

УДК 681.128; 621.183.9

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ И ГРАНИЦ РАЗДЕЛА МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКИХ СРЕД
(METHODS FOR MEASURING OF THE LEVEL AND BOUNDARY OF MULTIPHASE LIQUID)**

Ма Синсин, А.Б. Степанов

Ma Xingxing, A.V.Stepanov

Научный руководитель: Федоров Е.М., к. т.н., доцент кафедры информационно-измерительной

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: maxingxing92@mail.ru

Измерение уровня и границ раздела многофазных жидких сред играет важную роль в химической, нефтегазовой, нефтехимической, фармацевтической и других отраслях промышленности. Разнообразие контролируемых сред, условий применения уровнемеров не позволяет использовать какой-либо один физический принцип преобразования, поэтому, как правило, тип уровнемера и принцип его действия выбирают исходя из конкретных контролируемых сред, их состояния и условий применения. Иногда для обеспечения высокой точности и достоверности измерения, для контроля уровня одного и того же вещества могут применяться уровнемеры, основанные на различных принципах преобразования. Например, в случае образования в контролируемой жидкости фракций, возникающих в процессе хранения, переработки.

(Measurement of level and interface multiphase fluid media plays an important role in the chemical, oil and gas, petrochemical, pharmaceutical and other industries. A variety of controlled environments, conditions of use of level does not allow the use of a single physical conversion principle, therefore, as a rule, the type of transmitter and its operating principle is selected because of the particular controlled environment, their status and conditions of use. Sometimes, high accuracy and reliability of the measurement to control the level of the same substance may be used Level based on different principles of transformation. For example, in the case of formation of a controlled liquid fractions encountered during storage and processing.)

Ключевые слова:

Уровень, граница, многофазная, среда, контроль, измерение.

(Level, boundary, multiphase, environment, control, measurement.)

Измерение уровня и границ раздела многофазных жидких сред играет важную роль в химической, нефтегазовой, нефтехимической и других отраслях современной промышленности. Контроль условий технологического процесса предполагает необходимость измерения не только уровня жидкости, но и уровня раздела фаз многофазных сред.

В настоящее время существует достаточно большое количество методов измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред, отвечающих различным требованиям. Многообразие методов измерения уровня объясняется многообразием условий при определении уровня: составом контролируемых сред, характером работы, точностью, надежностью и стоимостью.

Наибольшее распространение среди электрических уровнемеров получили емкостные уровнемеры. Принцип работы емкостных уровнемеров основан на использовании различия электрических свойств жидкости и газового пространства над ней. Главными электрическими свойствами здесь являются диэлектрические проницаемости газовой (воздуха) среды и жидкой среды. Электрическая емкость чувствительного элемента, погруженного в контролируемую жидкость, изменяется в зависимости от положения уровня жидкой среды. Чувствительные элементы таких уровнемеров выполняются в виде протяженных емкостных измерительных преобразователей, состоящих из двух или более электродов-обкладок. Конструктивно это система электродов в виде металлических плоских пластин, стержней или полых коаксиально расположенных между собой цилиндров.

Высокая потребность в чувствительных и точных емкостных уровнемерах и большой спрос на уровнемеры, позволяющие измерять и контролировать положение границ раздела многофазных сред, привели к созданию сегментированных емкостных преобразователей уровня. Преобразователь такого типа конструктивно состоит из двух электродов. Один из электродов – измерительный, выполнен в виде набора отдельных ламелей (обкладок) равномерно размещенных по всей длине чувствительного элемента, второй электрод – общий имеет целостную конструкцию. Управление работой измерительного прибора полностью автоматизировано и осуществляется специальным микропроцессорным модулем, который выполняет последовательный опрос отдельных ламелей. Такое техническое решение в частности реализовано в конструкции межфазного уровнемера МПУ 100. Уровнемер МПУ 100 предназначен для одновременного высокоточного измерения уровня различных жидких сред, в том числе ограниченно вязких сред, а так же уровня раздела фаз жидкостей с различными свойствами (например, границы продукт – вода, продукт – пена).

Поплавковые датчики уровня являются самым простым и недорогим решением для детектирования предельного уровня жидкостей. Вместе с тем, они также являются надежным решением и, при правильном выборе, могут использоваться для сигнализации уровня разных жидких сред от агрессивных жидкостей до обычной воды. В современной уровнеметрии новое развитие получили буйковые уровнемеры, выполненные на базе плотномеров. В основу действия буйковых плотномеров положено использование поплавков с переменным заглублением – буйков. С помощью самого плотномера можно построить зависимость значений силы тяжести буйка в зависимости от его погружения через многофазную жидкую среду и путем пересчета построить так называемый профиль плотностей.[1]

Профиль плотностей (рис.1) представляет собой зависимость текущего значения плотности среды в резервуаре в координатах плотность – уровень, т.е. $\gamma = f(h)$. Данные для построения профиля плотностей получаются вертикальным сканированием пространства резервуара при изменении глубины погружения короткого буйка от начального значения ($h=0$) до нижней точки (дна) резервуара.

Далее, необходимо аппроксимировать кривую $\gamma=f(h)$, определить её первую производную dy/dh , т.е. $grad_h \gamma$. Положения локальных максимумов кривой градиента будет соответствовать положениям границ разделов сред.

В настоящее время для контроля в технологический процесс все шире внедряют новые модели акустических (ультразвуковых) преобразователей уровня. При разработке современных ультразвуковых уровнемеров находят применение ряд оригинальных технических решений. Одним из таких примеров является датчик уровня поплавковый (ультразвуковой) ДУУ2М производства ЗАО «Альбатрос». Датчик уровня ДУУ2М предназначен для измерения уровня различных жидкостей, уровней раздела сред многофазных жидкостей (нефть – эмульсия – подтоварная вода). Датчики ДУУ2М состоят из:

- первичного преобразователя датчика;
- чувствительного элемента (ЧЭ);
- поплавок (поплавков) с постоянным магнитом, скользящего по ЧЭ.

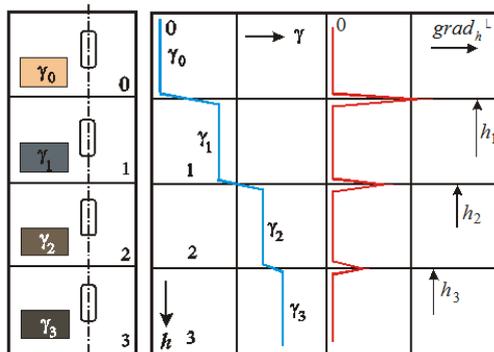


Рис. 1. Определение границ раздела сред через профиль плотностей

Датчики ДУУ2М комплектуются поплавками нескольких типов: тип I, II или IV (для контроля уровня); III или V (для контроля уровня раздела сред).

Измерение уровня датчиками ДУУ2М основано на измерении времени распространения в стальной проволоке короткого импульса упругой деформации. По всей длине проволоки намотана катушка, в которой протекает импульс тока, создавая магнитное поле. В месте расположения поплавка с постоянным магнитом, скользящего вдоль проволоки, в ней под действием магнитоstrictionного эффекта возникает импульс продольной деформации, который распространяется по проволоке и фиксируется пьезоэлементом, закрепленным на ней. Кроме того, возникает импульс упругой деформации, отраженный от нижнего конца ЧЭ датчика и принимаемый пьезоэлементом для датчиков исполнения 1. В датчиках ДУУ2М измеряется время от момента формирования импульса тока до момента приема импульсов упругой деформации, принятых и преобразованных пьезоэлементом. Это позволяет определить расстояние до местоположения поплавка, определяемого положением уровня жидкости. Датчики исполнения 0 измеряют время, прошедшее с момента формирования импульса тока до момента приема сигнала от пьезоэлемента. Это позволяет вычислить расстояние до местоположения поплавка, определяемого положением уровня жидкости, при известной скорости звука.[2]

Радиоизотопные уровнемеры используются для точного бесконтактного измерения уровня в сложных условиях технологического процесса. Радиоизотопные уровнемеры применяют для контроля уровня химически активных, вязких, липких сред, для контроля границы двух несмешивающихся жидкостей. Гамма-излучение обеспечивает простую и надежную систему неразрушающего контроля уровня жидкостей, границы раздел сред или суспензий независимо от размеров и формы резервуара. Радиационные датчики не требуют проникновения ни в объем продукта, ни в резервуар вообще.

Принцип работы преобразователя радиоизотопного основан на зависимости ослабления потока гамма-излучения от параметров контролируемой среды. Поток гамма-квантов источника излучения проникает через объект контроля с контролируемой средой и регистрируется сцинтилляционным счетчиком, который преобразует энергию гамма-квантов в электрические импульсы. Электрические импульсы, несущие информацию о параметрах контролируемой среды, поступают в блок обработки информации, где анализируются микропроцессорной схемой и преобразуются в выходные сигналы. Измерение границ раздел сред гамма-излучения при прохождении через потоки материалов различной плотности (или отражения от них).

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 датчик, 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.

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.

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.

Для измерения уровня жидких сред тепловыми методами используются различия температур жидкости и парогазовой смеси над ней либо различия их теплопроводностей. Сопоставление значений коэффициентов теплопроводности жидкостей и газов показывает, что последние на порядок или два ниже (при одних и тех же температурах и давлениях). Поэтому граница раздела жидкость-газ характеризуется значительным скачком коэффициента теплопроводности, что и используется при измерении уровня жидкости. Сам процесс измерения заключается в определении теплового профиля контролируемой среды и передачи его термочувствительному измерительному преобразователю. При контроле многофазных сред основной задачей является определение положений границ их раздела.

Для построения теплового профиля контролируемой среды необходимо проводить измерение различных тепловых параметров контролируемой среды по высоте h . В качестве таких параметров могут быть приняты, например, коэффициент теплопроводности или распределение температуры вдоль подогреваемого теплового преобразователя с распределенными параметрами в виде цепочки локальных термочувствительных преобразователей «1...1», как показано на рис.2. Источник тока 2 и нагревательный элемент 3 обеспечивают нагрев всей цепочки чувствительных элементов «1..1» по высоте h . При этом датчики, расположенные в разных средах, каждый со своим коэффициентом теплопроводности, зафиксируют «свои» значения температуры. Причем, на границах раздела сред будут наблюдаться резкие изменения температуры. Таким образом, последовательный опрос выходных сигналов термочувствительных преобразователей «1..1» с помощью блока управления, обработки и отображения информации 4 позволяет измерить значения температуры t_i в заданных точках по всей высоте h и построить температурный профиль. При этом сам профиль температуры дает первую информацию о пространственном расположении границ раздела сред. При этом для повышения точности измерения положения границ раздела сред в блоке управления, обработки и отображения информации 4 дополнительно проводится аппроксимация полученной зависимости распределения температуры $t=f(h)$ и определяется распределение температурного градиента $grad_{h,t} = f'(h)$ по высоте h . Положения локальных максимумов градиента $grad_{h,t} = f'(h)$ соответствуют положениям уровней h_1 , h_2 и h_3 на примере рис.2. [1]

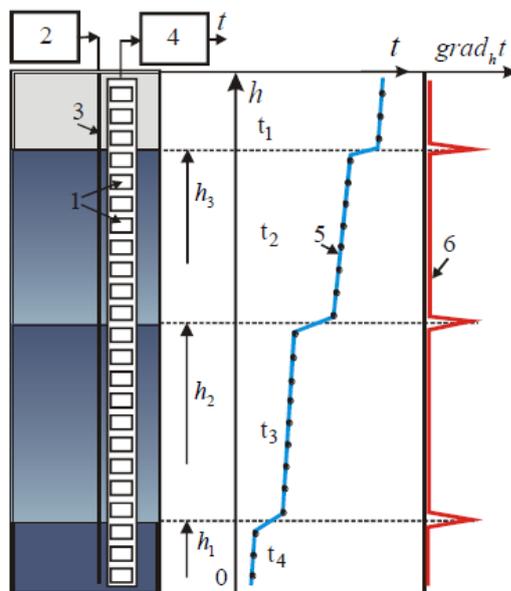


Рис.2. Профиль температур и определение границ раздела контролируемых сред

На данный момент существует множество различных методов измерения уровня. Некоторые из реализованных методов являются уникальными, другие гораздо более универсальны. Но есть методы, которые сочетают в себе уникальность и универсальность. К ним в частности относятся радиоволновые методы.

Волноводный радарный уровнемер Rosemount серии 5300 – это уровнемер для измерения уровня и уровня границы раздела жидкостей, обеспечивает высокую надежность, современные меры обеспечения безопасности, простоту использования и неограниченные возможности подключения и интеграции в системы АСУ. Принцип действия волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением (рис.3). 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 отражается в обратном направлении. 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. Интенсивность

отраженного эхо-сигнала зависит от диэлектрической проницаемости среды. Чем выше коэффициент диэлектрической проницаемости, тем выше интенсивность отраженного сигнала. 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.[3]



Рис.3 Технология рефлектометрии с временным разрешением

Для измерения уровня границы раздела 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.

Для каждой отрасли современной промышленности существуют свои методы и приборы контроля. При выборе уровнемера необходимо учитывать различные физические и химические свойства контролируемой среды, такие как вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него. Ознакомившись с устройством и условиями эксплуатации различных уровнемеров, можно сделать выбор в пользу того или иного метода измерения уровня жидкости. При этом следует также учитывать надежность уровнемеров, их качество и стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров Б.Б. Современная уровнеметрия жидких сред: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 190 с.
2. ООО "Системпромавтоматика" [Электронный ресурс] / Назначение датчика уровня ДУУ2М – Режим доступа: <http://spavt.com/katalog/urovnemer/duu2m.html>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.
3. EMERSON [Электронный ресурс] / Rosemount 5300 – высокопроизводительный волноводный радарный уровнемер. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/rosemount/level/guided-wave-radar/5300-series/pages/index.aspx>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.

Сведения об авторах:

Ма Синсин: г. Томск, : студентка Томского политехнического университета; сфера научных интересов: мой главный интерес состоит в измерении уровня и границ раздела многофазных жидких сред.

Степанов А.Б.: старший преподаватель кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета; сфера научных интересов: уровнеметрия.