

НОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ЭФФЕКТА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ.**Часть 3. Об открывающихся перспективах****А.А. Калашников (МЭИ)**

Рассматриваются возможности применения концентрационного эффекта в различных задачах измерительной техники. Показываются перспективы применения концентрационного эффекта в создании многопараметрических датчиков уровня и температурных распределений, реле протока с функцией сигнализатора наличия среды, а также в задачах самодиагностики и метрологического самоконтроля датчиков и промышленных измерительных каналов.

Ключевые слова: электрохимический концентрационный элемент, многопараметрический датчик уровня, температуры и плотности жидкости, реле протока.

Введение

В предыдущей статье рассматривались конструкторские решения по созданию концентрационного уровнемера, обладающего рядом преимуществ перед известными кондуктометрическими и емкостными уровнемерами [1, 2]. Однако свойства и особенности самообразующихся концентрационных элементов (ЭКС), проявляющихся на больших объемах жидких сред, позволяют использовать концентрационный эффект в качестве базового принципа измерений для решения других актуальных задач приборостроения и метрологии. В частности, этому способствуют следующие особенности ЭКС:

- мгновенное самообразование концентрационного элемента при контакте электродов, выполненных из одинаковых металлов, с ионсодержащими и/или полярными жидкими средами (в том числе полярными диэлектриками);
- сопоставимость значений концентрационной ЭДС и термо-ЭДС промышленных термопар;
- рост концентрационной ЭДС при движении жидкости и/или вибрации электродов;
- мгновенная реакция концентрационных элементов на токовые импульсы, обусловленная ростом ЭДС;
- повышение времени достижения концентрационного равновесия и выравнивания электродных потенциалов с увеличением объема измеряемой жидкости.

С учетом данных особенностей концентрационный эффект можно использовать для задач самодиагностики и метрологического самоконтроля измерительной техники, создания многопараметрических датчиков параметров среды и реле протока.

Многопараметрические измерения уровня жидкости, профилей пространственных распределений температур и плотностей рабочей среды

В задачах организации автоматического борного регулирования, динамической коррекции показаний гидростатических уровнемеров на объектах энергетики известна проблема выполнения одновременных измерений уровня жидкости, распределений температуры и плотности рабочей среды в технологических емкостях [3]. В связи с тем, что концентрационная ЭДС сопоставима с термо-ЭДС термопар, представляется возможным решение данной проблемы на базе одного многопараметрического датчика.

Так, в качестве электродов ЭКС в таком многопараметрическом датчике могут использоваться сами металлические гильзы/термочехлы термопар. Регистрация концентрационной ЭДС в таком случае будет осуществляться путем измерения напряжения на одинаковых термоэлектродах разных термопар. Учитывая тот факт, что вторичная измерительная аппаратура в данном решении реализуется на одной элементной базе, такое решение является особенно востребованным при врезках гильз непосредственно в корпус технологической емкости.

В случае корпусного исполнения датчика наличие гильз усложняет его сборку и приводит к вероятным рискам недосыла термопар — общеизвестной проблеме термометрии, показанной в российских и зарубежных исследованиях [4, 5]. Исключить такие риски и обеспечить простоту сборки многопараметрического датчика позволяет применение термопар с третьим проводником [6] и концентрационного принципа для измерений уровня. В таком случае «горячие» спаи термопар получают «разорванными» посредством третьего проводника, что упрощает их установку на корпусе датчика (рис. 1). Сам третий проводник каждой термопары используется в качестве одного из электродов ЭКС.

Размещение таких термопар по высоте датчика с определенным шагом обеспечивает возможность дискретных измерений уровня жидкости и измерений распределений температур в технологической емкости. В случае двухфазной насыщенной среды «пара-вода» по результатам измерений температур и уровня восстанавливается профиль распределения плотности рабочей среды на основе уравнений IAPWS-IF [7].

Подробнее указанный способ определения параметров рабочей среды и перспективы его применения рассмотрены в описании патента № 2697408 RU.

Применение концентрационного эффекта в задачах регистрации наличия жидкости и ее протока

Перспективы использования концентрационного эффекта в качестве базового принципа работы реле протока обусловлены тем, что обеспечивается возможность регистрации наличия и протока жидкости без подвижных механических частей.

Разработке такого реле способствует тот факт, что значения концентрационной ЭДС при отсутствии дви-

жения и наличия потока жидкости отличаются друг от друга [1]. В частности, при протокe жидкости наблюдается рост концентрационной ЭДС до определенного максимума с последующими постоянными резкими бросками небольшой амплитуды. При отсутствии движения жидкости происходит постепенное снижение концентрационной ЭДС по логарифмическому закону без резких бросков, характерных для наличия потока. В отсутствие жидкости концентрационная ЭДС мгновенно падает до нуля, даже в условиях образования пленок жидкости на внутренней стенке трубопровода. Исходя из этого представляется возможным идентифицировать отсутствие/наличие жидкости в трубопроводе и наличие ее потока на базе одного реле.

Первичный преобразователь такого реле достаточно простой и представляет собой два электрода (выполненные из одинакового металла), контактируемые с измеряемой жидкостью, врезанные в трубопровод.

Однако, как и в любой технической задаче, в создании концентрационного реле потока есть свои трудности. Так, при постановке соответствующих опытов изначально ожидалось, что концентрационная ЭДС на постоянном протокe жидкости не будет снижаться. Но при длительных наблюдениях за концентрационной ЭДС — свыше 5 ч при постоянном расходе в трубопроводе — было зарегистрировано снижение ее значений. В связи с этим задача требует дальнейшей детальной проработки и поиска способов, повышающих устойчивость информационного сигнала. В качестве определенной базы для выполнения соответствующих НИОКР можно использовать разработанные решения, повышающие устойчивость работы концентрационного уровнемера, представленные в [2].

Перспективы выполнения НИОКР обусловлены созданием реле потока и сигнализатора жидкости на базе одного датчика, имеющего простейшую конструкцию первичного преобразователя.

Самодиагностика и метрологический самоконтроль датчиков уровня на основе использования концентрационного эффекта

В предыдущей статье указывалось, что концентрационный и кондуктометрический принципы измерений могут реализовываться на базе одного уровнемера [2]. В таком случае один принцип дополняет другой, расширяя возможности датчика. В частности, концентрационный принцип позволяет измерять проводящие жидкости и все полярные диэлектрики, привносит стабильность работы уровнемера в условиях образования пленок проводящей жидкости между электродами, непроводящих масляных пленок на электродах, а также в условиях наличия насыщенного пара и интенсивной конденсации. Кондуктометрический принцип за счет подачи тока на электроды обеспечивает долговременную работу ЭКС на малых объемах абсолютно неподвижных жидкостей. Естественно, такое техническое решение обеспечивает стабильную работу уровнемера в разных режимах работы технологического оборудова-

ния. В целом, это позволяет разрабатывать адаптивный датчик уровня.

В тоже время концентрационный принцип измерений уровня может применяться для удаленной самодиагностики или метрологического самоконтроля датчика и всего измерительного канала в целом, что является особенно актуальным в тех условиях, когда выявление неисправности и, главное, идентификация фактического значения уровня потребует разгерметизации технологической емкости. Уникальность такой диагностики состоит именно в том, что определяется истинное текущее значение уровня альтернативным (концентрационным) способом, и вследствие этого производится оценка достоверности показаний датчика и измерительного канала в целом. Для сравнения, большинство известных методов самодиагностики и on-line мониторинга позволяют лишь косвенно оценить достоверность показаний датчика или вовсе сводятся к проверке работоспособности определенного компонента в составе измерительного канала [8 — 10].

Причем применение концентрационного эффекта в целях метрологического самоконтроля не требует долговременной работы ЭКС, достаточно обеспечить кратковременную регистрацию наличия напряжения между электродами (или между электродами и заземлением) в отсутствие подачи на них тока. Первичная измерительная часть уровнемера при этом остается абсолютно неизменной, что позволяет, с одной стороны, не реконструировать производственные линии для создания новых датчиков, и с другой — открывает перспективы даже для модернизации каналов контроля уровня на действующих промышленных объектах без разгерметизации технологических емкостей, все изменения будут производиться во вторичной измерительной части.

Важно отметить, что при концентрационном принципе измерений уровня и отсутствии подачи электрического тока на электроды износ самого уровнемера существенно ниже, чем при кондуктометрическом и емкостном режимах измерений. Это позволяет с большим запасом соблюдать требования ГОСТ Р 8.734-2011 “Дат-

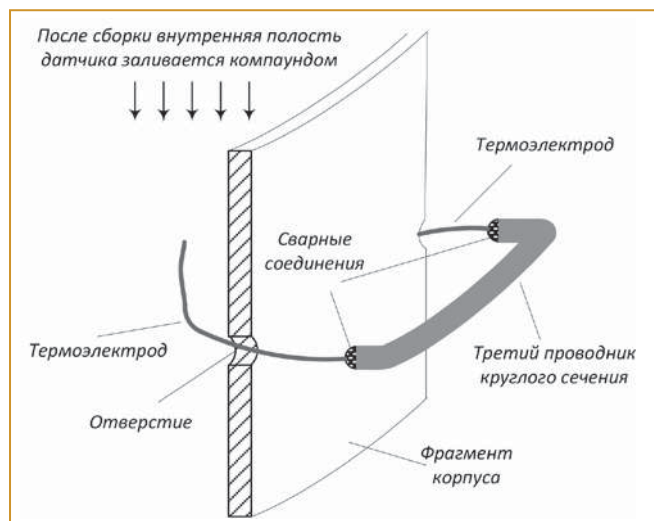


Рис. 1. Одна из вариаций установки термопар с третьим проводником

тики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля” о том, что в процессе метрологического самоконтроля и тестирования датчика его деградация должна оставаться такой же, как и в штатном эксплуатационном режиме.

Простота концентрационного принципа измерений позволяет осуществлять диагностику уровнемера даже вручную в ходе наладочных работ и технического обслуживания. Для этого необходимо выполнить два основных действия: отключить подачу тока на электроды, например, кондуктометрического уровнемера; измерить напряжение между ними (концентрационную ЭДС) посредством мультиметра с высоким входным сопротивлением ≥ 1 МОм для минимизации шунтирования сигнала. В частности, можно использовать широко распространенные мультиметры DT-830, Robiton DMM-200. При использовании таких мультиметров длительности измерений в несколько секунд на каждой электродной паре достаточно, чтобы определить текущее значение уровня жидкости и установить неисправности типа «ложное срабатывание» или «несрабатывание» уровнемера, не прибегая к разгерметизации технологической емкости и осмотру электродов.

Автоматизация предлагаемой диагностики открывает возможности осуществления метрологического самоконтроля и вместе с тем альтернативных измерений на случай неисправности уровнемера. В такой ситуации наличие даже кратковременных альтернативных измерений будет способствовать повышению безопасной эксплуатации промышленных объектов.

В завершение необходимо отметить, что такой метод диагностики или метрологического самоконтроля применим не только для кондуктометрических и емкостных уровнемеров, но и других датчиков, предусматривающих непосредственный контакт металлических электродов с измеряемой полярной и/или ионосодержащей жидкостью.

Выводы

В настоящей и предыдущих статьях [1, 2] рассмотрены перспективы применения концентрационного эффекта в задачах теплотехнического контроля, диагностики и метрологического самоконтроля датчиков. Так, исходя из исследованных свойств ЭКС, проявляющихся на больших объемах полярных и движущихся жидкостей, предложены:

- концентрационный принцип измерений уровня жидких сред;
- применение ЭКС в задаче создания реле протока с функцией индикатора наличия жидкости;
- применение ЭКС в задачах разработки многопараметрических датчиков уровня жидкости, профилей распределения температуры и плотности рабочей среды;

Калашиков 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 03.02.2020.

– применение ЭКС в задачах диагностики и метрологического самоконтроля дискретных уровнемеров.

Если на сегодняшний день применение концентрационных элементов сводится в основном к рН-метрам, кондуктометрам и концентратомерам, то указанные задачи определяют новые направления по использованию ЭКС в приборостроении и метрологии. В отличие от промышленного химического контроля предлагаемая область применения не требует использования каломельных и/или водородных электродов, электролитов с диффузионными барьерами, что упрощает принцип работы создаваемых устройств и снижает их себестоимость.

Для совершенствования методов и принципов измерений перспективным является не только самостоятельное применение концентрационного эффекта, но и его использование в сочетании с другими известными принципами измерений, обеспечивая возможности создания многопараметрических и адаптивных датчиков, а также средств измерений с функцией метрологического самоконтроля. Продолжение исследований свойств ЭКС с высокой вероятностью поспособствует расширению их области применения не только в измерительной технике, но и других промышленных направлениях.

Список литературы

1. Калашиков 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. Калашиков А.А. Новое применение концентрационного эффекта в измерительной технике Ч.2: О концентрационном уровнемере // Автоматизация в промышленности. 2020. № 2.
3. Калашиков А.А. Справочник по настройке промышленных гидростатических уровнемеров. М.: Инфра-Инженерия. 2017. 194 с.
4. Хашемиан Х.М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях. Пер. с англ. В.Б. Фортаков, науч. ред. А.Н. Касилов. М.: Бином, 2012. 352 с.
5. Усачев В.Б. Проблема теплового контакта в реакторной термометрии // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2010. № 4. С. 27 - 37.
6. Панферов В.И., Панферов С.В. К анализу свойств термодинамических механизмов Томсона и контактной термо-ЭДС // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2015. № 2. С. 20-24.
7. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник. М.: Изд. дом МЭИ, 2006. 164 с.
8. Hashemian, H.M. On-Line monitoring applications in nuclear power plants // Progress in Nuclear Energy. 2011. Vol. 53. № 2. P. 167 - 181.
9. Михайлов П.Г., Лапшин И.О., Михайлова В.П. Контроль и диагностика чувствительных элементов пьезоэлектрических датчиков // Контроль. Диагностика. 2010. С. 23-25.
10. NP-T-1.1 On-line monitoring for improving performance of nuclear power plants/Part 1: Instrument channel monitoring. — Vienna: IAEA, 2008. — 109 p.