

НОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ЭФФЕКТА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. Часть 2. О КОНЦЕНТРАЦИОННОМ УРОВНЕМЕРЕ

А.А. Калашников (МЭИ)

Предлагаются пути решения конструкторских задач в создании концентрационного уровнемера. В частности, рассматриваются способы повышения уровня и стабильности полезного сигнала от концентрационных элементов, методы реализации электрической изоляции электродов, а также конструктивные решения по созданию многоэлектродного датчика уровня жидких сред.

Ключевые слова: электрохимический концентрационный элемент, концентрационный уровнемер, многоэлектродный датчик уровня.

Введение

Разработка концентрационного уровнемера имеет ряд преимуществ по сравнению с промышленными кондуктометрическими и емкостными уровнемерами. К таким преимуществам, например, относятся возможность измерений проводящих и непроводящих сред без перенастройки чувствительности, исключение возникновения ложных срабатываний уровнемера в условиях насыщенного пара, устойчивость измерений к образованиям масляных пленок на электродах (чувствительных элементах) и т. д. [1].

Возможность создания концентрационного уровнемера обусловлена свойствами концентрационных элементов, проявляющихся на больших объемах измеряемых полярных и/или ионосодержащих жидкостей, подробно рассмотренных в [1]. Напомним, что для образования концентрационного элемента необходимо обеспечить непосредственный контакт жидкости с электродами, выполненными из одинакового металла. Возникающая электродвижущая сила (ЭДС) концентрационных элементов на дистилляте и даже ацетоне достигает десятки и сотни милливольт, что позволяет регистрировать наличие жидкости и выполнять дискретные измерения ее уровня при расположении электродов на разной высоте резервуара (патент № 2695588 RU). Точность таких измерений определяется геометрией размещения самих электродов на корпусе уровнемера и может составлять единицы миллиметров. Единственное требование — электроды должны быть электрически изолированы друг от друга.

Определенные трудности в создании уровнемера обусловлены, во-первых, постепенным снижением концентрационной ЭДС по модулю в случае недвижимой измеряемой жидкости и отсутствии вибрации электродов; во-вторых, возможной сменой знака ЭДС. Это и формирует основные задачи в конструировании уровнемера. Рассмотрим подробнее пути решения конструкторских задач по созданию концентрационного уровнемера.

Обеспечение долговременной работы концентрационных элементов

В [1] указывалось, что с увеличением объема измеряемой жидкости увеличивается длительность работы самообразующихся концентрационных элементов (ЭК). Движение жидкости, вибрация электрода и повышение температуры приводят к росту ЭДС по модулю, что повышает стабильную долговременную работу концентрационного элемента. Однако, что делать при измерении малых объемов жидкостей (< 0,5 л), когда ЭДС «выходит» на абсолютный ноль в течение нескольких минут, или при измерениях недвижимых жидкостей больших объемов, когда по истечению длительного времени возможны предельно малые колебания ЭДС вблизи нуля? Данный вопрос характеризует одну из ключевых задач по обеспечению стабильной долговременной работы концентрационного уровнемера.

Самым простым найденным решением оказалась кратковременная импульсная подача тока на электроды. Так, токовый импульс мультиметра DT 832 (в режиме измерения сопротивления) длительностью $\leq 0,5$ с приводит к мгновенному броску концентрационной ЭДС на сотни милливольт при медных электродах сечением $2,5 \text{ мм}^2$, погруженных в полярную жидкость (дистиллят, ацетон). Повышение мощности и длительности импульса в разы увеличивает бросок ЭДС, что позволяет подбирать оптимальное сочетание данных характеристик. К тому же учитывая тот факт, что снижение ЭДС концентрационного элемента происходит по логарифмическим законам, то обеспечение его долговременной работы зависит не столько от мощности импульсов, сколько от их периодичности (частоты).

Например, ввиду инерционности химических процессов ЭК на дистилляте объемом 1...3 л потребуются 20-минутные интервалы между токовыми импульсами, чтобы обеспечить условно бесконечную работу ЭК на значениях ЭДС свыше 3 мВ. Учитывая тот факт,

что с увеличением объема жидкости инерционность электрохимических процессов концентрационных элементов многократно возрастает, применительно к объемам технологических емкостей АЭС и ТЭС, периодичность токовых импульсов может исчисляться сутками. В связи с высокими температурами и наличием динамических потоков рабочих сред генерация токовых импульсов может не потребоваться вовсе.

Разработку способов генерации и алгоритмов формирования токовых импульсов целесообразно выполнять под конкретные условия задачи. Предпочтительной с практической точки зрения является генерация импульсов с заданным интервалом времени, по достижению концентрационной ЭДС порогового значения при ее монотонном снижении или по принудительному сигналу от оператора.

Отметим, что решение с подачей токового импульса открывает возможности для применения и концентрационного, и кондуктометрического принципов измерений в одном уровне. На протяжении каждого токового импульса можно измерять сопротивление в электрической цепи для альтернативной регистрации текущего значения уровня. Соответственно, в целом это позволяет создавать адаптивные датчики уровня и датчики с функцией метрологического самоконтроля и самодиагностики, тем самым расширяя возможности средств измерений и детекторов (индикаторов).

В частности, концентрационный принцип может рассматриваться в качестве основополагающего для функций самодиагностики и метрологического самоконтроля кондуктометрических и даже емкостных уровнемеров. Это позволяет в режиме непрерывного технологического процесса удаленно (без разгерметизации технологического оборудования) выявлять, например, ложные срабатывания кондуктометрического уровнемера на пленках жидкости, отсутствие сигнала кондуктометрического и емкостного уровнемера ввиду масляных пленок на чувствительном элементе и т. д. Причем, такая постановка задачи уже не требует долговременной работы ЭК, достаточно регистрировать концентрационную ЭДС в течение 20...30 с. Поэтому разработку концентрационного уровнемера или адаптивного датчика в этом отношении можно считать более емкой конструкторской задачей.

Обеспечение стабильности работы концентрационного уровнемера

В ЭК в условиях неподвижной жидкости происходит постепенное снижение и длительные колебания ЭДС, а при движении жидкости и вибрации электродов наблюдаются броски ЭДС с возможной сменой ее знака. Учитывая эти явления, при создании концентрационного уровнемера немаловажной является задача обеспечения его стабильной работы в целом, не ограничиваясь подачей токовых импульсов на электроды.

Так, одним из решений, повышающих стабильность работы, является регистрация уровня жидкости

по факту превышения концентрационной ЭДС задаваемого порогового значения. Это исключает необходимость в точных измерениях ЭДС и отслеживании динамики ее изменений. Исходя из этого, а также учитывая необходимость сглаживания бросков ЭДС и компенсации ее смены знака, представляется целесообразной схема обработки сигналов ЭК в следующей структуре «усилитель — ограничитель — выпрямитель — блок сглаживания сигнала — блок сравнения». Сглаживание можно реализовать на основе линейной и адаптивной фильтрации или за счет демпфирования сигнала (что предпочтительнее). Причем, демпфирование можно применять после блока сравнения ЭДС. Из наблюдений за бросками ЭДС ЭК значение времени демпфирования ориентировочно должно составлять 1...2 с.

В целом, вышеуказанных решений вместе с генерацией токовых импульсов по всей вероятности будет достаточно для обеспечения долговременной стабильной работы концентрационного уровнемера. В качестве дополнительных мер, повышающих стабильность его работы, рассмотрим конструктивные решения, направленные на увеличение ЭДС и компенсацию ее бросков.

В [1] отмечалось, что увеличение площади контакта электрода с жидкостью повышает концентрационную ЭДС. Особенно это проявляется в сравнении цельных и многопроволочных электродов. Так, при погружении цельных медных электродов сечением 2,5 мм² в дистиллят начальное значение концентрационной ЭДС в среднем составляло 40 мВ; на многопроволочных медных электродах сечением 6 мм²—70...110 мВ. Соответственно, на многопроволочных электродах многократно увеличивалось время снижения ЭДС до начала колебаний малой амплитуды 2...3 мВ вблизи нуля (в случае неподвижной измеряемой жидкости малого объема до 2 литров). Исходя из вышеизложенного, с целью повышения площади контакта представляется целесообразным применение металлических электродов в форме пластин, например, прижатых к корпусу уровнемера, а также электродов, имеющих многопроволочное исполнение.

Другим решением, повышающим стабильность работы, является применение многоэлектродной конструкции. Дело в том, что смена знака ЭДС, её колебания и «переходы» через ноль на разных электродных парах не происходят одновременно [1]. Отсюда выполнение дискретных измерений уровня в различных сочетаниях электродных пар позволяет повысить устойчивость уровнемера к различным возмущениям и броскам ЭДС. Само применение многоэлектродной конструкции повышает надежность работы уровнемера и позволяет продолжать его эксплуатацию даже в условиях обрыва кабельной связи к определенному электроду. Кроме того, наличие близко расположенных друг к другу электродов априори увеличивает число образовавшихся гидратированных ионов в полярной жидкости, что сказывается на повышении концентрационной ЭДС.

Дополнительно повысить концентрационную ЭДС позволяет подбор металла для изготовления электродов по результатам соответствующего специализированного исследования в области материаловедения и электрохимии. При этом важно учитывать, чтобы металл был устойчив ко всем воздействующим факторам, например, обладал коррозионной и температурной стойкостью. В простейшем случае электроды могут изготавливаться из нержавеющей стали.

Необходимо отметить, что изготовление электродов из разных материалов, безусловно, приводит к значительному повышению ЭДС ввиду разной активности металлов и ряда других причин [2–5]. Однако это влечет за собой потерю определенных преимуществ над известными кондуктометрическим и емкостным прицепами измерений. В таком случае возможны долговременные ложные срабатывания уровнемера на плёнке жидкости, а также образование осадений и даже появление новых веществ на поверхности электродов под действием постоянного электрического поля гальванической пары (что влечет за собой повышенный износ уровнемера). Поэтому с практической точки зрения это не представляется рациональным, тем более, что концентрационная ЭДС составляет десятки и сотни милливольт (сопоставима с ЭДС термопар) и не составляет особых сложностей для ее

регистрации с учетом развития современной измерительной техники. Для сравнения, номинальная статическая характеристика платинородиевых термопар определяется единицами микровольт. Сопоставимость значений концентрационной ЭДС и термо-ЭДС открывает свои возможности по созданию многопараметрического датчика уровня жидкости и температурных распределений с использованием одной элементной базы измерительной аппаратуры, что будет рассмотрено в следующей статье.

Некоторые варианты конструкции корпуса уровнемера

Определенные задачи в конструировании уровнемера связаны с обеспечением электрической изоляции электродов, простоты сборки и надежности

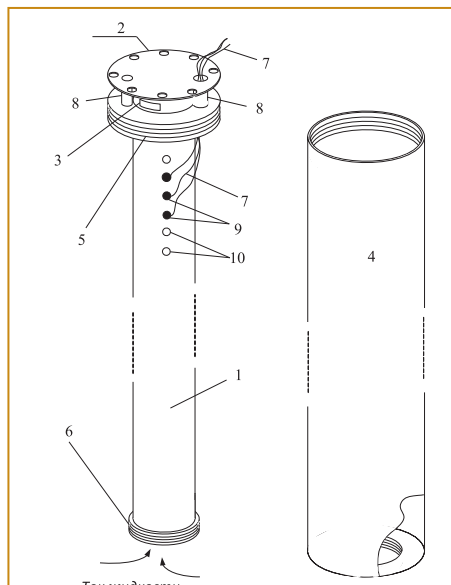


Рис. 1. Корпус уровнемера с внутренней полостью для измеряемой жидкости

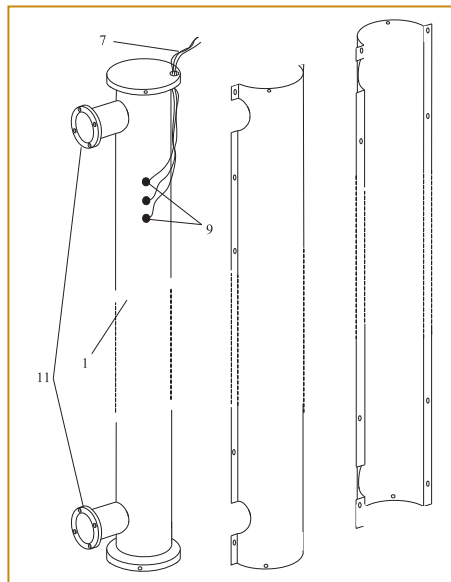


Рис. 2. Байпасная конструкция уровнемера

конструкции. Один из возможных вариантов корпуса, позволяющий решить данные задачи, представлен на рис. 1. Основной корпус уровнемера в таком решении представляет собой трубу 1, заваренную сверху (фланец 2) и открытую снизу. В верхней части ниже крепежного фланца находится прорезь 3 (одно или несколько отверстий) для сообщения давления со стороны технологической емкости во внутреннюю полость корпуса, что обеспечивает ток жидкости внутри уровнемера. Для установки защитного кожуха 4 предусмотрены резьбовые соединения 5 и 6. Для вывода кабельных связей 4 предусмотрена проходная трубка 8 (одна или несколько) через резьбовой верхний и крепежный фланец. Электроды 9 монтируются таким образом, чтобы через отверстия 10 они выступали во внутренней полости корпуса для обеспечения контакта с измеряемой жидкостью. Для обеспечения изоляции между электродами либо корпус 1 выполняется из диэлектрических материалов, например, фторопласта или капрлона, либо в отверстиях 10 до монтажа электродов устанавливается изоляционная прокладка.

Исполнение корпуса, представленное на рис. 1, снижает гидравлическое воздействие (влияние динамического давления потоков) на электроды и обеспечивает ремонтпригодность уровнемера за счет возможности снятия защитного кожуха 4. Однако для осуществления

ремонта требуется демонтаж уровнемера, что несколько усложняет обслуживание. Для обеспечения ремонтпригодности без демонтажа уровнемера корпус 1 может быть выполнен в виде байпаса, соединяемого с технологической ёмкостью путем трубных проводок с фланцевыми соединениями 11 (рис. 2). В таком случае уровнемер не занимает объема внутри технологической емкости и его обслуживание и ремонт кабельных связей могут производиться без демонтажа.

В случае погружного уровнемера с расположением электродов снаружи корпуса предпочтительными являются конструкции, обеспечивающие минимальный выступ электродов за габариты корпуса с целью минимизации гидравлического воздействия потоков. Для этого рекомендуется использовать электроды

в форме пластин, которые могут устанавливаться в прорези с внешней стороны стенки корпуса (рис. 3). С целью исключения отверстий/прорезей возможна отливка корпуса из диэлектрического материала в специальной заготовочной форме, в которой заранее размещаются металлические электроды. Такой процесс изготовления после застывания диэлектрического материала предполагает его зачистку для обеспечения контакта электродов с измеряемой жидкостью. В результате это позволяет обеспечить максимальную герметичность конструкции.

В целом, указанные на рис. 1–3 конструктивные решения характеризуют определенные подходы в создании многоэлектродного уровнемера с концентрационным принципом измерений, позволяющие электрически изолировать электроды друг от друга и в то же время защитить их от поломок из-за действий динамических давлений потоков рабочей среды. Для применения подобных многоэлектродных конструкций в создании уровнемера, использующего два принципа измерений — кондуктометрический и концентрационный — необходимо дополнительно обеспечить низкую смачиваемость материалов, чтобы препятствовать образованию пленок жидкости между электродами. Для этого при изготовлении корпуса рекомендуется применять термостойкие гидрофобные и сверхгидрофобные материалы [6, 7]. В качестве еще одного достаточно интересного и простого решения, препятствующего образованию сплошной пленки жидкости, предлагается использовать граненое исполнение корпуса, предполагающее размещение электродов на его разных гранях. Это позволяет разрывать пленки жидкости на ребрах между соседними гранями корпуса. Из вышеуказанного следует, что вполне возможно создание унифицированной многоэлектродной конструкции первичного преобразователя, применимой для уровнемера с концентрационным, кондуктометрическим и в перспективе с емкостным и комбинированными принципами измерений.

Основные выводы

Долговременная и стабильная работа концентрационного уровнемера может быть достигнута за счет подачи токовых импульсов на электроды ЭК, регистрации текущего значения уровня по факту превышения концентрационной ЭДС заданного порогового

Калашников Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт», главный эксперт АО «Русатом автоматизированные системы». E-mail: aakalashnikov@list.ru

Поступила в редакцию 28.11.2019.

Принята к публикации 17.01.2020.

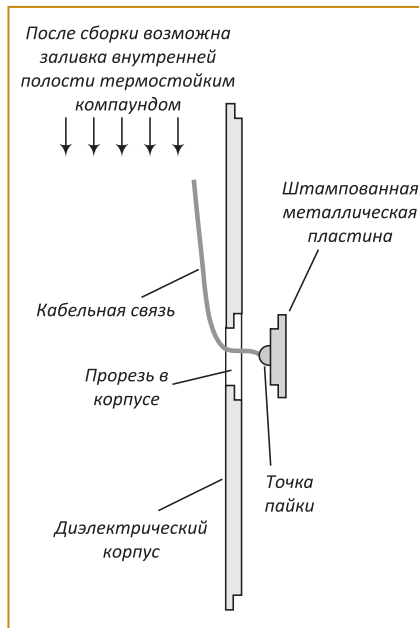


Рис. 3. Вариант установки электродов с наружной стороны корпуса

значения, вторичной обработки с выпрямлением и сглаживанием сигнала, а также за счет конструктивных решений, обеспечивающих простоту сборки и надежность конструкции.

Применение концентрационного принципа измерений уровня в своем потенциале позволяет не только создать новый класс средств измерений уровня жидкостей, обладающего своими преимуществами, но и позволяет реализовать самодиагностику и метрологический самоконтроль кондуктометрических и емкостных уровнемеров. Причем, метрологический самоконтроль в этом случае направлен не только на контроль метрологической исправности уровнемера, но и на проверку достоверности показаний всего промышленного измерительного

канала уровня жидких сред.

В целом, применение концентрационного эффекта имеет перспективы не только в решении задачи измерений уровня жидких сред, но и в других актуальных задачах измерительной техники. Определенные перспективы в разработке многопараметрических датчиков и реле протока будут раскрыты в следующей статье.

Список литературы

1. Калашников А.А. Новое применение концентрационного эффекта в измерительной технике Ч. 1: Об особенностях самообразующихся концентрационных элементов // Автоматизация в промышленности. 2020. № 1. — С. 60-64.
2. Бережная А.Г. Электрохимические технологии и материалы. — Ростов-на-Дону.: ЮФУ, 2017. — 190 с.
3. Вассель С.С., Вассель Н.П. Концепция концентрационного гальванического элемента, работающего на солевой и пресной воде // Современные научные исследования и инновации. — 2014. — № 5-1 (37). — С. 52.
4. Бабаев Б.Д. Возобновляемый концентрационный гальванический элемент и его использование для получения водорода // Альтернативная энергетика и экология. — 2015. — № 21 (185). — С. 121 - 123.
5. Введенский В.В. Равновесные электродные потенциалы, потенциометрия // Соросовский образовательный журнал. — 2000. — № 10. — С. 50-56.
6. Бузник В.М. Сверхгидрофобные материалы на основе фторполимеров // Авиационные материалы и технологии. - 2013. № 1. С. 29-34.
7. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применения // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 7. — С. 619-638.