического уровнемера?
12. В каких случаях приходится применять бесконтактные уровнемеры?
13. В чем преимущество радиоизотопных уровнемеров? Недостатки?
14. Какие свойства контролируемой среды используются в электрических уровнемерах?
15. В каких случаях нельзя применять радиоизотопные уровнемеры?
16. Влияют ли на результат измерения уровня ультразвуковым методом химические и физические свойства среды?
17. Из каких элементов состоит радарный уровнемер?
18. Поясните принцип действия волноводного уровнемера.
19. В чем состоит основное отличие радарного уровнемера от волноводного?
20. Какие вы знаете сигнализаторы уровня?
21. На чем основан принцип поплавкового сигнализатора? Вибрационного? Кондуктометрического? Емкостного?

Список литературы

1. Баранов И. Н. Создание полупроводниковых датчиков давлений на основе структуры "кремний на диэлектрике" // Автоматизация и управление в технических системах, 2005. - Вып. 24.
2. Бармин А.В. Радарные системы контроля уровня. //Современные технологии автоматизации. №4, 2002.
3. Белевцев А. и др. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие. //Современные технологии автоматизации. №2, 2004.
4. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. - М., Энергоатомиздат, 1992.
5. Государственный стандарт РФ ГОСТ 8.585-2001. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. – Москва: Госстандарт России, 2001.
6. Гуртовцев А. Измерение давления в автоматизированных системах. //Современные технологии автоматизации. №4, 2001.
7. Жданкин В.К. Сигнализаторы изменения уровня. //Современные технологии автоматизации. №2, 2002.
8. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник.- 4-е изд., стер.- М.: Альянс, (гриф МО), 2008.
9. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования – М.: Стандартинформ, 2007.
10. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.2-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.
11. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.3-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.
12. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.4-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.

13. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для вузов – М.: Издательский центр «Академия», 2003.
14. Тематический каталог ПГ «Метран», 2007.
15. Тематический каталог фирмы «Krohne», 2006.
16. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров: Учебное пособие для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств»/ Н.В. Чистофорова, А.Г.Колмогоров. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200 с.
17. Яковлев В. Структура измерительной системы на базе пассивных датчиков. // Современные технологии автоматизации. №1, 2002.

