А.В. Вильнина, А.Д. Вильнин, Е.В. Ефремов

Современные методы и средства измерения уровней в химической промышленности

А.В. Вильнина, А.Д. Вильнин, Е.В. Ефремов

Современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности

●

Учебное пособие

Томск
Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 56.028.2(075.8)
ББК 35.11я73
В46

Вильнина А.В.

В46 Современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности: учебное пособие / А.В. Вильнина, А.Д. Вильнин, Е.В. Ефремов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 84 с.

В пособии изложены основные теоретические положения методов измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов, особенности их эксплуатации и монтажа в зависимости от условий и характеристик измеряемой среды. Дано описание современных датчиков контроля уровня как непрерывного, так и дискретного принципа действия. Описан подход определения необходимой информации для выбора технологии измерения на основе анализа технологического процесса.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 240601 «Химическая технология материалов современной энергетики».

УДК 56.028.2(075.8)
ББК 35.11я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор ТУСУРа
Н.В. Замятин

Доктор технических наук, профессор ТПУ
А.Н. Дьяченко

Главный инженер ООО «Томскнефтепроект»
Р.Н. Жукова

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011
© Вильнина А.В., Вильнин А.Д., Ефремов Е.В., 2011
© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2011

Оглавление

Введение 4
1 Методы измерения уровня 6
2 Механические уровнемеры 8
2.1 Поплавковые 8
2.2 Буйковые 14
3 Гидростатические уровнемеры 18
3.1 Принцип действия 20
4 Электрические уровнемеры 22
4.1 Емкостные 22
4.2 Кондуктометрические 25
4.3 Вибрационные 29
5 Акустические (ультразвуковые) уровнемеры 35
5.1 Принцип действия 37
6 Микроволновые радарные уровнемеры 41
6.1 Типы микроволновых уровнемеров и их принцип действия ... 43
7 Рефлексные (волноводные) уровнемеры 52
7.1 Принцип действия 53
8 Радиоизотопные уровнемеры 62
8.1 Принцип действия 64
9 Основные типы сигнализаторов уровня 66
10 Выбор технологии измерения уровня 68
11 Список литературы 72
Приложение А 74
Приложение В 77

Введение

Непрерывные технологические процессы в различных отраслях промышленности часто требуют постоянного автоматического контроля количества накопленного материала, сырья, жидкости и газа.

Уровнемер – это прибор, предназначенный для определения уровня содержимого в открытых и закрытых резервуарах и хранилищах. Под содержимым подразумеваются разнообразные виды жидкостей, в том числе газообразующие, сыпучие и другие материалы. С помощью таких приборов осуществляется автоматический контроль и регулирование уровней жидкостных и сыпучих материалов, а также звуковая и световая сигнализация повышения или понижения уровня контролируемой среды. Уровнемеры могут применяться как самостоятельные устройства, так и в составе системы автоматического управления и/или контроля [1, 2].

Уровнемеры иногда называют датчиками/сигнализаторами уровня, преобразователями уровня. Тем не менее, главное отличие уровнемера от сигнализатора уровня – возможность измерять градации уровня, а не только его граничные значения. В промышленном производстве в настоящее время существует ряд разнообразных технических средств, позволяющих решить задачу измерения и контроля уровня.

По режиму работы различают преобразователи для непрерывного измерения уровня и для контроля в отдельных точках (реле уровня, переключатели уровня, сигнализаторы уровня).

Средства измерения уровня воплощают разнообразные методы, основанные на различных физических принципах. К наиболее распространенным методам измерения уровня, которые позволяют преобразовывать значение уровня в электрическую величину и передавать её значение в системы автоматических систем управления относятся: контактные и бесконтактные методы.

Контактный метод измерений применяется в любых средах и реализуется обычно в емкостных, гидростатических, буйковых и поплавковых уровнемерах. Эти приборы легко установить в резервуаре любой формы и размера либо в непосредственной близости от него, они отличаются низкой стоимостью, механической прочностью, простотой монтажа и надежностью измерений.

Бесконтактные методы позволяют измерять уровень без непосредственного контакта с измеряемой средой и заключаются в зондировании звуком (ультразвуковые), зондировании электромагнитным излучением (радарные, рефлексные) и зондировании радиационным излуче-

нием [3]. Такие датчики стоит использовать в агрессивных, вязких, кристаллизирующихся, пенящихся средах, где есть риск засорения или коррозии элементов прибора. Наиболее популярный тип такого датчика – радарный, его точность и эксплуатационные характеристики оптимальны. Для зондирования рабочей зоны и определения расстояния до объекта контроля используется электромагнитное излучение СВЧ-диапазона. Радарным датчикам неважны характеристики жидкости – например, плотность, проводимость, прозрачность.

С развитием измерительной техники каждый из методов приобретает характерный набор своих технических реализаций, которые в каждом конкретном случае имеют и преимущества, и недостатки. В последнее время находят широкое применение системы, позволяющие на базе уровнемеров (в комплекте с датчиками давления и температуры) косвенно измерять объем и массу продукта. Также пользуются повышенным спросом датчики для контроля предельных уровней заполнения резервуаров и многофункциональные уровнемеры. Применение точных и надежных приборов позволяет снизить производственные издержки, обеспечить нужное качество управления рабочими процессами на предприятии [4].

На сегодняшний день наиболее известны следующие производители уровнемеров:

1 KROHNE, Германия
2 VEGA, Германия
3 ЗАО «Альбатрос», Россия
4 Emerson Process Management, США
5 Siemens, Германия
6 Yokogava, Япония
7 Endress+Hauser, Германия
8 ПНП «Сигнур», Россия
9 ЗАО «ЛИМАКО», Россия
10ООО «Контакт-1», Россия

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, пенообразование и прочие другие. Также стоит учитывать надежность, качество и стоимость приборов [5].

1 Методы измерения уровня

Многообразие методов измерения уровня, объясняется многообразием задач по определению уровня: различные продукты, условия, точность, надежность, стоимость.

Уровнемеры разделяют по продукту (веществу), уровень которого измеряется:

1 датчики уровня для жидкостей (вода, растворы, суспезии, нефтепродукты, масла и т. п.)

К основным сложностям работы приборов с жидкими продуктами относятся [6]:

- широкий температурный диапазон и давления в резервуаре;
- широкий разброс свойств и, как следствие, необходимость в «индивидуальном подходе» к жидкости;
- часто работа ведется с агрессивными и ядовитыми средами;
- возможна коррозия частей контактирующих с продуктом;
- возможно налипание продукта на контактные ЧЭ;
- широкий разброс плотности продукта (даже в одном и том же тех процессе);
- часто требуется взрывозащищенное исполнение (особенно для нефтепродуктов);
- часто присутствуют бурлящие и пенящиеся поверхности;
- часто необходима высокая точность;
- возможность проникновения паров продукта прибор с последующей конденсацией;
- необходимость соблюдать санитарные нормы для питьевой воды и пищевых продуктов;
- иногда требуется определять уровни для нескольких продуктов, или уровень раздела двух жидкостей.

2 датчики уровня для сыпучих веществ (порошки, гранулы и т. п.)

Основные особенности измерения уровня сыпучих веществ:

- большие размеры бункеров, силосов
- более низкая точность (по сравнению с жидкостями)
- сложная форма поверхности (горка, воронка, слипшимися комками)
- большая нагрузка на контактные датчики
- возможность попадания пылевых частиц на/в прибор

По принципу действия уровнемеры для жидкостей и сыпучих веществ разделяются на:

- механические (поплавковые, буйковые) – для измерения уровня используется поплавок, находящийся на поверхности жидкости или массивное тело (буёк), частично погружаемое в жидкость;
- гидростатические – основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- электрические – величины электрических параметров зависят от уровня жидкости;
- акустические (ультразвуковые) – основаны на принципе отражения от поверхности звуковых волн;
- микроволновые (радарные, волноводные) – основанные на принципе отражения поверхности сигнала высокой частоты (СВЧ);
- радиоизотопные, основанные на использовании интенсивности потока ядерных излучений, зависящих от уровня жидкости

Универсального уровнемера в настоящее время не существует. Каждый прибор имеет множество модификаций и опций, которые позволяют подобрать наиболее оптимальный для заказчика уровнемер.

2 Механические уровнемеры

Механические уровнемеры бывают

1) поплавковые, с чувствительным элементом (поплавком), плавающим на поверхности жидкости;
2) буйковые, действие которых основано на измерении выталкивающей силы, действующей на буёк.

Перемещение поплавка или буйка через механические связи или систему дистанционной (электрической или пневматической) передачи сообщается измерительной системе прибора.

2.1 Поплавковые

Поплавковые датчики уровня являются самым простым и недорогим решением для детектирования предельного уровня жидкостей. Вместе с тем, они являются надежным решением и, при правильном выборе, могут использоваться для сигнализации уровня разных жидких сред от агрессивных жидкостей, до обычной воды (рис. 1, 2).

Рис. 1. Емкости с поплавковыми сигнализаторами уровня из полипропилена NivoFLOAT для питьевой воды и магнитным NivoMAG, производитель Nivelco, Венгрия [6]

Для правильного выбора поплавкового сигнализатора уровня следует учитывать особенности измеряемой жидкости и параметры окружающей среды, ведь температурный режим, пена, завихрения (от рабо-

тающего миксера) и т.д. могут стать проблемой для одних поплавковых датчиков и не оказывать влияние на другой тип поплавковых датчиков уровня.

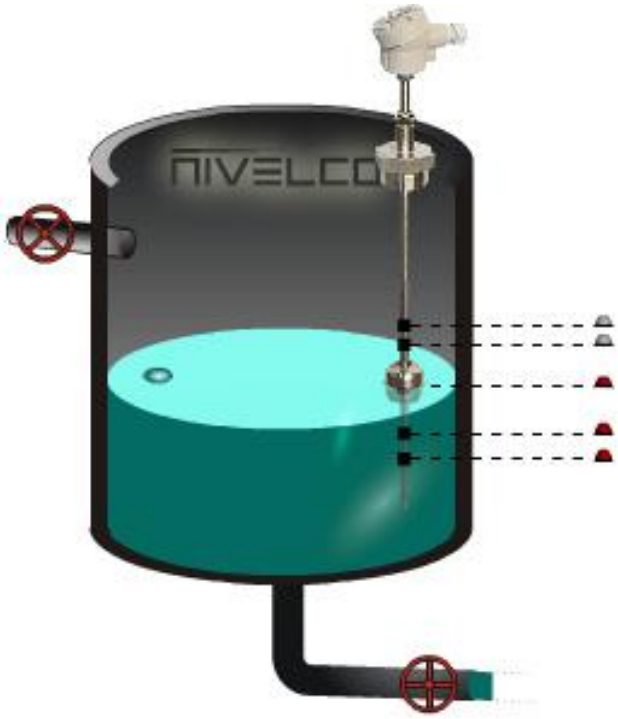


Рис. 2. Емкость с поплавковым магнитным уровнемером NivoPOINT, производитель Nivelco, Венгрия

Уровнемер поплавковый предназначен для выдачи электрического дискретного сигнала об уровне жидкости и уровне раздела двух несмешивающихся жидкостей в аппаратах и резервуарах технологических установок. В поплавковых уровнемерах имеется плавающий на поверхности жидкости поплавок, в результате чего измеряемый уровень преобразуется в перемещение поплавка. В таких приборах используется легкий поплавок, изготовленный из коррозионно-стойкого материала [10].

Для передачи информации от чувствительного элемента (поплавка) используются различные виды связи. Как правило, поплавок снабжен магнитом и заключен в измерительную трубу либо скользит по направляющему стержню. Изменение сопротивления преобразуется в электрический выходной сигнал, что дает помимо визуального контроля возможность дистанционной передачи показаний и включения в систему автоматизации.

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.

Преимущества использования поплавковых уровнемеров:

- Простота.
- Прочность.
- Невысокая стоимость.
- Показания уровня почти не зависят от изменений плотности жидкости.
- Высокая точность 0,01 % и повторяемость 0,005 %.
- Не требуется периодическая калибровка.
- Только один подвижный элемент – поплавок.
- Отсутствует дрейф нуля и диапазона.

Недостатки:

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

2.1.1 Принцип действия

Среди поплавковых уровнемеров различают:

– сигнализаторы из полипропилена,
– магнитные сигнализаторы уровня,
– магнитострикционные уровнемеры
– герконовые уровнемеры.

<u>Поплавковые сигнализаторы из полипропилена.</u>

Поплавковые сигнализаторы уровня из полипропилена состоят из корпуса поплавка со встроенным микровыключателем и присоединительного кабеля (рис. 3). Процесс переключения запускается качанием датчика, когда он отклоняется от горизонтального положения в любом направлении. Угол срабатывания составляет от ±3 до ±18° 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. В качестве коммутационных устройств часто применяются жидкометаллические микровыключатели, в которых в настоящее время вместо ртути используется галинстан [9].

Присоединительные кабели изготавливаются из поливинилхлорида для применений в водной среде, включая сточную воду, и в слабоагрессивных жидкостях; из полиуретана, устойчивого к горючесмазочным материалам, нагретым маслам и жидкостям, содержащим масла; из хлоросульфированного полиэтилена, устойчивого к воздействию кислот, щелочей и многих растворителей. Длина кабеля составляет 3, 5 или 10 метров.

Рис. 3. Поплавковый сигнализатор уровня из полипропилена шаровидной формы, производитель Nivelco, Венгрия

Магнитный сигнализатор уровня.

Магнитный сигнализатор уровня состоит из плавучего тела (поплавка), который закреплен на подвижном рычаге и имеет магнитную связь с установленным снаружи микровылючателем (рис. 4).

Рис. 4. Поплавковый сигнализатор уровня магнитный, производитель Nivelco, Венгрия

Магнитострикционные уровнемеры.

Магнитострикционные уровнемеры изготавливаются с одним или несколькими поплавками (рис. 5, 6). Вариант с двумя поплавками применяется для измерения уровней раздела фаз двух жидкостей с разными

плотностями. Направляющая труба может быть жесткой или гибкой. Вариант с гибкой измерительной направляющей предпочтительнее для больших резервуаров, так как это значительно упрощает транспортировку и монтаж прибора [11].

Рис. 5. Магнитные поплавковые многоточечные герконовые уровнемеры Fine Automation, производитель FineTek (Тайвань)

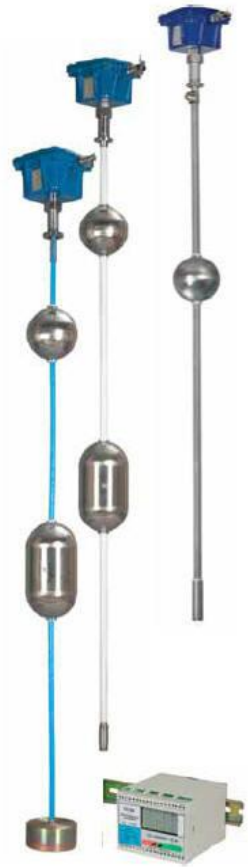


Рис. 6. Датчик уровня поплавковый магнитострикционный, производитель ЗАО «Альбатрос» (Россия)

У магнитострикционных уровнемеров направляющий поплавок стержень содержит волновод, заключенный в катушку, по которой через фиксированные промежутки времени подаются импульсы тока.

Под действием магнитных полей тока и двигающегося магнита в волноводе возникают импульсы продольной деформации (торсионные), распространяющиеся от места возникновения в оба конца волновода (рис. 7). В одном из концов они полностью гасятся, а на другом конце волновода принимаются преобразователем торсионного импульса. Прибор анализирует время распространения импульсов и преобразует его в выходные сигналы.

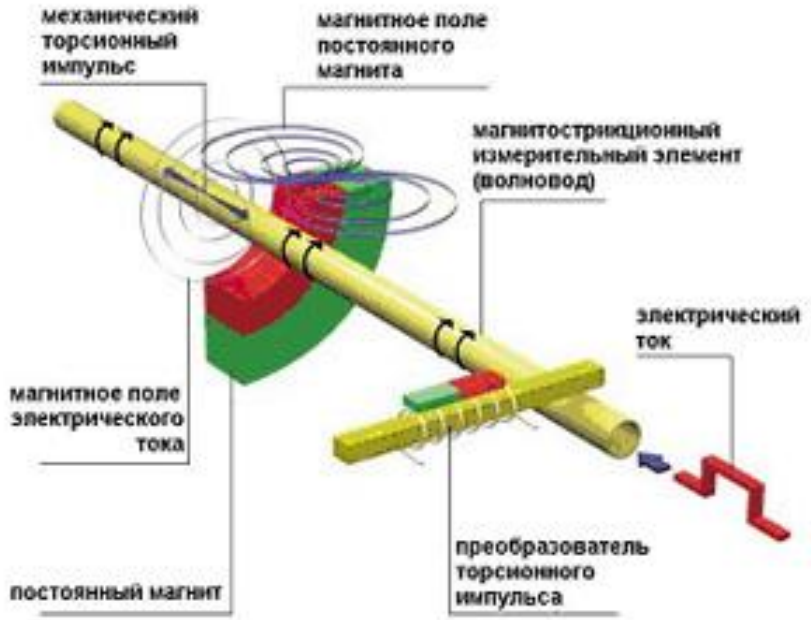


Рис. 7. Принцип действия магнитострикционных уровнемеров [7]

<u>Герконовые уровнемеры.</u>

Герконовые уровнемеры, содержат в теле направляющего стержня цепочку герконов, замыкаемых движущимся магнитом (Рис. 8) [8].

На аналогичном принципе основаны относительные уровнемеры, в конструкции которых использовано несколько герконовых групп. Поочередное срабатывание при достижении уровня каждого поплавка позволяет определять относительную степень заполненности резервуара. При срабатывании нижнего контакта определяется минимально допустимый уровень жидкости в резервуаре, при срабатывании верхнего – максимальный уровень. Например, магнитные уровнемеры Fine Automation имеют два или более герконовых контактов, расположенных внутри измерительной трубки (рис. 8).

Важной характерной особенностью поплавковых уровнемеров, является высокая точность измерений (± 1…5 мм).

Достаточно широка область применения этого метода. Температура рабочей среды – –40…120 °С, избыточное давление – до 2 МПа, для преобразователей с гибким ЧЭ – до 0,16 МПа. Плотность среды – 0,5..1,5 г/см^3. Диапазон измерений – до 25 м. Поплавковый метод может с успехом применяться в случае пенящихся жидкостей. Типичным применением поплавковых уровнемеров является измерение уровня топлива, масел, легких нефтепродуктов в относительно небольших емкостях и цистернах в процессе коммерческого учета.

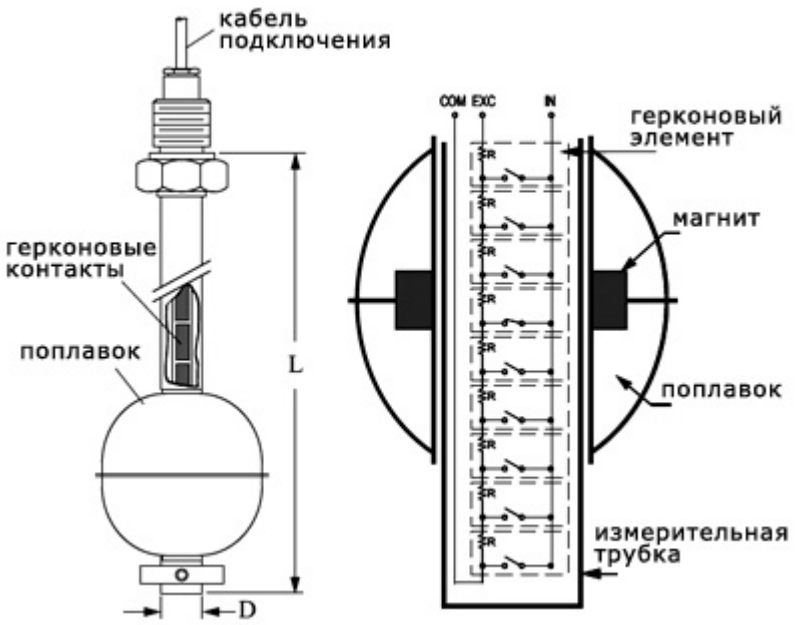


Рис. 8. Принцип действия герконовых уровнемеров

Метод явно неприменим только в вязких средах, образующих налипание, отложение осадка на поплавок, а также коррозию поплавка и конструкции чувствительного элемента (ЧЭ).

2.2 Буйковые

Уровнемеры буйковые предназначены для работы в системах автоматического контроля, управления и регулирования параметров производственных технологических процессов с целью выдачи информации в виде стандартного пневматического сигнала об уровне жидкости или границы раздела двух несмешивающихся жидкостей, находящихся под вакуумметрическим, атмосферным или избыточным давлением (рис. 9). В буйковых уровнемерах применяется неподвижный погруженный в жидкость буек. Масса буйка выбирается так, чтобы он не всплывал при полном его погружении в жидкость

Буйковые уровнемеры часто применяются для измерения уровня раздела фаз двух жидкостей, незаменимы при работе с высокими давлениями и температурами продукта. Возможно, также, их использование для определения плотности рабочей среды при неизменном уровне.

2.2.1 Принцип действия

Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на погруженный буек действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной

буйком. Количество вытесненной жидкости зависит от глубины погружения буйка, то есть от уровня в емкости [12]. Таким образом, в буйковых уровнемерах измеряемый уровень преобразуется в пропорциональную ему выталкивающую силу. Действие этой силы воспринимает тензопреобразователь (уровнемеры типа Сапфир-ДУ), либо индуктивный преобразователь (УБ-ЭМ, EZ Modulevel), либо заслонка, перекрывающая сопло (пневматические уровнемеры типа ПИУП). Зависимость выталкивающей силы от измеряемого уровня линейная.

Рис. 9. Механический уровнемер буйкового типа BW 25 (индикатор уровня), KROHNE

Уровнемеры типа Сапфир-ДУ. При изменении измеряемого уровня происходит изменение гидростатической выталкивающей силы, воздействующей на чувствительный элемент – буек. Это изменение через рычаг передается на тензопреобразователь, размещенный в измерительном блоке, где линейно преобразуется в изменение электрического сопротивления тензорезисторов. Электронный преобразователь преобразует это изменение сопротивления в токовый выходной сигнал. Гидравлический демпфер, внутренняя полость которого заполнена вязкой жидкостью, сглаживает колебания.

Уровнемеры типа EZ Modulevel.

Изменение уровня жидкости, в которую погружен буек, находящийся под действием корректирующей пружины, вызывает вертикальное перемещение сердечника внутри линейно-регулируемого дифференциального трансформатора (ЛРДТ) (рис. 10) [14].

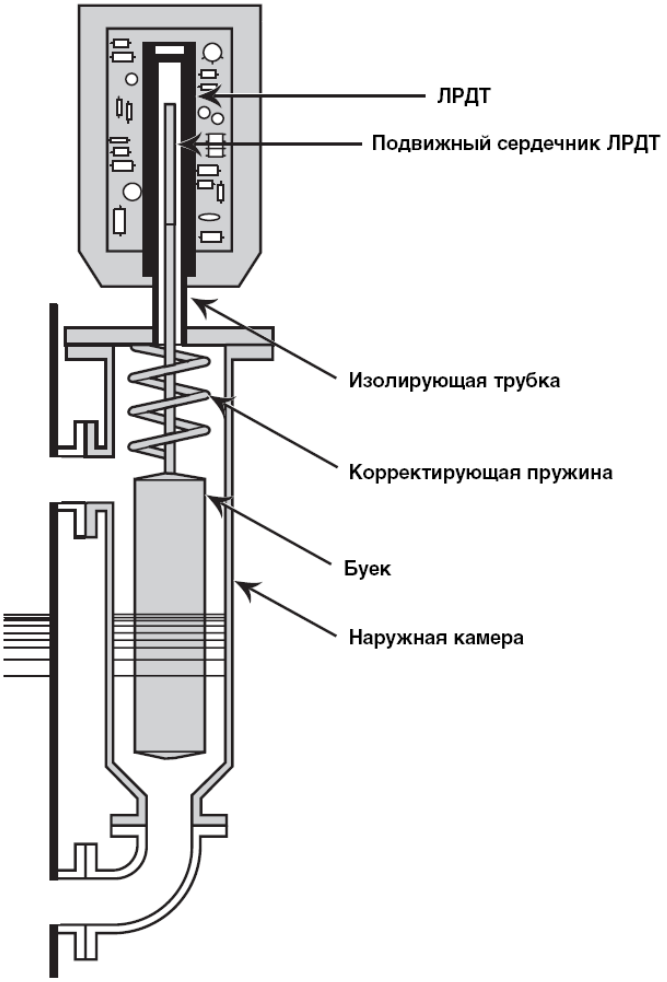


Рис. 10. Принцип действия буйкового уровнемера EZ Modulevel с индуктивным преобразователем, производства Magnetrol

Изолирующая трубка служит в качестве неподвижной преграды, отделяющей ЛРДТ от контролируемой среды. При изменении положения сердечника вместе с уровнем жидкости, во вторичной обмотке ЛРДТ наводится ЭДС. Эти сигналы обрабатываются электроникой и используются для управления током 4…20 мА в выходной токовой петле.

Уровнемеры типа ПИУП. Принцип действия преобразователей основан на пневматической силовой компенсации. При изменении измеряемого уровня жидкости на чувствительном элементе (буйке) возника-

ет усилие, которое через систему рычагов и тяг перемещает заслонку пневмопреобразователя.

Буйковые уровнемеры предназначены для измерения уровня в диапазоне до 10 м. при температурах –50…+120 °С (в диапазоне +60…120 °С при наличии теплоотводящего патрубка, при температурах 120...400 °С приборы работают как индикаторы уровня) и давлении до 20 МПа, обеспечивая точность 0,25…1,5 %. Плотность контролируемой жидкости: 0,4…2 г/см^3.

В зависимости от характеристик измеряемой среды механические уровнемеры устанавливаются непосредственно на емкости или в выносной камере, с использованием теплоотводящего патрубка или без него. В том случае, когда имеется значительная пульсация уровня жидкости или по условиям эксплуатации аппарата датчик уровня не может быть установлен непосредственно в нем, применяют выносные камеры (рис. 11).

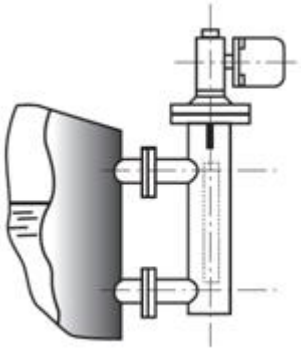


Рис. 11. Установка преобразователя на выносной камере

3 Гидростатические уровнемеры

Гидростатический метод измерения уровня основан на измерении гидростатического давления столба жидкости по формуле $P = \rho g h$, где P – давление, ρ – плотность, g – ускорение свободного падения, h – высота столба жидкости, не зависящее от формы и объема резервуара.

Гидростатические датчики давления (уровня) применяются для измерения уровня любых жидкостей, начиная от воды и заканчивая пастами, в резервуарах, скважинах, колодцах. Гидростатические уровнемеры дешевы и просты по конструкции, но имеют ограниченное применение из-за условий применения (монтаж на днище резервуара, требуется постоянная плотность измеряемого объекта, только для спокойных объектов/процессов). Постоянный контакт с измеряемым объектом так же накладывает свои ограничения.

Конструктивно гидростатические датчики бывают двух типов: колокольные (погружные) и мембранные (врезные) (рис. 12, 13).

Рис. 12. Гидростатические уровнемеры Deltapilot S DB, производства Endress+Hauser

Рис. 13. Датчик гидростатического давления (уровня) с выносной разделительной мембраной Rosemount 3051, производства Emerson Process Management

Гидростатические уровнемеры погружного типа, у которых непосредственно измерительная ячейка давления опускается сверху на шты-

ре или специальном кабеле, применяются в каналах, заглубленных резервуарах, скважинах, колодцах и т. п.

Датчики врезного типа предназначены для монтажа в нижней части емкости. Такой способ монтажа возможен только для емкостей расположенных на поверхности, то есть когда есть доступ к нижней части резервуара. Выносные разделительные мембраны (рис. 14) предназначены для измерения расхода давления и уровня в сложных условиях, таких как критические температуры и агрессивные среды.

Рис. 14. Выносные разделительные мембраны Rosemount 1199

Выносные разделительные мембраны следует использовать в следующих случаях [13]:

- Температура технологического процесса выходит за рамки стандартного рабочего диапазона датчика давления и не может быть скомпенсирована с помощью импульсных линий;
- Рабочая среда является агрессивной и может потребоваться частая замена датчика или использование специальных материалов мембраны;
- Рабочая среда содержит взвешенные частицы или обладает повышенной вязкостью в результате чего может произойти закупорка импульсной линии;
- Имеется необходимость в удобной очистке соединений от рабочей среды во избежание накапливания отложений;
- Рабочая среда может замерзать или затвердевать внутри датчика или импульсной линии;
- В случае необходимости измерения плотности или уровня раздела сред.

Гидростатические уровнемеры позволяют производить измерения в диапазоне до 250 КПа, что соответствует (для воды) 25-и метрам, с точ-

ностью до 0,1 % при избыточном давлении до 10 МПа и температуре рабочей среды –40...+120 °С.

Достоинства:

- 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 следствие закона Бернулли);
- атмосферное давление должно быть скомпенсировано;
- зависимость показаний от плотности жидкости, поэтому изменение плотности может быть причиной ошибки измерения.

3.1 Принцип действия

Принцип действия основан на преобразовании деформации упругого чувствительного элемента под воздействием гидростатического давления (столба жидкости над чувствительным элементом) в аналоговый токовый сигнал

В случае врезного исполнения тензорезистивный или емкостной датчик непосредственно соединен с мембраной, и весь прибор находится внизу емкости, как правило, сбоку на фланце, при этом расположение мембраны соответствует минимальному уровню (рис. 15).

В случае колокольного датчика упругий чувствительный элемент погружен в рабочую среду и передает давление жидкости на тензорезистивный сенсор, через столб воздуха, запаянный в подводящей трубке (рис. 15). В качестве чувствительного элемента используется тензорезисторы, соединенные с мембраной тензопреобразователя.

Гидростатические уровнемеры – датчики избыточного давления, поэтому необходима связь сенсора с атмосферой. У датчиков избыточного давления измеряемая среда и атмосферное давление в баке действуют с одной стороны чувствительного элемента, и только атмосферное давление – с другой. Для открытых ёмкостей атмосферное давление в баке компенсируется атмосферным давлением вне его, и датчик измеряет только давление среды.

Для полностью закрытых емкостей, где создаётся избыточное давление между крышкой емкости и жидкостью, наиболее оптимальным будет применение гидростатических датчиков дифференциального давления. В этом случае, с помощью специального капилляра необходимо связывать датчик дифференциального давления с областью избыточного давления емкости.

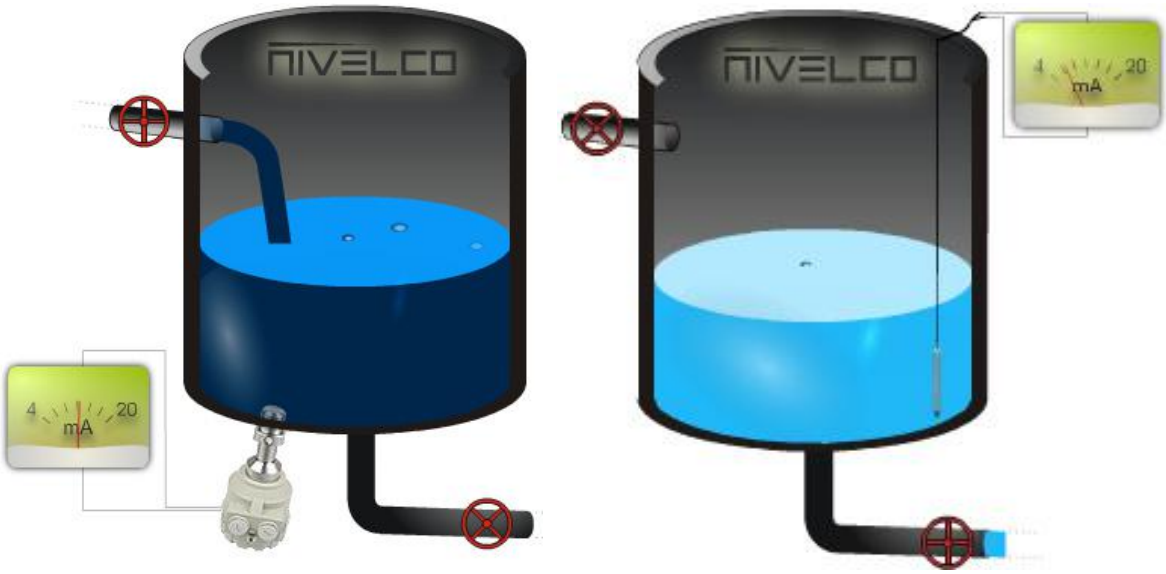


Рис. 15. Резервуары с врезным и погружным гидростатическими датчиками уровня, производитель Nivelco, Венгри

При монтаже гидростатических уровнемеров, чтобы избежать влияния повышенного давления при закачивании жидкости, так как струя насоса может создавать область повышенного давления, датчики надо устанавливать на максимальном удалении от источника турбулентности.

4 Электрические уровнемеры

Принцип действия электрических уровнемеров основан на различии электрических свойств жидкостей и газов. При этом жидкости, уровень которых измеряется, могут быть как проводниками, так и диэлектриками; газы же, находящиеся в нежидкостном пространстве, всегда диэлектрики. Основным параметром, определяющим электрические свойства проводников, является их электропроводность, а диэлектриков – относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая, во сколько раз по сравнению с вакуумом уменьшается в данном веществе сила взаимодействия между электрическими зарядами. В зависимости от того, какой выходной параметр (сопротивление, емкость или индуктивность) первичного преобразователя «реагирует» на изменение уровня, электрические уровнемеры подразделяются на такие виды: емкостные, кондуктометрические и вибрационные.

4.1 Емкостные

Уровнемер емкостный обеспечивает измерение текущего уровня и сигнализацию двух перестраиваемых предельных уровней воды, молока, пива, щелочи, кислот, нефти и нефтепродуктов, зерна и продуктов его размола, сахара, цемента, песка, извести, а также других жидких и сыпучих сред, в том числе в емкостях, находящихся под избыточным давлением.

Работа таких уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. Простейший первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке (рис. 16, 17). Стержень вместе с трубой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости, так как при его изменении от нуля до максимума диэлектрическая проницаемость будет изменяться от диэлектрической проницаемости воздуха до диэлектрической проницаемости жидкости.

Емкостной метод обеспечивает хорошую точность порядка 1,5 %, имеет те же ограничения, что и поплавковый – среда не должна налипать и образовывать отложения на чувствительном элементе (ЧЭ). Емкостные датчики широко распространены и используются для определения наличия рабочей среды: как жидкой, так и сыпучей (порошки, цемент, гранулированные продукты), как электропроводной, так и неэлектропроводной. Характерным принципиальным ограничением для емкостного метода является – однородность среды, среда должна быть

однородной, по крайней мере, в зоне расположения ЧЭ. Условия применения емкостных датчиков по характеристикам рабочей среды: температура –40…+200 ºС, давление – до 2,5 МПа, диапазон измерения – до 3 м (30 м – для гибких и тросовых ЧЭ).

Рис. 16. Емкостные датчики уровня Liquicap, производства Endress+Hauser

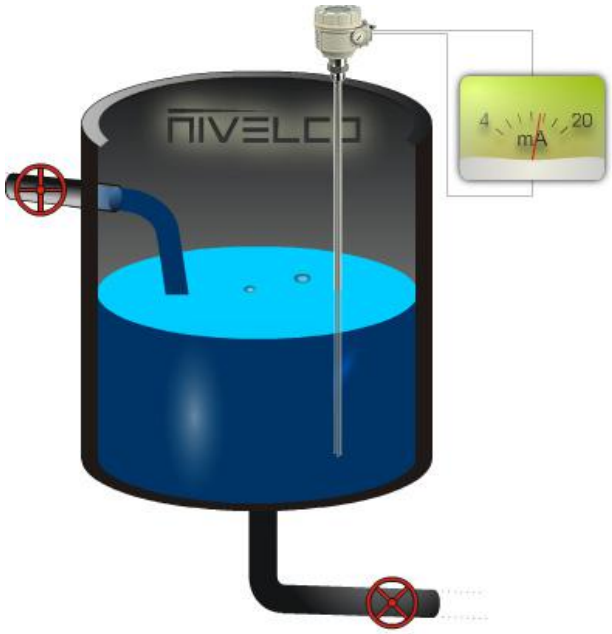


Рис. 17. Пример установки емкостного уровнемера, производитель Nivelco, Венгрия

Некоторые емкостные датчики обеспечивают считывание через стенку неметаллического резервуара, что позволяет определять положение уровня без проникновения в резервуар или без контакта с продуктом. Датчик можно установить на плоской стенке резервуара или навить вокруг неметаллической трубы.

4.1.1 Принцип действия

ЧЭ емкостного уровнемера представляет собой конденсатор, обкладки которого погружены в среду. Он может быть выполнен в виде двух концентрических труб, пространство между которыми заполняется средой, либо в виде стержня, при этом роль второй обкладки играет металлическая стенка емкости. В случае проводящей жидкости ЧЭ покрывается изолятором, обычно фторопластом.

Принцип действия емкостных уровнемеров основан на различии диэлектрической проницаемости контролируемой среды (водных растворов солей, кислот, щелочей) и диэлектрической проницаемости воздуха либо водяных паров. Когда зонд находится в воздухе (1), измеряется некоторая низкая начальная емкость C_A (рис. 18) [15, 16]. Изменение уровня жидкости приводит к изменению емкости ЧЭ до значения C_E (2, 3), преобразуемой в выходной электрический сигнал постоянного тока 4–20 мА.

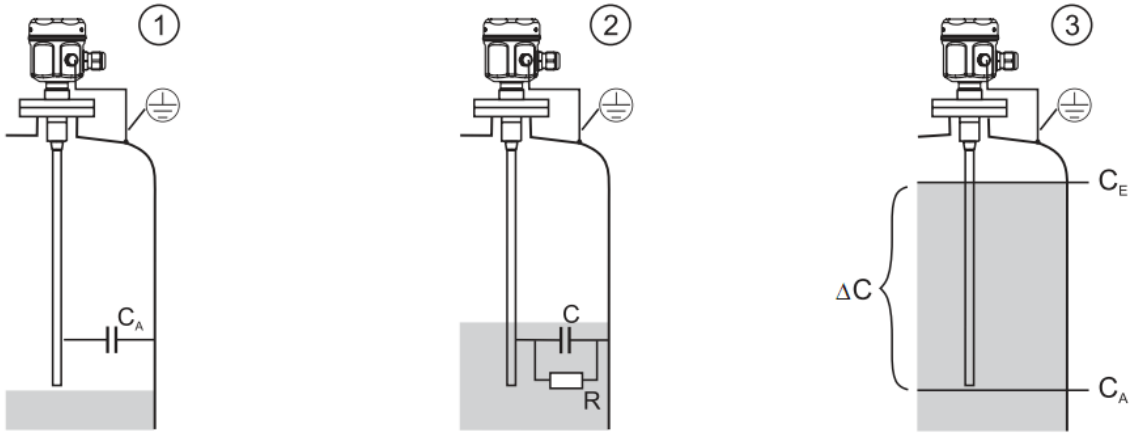


Рис. 18. Принцип действия емкостного уровнемера.
R – проводимость жидкости; C – электрическая емкость жидкости;
C_A – начальная емкость; C_E – конечная емкость (зонд полностью погружен);
ΔC – изменение емкости

Емкостные датчики отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений для конкретных применений, могут быть стержневого, трубчатого типов, гибкие, тросовые и т. п. При выборе типа датчика должны учитываться в первую очередь, как состав контролируемой среды, так и ее диэлектрические свойства. Для датчиков, работаю-

щих в проводящей среде, необходимо выбирать конструкцию с изолированным электродом.

Емкостные уровнемеры применяются в следующих средах [17]:

- Жидкость, суспензии, порошки, гранулы εr>1.5.
- Химикалии с плотными слоями газа над поверхностью.
- Вязкие и агрессивные среды (масла, азотная, серная, соляная кислота).
- Высокое давление, высокая температура от –60 до +250 °С или вакуум.

Достоинства емкостных датчиков уровня:

- быстродействие;
- простота;
- малая масса;
- высокая чувствительность;
- отсутствии механических подвижных инерционных частей;
- электроды с фторопластовым покрытием обеспечивают возможность их применения в агрессивных средах.

Недостатки:

- высокая чувствительность к изменению электрических свойств жидкостей, обусловленных изменением их состава, температуры и т. п.,
- образование на элементах датчика электропроводящей или непроводящей пленки вследствие химической активности жидкости, конденсации ее паров, налипания самой жидкости на контактирующие в ней элементы и т. п.

4.2 Кондуктометрические

Кондуктометрические датчики уровня применяют для контроля одного или нескольких предельных уровней жидкости, проводящей электрический ток. Действие кондуктометрического (омического) уровнемера основано на измерении сопротивления между электродами, помещенными в измеряемую среду.

Кондуктометрические уровнемеры (уровнемеры сопротивления) применяются для измерения уровня проводящих жидкостей (более 0,2 См/м): растворы щелочей и кислот, расплавленные металлы, вода, водные растворы солей, молоко и сыпучие материалы с удельной проводимостью более 1 мкС/см.

Датчики уровня кондуктометрические бывают как одностержневыми (одноэлектродные), так и многостержневыми (многоэлектродны-

ми) для контроля нескольких уровней жидкости (рис. 19, 20). Многостержневые кондуктометрические датчики уровня могут иметь от 1 до 5 электродов различной длины.

Рис. 19. Кондуктометрический сигнализатор уровня FLX, производство KLAY Instruments BV

*Рис. 20. Кондуктометрический датчики уровня 5-истержневой HR-6*5, производство Pepperl+Fuchs, Германия*

Применимость кондуктометрических датчиков по условиям давления и температуры рабочего процесса в емкости находится в пределах 350 °С и 6,3 МПа (как правило для стандартных исполнений 200 °С и 2,5 МПа) и определяется материалом изолятора электрода. Ограничения на применение данного типа датчиков могут накладывать такие свойства рабочей среды как сильное парение рабочей среды, сильное вспени-

вание, образование проводящих отложений на изоляторе или изолирующих отложений на чувствительном элементе.

Основные достоинства:

- простота и прочность;
- отсутствие движущихся механических частей;
- нечувствительны к турбулентности;
- технологическим процессом допускается 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.

4.2.1 Принцип действия

Первичный преобразователь кондуктометрического уровнемера представляет собой два электрода, глубина погружения которых в жидкость и определяет текущее значение ее уровня, причем одним из электродов может быть стенка резервуара или аппарата. В зависимости от уровня измеряется сопротивление между электродами. Выходным параметром преобразователя является его сопротивление или проводимость. При измерении уровня «сверхпроводящих» жидкостей (например, жидких металлов) возможно применение кондуктометрических уровнемеров с одним электродом, роль второго электрода при этом выполняет заземленный сосуд.

Основные факторы, ограничивающие точность кондуктометрических уровнемеров – непостоянство площадей поперечных сечений электродов и вследствие этого непостоянство удельных сопротивлений по длине электродов, а также образование на электродах пленки (окисла или соли) с высоким удельным сопротивлением, что приводит к резкому неконтролируемому снижению чувствительности датчика.

Кроме того, на точность кондуктометрических уровнемеров существенное влияние оказывает изменение электропроводности рабочей жидкости, поляризация среды вблизи электродов. Вследствие этого погрешности кондуктометрических методов измерения уровня (даже при использовании различных компенсационных схем) достаточно высоки (до 10 %), поэтому они находят преимущественное применение в качестве сигнализаторов уровня проводящих жидкостей [18].

4.2.2 Примеры применения кондуктометрических датчиков уровня

Кондуктометрические уровнемеры и сигнализаторы уровня применяются для (рис. 21):

Рис. 21. Применение кондуктометрического уровнемера:
1 – определение максимального уровня в емкости; 2 – определение минимального уровня в емкости; 3 – защита насоса от «сухого» хода; 4 – удлиненное исполнение датчика для определения уровня при вертикальном монтаже

1. Защиты от переполнения, сигнализации верхнего или нижнего уровня.

Утечка жидких продуктов в результате перелива может быть опасной для людей и окружающей среды, что может привести к нежелательной потере продукта и затратам на ликвидацию последствий. Сигнализаторы уровня могут устанавливаться в качестве дополнительного независимого устройства для контроля верхнего и нижнего уровней.

2. Защиты насосов от «сухого» хода при установке на трубопровод.

3. Определения уровня при вертикальном монтаже за счет удлиненного исполнение.

В основном данный метод измерения применяют в емкостях, бойлерах, контейнерах или открытых каналах. Для управления насосами в дренажах, водных установках и емкостях.

4.3 Вибрационные

Вибрационные датчики уровня используются в качестве надежных сигнализаторов уровня жидких и сыпучих веществ различной плотности и вязкости в широком диапазоне давлений и температур (рис. 22, 23, 24).

Модульная конструкция приборов позволяет использовать их в емкостях, резервуарах и трубопроводах. Благодаря универсальной и простой измерительной системе, сигнализатор уровня практически не критичен к химическим и физическим свойствам жидкости. Он работает даже при неблагоприятных условиях, таких как турбулентность, пузырьки воздуха. Вибрационные сигнализаторы уровня способны измерять уровень почти всех жидкостей. Вибрирующий элемент приводится в действие пьезоэлектрическим методом и вибрирует с механической резонансной частотой приблизительно 1200…1300 Гц.

Пьезоэлементы закреплены механически и не подвергаются воздействию теплового удара. При погружении вибрирующего элемента в измеряемую среду частота изменяется. Это изменение частоты улавливается встроенным генератором и преобразуется в команду на переключение.

Рис. 22. Вибрационный сигнализатор уровня для сыпучих веществ OPTISWITCH 3000 фирмы KROHNE, (Германия)

Рис. 23. Вибрационный уровнемер Liquiphant FTL 20 фирмы Endress+Hauser, (Германия)

Вибрационные уровнемеры, как правило, компактны и могут работать без внешней обработки сигнала, имеют встроенный блок электроники, который обрабатывает сигнал уровня и преобразует его (в зави-

симости от типа встроенного генератора) в соответствующий выходной сигнал. При помощи этого выходного сигнала можно работать с подключенными дополнительными устройствами напрямую (например, системой предупреждающей сигнализации, ПЛК, насосами и т. д.).

Рис. 24. Емкости с вибрационными сигнализаторами уровня Nivoswitch, производитель Nivelco, Венгрия

Диапазон применимости датчиков по температуре –50…+250 °С, давлению – до 64 атм., плотность рабочей среды – в пределах 0,5…2,5 г/см³. Датчики обеспечивают точность срабатывания ±1 мм. Помимо предельных выключателей уровня, характерно применение вибрационных сигнализаторов в качестве датчиков сухого хода в трубопроводах.

Вибрационные сигнализаторы выпускаются в широком диапазоне исполнений, в том числе для пищевых производств, взрывоопасных условий, агрессивных сред.

Достоинством вибрационных датчиков уровня является невосприимчивость к размерам частиц, плотности и влажности среды, к влиянию электрических и магнитных полей. Вибрационный датчик уровня сохраняет работоспособность даже при значительном налипании контролируемого материала на рабочие поверхности пластин резонатора. На показания вибрационных датчиков уровня не влияет наличие пены, пузырьков, взвешенных частиц в измеряемой среде. Вибрационные уровнемеры – это лучшее решение для липких сред.

Основное применение вибрационные датчики уровня нашли в:

1. Производстве строительных материалов: гипс, цемент, штукатурка, щебень, песок, керамзит, угольный порошок, пепел.
2. Пищевой промышленности: мука, сахар, соль, сода, разрыхлитель, мюсли.
3. Химической промышленности: пластиковый порошок, известь, кремниевая кислота, удобрения, моющие средства, различные порошки и грануляты.
4. Энергетике: летучая зола, пыль.
5. Очистных сооружениях: шлам и осадок в воде.

Распространенными марками вибросигнализаторов являются серии OPTISWITCH фирмы Krohne, Liquiphant фирмы Endress+Hauser, Vibranivo фирмы UWT.

Основные достоинства:

- отсутствуют движущиеся части;
- не требуют дополнительных допусков и испытаний во время эксплуатации;
- нет потребности в калибровке;
- невосприимчивы к образованию конденсата;
- нечувствительны к турбулентности, образованию пены и внешней вибрации;
- допускают любую пространственную ориентацию;
- нечувствительны к большинству физических свойств измеряемого вещества (исключение – плотность ρ);
- могут определять уровень твердых веществ с минимальной плотностью до 0,008 г/см^3;
- 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.

Типичным применением является защита от переполнения или «сухого» пуска.

4.3.1 Принцип действия

Принцип действия датчика – вибрационный, основанный на различии резонансных колебаний чувствительного элемента – камертонного резонатора в газовой (воздушной) среде и в жидкости (сыпучем мате-

риале). Пьезоэлектрический кристалл при подаче на него напряжения создает колебания чувствительной вибрационной вилки с частотой ~1300 Гц. Изменения этой частоты колебаний камертонного резонатора в свободном и задемпфированном материалом состоянии отслеживаются электроникой в непрерывном режиме. При погружении вилки в жидкость или сыпучий продукт частота колебания вилки уменьшаются, что приводит к переключению контактов сигнализатора. Аналогично при снижении уровня жидкости или сыпучего продукта вилка переходит в состояние «сухой контакт», при этом частота колебаний вилки увеличивается, что приводит к обратному переключению контактов. Сигнал об изменении состояния контактов подается в систему управления или на исполнительные механизмы (насосы, клапаны и т. п.) [13].

4.3.2 Описание вибрационного сигнализатора уровня Rosemount

Сигнализаторы уровня Rosemount 2120 (рис. 25) предназначены для контроля уровня большинства видов жидкостей, в т. ч. суспензий, эмульсий и других растворов на водной основе.

Рис. 25. Сигнализаторы уровня Rosemount 2120

Характеристики вибрационного сигнализатора уровня:

- Контролируемые среды: практически все жидкости с плотностью не ниже 600 кг/м^3 и вязкостью от 0,2 до 10000 сП
- Температура процесса от –40 до 150°С
- Температура окружающей среды от –40 до 80 °С

- Давление процесса от –0,1 до 10 МПа (до 3 МПа – при использовании гигиенических соединений)
- Наличие взрывозащищенного исполнения для модели 2120

На работу сигнализаторов практически не влияют: турбулентность процесса, пузырьки, пена, вибрация, содержание твердых веществ, свойства жидкости и ее состав.

4.3.3 Примеры применения сигнализаторов Rosemount 2110, 2120

Сигнализаторы моделей 2120 предназначены для применений в безопасных или опасных зонах, а 2110 только для безопасных условий при температурах технологического процесса до 150 °С. Малая длина вилки 44 мм позволяет устанавливать сигнализатор 2110 или 2120 под любым углом на трубопроводы малых диаметров или резервуары. Длина вилки варьируется от 44 мм до 3 м с удлинителем.

Вибрационные сигнализаторы уровня применяются для:

1. Защиты от переполнения.

Сигнализаторы уровня серии 2110 или 2120, установленные для контроля верхнего уровня жидкости в резервуаре способны обеспечить надежную защиту от переливов и, в случае аварийной ситуации, подать сигнал о переполнении в систему управления или на исполнительные механизмы (рис. 26).

2. Зашиты от ложных переключений.

Зачастую, в дозировочных резервуарах установлены мешалки или другие аппараты для смешивания сред и обеспечения однородности продукта и его текучести. Выбираемое пользователем одно из заданных значений времени задержки в диапазоне от 0,3 до 30 с, позволит исключить риск ложного переключения, спровоцированного попаданием брызг продукта от работающего оборудования.

3. Защиты насосов при установке на трубопровод.

Малая длина вилки – 50 мм – позволяется устанавливать 2120 под любым углом на трубопроводы малых диаметров или резервуары. Если выбирать опцию переключения с непосредственной нагрузкой, сигнализатор обеспечивает надёжный контроль за работой насоса и может быть использован для защиты от его работы всухую.

4. Сигнализации верхнего или нижнего уровня.

Зачастую сигнализаторы уровня устанавливают в качестве независимого устройства для контроля верхнего и нижнего уровней, а также для обеспечения дополнительной защиты от переливов на случай отказа уровнемера.

Рис. 26. Применение вибрационного сигнализатора уровня:
1 – определение максимального уровня в емкости; 2 – определение минимального уровня в емкости; 3 – защита насоса от «сухого» хода; 4 – удлиненное исполнение датчика для определения уровня при вертикальном монтаже

5. Гигиенического применения.

Отполированная поверхность вилок сигнализаторов 2110 и 2120 имеет класс обработки (Ra) менее чем 0,8 мкм, что соответствует основным критериям проектирования технологических систем для наиболее строгих гигиенических требований, предъявляемых пищевой и фармацевтической отраслями промышленности.

5 Акустические (ультразвуковые) уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры имеют много преимуществ перед другими видами – они обладают хорошей точностью измерения, не портятся при использовании и имеют низкую стоимость. Именно эти качества значительно повысили популярность ультразвуковых уровнемеров, которые используют в тех системах, где поплавковые и буйковые уровнемеры применять невозможно.

Примерами распространенных ультразвуковых уровнемеров являются: SITRANS Probe LU (Siemens, Германия), OPTISOUND (KROHNE, Германия), Prosonic M (Endress+Hauser, Германия) (рис. 27, 28).

Рис. 27. Ультразвуковой уровнемер SITRANS Probe LU фирмы Siemens

Рис. 28. Ультразвуковой уровнемер OPTISOUND 3010 C,3020 C и 3030 C фирмы KROHNE, (Германия)

В акустических, или ультразвуковых, уровнемерах используется явление отражения ультразвуковых колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ.

Действие уровнемеров этого типа основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно (рис. 29). При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком. Как правило, наиболее распространен вариант установки ультразвукового датчика в верхней части емкости. При этом сигнал проходит через воздушную среду, отражаясь от границы с твердой (жидкой) средой. Уровнемер в этом случае называется акустическим. Существует, также, вариант установки датчика в дно емкости.

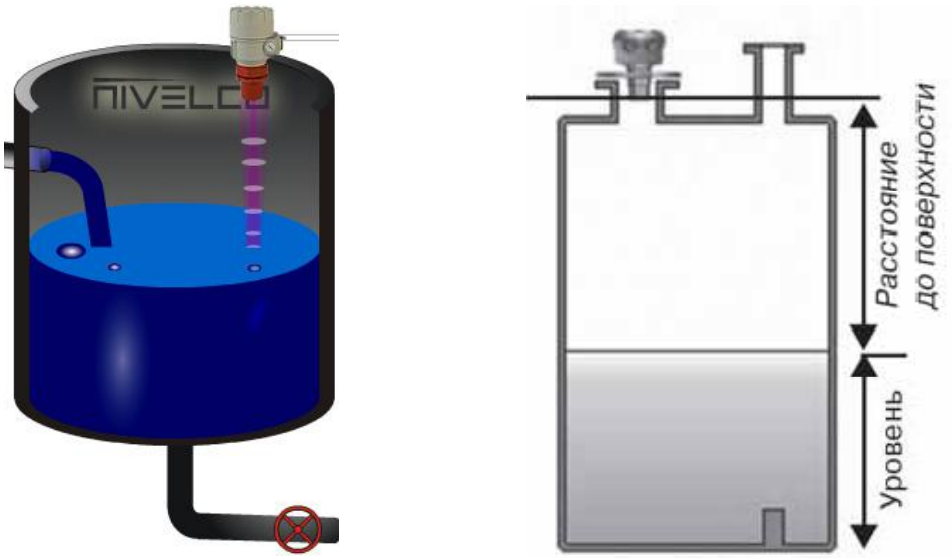


Рис. 29. Принцип действия ультразвукового уровнемера

Сигнал в этом случае отражается от границы с менее плотной средой. Такой датчик называется – ультразвуковым уровнемером. В первом случае измеряемое время будет тем больше, чем ниже уровень жидкости, во втором – наоборот. Электронный блок служит для формирования излучаемых ультразвуковых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения времени прохождения импульсом двойного пути (в воздухе или жидкости) и преобразования этого времени в унифицированный электрический сигнал.

Уровнемеры ультразвуковые предназначены для контроля одного уровня, для контроля двух уровней, или для контроля двух уровней в одном технологическом проеме.

Уровнемер акустический предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе взрывоопасных, агрессивных, вязких, неоднородных, выпадающих в осадок, а также сыпучих материалов с диаметром гранул и кусков от 5 до 300 мм, при температуре контролируемой среды от минус 30 °С до плюс 250 °С и давлении – до 4 МПа, сред с самыми различными физическими свойствами, за исключением сильнопарящих, сильнопенящихся жидкостей и мелкодисперсных и пористых гранулированных сыпучих продуктов. Диапазон работы ультразвуковых уровнемеров – до 25 м [23].

Скорость распространения ультразвука зависит от температуры – около 0,18 % на 1 °С. Для устранения этого влияния в ультразвуковых уровнемерах применяется термокомпенсация с помощью встроенного термодатчика. Также для получения точных результатов измерения

жидкость должна быть равномерной по составу и иметь одинаковую температуру. В ней также не должно быть пузырьков газа.

Ультразвуковые уровнемеры позволяют достигать погрешности измерения уровня в 1 %. Вместе с тем, они существенно дешевле радарных микроволновых уровнемеров. Ультразвуковые уровнемеры часто используются для измерения расхода в профилированных каналах.

Основные достоинства ультразвуковых уровнемеров:

- 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;
- звуковой сигнал не может распространяться в вакууме;
- на показания оказывают влияние: температура, влажность, давление, турбулентность, пена, пар, изменение концентрации жидкости, газовые смеси.

5.1 Принцип действия

Ультразвуковые бесконтактные уровнемеры осуществляют зондирование рабочей зоны волнами ультразвука, т. е. волнами давления с частотой свыше 20 кГц. Они используют свойство ультразвуковых волн отражаться при прохождении границы двух сред с различными физическими свойствами. Поэтому, чувствительный элемент ультразвукового уровнемера состоит из излучателя и приемника колебаний, которые, как правило, конструктивно совмещены и представляют собой кварцевую пластину. При подаче на пластину переменного напряжения возникают деформации пластины, передающие колебания воздушной среде. Подача напряжения производиться импульсами и по завершении передачи, пластина превращается в приемник отраженных ультразвуковых колебаний, вызывающих колебания пластины и, как следствие, появление выходного напряжения (обратный пьезоэффект).

Расстояние до границы раздела двух сред вычисляется по формуле: $H = c \cdot t/2$, где c – скорость ультразвуковых волн в данной среде, t – время между началом излучения и приходом отраженного сигнала, определяемое электронным блоком уровнемера.

Уровень жидкости отображается на цифровом жидкокристаллическом дисплее.

5.1.1 Описание ультразвукового уровнемера Rosemount

Ультразвуковой уровнемер Rosemount серии 3100 (рис. 30) предназначен для обеспечения непрерывного измерения уровня жидкости и расстояния до поверхности жидкости в резервуарах, хранилищах, сточных ямах, демпферных резервуарах, а также расчёта объёма и расхода в открытых каналах и водосборниках.

Характеристики ультразвукового уровнемера:

- Измеряемые среды: жидкие (нефть, темные и светлые нефтепродукты, вода, водные растворы, сжиженный газ, кислоты, щелочи, растворители, алкогольные напитки и др.).
- Диапазон измерений: от 0,3 до 11 м.
- Выходные сигналы: 4–20 мА (модель 3101); 4–20 мА с цифровым сигналом на базе HART-протокола (модели 3102 и 3105).
- Наличие взрывозащищенного исполнения (модель 3105).

Рис. 30. Ультразвуковой уровнемер Rosemount серии 3100

Для измерения уровня или расстояния до поверхности в диапазоне от 0,3 до 8 м рекомендуется модель 3101, имеющая только аналоговый выходной сигнал 4–20 мА. Модель 3102, с двумя встроенными реле, рекомендуется для измерения уровня или расстояния до поверхности в

диапазоне от 0,3 до 11 м, также может вычислять объем и расход в открытом канале. Модель 3105, сертифицированная на искробезопасность, применяется для измерений уровня или расстояния до поверхности в диапазоне от 0,3 до 11 м в опасных зонах, также может рассчитывать объем и расход в открытых каналах.

На данный принцип измерения не оказывает влияние проводимость, плотность продукта или его диэлектрическая проницаемость. Для компенсации температурных колебаний имеется встроенный датчик температуры. Уровнемер использует значение температуры при расчете скорости звука в воздухе, компенсируя, таким образом, влияние температуры на измеряемое расстояние.

5.1.2 Применение уровнемера от условий технологического процесса

Ультразвуковой уровнемер используется для измерения уровня в закрытых емкостях и открытых резервуарах, в том числе каналах (рис. 31).

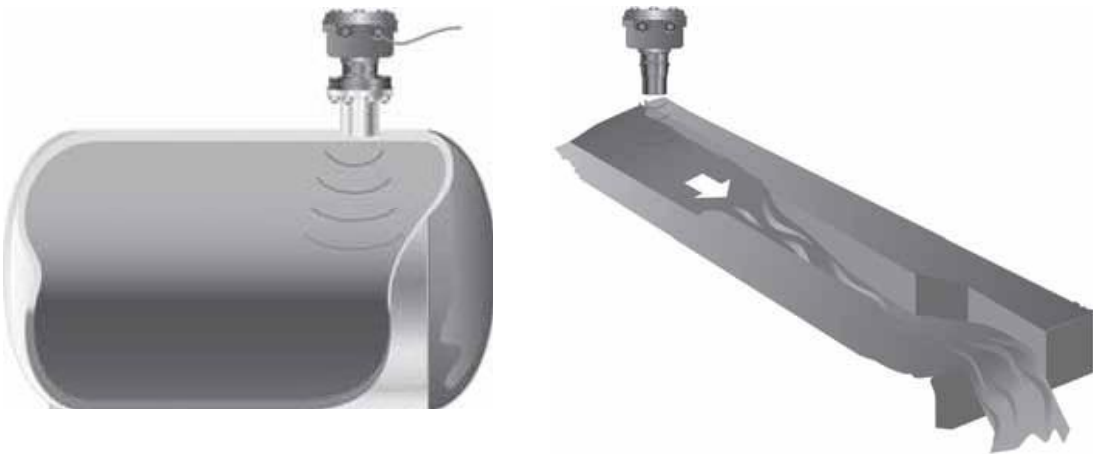


Рис. 31. Примеры измерения уровня ультразвуковым уровнемером

При монтаже и эксплуатации ультразвукового уровнемера необходимо учитывает следующие основные факторы, приводящие к искажению результата измерения в связи с рассеиванием и поглощением сигнала.

- Влияние поверхности жидкости.

Пенообразующие жидкости могут ослаблять уровень эхо-сигнала, т. к. пена – плохой отражатель ультразвука. Поэтому желательно устанавливать прибор в месте, где поверхность жидкости всегда будет чистой.

Небольшая турбулентность поверхности жидкости обычно не создает проблем при измерениях. В большинстве случаев, влияние турбулентности достаточно мало, и даже сильную турбулентность можно компенсировать подстройкой уровнемера по месту.

Для устранения влияния турбулентности и пены можно использовать успокоительную трубу.

- Влияние конструкции резервуара.

Мешалки могут создавать воронки. Для получения наиболее сильного эхо-сигнала необходимо устанавливать уровнемер в стороне от центра воронки. Если уровень жидкости опустится ниже лопастей мешалок, при вращении и пересечении лопастями ультразвукового луча так же будут возникать ложные эхо-сигналы.

С помощью программно-реализованного алгоритма уровнемер может быть по месту настроен так, чтобы игнорировать подобные ложные эхо-сигналы.

6 Микроволновые радарные уровнемеры

Радарные уровнемеры – наиболее универсальные средства измерения уровня и подобно акустическим уровнемерам, используют явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ (рис. 32).

Рис. 32. Емкость с микроволновым радарным уровнемером, производитель Nivelco, Венгрия [6]

Радарные датчики уровня не имеют контакта с измеряемым объектом. Это позволяет использовать их в сложных условия, в частности, при высоком давлении, высоких температурах, при нахождении паров и газов над поверхностью. Также они могут применяться для измерения уровня агрессивных, вязких, неоднородных жидких и сыпучих материалов. От ультразвуковых бесконтактных уровнемеров их выгодно отличает гораздо меньшая чувствительность к температуре и давлению в рабочей емкости, к их изменениям, а также большая устойчивость к таким явлениям как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование. Радарные уровнемеры обеспечивают высокую точность (до ± 1 мм.), что позволяет использовать их в системах коммерческого учета. Современные радарные уровнемеры являются «интеллектуальными» устройствами, объединяющими в себе и измерительную

часть, и обработку полученного сигнала (рис. 33, 34). Часто представляют собой интерфейсные устройства. Вместе с тем существенным лимитирующим фактором применения радарных уровнемеров остается высокая стоимость данных приборов.

Рис. 33. Радарный уровнемер BM 702–FMCW производства KROHNE (Германия)

Рис. 34. Радарный уровнемер Micropilot M FMR 230 производства Endress+Hauser (Германия)

Датчик уровня построен по принципу радиолокатора. Это один из классических методов радарного (радиолокационного) измерения расстояния позволяющий минимизировать влияние паразитных помех и помех, связанных с неровностями (волнениями) поверхности измеряемого объекта.

Преимущества:

- радиоволны могут распространяться и в вакууме, на них не влияет температура, давление, влажность, пена/туман/пыль, вид материала (жидкий/сыпучий), плотность, значение диэлектрической постоянной, химически агрессивная среда, проводимость, изменение свойств материала, вызванных процессом комкования, наличие подвижных поверхностей [19];
- надёжное измерение порошкообразных материалов даже в процессе наполнения ёмкости;
- измерение уровня жидкостей при образовании пены в условиях повышения давления;

Недостатки:

- электромагнитные волны поглощаются (не отражаются) диэлектриками (пластмасса, стекло, бумага и т. д.);
- диэлектрическая постоянная измеряемого вещества должна быть больше 1,6;
- клейкие вещества могут вызвать отказы.

6.1 Типы микроволновых уровнемеров и их принцип действия

В настоящее время широко используются два типа микроволновых уровнемеров: импульсные и частотно модулированные ЛЧМ, в иностранной транскрипции – FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave).

Микроволновый генератор датчика уровня FMCW формирует радиосигнал, частота которого изменяется во времени по линейному закону. Этот сигнал излучается в направлении измеряемого объекта (поверхность среды), отражается от него и часть сигнала, через определенное время, зависящее от скорости света и расстояния до поверхности продукта, возвращается обратно в антенну. Излученный и отраженный сигнал смешиваются в датчике уровня, и в результате образуется сигнал, частота которого равна разности частот принятого и излученного сигнала $\Delta f = f_0 - f_1$, соответственно пропорциональна времени распространения Δt, и соответственно расстоянию от антенны до измеряемого объекта L (рис. 35) [13].

Дальнейшая обработка сигнала осуществляется микропроцессорной системой датчика уровня и заключается в точном определении частоты результирующего сигнала и пересчете ее значения в значение уровня наполнения резервуара. Обработка сигнала в датчиках уровня, как правило, построена с применением процессоров цифровой обработки сигналов и благодаря этому, она производится в реальном масштабе времени без длительного накопления информации.

Отраженный, а значит и результирующий сигнал, несущий в себе информацию об уровне измеряемого объекта, содержит также и различные шумовые и паразитные составляющие, это связано с тем, что измерение производится в реальных условиях возможных волнений поверхности измеряемого продукта, неполных отражений радиосигнала и его частичного поглощения поверхностью измеряемого продукта, загрязнением антенны уровнемера. Поэтому результирующий сигнал подвергается спектральному анализу, обеспечивающий высокоэффективное подавление ложных отражений и помех. Таким образом, с высокой точно-

стью определяется частота результирующего сигнала, соответствующая уровню измеряемого объекта.

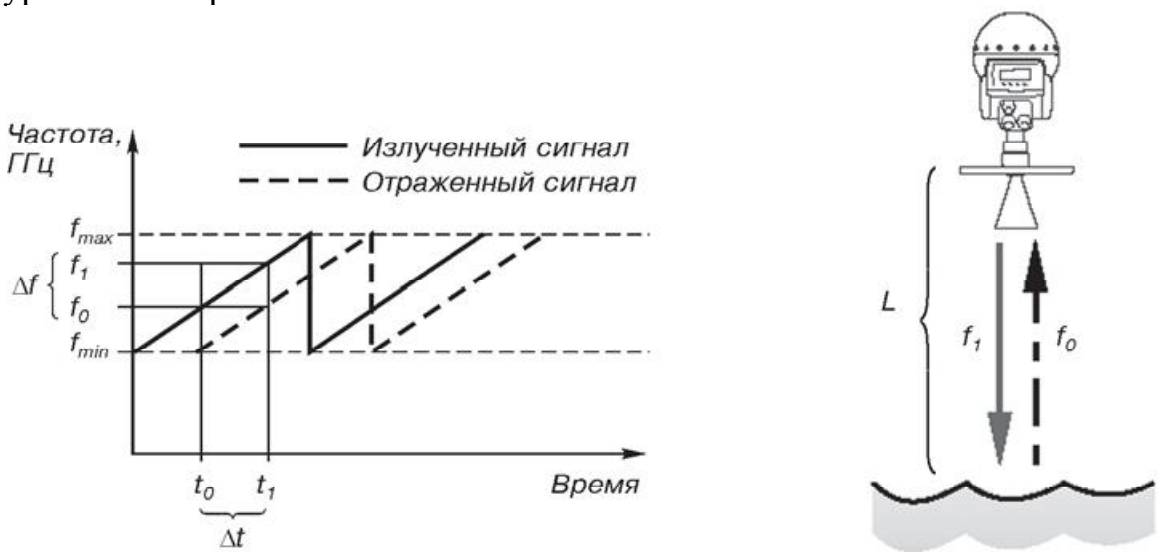


Рис. 35. Принцип измерения расстояния до поверхности

Импульсные микроволновые уровнемеры излучают короткий сигнал в импульсном режиме, при этом прием отраженного сигнала происходит в промежутках между импульсами исходного излучения. Сигнал от радара излучается антенной и отраженный от цели (в нашем случае поверхность среды) приходит назад через время задержки *t*. Прибор вычисляет время прохождения прямого и обратного сигналов и определяет значение расстояния до контролируемой поверхности по выражению $L = c \cdot t/2$, где c – скорость. По принципу импульсного излучения работают уровнемеры Micropilot M фирмы Endress+Hauser (Германия), УЛМ фирмы «Лимако» (Россия).

Частота излучения – важнейший параметр радарного уровнемера, определяющий его потенциальные возможности. Чем более высока частота, тем более узок луч и тем выше энергия излучения, а, следовательно, сильнее отражение. В настоящее время на рынке присутствуют радарные уровнемеры, работающие в диапазоне частот 6…95 ГГц. Эти уровнемеры имеют разные антенны, обладают конструктивными особенностями, используют разные методы обработки сигналов, но для всех справедливо функциональное правило: размеры антенны, ширина измерительного луча и частота излучения жестко связаны [20].

Высокочастотные уровнемеры позволяют производить измерения уровня сред с низкой диэлектрической проницаемостью и, следовательно, слабой отражательной способностью. Они, также, удобны в емкостях, где присутствует различное оборудование, сокращающее свободную зону для работы радара. Вместе с тем, высокочастотные уровнеме-

ры более чувствительны к таким явлениям как запыленность, испарения, волнение поверхности рабочей среды, налипание частиц среды на поверхность антенны вследствие более интенсивного рассеивания сигнала. В подобных условиях лучше работают уровнемеры с частотой 5,8..10 ГГц.

Другой важной характеристикой влияющей на формирование сигнала является размер и тип антенны. Различают следующие типы антенн: рупорная (коническая), стержневая, трубчатая, параболическая, планарная. Чем больше размер антенны, тем более сильный и узконаправленный сигнал она излучает и, в тоже время, тем лучше прием отраженного сигнала.

Наиболее универсальный тип антенны – рупорная. Она применяется, как правило, в больших емкостях, позволяет работать с широким спектром сред по диэлектрической проницаемости, применима в сложных условиях и обеспечивает диапазон измерения до 35…40 м (в условиях спокойной поверхности)

Стержневая антенна применяется в небольших емкостях с химически агрессивными средами или гигиеническими продуктами, а также в случае, когда доступ в емкость ограничен малыми размерами патрубка. Диапазон измерения – до 20 м. Поверхность стержневой антенны покрыта слоем защитной изоляции.

Трубчатая антенна представляет собой надстроенный удлиненный волновод. Она позволяет формировать наиболее сильный сигнал за счет снижения рассеивания и используется в особо сложных случаях при наличии сильного волнения поверхности среды или большого слоя густой пены либо для случая сред с низкой диэлектрической проницаемостью. Трубчатая антенна применима для небольшого диапазона измерения уровня.

Планарный и параболический типы антенн обеспечивают особо высокую точность (до ± 1 мм) и применяются в системах коммерческого учета.

6.1.1 Описание радарного уровнемера Rosemount

Радарные уровнемеры серии 5600 фирмы Emerson Process Management (США) – интеллектуальные приборы для бесконтактных измерений уровня различных продуктов в резервуарах и емкостях любого типа и размеров (рис. 36).

Характеристики радарного уровнемера серии 5600 [

13. Руководство по эксплуатации // www.metran.ru]:

• Измеряемые среды: нефтепродукты, щелочи, кислоты, растворители, водные растворы, алкогольные напитки, суспензии, глина, извести, руды и бумажная пульпа, гранулированные материалы от руды до пластиковых гранул, мелкодисперсионные порошковые материалы, цемент и пр.

• Диапазон измерений: от 0 до 50 м.

• Выходные сигналы: 4–20 мА с цифровым сигналом на базе HART-протокола или FoundationTM Fieldbus

• Наличие взрывозащищенного исполнения.

• Межповерочный интервал – 1 год.

Рис. 36. Радарный уровнемер Rosemount фирмы Emerson Process Management (США)

Уровнемеры серии 5600 рекомендуются для технологического учета продуктов с погрешностью измерений уровня ±5 мм. Могут применяться для измерений уровня продуктов с малой диэлектрической проницаемостью, работать в широком диапазоне значений температур и давлений, обладают высокой гибкостью измерений благодаря широкому выбору сменных антенн и материалов, просты в обслуживании и управлении, что в совокупности снижает затраты на обслуживание и обладание ими в целом.

Принцип измерений, реализованный в уровнемерах серии 5600, основан на методе линейной частотной модуляции (FMCW). В уровнемере используется рабочая частота 10 ГГц, способствующая уменьшению

чувствительности к воздействию пара, пены, загрязнению антенны, а угол излучения постоянно остается небольшим, что позволяет свести к минимуму вероятность возникновения ложных отражений от стенок и прочих источников помех, находящихся внутри резервуара. Это позволяет минимизировать требования к установке прибора на резервуаре.

Дополнительно уровнемер может комплектоваться удобной в эксплуатации дисплейной панелью, позволяющей вести оперативный мониторинг измеряемых и вычисляемых величин, выполнять основные функции конфигурирования и, кроме того, обеспечивающей дополнительную возможность подключения датчиков температуры.

Такой показатель как диаметр измерительного «пятна» D особенно важен при наличии в резервуаре дополнительных устройств и оборудования (лестницы, ограждения, лопасти мешалок, обогреватели и т. п.) (рис. 37).

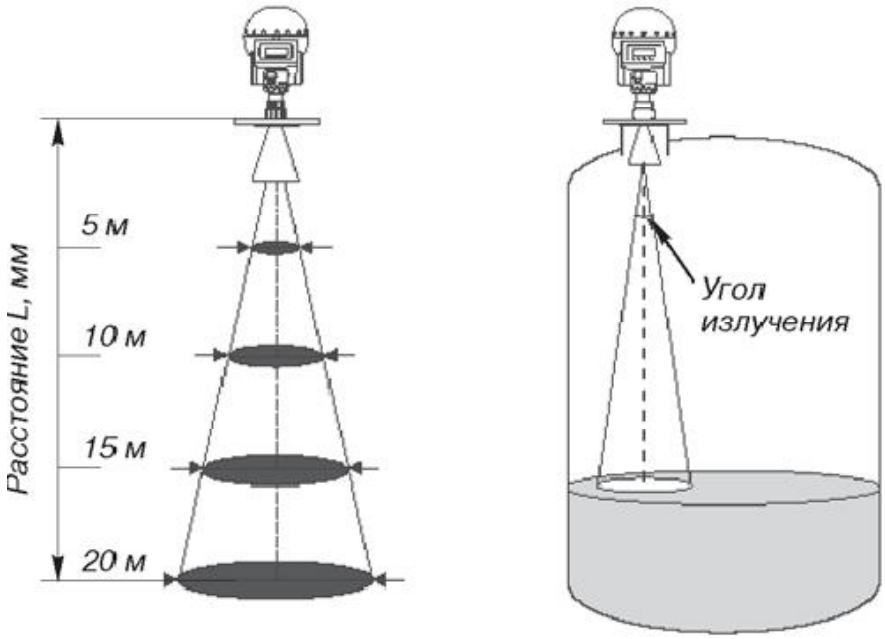


Рис. 37. Показатель распространения радарного сигнала

Угол излучения уровнемера зависит от типов и размеров применяемой при измерениях антенны. Значение угла необходимо использовать с целью исключения попадания в зону распространения радарного сигнала различных предметов и внутренних элементов конструкций резервуара, способных повлиять на максимально эффективное измерение уровня.

6.1.2 Применение уровнемера от условий технологического процесса

В зависимости от условий применения и специфических требований технологического процесса уровнемер может быть оборудован антеннами различных типов. Антенна – одна из самых важных частей уровнемера, при этом она является единственным элементом, контактирующим с атмосферой резервуара (рис. 38).

Конические антенны 4" и 6" с уплотнением не рекомендуются для применений в резервуарах с турбулентными условиями.

Коническая антенна (рис. 38, *а*).

Предназначена для широкого диапазона применений, включая условия, когда существует высокая вероятность возникновения ложных отражений. Рекомендуется для монтажа на резервуарах со свободным распространением сигнала и монтажа в успокоительных и байпасных устройствах.

Антенна с уплотнением соединения с процессом (изолирующей линзой) (Рис. 38, *б*).

Предназначена для резервуаров с гигиеническими продуктами или агрессивными химикалиями. Коническая антенна защищена от атмосферы резервуара тефлоновой или керамической линзой. Наружная часть антенны выполнена из материала, подходящего для применения в санитарных условиях или при работе в агрессивных средах.

Параболическая антенна (рис. Рис. 38, *в*). Предназначена для измерений уровня всех типов жидкостей и сыпучих веществ. Для предотвращения налипания пыли в бункерах с цементом и т. п. антенна защищается эластичным тефлоновым кожухом. Применение параболической антенны обеспечивает минимальный угол излучения по сравнению с остальными типами антенн.

Стержневая антенна (Рис. 38, *г*). Применяется для малых резервуаров с гигиеническими продуктами или агрессивными химикалиями, для резервуаров любой геометрии с узкими патрубками и небольшим циклом перепада уровня в процессе измерений. Имеющийся на резервуаре фланец можно использовать как соединение с резервуаром.

Диапазон измерений зависит от типа измеряемой среды, типа антенны, диэлектрической постоянной (ε_r) и условий технологического процесса (состояния поверхности). Для измерения уровня в резервуаре со спокойной средой верхняя граница интервала диапазона измерений составляет от 15 до 50 м, для резервуара с возмущенной поверхностью (турбулентные условия) – от 5 до 20 м (наибольшие значения характерны для 8" конической и параболической антенн). Значения диапазона

действительны для измерений при свободном распространении сигнала без использования успокоительных труб (байпасных камер).

а б в г

Рис. 38. Типы антенн радарного уровнемера:
а – коническая антенна; б – антенна с изолирующей линзой;
в – параболическая антенна; г – стержневая антенна

Для жидкостей, ε_r которых менее 1,8 (таких, как сжиженные газы), рекомендуется использовать коническую антенну диаметром 8", если измерение производится при свободном распространении сигнала. В данном случае диапазон измерений в резервуарах со спокойной поверхностью в типичных случаях будет равен 15 м. Для увеличения диапазона измерений в резервуарах с турбулентной поверхностью среды можно использовать успокоительную трубу. Для уровнемеров модели 5600, установленных в успокоительной трубе, типичный диапазон измерений составляет 35…50 м в резервуарах с турбулентной поверхностью жидкостей, имеющих значение ε_r менее 1,8.

6.1.3 Примеры применения

Пример 1 (рис. 39). В уровнемерах серии 5600 используется современная микроволновая технология для обеспечения высокой надежности и точности измерений уровня жидкостей и взвесей. Уровнемеры применяются при широком диапазоне значений температуры и давления, в парогазовых смесях, в различных условиях технологического процесса. Рекомендуются для измерений уровня продукта в резервуарах с различной геометрией.

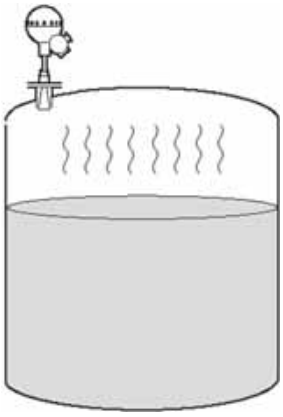


Рис. 39

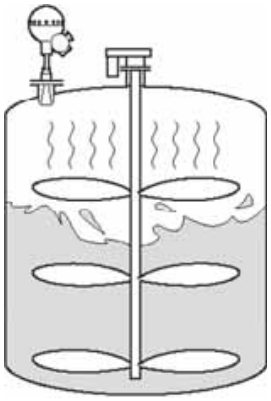


Рис. 40

Пример 2 (рис. 40). При измерении уровня в технологических резервуарах с мешалками рекомендуется использование радарного уровнемера серии 5600 с его высокой чувствительностью и усовершенствованной обработкой сигнала для отфильтровывания измерительного эхо/сигнала от помех, создаваемых возмущениями.

Пример 3 (рис. 41). Стержневая антенна подходит для установки в небольших патрубках в резервуарах с коротким измерительным циклом.

Пример 4 (рис. 42). Для резервуаров со сжиженным нефтяным газом, где иногда наблюдается кипение поверхности, а также для некоторых особо турбулентных условий рекомендуется установка успокоительной трубы или байпасных устройств.

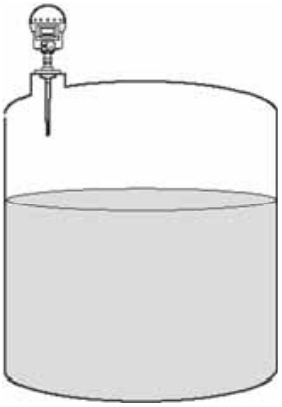


Рис. 41

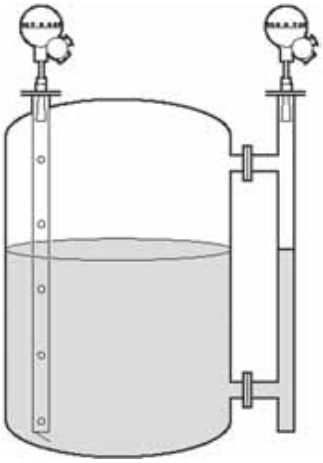


Рис. 42

Использование трубы снижает вспенивание и турбулентность, а также увеличивает силу отраженного от поверхности эхо/сигнала.

Пример 5 (рис. 43). Уровнемер серии 5600 используется для измерений уровня твердых материалов, таких как цемент, которые обладают чрезвычайно малым коэффициентом отражения радарных импульсов. Подобное применение требует самой чувствительной антенны (параболической антенны диаметром 18").

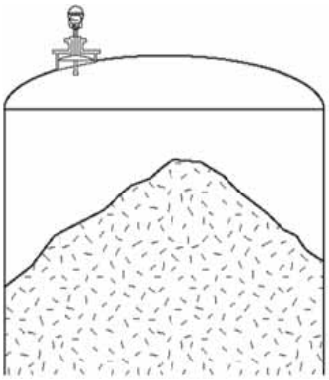


Рис. 43

7 Рефлексные (волноводные) уровнемеры

Рефлексные уровнемеры предназначены для измерения уровня, дистанции и объема жидкостей, паст и сыпучих продуктов, а также раздела фаз жидких продуктов (рис. 44, 45).

Рефлексные (волноводные) уровнемеры по принципу работы по-

Рис. 44. Волноводный датчики уровня KSR-GT фирмы KSR Kuebler Niveau-Messtechnik AG (Германия)

Рис. 45. Волноводный уровнемер для жидкостей MT5000 фирмы К-ТЕК (США)

добны радарным уровнемерам, но электромагнитный импульс распространяется не в газовой среде, а по специальному зонду – волноводу. В качестве зондов могут выступать: стержень, трос, группа тросов, коаксиальный кабель. Направленное микроволновое измерение уровня применяется в тех случаях, когда применение других приборов затруднительно, например ультразвуковые приборы могут отказывать из-за высокого содержания пыли или при недостаточной энергии, отраженной сухими сыпучими продуктами или густой пеной [21].

Волноводная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами измерений уровня, поскольку радарные импульсы практически невосприимчивы к составу среды, атмосфере резервуара, температуре и давлению. Это позволяет использовать рефлексные уровнемеры в более жестких условиях: высокие температуры, высокое дав-

ление, сильное бурление жидкости, резервуары с работающей мешалкой, пары и газы над поверхностью жидкости. Поскольку радарные импульсы 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 патрубками [22].

7.1 Принцип действия

Данный датчик уровня использует электромагнитные импульсы, которые проходят по волноводу и отражаются от границы резкого изменения диэлектрической постоянной, что означает границу между воздухом и продуктом (рис. 46). Излучаемые импульсы имеют очень низкую мощность и сконцентрированы вдоль зонда, следовательно, излучаемая энергия почти не теряется. Это означает, что сила отраженного сигнала (амплитуда) будет почти одинаковой независимо от длины зонда.

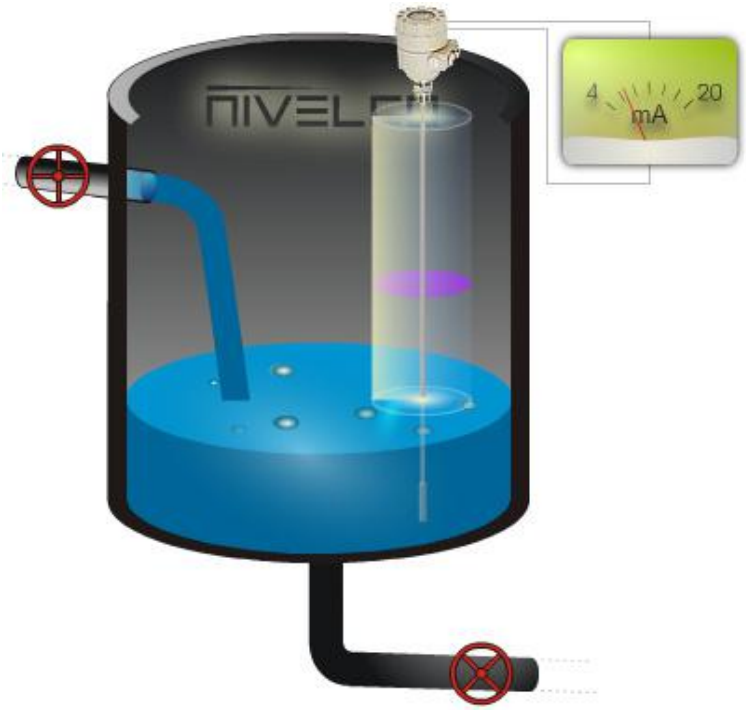


Рис. 46. Резервуар с рефлексным уровнемером, производитель Nivelco, Венгрия

Микроволновые наносекундные радарные импульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду. Когда радарный импульс достигает среды с другим коэффициентом диэлектрической проницаемости, часть энергии импульса отража-

ется в обратном направлении (рис. 47). Разница во времени между моментом передачи радарного импульса и моментом приема эхо/сигнала пропорциональна расстоянию, согласно которому рассчитывается уровень жидкости или уровень границы раздела двух сред [13].

Рис. 47. Вид распространения радарного импульса в измерительной среде

Интенсивность отраженного эхо/сигнала зависит от диэлектрической проницаемости среды. Чем выше коэффициент диэлектрической проницаемости, тем выше интенсивность отраженного сигнала.

Для измерения уровня границы раздела двух сред уровнемер использует остаточную энергию импульса от первого отражения. Часть энергии импульса не отражается от поверхности верхней среды, а продолжает движение в среде, пока не отразится от поверхности нижней среды, при этом скорость распространения волны полностью зависит от диэлектрической проницаемости верхней среды.

7.1.1 Описание волноводного уровнемера Rosemount

Rosemount серии 5300 фирмы Emerson Process Management (США) – это двухпроводный волноводный уровнемер для измерения уровня и уровня границы раздела жидкостей, а также уровня суспензий и твердых сыпучих сред (рис. 48). Rosemount серии 5300 обеспечивает высокую надежность, современные меры обеспечения безопасности,

простоту использования и неограниченные возможности подключения и интеграции в системы АСУ.

Рис. 48. Волноводный уровнемер Rosemount фирмы Emerson Process Management (США)

Характеристики волноводного уровнемера Rosemount серии 5300 [6]:

• Измеряемые среды: жидкие (нефть, темные и светлые нефтепродукты, вода, водные растворы, сжиженный газ, кислоты и др.); сыпучие (пластик, зольная пыль, цемент, песок, сахар, злаки и т.д.).

• Диапазон измерений уровня: от 0,1 до 50 м.

• Выходной сигнал: 4–20 мА с цифровым сигналом на базе HART–протокола или Foun-dation™ Fieldbus.

• Наличие взрывозащищенного исполнения.

• Межповерочный интервал – 2 года.

• Внесен в Госреестр средств измерений под № 38679, сертификат № 32768.

Уровнемеры Rosemount серии 5300 с успехом применяются в следующих отраслях промышленности: химическая и нефтехимическая; нефтегазовая; целлюлозно/бумажная; фармацевтическая; пищевая про-

мышленность и производство напитков; контроль питьевой воды и сточных вод; энергетика (плотины и гидроэлектростанции).

Уровнемеры Rosemount серии 5300 имеют следующие достоинства:

- точность измерений не зависит от диэлектрической проницаемости, плотности, температуры, давления и pH;
- широкий диапазон измерений и качественные измерения сред с низким коэффициентом отражения (диэлектрическая постоянная от 1,4);
- различные типы зондов позволяют применять уровнемер в резервуарах разной геометрии и с внутренними конструкциями;
- подходят для измерений уровня сыпучих веществ (гранулы, порошки);
- возможность одновременного измерения уровня и уровня границы раздела двух жидкостей;
- возможность измерений в высокотемпературных процессах, процессах с высоким давлением и высокоагрессивных средах;
- надежность измерений в условиях высокой турбулентности или вибраций, запыленности и парообразования.

Также компания Emerson представляет волноводный радарный уровнемер Rosemount 5300 в криогенном исполнении. Данное исполнение подходит для хранилищ жидких газов при низких температурах до -196 °C таких как: природный газ, этан, пропан, бутан, этилен, различные инертные газы (аргон, неон, ксенон), диоксид углерода и передвижных резервуаров. Прибор имеет несколько степеней защиты от воздействия температуры и давления. Двухпроводное соединение упрощает установку и снижает затраты на монтаж.

7.1.2 Применение уровнемера от условий технологического процесса

Диапазон измерений волноводного уровнемера Rosemount 5300 зависит от типа зонда и конкретных условий технологического процесса, а именно на формирование эхо-сигнала могут повлиять:

- Наличия в резервуаре внутренних конструкций вблизи зонда.
- Среды с более высоким значением диэлектрической постоянной (ε_r) отражают лучше, следовательно, для них диапазон измерений больше.
- Наличие пены и частиц в атмосфере резервуара может ухудшить качество измерений.
- Для оптимальной работы однопроводного зонда в неметаллических резервуарах (например, бетонных или пластиковых) зонд следует монтировать с металлическим фланцем.

• Спокойная поверхность обеспечивает лучшее отражение, чем турбулентная, поэтому для турбулентной поверхности диапазон измерений будет меньше.

• Наличия в резервуаре электромагнитных помех.

• Следует избегать эксплуатации уровнемера в применениях со средами, вызывающими сильные налипания/загрязнения зонда, поскольку это может снизить диапазон измерений и привести к ошибкам измерения уровня. Для вязких и налипающих сред особое значение имеет правильный выбор зонда. Может потребоваться его периодическая очистка.

В зависимости от условий технологического процесса используется один из пяти типов зондов: коаксиальный, жесткий двухстержневой, жесткий одностержневой, гибкий двухпроводный и гибкий однопроводный (рис. 49). Выбор зонда обусловливается свойствами среды (плотность, вязкость, агрессивность), уровень которой необходимо измерить.

Рис. 49. Вид зондов волноводного уровнемера

Коаксиальный зонд.

Обеспечивает самое высокое отношение сигнал/шум. Максимальный диапазон измерений при использовании коаксиального зонда составляет 6 м.

Двухстержневой жесткий или двухпроводной гибкий зонды.

Двухстержневой зонд с жесткими стержнями подходит для измерений в диапазоне до 3 м. Для гибкого двухпроводного зонда диапазон измерений составляет до 23,5 м.

Одностержневой жесткий или однопроводный гибкий зонды.

Менее восприимчивы к налипанию среды и образованию наростов. Одностержневой зонд (с жестким стержнем) рекомендуется для измерений в диапазоне до 3 м, а однопроводный гибкий – до 23,5 м. Кроме того, для измерений агрессивных сред (кислоты, щелочи, солевые растворы) можно заказать уровнемер серии 3300 с зондами из специальных материалов: Hastelloy, Monel и с покрытием из материала PTFE.

1. Налипание среды на поверхность зонда.

Налипание среды на поверхность зонда может привести к снижению чувствительности уровнемера и к ошибкам измерения. При применении уровнемера для измерения уровня вязких или липких сред важно правильно выбрать тип зонда. При неправильном выборе зонда может потребоваться его периодическая очистка для предотвращения недостоверности показаний.

Для вязких и налипающих жидкостей рекомендуется использовать зонды из PTFE. PTFE – антипригарное, антиадгезивнное, агресивностойкое покрытие (политетрафторэтилен (тефлон)).

Максимальная погрешность измерений в связи с загрязнением/налипанием может составлять 1/10 % в зависимости от типа зонда, диэлектрической постоянной, толщины и высоты налипания на поверхности зонда.

2. Перемычки.

При использовании двухстержневого, двухпроводного или коаксиального зонда следует учитывать, что в случае измерений липкой среды или при наличии липкого поверхностного слоя возможно образование перемычки между оболочкой и внутренним стержнем для коаксиального зонда или между стержнями/проводами зонда. Это приведет к неправильному измерению уровня. Для таких технологических сред рекомендуется использовать однопроводные или одностержневые зонды.

3. Пена.

Точность измерения уровня пены зависит от свойств пены: легкая и воздушная или плотная и тяжелая, с высокой или низкой диэлектрической проницаемостью и т. д. Если пена проводящая и сметанообразная, уровнемер может измерить уровень поверхности пены. Если проводимость пены низкая, радиоизлучение будет проникать сквозь пену, и уровнемер будет регистрировать уровень поверхности жидкости.

4. Пар.

В некоторых случаях (например, при измерении уровня аммиака) над поверхностью продукта имеется густой пар, который может повлиять на измерение уровня жидкости. Радарный уровнемер серии 5300 может быть сконфигурирован так, чтобы скомпенсировать влияние пара.

7.1.3 Примеры применений

Rosemount серии 5300 предлагает преимущества надежных и достоверных измерений в широком спектре применений. Уровнемеры серии 5300 подходят для применений во многих перерабатывающих отраслях, нефтяной и газовой, нефтехимической, химической, энергетической отраслях, при очистке воды и переработке отходов. Волноводная технология, реализованная в серии 5300 совместно с инновационными инженерными разработками, делает его устойчивым к воздействию изменяющихся технологических условий. Серия уровнемеров 5300 практически не имеет ограничений по установке.

Сыпучие материалы (Рис. 50**,** *а*). Модель 5303 с гибким однопроводным зондом разработана для измерений сыпучих материалов с малыми значениями диэлектрической постоянной (до 1.4). Имеются зонды для высоких растягивающих (весовых) нагрузок. 5300 подходит для измерений порошковых материалов, таких как цемент, зольная пыль, гранул, пластиковых материалов, таких как поливинилхлорид, зерна, круп и т. д. Диапазон измерений составляет до 50 м.

Измерение в баках с турбулентностью, паром и внутренними конструкциями (рис. 50, *б*). Rosemount серии 5300 непрерывно предоставляет сведения об уровне, в таких условиях, где другие устройства могли бы выйти из строя. Благодаря запатентованной технологии прямого переключения, полученный сигнал в два/пять раз сильнее по сравнению с другими волноводными уровнемерами. Результатом является наивысшая способность к работе при наличии создающих помехи объектов, налипаний на зонде, пены, пара и турбулентности.

Минимизация риска в наиболее жестких условиях эксплуатации (рис. 50, *в*).

Rosemount серии 5300 с надежной конструкцией зондов для экстремальных условий (высокое давление и температура) обеспечивает измерения с высокой достоверностью в резервуарах или байпасных камерах. Примерами могут быть ректификационные колонны, нефтеперерабатывающие установки и т. д. На проведение измерений не оказывают влияние колебания плотности среды с низкой отражательной способностью или конструкция байпасных камер.

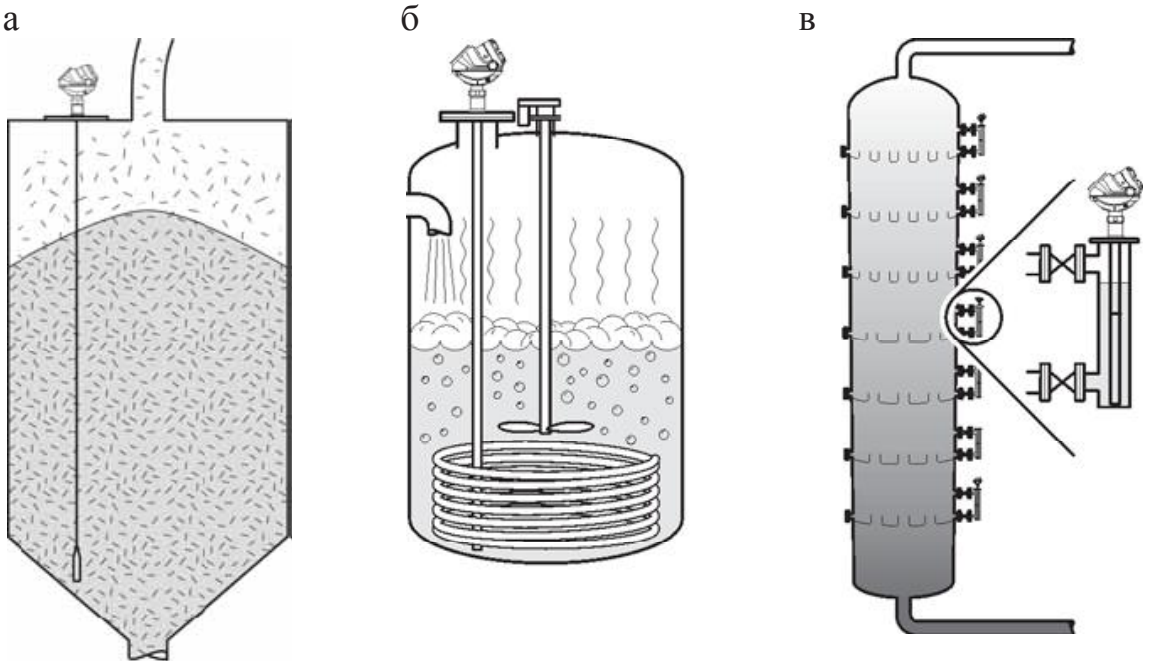


Рис. 50. Измерение уровня при различных условиях

Лучшие характеристики при измерении сжиженных газов (рис. 51, *а*). Rosemount серии 5300 превосходно подходит для применений с сжиженными газами, так как блок электроники уровнемера можно обслуживать и снимать, не нарушая герметичности резервуара. Широкие диапазоны измерений допускают работу в больших резервуарах с сжиженными нефтяными газами, газоконденсатном и аммиаком.

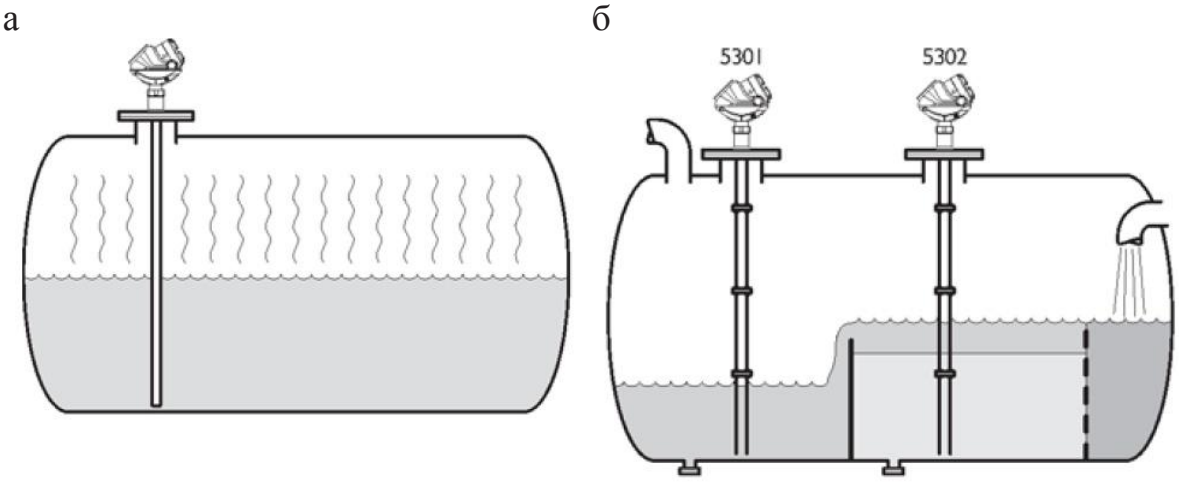


Рис. 51. Измерение уровня при различных условиях

Уровнемеры серии 5300 также применимы для процессов с турбулентностью и перемешиванием сред.

Одновременное измерение уровня и уровня границы раздела двух сред (рис. 51, *б*). При использовании одного уровнемера Rosemount серии 5300 возможно измерить и уровень верхней среды и уровень границы раздела двух сред. Примерами таких применений являются сепараторы, отстойники и т. д. Таким образом, можно избежать применения дополнительного оборудования на резервуаре. Используйте уровнемеры Rosemount серии 5300 с однопроводным зондом для надёжных измерений сред, склонных к налипанию, таких как сырая нефть.

Преимущества при работе на подземных установках (рис. 52). Зонды, применяемые в уровнемерах Rosemount серии 5300, подходят для установки и работы в высоких и узких установочных патрубках или с расположенными вблизи объектами. Это дает возможность уровнемеру работать в подземных резервуарах, где место для установки оборудования обычно ограничено.

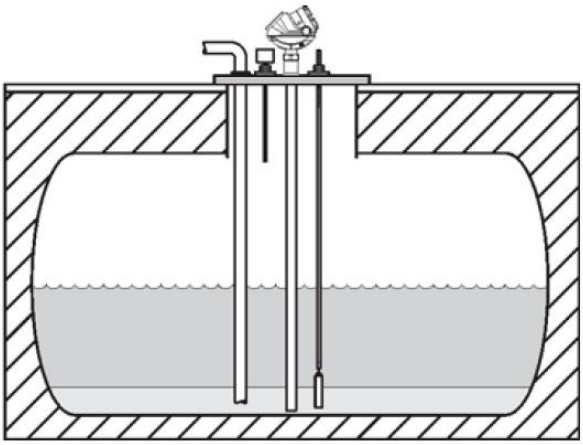


Рис. 52. Измерение уровня при различных условиях

8 Радиоизотопные уровнемеры

Радиоизотопные уровнемеры используются для точного бесконтактного измерения уровня в сложных условиях технологического процесса (рис. 53). Гамма-излучение обеспечивает простую и надежную систему неразрушающего контроля уровня жидкостей, твердых тел, или суспензий независимо от размеров и формы резервуара. Радиационные датчики не требуют проникновения ни в объем продукта, ни в резервуар вообще.

Поскольку измерение проводится вне удерживающего жидкость резервуара, гамма-измеритель не подвержен влиянию высоких температур и давлений, коррозии, абразивов, испарений, пыли, что могло бы воздействовать на инструмент, вводимый в измеряемую среду, или даже разрушить его. Несмотря на высокую эффективность, к этому методу измерения уровня обращаются в последнюю очередь – из-за дороговизны и специализированных требований.

Рис. 53. Радиоизотопный уровнемер Gammapilot M FMG60 и контейнер источника, производство Endress+Hauser

Радиоизотопные уровнемеры применяют для измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов в закрытых емкостях и делятся на две группы:

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

Использование приборов с радиоизотопными излучателями целесообразно там, где другие методы измерения непригодны. Однако с учетом способности радиоактивного источника пронизывать излучением типичный стальной резервуар, для работы с ним потребуются специальные разрешения, принятие мер по обеспечению радиационной безопасности обслуживающего персонала и сохранности источника, обучение операторов, поэтому это техническое решение требует тщательной продуманности и предварительной подготовки [24, 25].

Появившиеся в последнее время высокочувствительные «протяженные» (длиной до 2 м) блоки детектирования для регистрации гамма-излучения позволяют в большинстве случаев отказаться от применения специализированных источников ионизирующего излучения большой активности и создавать на базе естественных радионуклидов (соли калия) экологически безопасные источники излучения [26].

Радиоизотопный метод измерения уровня позволяет в условиях особо жестко заданных параметров среды внутри технологического оборудования производить контроль и измерение уровня с высокой точностью и стабильностью.

Достоинства радиоизотопного метода измерения уровня:

- Непрерывное, бесконтактное измерение уровня любых продуктов.
- Применение даже при самых тяжелых условиях процесса: высоком давлении, высокой температуре, высокой коррозийности, токсичности, абразивности.
- Применяется на любых промышленных емкостях при наличии конструкционной оснастки внутри контролируемого пространства: реакторах, автоклавах, сепараторах, резервуарах с кислотой, смесителях, циклонах, вагранках.
- Подключение к системе по открытым протоколам.
- Используется в системах безопасности для определения предельного уровня.

Недостатки:

- Требуется наличие лицензирования на возможность использования приборов с источниками излучения.
- Дополнительное техобслуживания

Уровнемер применяется в горнорудной, химической, металлургической промышленностях, а также на предприятиях ядерно-топливного цикла.

8.1 Принцип действия

Принцип действия основан на степени поглощения проходящего через вещество в резервуаре гамма-лучей, проходящих выше или ниже уровня раздела двух сред разной плотности. Радиоактивный источник гамма-излучения размещается с одной стороны резервуара. На другой стороне монтируются датчики, аналогичные счетчику Гейгера, для считывания показаний уровня. Приемник и излучатель радиационного излучения перемещаются по всей высоте емкости на специальных лентах с помощью реверсивного электромотора. Комплект прибора состоит из трех блоков: преобразователя, содержащего источник и приемник излучения; электронного блока; показывающего прибора. Если измерительная система (источник и приемник γ-лучей) расположена выше уровня измеряемой среды, поглощение излучения слабое и от приемника по кабелю на блок управления будет приходить сильный сигнал. По этому сигналу электродвигатель получит команду на спуск измерительной системы. При снижении ее ниже уровня среды поглощение γ-лучей резко увеличится, сигнал па выходе приемника уменьшится, и электродвигатель начнет поднимать измерительную систему. Точность измерений определяется количеством датчиков, поэтому обычно этот метод используют для регистрации верхнего и нижнего пределов.

Таким образом, положение измерительной системы будет отслеживать уровень в емкости (точнее, она будет находиться в непрерывном колебании около измеряемого уровня). Это положение в виде угла поворота ролика преобразуется измерительным устройством в унифицированный сигнал – напряжение постоянного тока U.

Например, в состав радиоизотопного уровнемера навесного НПП «ТЕТРА» (Украина) входят блок гамма источника, блок детектирования, блок согласования, преобразователь температуры, устройство индикации, пульт настройки (рис. 54, 55).

Назначение блоков:

- блок гамма источника служит для размещения источника ионизирующего излучения и защиты от излучения обслуживающего персонала;
- блок детектирования предназначен для регистрации гамма-квантов и преобразования их в электрические импульсы с нормированной амплитудой;
- блок согласования регистрирует импульсы, поступающие из блока детектирования, и передает накопленную информацию далее по интерфейсу RS-485;

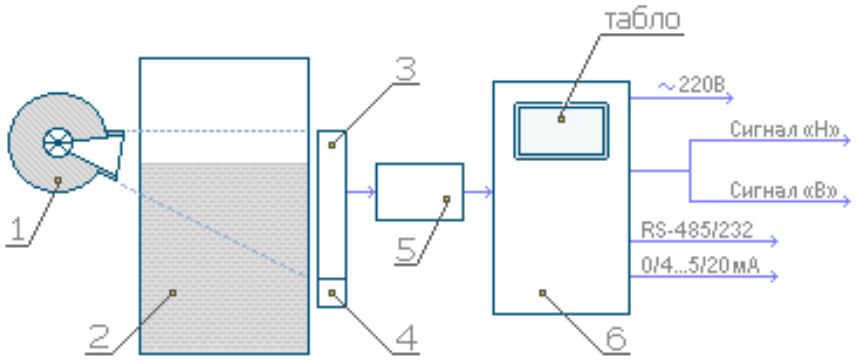


Рис. 54. Измерение уровня с использованием блока гамма источника:
1 – блок гамма источника; 2 – емкость, бункер (аппарат);
3 – блок детектирования; 4 – преобразователь температуры;
5 – блок согласования; 6 – устройство индикации

– преобразователь температуры следит за изменениями температуры блока детектирования и инициализирует ввод корректирующих поправок в градуировочные характеристики уровнемера;
– пульт настройки технологический позволяет производить автономную настройку и корректировку параметров уровнемера непосредственно на месте монтажа блоков детектирования;

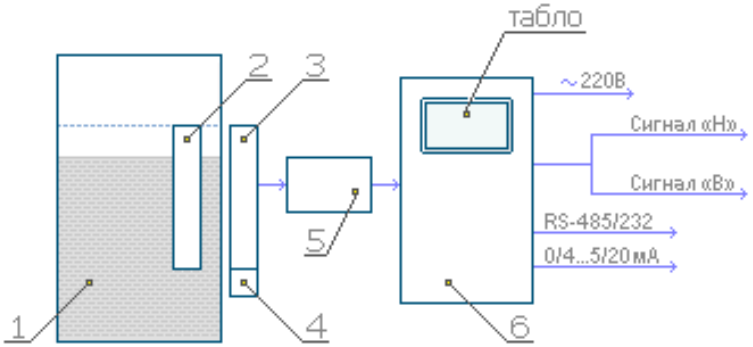


Рис. 55. Измерение уровня при помощи протяженного безопасного источника:
1 – емкость, бункер, (аппарат); 2 – протяженный источник (герметичная емкость, заполненная KCl); 3 – блок детектирования; 4 – преобразователь температуры; 5 – блок согласования; 6 – устройство индикации

– устройство индикации обрабатывает информацию, поступающую из блока согласования, хранит в энергонезависимой памяти градуировочные характеристики, производит вычисления значений уровня, вырабатывает выходные токовые и интерфейсные сигналы для дальнейшей передачи в системы АСУ ТП, а также отображает по-лученные значения уровня на жидкокристаллическом знако-цифровом табло.

9 Основные типы сигнализаторов уровня

Сигнализаторы уровня, в отличие от датчиков уровня, предназначены исключительно для сигнализации и контроля верхнего и нижнего уровней измеряемой среды. Сигнализаторы имеют большие достоинства перед датчиками уровня: на сигнализацию не влияет ни турбулентность процесса, ни вибрация. Сигнализаторы уровня подходят практически для всех типов жидкости за счет огромного выбора материала для смачиваемых частей [27].

Сигнализаторы так же могут использоваться в вязких жидкостях, таких как битум, шоколадный сироп. В данном случае следует понимать, что сигнализатор будет нуждаться в постоянном обслуживании и время очистки будет довольно продолжительным, что может привести к простою технологического процесса. Сигнализаторы имеют ряд ограничений по плотности измеряемой жидкости, обычно плотность жидкости не должна превышать 600кг/м^3. Рекомендуемый диапазон по плотности для подобных сигнализаторов составляет от 0,2 до 10 000 сП.

Следует так же помнить, что сигнализаторы практически во всех применениях отлично переносят наличие пены, но есть случаи, когда под воздействием пены сигнализаторы начинают выдавать ложные сигналы. Обычно это очень плотные виды пен, которые сигнализатор определяет как жидкость.

Сигнализаторы уровня формируют электрический 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 предлагаются следующие средства контроля:

- поплавковые выключатели,
- концевые выключатели с вибрирующим чувствительным элементом,
- кондуктометрические выключатели,
- ёмкостные выключатели,
- погружные магнитные зонды.

В табл. 1 представлены основные типы средств определения предельного уровня и области их применения [9].

Таблица 1

Основные типы средств определения предельного уровня

Средства контроля уровня	Определение предельного уровня	
	Жидкости	Сыпучие материалы
Поплавковые выключатели	да	нет
Вибрационные концевые выключатели	да	да
Кондуктометрические выключатели	да	нет
Ёмкостные выключатели	да	да
Магнитные погружные зонды	да	нет

В таблицу 2 приложения А сведены основные характеристики, достоинства и недостатки рассмотренных выше методов измерения уровня.

10 Выбор технологии измерения уровня

Измерение количества жидкого или твердого вещества в резервуаре является одной из основных задач технологического контроля. Обстоятельства, при которых требуется определение собственно уровня, распространены гораздо в меньшей степени [28]. Как правило, в большинстве случаев требуются сведения о текущем значении объема.

Выбор методики измерения следует начинать с анализа технологического процесса и определения необходимой информации:

1. Количество контролируемых уровней.

Измерение уровня может быть непрерывным, т. е. не привязанным к какой-либо конкретной точке. При этом отображается наполнение емкости в процентном отношении реального объема измеряемой среды к общему объему емкости, которая принимается за 100 %. Так же существует дискретный способ контроля непосредственно выбранной точки, нескольких точек или одной точки с небольшими отклонениями. Сигнализация по верхнему/нижнему пределу, для исключения переполнения или полного опустошения емкости, многоточечный контроль уровня с определенным количеством точек сигнализации.

2. Измеряемая среда.

Свойства среды зачастую играют определяющую роль при выборе типа датчика-реле. Среды бывают жидкими или сыпучими, которые в свою очередь делятся на электропроводные и неэлектропроводные. Электропроводность важный показатель при выборе приборов работающих по принципу изменения сопротивления и по емкостному принципу. Также среда может быть агрессивной, вязкой или с выпадением осадка. Данные факторы также имеют немаловажное значение.

Измерение уровня твердых веществ вызывает затруднения, поскольку порошки и зернистые материалы не всегда оседают полностью. Они могут покрывать внутренние поверхности или образовывать «разгрузочные пустоты» вблизи точек выхода. Это, в зависимости от технологии, может привести к ненадежности считываемых показаний. Характеристики жидкостей намного облегчают задачу, но и в жидкостях могут появиться проблемы оседания, связанные с образованием суспензий или содержанием в них нерастворимого остатка. Более того, пена, турбулентность и даже пыль могут ввести в заблуждение при использовании отражательных методов измерений, а диэлектрические характеристики могут повлиять на показания емкостных датчиков.

3. Тип емкости.

Форма, материал емкости, а также расположение, т. е. доступ к ней, важные показатели выбора системы измерения и способа монтажа. К примеру, если емкость подземного типа, то доступ к ней возможен только сверху. При таких условиях контроль уровня поплавковыми датчиками затруднителен, а емкостные или по принципу изменения сопротивления должны монтироваться вертикально. Соответственно под такой монтаж должна подбираться нужная длина датчиков.

Если содержимое отличается повышенной реакционной способностью или бак находится под высоким давлением, проникновение в который может вызвать затруднения, а подходящий зонд или канал в нем отсутствуют, может потребоваться доработка конструкции.

4. Точность измерений.

Обычно вопрос о точности измерений относится только к непрерывным измерениям. В зависимости от размеров сосуда измерения могут быть очень точными (±<1 %), но при этом потребуются значительные затраты. Необходимость выполнять точные измерения в крупном резервуаре в широких пределах встречается редко.

Одним из простейших и наиболее надежных способов определения степени наполнения резервуара является его взвешивание. Это единственный метод, который дает истинное значение массы независимо от того, известны ли внутренние размеры резервуара. Степень наполнения резервуара можно определить при помощи тензодатчиков, помещенных под его опорой, вычитая собственный вес. Этот метод пригоден для любого типа содержимого и при отсутствии помех со стороны трубопроводов или других соединений и способен обеспечить высокую точность измерений.

Различают следующие четыре типа прикладных задач с соответствующими рекомендуемыми техническими решениями для каждой из них.

1. Точечное измерение уровня жидкостей:
- Емкостной метод.
- Кондуктометрический.
- Поплавковый.
- Вибрационный.
2. Непрерывное измерение уровня жидкостей:
- Гидростатический.
- Поплавковый.
- Ультразвуковой.
- Радиолокационный.

3. Точечное измерение уровня сыпучих сред:
– Емкостной метод.
– Вибрационный.
4. Непрерывное измерение уровня сыпучих сред:
– Ультразвуковой метод.
– Радиолокационный.

Для подбора уровнемера производители и фирмы-дистрибьюторы рекомендуют заполнить специальные формы, для предварительного выбора (рис. 56) и опросные листы (приложение В)

Модификация	Среда	Крепление	Исполнение
общепромышленное испол	масла	штуцерное	стандартное
Высота резервуара, мм*	Высота горловины, мм	Высота присоед. патрубка, фланца, мм	Диэлектрическая проницаемость
0	0	0	0
Удельная электропроводность	Температура окружающей среды	Температура измеряемой среды	Токовые выходы
0	от -40 до +60	от +5 до +250	0-5(мА)

☐ Предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,5% (стандарт 1 %)
☐ "А" - установка в системах контроля, управления, сигнализации на атомных станциях (АЭС)
☐ "П" - прошёл комплексное опробование по специальным программам, отбраковку, дополнительные стендовые испытания 360ч

Рис. 56. Форма подбора уровнемера

Основываясь на опросных листах фирм-производителей датчиков уровня можно составить следующий алгоритм для выбора датчика.

1. Определить тип резервуара с измеряемой средой.
   - Материал, из которого изготовлен резервуар, может влиять на емкостные датчики, на остальные приборы материал резервуара не влияет.
   - Установка вертикальная/горизонтальная, большинство датчиков вертикальной установки.
   - По расположению резервуар может быть: – внутренний; – наружный; – подземный;
2. Определить характеристики рабочей среды.
   - Температура рабочей среды и давление.

Например большинство поплавковых датчиков имеют рабочую температуру более 100 °С, а рефлексные до 600 °С. Для работы при высоких давлениях так же лучше всего выбирать рефлексные уровнемеры.

- Агрессивность среды.

Радарные датчики уровня не имеют контакта с продуктом, что позволяет использовать их с агрессивными продуктами в тяжелых условия (высокое давление, высокие температуры, пары и газы над поверхностью). По сравнению с ультразвуковыми уровнемерами, радарные – способны обеспечить большую точность измерения и обладают меньшей зоной нечувствительности.

- Возможность коррозии частей контактирующих с продуктом или проникновения паров продукта в прибор с последующей конденсацией.

Существуют датчики с защитной оболочкой от коррозий и от конденсатов.

- Возможность налипание продукта на контактные части элементов

Для липких сред рекомендуется применять вибрационные уровнемеры.

- Взрывозащищенное исполнение (для нефтепродуктов).
- Присутствие бурлящей и пенящей поверхности.

Принцип использования радарных датчиков располагает возможность использования в условиях запыленности, испарений, пенообразования.

- Высокая точность.

Для магнитострикционных датчиков уровня характерна точность измерения порядка 0,02 %, 0,005 %.

- Необходимость соблюдения санитарных норм, например, для питьевой воды или пищевых продуктов.

Некоторые типы вибрационных датчиков предельного уровня имеют релейный (пороговый) выход специально для пищевой и фармацевтической промышленности

- Необходимость определения уровня раздела двух жидкостей.
- Диапазон измерения.
- Вид выходного сигнала.

11 Список литературы

1. Рачков М.Ю. Технические средства автоматизации. – М.: МГИУ, 2007. – 186 с.

2. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: МЭИ, 2007 – 458 с.

3. Каталог продукции. Уровнемеры // www.afriso.ru

4. Никитин О. Уровень под контролем // www.energyland.info

5. Cesare Bonetti S.P.A. Указатели уровня жидкости // www.rfcorsa.ru

6. Каталог продукции // www.rospribor.com

7. Каталог товаров. Датчики уровня // www.sensoren.ru

8. Каталог датчиков уровня жидкости // www.sensorica.ru

9. Виктор Жданкин. Сигнализаторы изменения уровня // www.cta.ru

10. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. – М.: Академия, 2009. – 464 с.

11. Приборы КИПиА. Измерение и регулирование уровня // www.kipia.ru

12. Статьи. Буйковый метод измерения уровня в промышленном производстве // www.technoline.ru

13. Руководство по эксплуатации // www.metran.ru

14. Руководство по эксплуатации буйкового измерительного преобразователя уровня EZ Modulevel // www.ural-test.ru

15. Каталог продукции // www.td-automatika.ru

16. Каталог продукции // www.kipspb.ru

17. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник. – М.: Техносфера, 2006. – 588 с.

18. Либерман В.В., Личков Г.Г. Радарные уровнемеры. Прошлое, настоящее, будущее // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 8. – С. 57–60.

19. Справочник. Приборы для измерения уровня // www.rossens.ru

20. Либерман В.В. Измерение уровня с помощью радарных уровнемеров // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 6. – С. 34–38.

21. Кулаков М.В Технические измерения для химических производств. – М.: Альянс, 2008. – 424 с.

22. Шандров Б.В. Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации. – М.: Академия, 2010 – 362 с.

23. Дорошко В.В. Передовая технология бесконтактного измерения уровня // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 3. – С. 46–48.

24. Шерман В.С. Уровнемеры всё повышают и повышают свой уровень // Промышленные АСУ и контроллеры: ежемесячный научно-технический производственный журнал. – 2003. – № 12. – С. 53–58.

25. ГОСТ 21497–90. Уровнемеры радиоизотопные. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1990 – 19 с.

26. Каталог приборов радиационного и технологического контроля // www.tetra.ua

27. Уровнемеры, Полевое оборудование // www.transmitters.ru

28. Выбор датчиков уровня // www.controlengrussia.com/

Приложение А

Таблица 2

Основные характеристики, достоинства и недостатки методов измерения уровня

Тип уровнемера	Измеряемая среда	Диапазоны измерений	«Плюсы» уровнемера	«Минусы» уровнемера
Радарный	Различные жидкие, вязкие, парящие, неоднородные, выпадающие в осадок, взрывоопасные продукты, в том числе нефтепродукты	От 0,5 до 50 м От –40 до +100 °С До 1,6 МПа	Высокая точность, стабильность измерения, удобство расположения на резервуаре	Неудобство измерений при кипении или бурлении поверхности продукта
Ультразвуковой	Парящие, бурлящие, дымящие жидкости, жидкости с пеной; твердые сыпучие материалы	От 0,2 до 12 м От –30 до +60 °С От 0,3 до 3 бар	Высокая помехозащищенность; удобство расположения на резервуаре	Неудобство измерений пенообразующих жидкостей

Тип уровнемера	Измеряемая среда	Диапазоны измерений	«Плюсы» уровнемера	«Минусы» уровнемера
Гидростатические	Однродные, вязкие жидкости	От 2 до 100 м От –10 до 16 °С От 0,1 до 16 бар	Низкая цена; простота конструкции	Низкая точность измерений; ограниченность применения
Буйковые	Топливо, масла, нефтепродукты	До 10 м от –60 до +400 °С до 700 бар	Точность измерения в пенящихся жидкостях	Зависимость показания от плотности жидкости; затратные установка и дальнейшая эксплуатация
Поплавковые	Жидкости (в т. ч. с низкой плотностью)	До 25 м –40 до +130 °С До 25 бар	Высокая точность; независимость показаний от состояния поверхности продукта	Сложность монтажа; зависимость показания от плотности среды
Емкостные	Жидкая (масла, жидкие хладоагенты), сыпучая (гранулы до 5мм)	От 0,2 до 20 м 0…70 °С	Надежность, высокая точность	Невозможность работы в вязких (налипающих) средах
Омические	Электропроводные жидкости	До 5 м +10...60 °С До 10 бар	Высокая точность, низкая стоимость	Невозможность применения в средах вязких, кристаллизующихся, образующих твердые осадки и налипающих на электроды преобразователей

Тип уровнемера	Измеряемая среда	Диапазоны измерений	«Плюсы» уровнемера	«Минусы» уровнемера
Волноводные	Жидкости, границы раздела двух жидкостей	До 32 м –100 до +400 °С от –1 до +160 бар	Различные варианты исполнения, возможность измерения при любых состояниях поверхности продукта	Высокая стоимость
Радиоизотопный	Любые продукты		Применяется на любых промышленных емкостях: реакторах, автоклавах, сепараторах, резервуарах с кислотой, смесителях, циклонах, вагранках	Требует дополнительных средств безопасности для персонала

Приложение В

Опросный лист для выбора уровнемеров Rosemount

Информация о заказчике	
Предприятие:	Промышленность:
Адрес:	
Ф.И.О.	Должность:
Тел. / факс:	e-mail

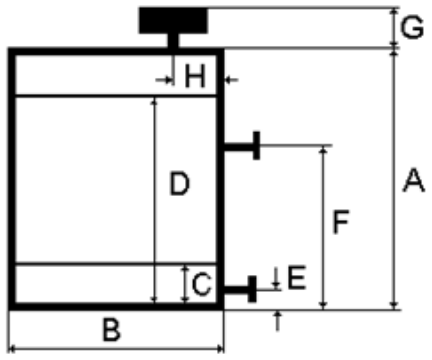
Требуемое измерение		Требования к датчику	
☒ Уровень	☒ Раздел фаз	Погрешность:	☐ Встроенный дисплей
☒ Объем	☒ (другое)	Исполнение:	
		Выходной сигнал:	

Предпочтительный тип датчика		
☐ Бесконтактный радарный уровнемер	☐ Контактный волноводный радарный уровнемер	Количество:

Информация о процессе
Наименование процесса: Наименование измеряемой среды: Плотность среды: кг/м³
Диэлектрическая проницаемость: ☐ 1,6 - 2 ☐ 2 - 3 ☐ 3 - 10 ☐ >10 Температура процесса: Мин. Норм. Макс. °C Температура окружающего воздуха: Мин. Норм. Макс. °C Давление процесса: Мин. Норм. Макс. атм Вязкость: ☐ сР ☐ сСт ☐ _____ При температуре: °C
Турбулентность процесса: Причина турбулентности: ☐ перемешивание ☐ налив ☐ завихрения Примерное колебание уровня из-за турбулентности: мм
Скорость изменения уровня при наливе: мм/с | Скорость изменения уровня при сливе: мм/с
Агрессивность среды:
Имеет ли среда какие-либо из следующих характеристик? (Отметить все, имеющие место) ☐ Насыщена газом (Аэрирована) ☐ Может обволакивать смачиваемые детали ☐ Многофазная жидкость (заполнить таблицу ниже) ☐ Пары могут обволакивать не смачиваемые поверхности ☐ Возможна кристаллизация / ☐ налипание ☐ Имеется твердый осадок
Объем над жидкостью имеет: (Отметьте все категории, имеющие место в процессе) ☐ Водяной пар ☐ Подушку инертного газа ☐ Тяжелые пары продукта ☐ Пыль ☐ Легкие пары продукта ☐ Тенденцию к конденсации на поверхностях
Пена: Примерная толщина слоя: мм
Какие категории точнее всего описывают пену в данном случае? ☒ Легкая пена, большие пузыри, обилие воздуха (как-то: пена от пробулькивания воздуха через среду). ☒ Смесь плотной и легкой пены. Четкий раздел фаз с жидкостью (как-то: пена в стакане пива). ☐ Плотная пена, маленькие пузырьки. Четкий раздел фаз с жидкостью (пример: крем для бритья). ☐ Очень плотная пена, может удерживать немного жидкости или твердой фракции. ☐ Плотная или легкая пена, но имеет слой эмульсии между пеной и жидкостью.

Только многофазные применения	
Верхний продукт:	Нижний продукт:
Диэлектрическая проницаемость верхнего продукта: (точное значение!)	Диэлектрическая проницаемость нижнего продукта: (точное значение!)
Толщина слоя верхнего продукта мм	

Данные о резервуаре		
☐ Открытый резервуар	☐ Закрытый резервуар	☐ Вентилируемый резервуар
Существуют ли какие-либо ограничения для монтажа уровнемера?		
☐ Нет ограничений	☐ Монтаж только сбоку	
☐ Монтаж только сверху	☐ Только окно	
☐ Монтаж только снизу (со дна)		

Геометрические размеры (просьба указывать единицы измерения)		
A. Высота Резервуара:	мм	
B. Диаметр Резервуара:	мм	
C. Минимальный Уровень:	мм	
D. Максимальный Уровень:	мм	
E. Высота нижнего отбора (высокого давления)	мм	
F. Высота среднего отбора (низкого давления):	мм	
G. Высота верхнего отбора:	мм	
H. Расположение верхнего штуцера от стенки:	мм	**Объем:** м3

Технологическое соединение с процессом, Верхний отбор (G)			
Фланцевое присоединение		**Резьбовое присоединение**	
Размер фланца		**Тип и размер резьбы**	
☐ DN50 PN40	☐ DN150 PN16	☐ 1,5" NPT	
☐ DN80 PN40	☐ DN200 PN16	☐ 1" NPT	
☐ DN100 PN16	☐	☐ G 1 ½ "	
☐ DN100 PN40		☐ G 1"	
Ответный фланец:			
Шеф- надзор: *(Если шеф-надзор необходим, смотрите Приложение 1)*			

опросный лист на сигнализаторы уровня VEGA

Предприятие – заказчик:	
Контактное лицо (ФИО, должность):	
Контактный тел., факс:	E-mail:

Окружающая среда:	Открытый воздух	Температура (min…max), ºC:	Помещение

Измеряемый продукт:	Жидкий	Сыпучий	Размер гранул_____мм	**Наименование:**
	Температура (min…max), ºC:			Давление, бар:
	Вязкость, мПа·сек:			Плотность, г/см^3:

Способ монтажа:	Вертикальный	Горизонтальный

Тип взрывозащиты:	Нет	Ex ia *	Ex d **

***- только с электроникой Z (2-проводная для подключения к VEGATOR) или с N (Сигнал NAMUR)**

****- только с алюминиевым корпусом и кабельным вводом ½NPT**

Электроника:	Бесконтактный переключатель	Двойное реле (DPDT)	Транзисторный выход (NPN/PNP)	2-проводная для подключения	Сигнал NAMUR

Тип	Фланец	Размер фланца		DN:		PN:	
	Форма	плоский	выступ	впадина	шип	паз	Другая:

Резьба	G¾A	G 1 A	G1½A	Другая:

Tri-Clamp 1"	Tri-Clamp 2"	Накидная гайка DN40PN40 DIN11851

Материал корпуса для электроники:	Пластик	Алюминий	Алюм. Exd	Нерж. сталь

Стержень сигнализатора:	Длина: _____мм*	Материал:	Нерж. Хастеллой С4 Монель
		Покрытие:	Нет Эмаль Фторопласт

***- при типе взрывозащиты Exd максимальная длина 2956мм (только у VEGASWING)**

Настройка:	Стандартная	Для обнаружения твердых веществ в воде (только для сигнализаторов серии VEGAVIB и VEGAWAVE)

Особая очистка (отсутствие масла, жира и силикона) + сертификат 3.1	Да	Нет
Сертификат на материал 3.1/ соответствие NACE0175	Да	Нет
Изготовление соотв. NACE MR 0175	Да	Нет
SIL квалификация	Да	Нет

Идентификационный		Металлическая пластина		Наклейка		Нет
Наименование позиции:						

Количество, шт.:		

Примечания:

Опросный лист для радиоизотопного уровнемера (непрерывное измерение)

Общая информация/General Information

Компания _____
Адрес _____
Контактное лицо _____
Тел./Факс: _____
Количество:_____Позиция:_____

Информация о резервуаре/Vessel Information

Форма резервуара:

☐ Горизонтальный цилиндр — Внешний размер: _____мм/mm

☐ Вертикальный цилиндр — Внутренний размер/ID: _____мм/mm

☐ Другое (приложить чертеж)

Требуемый диапазон измерения уровня/Level span: _____ мм/mm

Стенки резервуара	Описание материала	Рядом с источником		Рядом с детектором	
		Толщина мм	Плотность г/см^3	Толщина мм	Плотность г/см^3
Изоляция					
Внешняя стенка					
Охлаждающая рубашка					
Внутренняя стенка					
Внутренняя изоляция (обшивка)					
Другое/Other					

Из чего состоят стенки _____

Есть ли внутренние объекты или механизмы, препятствующие прохождению излучения? ☐ нет/No ☐ да/Yes

Если да, то предоставьте чертеж, показывающий расположение этих объектов при 0 % уровня и при 100 % уровня

Измеряется ли раздел фаз между двумя веществами?

☐ нет/No ☐ да/Yes

Имеется ли газовая фаза? Если да, то какое вещество? _____ Какова его плотность? _____ г/см^3/ g/cm^3 Изменяется ли давление внутри резервуара? ☐Нет/No ☐Да/Yes – от _____кг /см^2/kg/cm^2 до _____кг /см^2/kg/cm^2
Данные о материале/Process material data
Наименование измеряемого материала (твердое, жидкое, другое):
Плотность (г/см^3)
Происходит ли налипание материала на стенки резервуара ☐нет ☐ да
Если да, то какова толщина налипания? _____мм. Какова плотность? _____ г/см^3/g/cm^3
При заполнении резервуара материал проходит через излучение? ☐ нет/No ☐ да/Yes
Если да, то какова толщина струи? _____ мм/mm

Выходы/Output

☐ 4-20 мА ☐Другой: _____

Требуется ли сигнализация? _____

Установка/Installation	
Где будет установлен прибор	Взрывозащита ☐ С взрывозащитой ☐ Без взрывозащиты
Температура	От _____ до _____

Имеются ли другие источники в радиусе 16 метров?

☐ да/Yes ☐ нет/No

Электропитание: ☐115 VAC ☐24VDC ☐230VAC

Исполнение детектор/электроника: ☐ интегральное исполнение ☐раздельное (выносная электроника)

В случае раздельного исполнения длина кабеля между детектором и электроникой _____м/m

Коммуникация: ☐модуль HART-коммуникации ☐RS-485 ☐RS-232 ☐RS-485 и RS-232

☐конвертер RS485 в RS232

Учебное издание

ВИЛЬНИНА Анна Владимировна
ВИЛЬНИН Александр Даниилович
ЕФРЕМОВ Евгений Викторович

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор С.Н. Ливенцов

Дизайн обложки *XXXXXXX*

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати xx.xx.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 4,89. Уч.-изд. л. 4,42.
Заказ xxx-11. Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru