



*The ways of levelmetry and their realization are studied on the basis of mechanical, electromechanical, die, optical and light-guiding transformers of linear and angular coordinates are examined.*

А. П. МАРКОВ, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,  
Е. И. МАРУКОВИЧ, Е. М. ПАТУК, ИТМ НАН Беларуси,  
А. Г. СТАРОВОЙТОВ, РУП «МОГИЛЕВЭНЕРГО»

УДК 681.128:532.217

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА УРОВНЕМЕТРИИ В ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИИ

Наличие первичной информации о заполнении технологических емкостей и резервуаров жидкими, вязкими, сыпучими и другими веществами, так называемыми средами, позволяет более рационально организовать производственные процессы и эффективнее употребить исходные материалы, сырье и энергоресурсы. Фактическое наличие среды в емкости определяется по массе, объему, площади или уровню. Соответственно с тем или иным информативным параметром реализуются способы и средства дозирования и измерения в информационно-измерительных приборах и системах контроля, регулирования и управления наполнения, разлива и расхода среды.

В любых способах контроля и регулирования текущее положение среды в емкости определяется расположением поверхности относительно верхнего или нижнего размера резервуара. В соответствии с этим способы реализуют абсолютный или относительный методы измерений. По существу измеряется текущая координата поверхности и от информационно-метрологических характеристик первичных и измерительных преобразователей, свойств среды и технологических условий и требований зависит структурно-алгоритмическая реализация определенного способа уровнеметрии. Многообразие сред и технологий обуславливает разнообразие способов и их конкретных реализаций применительно к задачам и требованиям производственного процесса.

Применимость того или иного способа измерения и контроля характеризуется физическим эффектом первичного преобразования положения среды в информативный параметр, удобный для дальнейшей передачи, обработки и отображения. С учетом этого при некоторой общности инфор-

мационно-измерительных процессов имеются определенные структурно-алгоритмические различия в операциях преобразований применительно как к специфике объекта и отрасли, так и профессиональной ориентации разработчиков и пользователей.

На структурно-алгоритмическую реализацию способа значительное влияние оказывают среда, режим и условия эксплуатации, чувствительность и диапазоны измерения и метрология. Не менее важными являются уровень автоматизации, технико-экономическая и информационно-энергетическая эффективность хозяйского расходования имеющихся материалов, сырья и энергоресурсов на качественно производимую продукцию.

Традиционные методы измерения уровней – поплавковый, буйковый, емкостной и ультразвуковой, которые позволяют с погрешностью 0,5–1,0% оценивать положение среды с верхним пределом до 45–50 м в температурном режиме от –130 до +450 °С для поплавкового и от –210 до +250 °С для ультразвукового. Область применения емкостного метода определена от –60 до +280 °С, а по индивидуальным требованиям и до +600 °С [1].

При различии способов в последовательности преобразовательных операций методы измерений уровней отличаются физическими эффектами преобразования положения среды в контролируемой емкости в соответствующий информативный параметр [2].

В механических способах в качестве чувствительных элементов применяют поплавки или измерительные пластины. Положение среды преобразуется в механическое перемещение контактируемого поплавка, которое за счет механических связей в виде тросика, цепочки или другим путем передается на измерительный преобразователь

и стабилизирующий противовес. Путем механического преобразования осуществляются операции масштабирования и перехода от линейного перемещения во вращательное движение как бы смещенного чувствительного элемента. Вторичное преобразование обеспечивается механическим счетчиком оборотов. При сравнительной простоте и мобильности поплавковые уровнемеры и регуляторы не соответствуют условиям автоматизированного измерения с электронной обработкой.

Метод измерительных пластин использует плоские пластины, плотность которых превышает плотность среды. С помощью тросов, системы противовесов и сервосистем фиксируется положение пластин, погруженных в среду на половину их высоты. Незначительные погрешности от изменения плотности среды, компенсируемые за счет тарировки, обеспечивают прецизионные измерения с погрешностью  $\pm 1$  мм или 0,3% от предела измерения [1, 2].

В механических методах с гибкими (нить, трос, лента) или жесткими (рычаг, рейка) связями используются структурно-алгоритмические реализации уровнемеров, сигнализаторов и регуляторов для производств с жидкими, сыпучими, агрессивными и взрывоопасными средами, изменяющимися в больших диапазонах.

В электромеханических методах сочетаются механические первичные преобразования положения среды с электрическими и оптико-электронными устройствами вторичных преобразований с последующей обработкой, представлением (отображением) и хранением (документированием) результатов. С учетом технологических задач и условий эксплуатации выбираются параметрические или генераторные преобразователи с выдачей сигналов в виде напряжения, тока, частоты или фазы. Контактные резистивные или потенциометрические измерительные преобразователи, бесконтактные емкостные, индуктивные, трансформаторные или преобразователи в виде сельсина составляют большое многообразие традиционных методов и средств разнообразного применения для решения задач измерения и контроля уровней [1, 2]. При этом электромеханическая передача перемещений в виде «электрического вала» сдвоенных сельсинов шаговым переключением с квантованием изменения уровня или кодированием перемещения поплавка в соответствующее положение движковых переключателей ограничивает метрологические возможности, быстродействие и области применения таких способов и средств.

Следует отметить, что относительная надежность, простота и неприхотливость в работе обе-

спечивают электромеханическим методам и приборам иногда предпочтительное применение, комбинация их с современными электронными и оптико-электронными средствами позволяет рационально модернизировать традиционную уровнемерию применительно к требованиям и условиям комплексной автоматизации производственных процессов.

В современных способах измерения уровней широкое применение находят волновые, среди которых более распространенными являются ультразвуковой, резонансный, радиоинтерференционный, радиолокационный и радиоизотопный методы. Если радиолокационные методы обеспечивают сравнительно широкие диапазоны изменения уровней, то лазерные уровнемеры дополнительно имеют и высокие метрологические характеристики (чувствительность до 0,0001%). В выборе конкретного метода и уровнемера в качестве определяющих критериев выступают технологичность, конструктивная реализуемость и информационно-энергетическая эффективность [1, 2].

В способах и алгоритмах современной уровнемерии функциональные различия имеют место в физических эффектах взаимодействия зондирующих воздействий с поверхностью среды. Структура информационно-преобразовательного процесса строится на типовых операциях восприятия и параметрического формирования информативного сигнала по амплитуде, частоте или времени ослабления.

Для бесконтактного измерения положение среды фиксируют по ее удалению от начального уровня. Практически способы реализуют методы бесконтактных измерений расстояний по абсолютной или относительной схеме. В способах, основанных на принципе радара, зондирующее воздействие осуществляется передатчиком, монтируемым на крышке резервуара. Передатчик излучает микроволны на поверхность среды, при взаимодействии с которой модулируются по частоте электромагнитные волны, их отраженная составляющая воспринимается приемником с рупорной антенной. Расстояние между контролируемой поверхностью среды и антенной измеряется по принципу радара и по существу определяет высоту заполнения резервуара [2].

Функциональные преимущества микроволнового измерения уровней в большей мере проявляются в технологическом контроле, особенно вязких, загрязненных, взрывоопасных, агрессивных и подобным им сред. При диапазоне измерений до 25 м с начальным (нулевым) уровнем в 0,5 м абсолютная погрешность измерений составляет

$\pm 2,5$  мм, определяющим критерием применимости является материально-энергетическая затратность на генерирование, преобразование и обработку первичной информации.

Разновидностью импульсных уровнемеров являются более надежные и помехозащищенные дальнемеры. В их структуре излучение импульсного источника механических колебаний взаимодействует со средой через погруженный в среду чувствительный элемент. При этом в механической колебательной системе возбуждаются свободные затухающие колебания, амплитуда и время затухания которых с помощью датчика, согласующего усилителя, анализатора и индикатора отображают уровень среды в резервуаре [3].

Оперативная первичная информация о текущем положении среды позволяет поддерживать тепловое состояние доменной печи и более эффективно расходовать имеющиеся материально-энергетические ресурсы производства. За счет рациональной организации информационно-измерительной системы слежения уровня расплава в горне доменной печи более эффективно реализуются операции выделения информативного параметра по падению напряжения на кожухе. Для этого по электропроводящему кожуху пропускается электрический ток. Координатные изменения напряжения связаны функционально с нагревом доменной печи и воспринимаются датчиком с последующим преобразованием, функционально-алгоритмической обработкой и представлением текущего результата [4, 5].

В способах уровнеметрии с оптическим зондированием сформированный световой поток направленно зондирует поверхность среды. Первичная информация об уровне воспринимается по расходящимся под разными углами световым пучкам. При этом выбор этих углов определяется приемной апертурой воспринимающей оптической системы. Однако конструктивные сложности и многоступенчатость частотно-амплитудной обработки и особенно выделения и анализа по программируемому пороговому критерию электрических сигналов снижают надежность работы и достоверность результатов, что наиболее значимо в условиях эксплуатации [6].

На основе воздействия электромагнитного излучения СВЧ диапазона реализуются способы уровнеметрии с оптическими преобразованиями посредством волновода, что обеспечивает повышение чувствительности и точности измерений. Взаимодействие излучения СВЧ генератора со средой производится через циркулятор в капилляре с волноводом. При зондировании среды часть

энергии СВЧ сигнала поглощается, а отраженная волна через циркулятор поступает на детекторную секцию, где производится измерение. В таких способах за счет диэлектрического волновода осуществляется направленная каналированная передача зондирующего излучения и прием его отраженной информативной части [7].

В ряде способов и средств уровнеметрии первичная информация о положении среды формируется по уровню потенциала воспринимаемого двоянными датчиками. В конструктивно изоляционных слоях датчиков установлены токопроводящие секции, изготовленные из тугоплавкого токопроводящего металла. Конструктивно-схематическим путем обеспечивается электрическое соединение датчиков потенциала, которые дают возможность определять напряжение между ними и напряжение между одним из датчиков и чувствительным элементом, соприкасающимся с жидким металлом. Таким путем измеряют текущее положение поверхности жидкого металла в подвижном кристаллизаторе относительно условного нуля в виде верхнего датчика. Секционирование датчиков позволяет комбинировать схемы аналого-цифрового преобразования и последующей электронной обработки. Сложность и не технологичность конструкции уровнемера обуславливают ее не высокий технико-экономический уровень, низкую надежность и сложность регулировок при некотором повышении точности в сравнении с аналогичными уровнемерами [8, 9].

Структура фотометрической уровнеметрии определяется физическими особенностями поверхности среды, заполняющей резервуар или технологическую емкость. При этом поверхность может выступать в качестве источника излучения (для расплавов и нагретых сред), генерирующего информацию о текущем положении среды. В таком пассивном режиме работы отпадает потребность в специальном генераторе излучений и источнике питания.

В активном режиме среда выполняет функции промежуточного преобразователя уровня в информативный параметр и системно встраивается в единую информационно-преобразовательную структуру. Для пооперационных преобразований в таких способах используется энергия специального источника. При этом среда подвержена определенному внешнему воздействию, по реакции которого формируется первичная информация об уровне среды в контролируемой емкости. Для отражающих поверхностей информацию об уровне несет спектрально-энергетическое отражение внешнего воздействия, а возможное при этом рассеяние

учитывается как помеха. В средах со слабым отражением или поглощающих внешнее воздействие в качестве информативного параметра используется текущая координата чувствительного элемента, регистрируемая в момент механического контакта со средой [10, 11].

Различия в таких фотометрических способах уровнеметрии определяются структурой информационных преобразований. В способах со спектрально-энергетическим отражением средой фотометрирование осуществляется на уровне первичных преобразований с последующей программно-алгоритмической обработкой информации. В способах с контактно-механическим восприятием уровня фотометрические преобразования осуществляются на вторичном уровне с помощью измерительных преобразователей аналогового или дискретного типа. Зачастую в таких структурах уровнемеров на уровне первичных преобразований производятся операции масштабирования, с помощью которых обеспечивается согласованная по диапазонам преобразований передача от предшествующей на последующую стадию информационного процесса.

В технологиях литья и металлургии эффективно применение способов на основе бесконтактных методов измерения и контроля уровней. Особую проблему составляет первичное преобразование уровня в информативный параметр о текущем положении расплавленного металла в технологической емкости. Среда в виде расплава отличается как теплофизическими особенностями, так и поверхностной неоднородностью его в момент восприятия информации из-за наличия шлаков и ок-

сидных пленок. Такая специфика обусловлена не только случайным характером пространственно-временного распределения таких неоднородностей, но и способом литья. В выборе способа измерения и контроля уровня определяющее значение имеет способ литья. Для процессов непрерывного литья такие способы различаются характером подачи расплава в кристаллизатор. В установках с открытым уровнем расплав заливается в открытый сверху кристаллизатор. В отличие от них в кристаллизаторах с закрытым уровнем за счет промежуточной емкости поступление расплава в полость кристаллизатора регулируется только вытяжкой заготовки [12].

В способах уровнеметрии расплавленного металла преимущественное применение находит бесконтактная фотометрия с пассивным восприятием излучения поверхности расплава 2 в резервуаре 1. При этом излучение расплава через диафрагму с защитным стеклом 3 воспринимается оптической системой 4 для направленного воздействия на фотоприемник 5. Изменяющейся с уровнем среды интенсивности на входе соответствует аналоговый выходной сигнал на выходе фотоэлектрического преобразователя [10, 11]. Структура дальнейших преобразований полученной первичной информации определяется способом измерения и уровнем автоматизации (рис. 1).

Определенные информационно-метрологические преимущества обеспечивают способы уровнеметрии на основе фотометрических преобразований с волоконно-оптическими вторичными (измерительными) преобразователями. Положение среды 2 в резервуаре 1 воспринимается поплавком

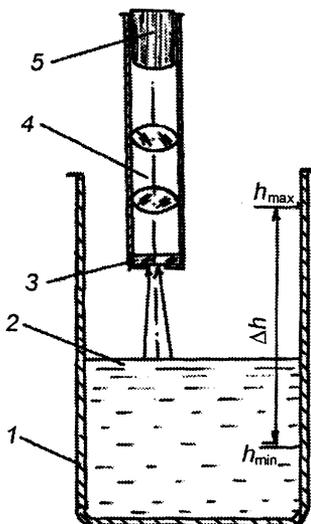


Рис. 1. Схема уровнеметра: 1 – резервуар; 2 – среда; 3 – диафрагма с защитным стеклом; 4 – система оптическая; 5 – спектрально-энергетический преобразователь

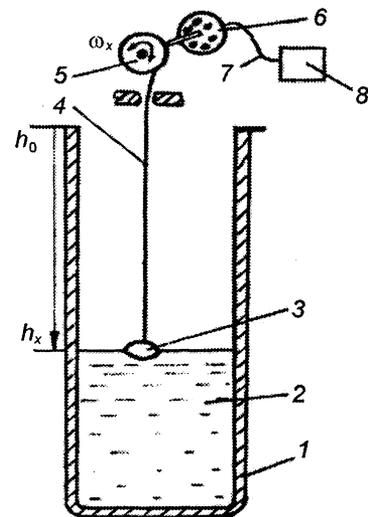


Рис. 2. Схема уровнеметра: 1 – резервуар; 2 – среда; 3 – поплавок; 4 – связь механическая; 5 – преобразователь механический; 6 – преобразователь фотоэлектрический; 7 – связь оптическая; 8 – модуль оптико-электронный

3, механически 4 связанным с масштабирующим преобразователем 5. Выполняя функции первичного, такой функциональный элемент преобразовывает линейное перемещение натянутого поплавка (подпружиненного) в угловое перемещение  $\omega_x$ . За счет жесткой связи угловое перемещение  $\omega_x$  модулирующим диском 6 преобразовывают в оптические импульсы и за счет гибкой оптической связи 7 считывают опико-электронным модулем 8 (рис. 2).

Операции фотоэлектрических преобразований реализуются путем дискретизации углового перемещения  $\omega_x$  кодирующим диском 2 с модулирующими отверстиями единиц 1 и долей 2. Световой поток излучателя 3, промодулированный диском, воспринимается световодами 4 и через световодный канал 5 дистанцируется в пункты опико-электронной обработки. В пожаро- и взрывоопасном исполнении излучатель формируется из выходных торцов оптических светопроводящих волокон, сгруппированных в световод, вход которого оптически связан с источником излучения. Такая реализация способа фотоэлектрических преобразований значительно повышает чувствительность и точность уровнемеров за счет импульсных преобразований уровня в оптический код. По существу диск-модулятор выполняет функции кодовой маски из сквозных отверстий полного оборота по внутреннему диаметру и долей – по наружному. Варьируя шаг между отверстиями, рассчитывают длину дуги диска и дугообразной ячейки из выходных торцов дискретов моноволокон световодного канала в соответствии с заданной чувствительностью при заданном диапазоне измерений уровней (рис. 3).

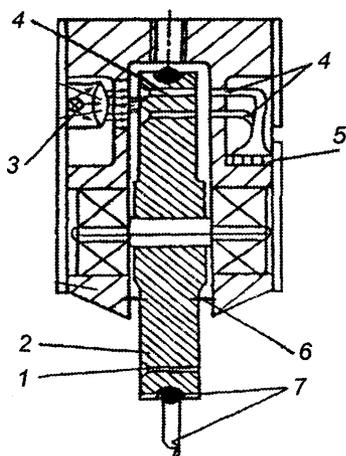


Рис. 3. Схема фотометрического преобразователя: 1 – отверстие единиц; 2 – диск; 3 – излучатель; 4 – отверстие долей; 5 – световодный канал; 6 – уплотнение; 7 – механическая связь (тросик)

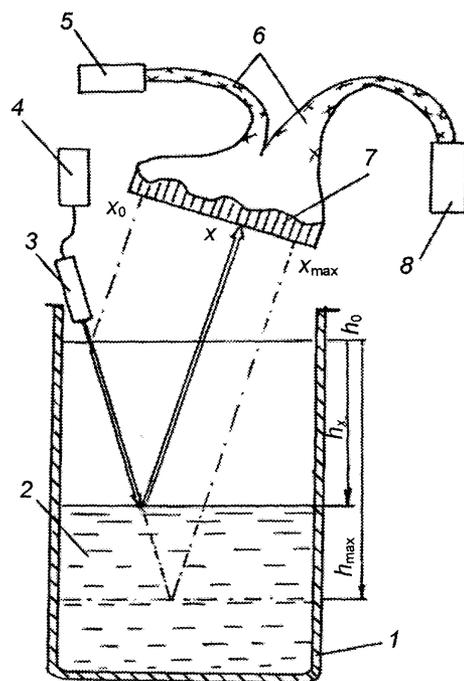


Рис. 4. Схема фотоэлектрических преобразований со световодами: 1 – резервуар; 2 – среда; 3 – излучатель; 4 – источник излучения; 5 – блок фотоэлектрических преобразователей поддиапазонов; 6 – коллекторы световодные; 7 – линейка из входных торцов дискретов; 8 – блок фотоэлектрических преобразователей диапазона измерений

В открытых резервуарах 1 для измерения (контроля) уровня среды 2 с отражающей поверхностью применяются волоконно-оптические уровнемеры (рис. 4). Они строятся по способу фотоэлектрических дискретных преобразований уровней в импульсную последовательность с последующей опико-электронной обработкой. Сформированный излучателем 3 световой поток в виде узкого луча взаимодействует со средой. В отраженной его части содержится первичная информация о текущем уровне  $h_x$ , отображаемая в угловой координате  $x$ . Положение отраженного луча на входном торце линейки 7 из входных торцов дискретов определяет измеряемый уровень среды. По оптическим линиям связи отдельных моноволокон излучение передается на фотоэлектрические преобразователи 8, на выходе которых образуется соответствующий уровню электрический сигнал. За счет гибких свойств оптических волокон обеспечивается пространственное удаление и разделение светового потока по коллекторам 6 для связи с блоком фотоэлектрических преобразователей поддиапазонов 5 и диапазона 8. Подбирая угол наклона воздействующего луча, согласовывают диапазон изменения уровня и диапазон волоконно-оптического преобразователя.

Выбор способов и средств уровнетрии обусловливается, с одной стороны, спецификой производства и эксплуатационными условиями, а с другой – совокупностью информационно-преобразовательных операций с требуемой чувствитель-

ностью, точностью и оперативностью получения и преобразования первичной информации для принятия решения по управлению технологическим процессом для регулирования, стабилизации, дозирования или другого воздействия.

### Литература

1. К л ю е в В. В., П а р х о м е н к о П. Н., А б р а м ч у к В. Е. Технические средства диагностирования: справ. / Под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1989.
2. Измерения в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. П. Профоса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Metallurgia, 1990.
3. Пат. RU № 93006044<sub>(13)</sub>A 6G011F23/00. Способ и устройство измерения уровня жидкости / А. А. Астафьев, М. М. Болдырев, С. В. Ванцов и др.
4. Пат. RU № 92002562<sub>(13)</sub>A 6C21B7/24. Система контроля уровня расплава в горне доменной печи / В. И. Козодеров, С. Г. Осипов, Ю. В. Севостьянов и др.
5. Пат. RU № 2037347 C1 6C21B7, G01F23/22. Система контроля уровня расплава в горне доменной печи / В. И. Козодеров, С. Г. Осипов, Ю. В. Севостьянов и др.
6. Пат. RU № 2004119121 A 7C30B15/26. Способ измерения уровня расплава при выращивании кристаллов / С. В. Михляев.
7. Пат. RU № 2017076 C1 5G1F23/28. Устройство для определения уровня жидких сред /Р. Г. Мухтаров, В. Р. Грунвальд, В. Э. Шмидт и др.
- 8 Пат. RU № 2230297 C1 7G01F23/24, B22D11/16. Устройство для измерения уровня жидкого металла в подвижном кристаллизаторе /В. Н. Мешеряков, Д. А. Смольянинов, И. С. Сарычев и др.
9. А. с. СССР № 1093906. Уровнемер. МКИГ01F23/24.
10. С о к о л о в Е. П. Выбор полупроводниковых фотоприемников для системы измерения уровня расплавленного чугуна в установках типа кристаллизаторов / Е. П. Соколов, В. В. Геращенко, В. В. Писарик и др. // Metallurgia. Вып. 2. Мн.: Выш. шк., 1972.
11. С о к о л о в Е. П. Выбор чувствительного элемента фотоприемника АИИС уровня расплава в кристаллизаторе установки полунепрерывной отливки чугунных труб // Волоконная оптика и ее применение в технологических измерениях: Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф. 25–26 мая 1978. Могилев, 1978.
12. Д е м ч е н к о Е. Б., М а р у к о в и ч Е. И. Непрерывное литье заготовок из чугуна для машино- и станкостроения. Мн.: БНТУ, 2006.