

**Т.Г. МАЩЕНКО**, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»  
**Р.И. АКОЕВ**, студент НТУ «ХПИ»

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

В статье приведен анализ методов и средств измерений расхода жидких и газообразных сред. В ходе анализа существующих методов и технических средств обоснован выбор наиболее перспективного и точного метода контроля расхода движущихся жидкостей.

**Ключевые слова:** расход, давление, система, расходомеры, методы анализа, измерения.

**Постановка проблемы.** Важное значение в интенсификации производства и повышении качества выпускаемой продукции играет автоматизация контрольных операций и, в особенности, системы автоматизированного управления технологическими процессами. Стремительное развитие электроники и вычислительной техники оказалось предпосылкой для широкой автоматизации самых разнообразных процессов в промышленности, однако реализация этой предпосылки в значительной мере определяется возможностями устройств для получения информации о регистрируемом параметре или процессе.

В системах управления производственными процессами и контроля качества выпускаемой продукции одним из основных регулируемых параметров является контроль расхода жидкостей, газов и сыпучих веществ непосредственно в ходе технологического процесса. Ни одна отрасль промышленности не обходится без расходомеров. Это расходомеры нефти и природного газа, расходомеры воды и пара для отопления жилищ и промышленных предприятий, расходомеры молока и муки для расфасовки в пакеты и бутылки. Это, наконец, расходомеры-счетчики питьевой и горячей воды, без которой немислим сегодня ни один дом.

В условиях резкого повышения спроса на энергоресурсы и их стоимости каждый хочет знать о своем расходе ресурсов от первичных производителей до конечных потребителей. При этом точность измерения ресурсов, будь то мука или бензин, приобретает первостепенное значение[1].

Значения измеряемых расходов могут лежать в диапазоне от тысячных долей кубометров до нескольких тысяч кубических метров в час. В то же время расходомерные вещества могут сильно отличаться по своим физико-химическим свойствам. Это может быть нефть, нейтральные жидкости, электролиты, жидкие металлы, газы и т.д. Все это в сочетании с разнообразными условиями применения и различными требованиями к точности надежности и

стоимости определяет значительное число типов и конструкций средств автоматического измерения расхода, а также потребность в разработке более новых, более современных расходомеров.

**Цель статьи.** Оценить достоинства и недостатки современных методов измерения расхода жидкостей и газов, а также обосновать выбор наиболее перспективного и точного метода для контроля расхода движущихся жидкостей.

**Основной раздел.** Расходомер, как видно из названия — устройство, предназначенное для измерения расхода какого-либо вещества — как правило, жидкости или газа. Если имеется канал диаметром  $d$  и по нему со средней скоростью  $v_{\text{ср}}$  перемещается жидкость или газ, то расходом является величина:

$$Av_{\text{ср}} = \int v dA, \quad (1.1)$$

где  $A = \pi d^2/4$  — площадь поперечного сечения канала.

Следует сразу отметить, что вещества, расход которых необходимо измерить, могут быть сжимаемыми (газ) или несжимаемыми (жидкость), и методики измерения расхода в обоих случаях имеют свои особенности.

Независимо от типа используемого устройства определения расхода вещества является довольно сложной комплексной задачей, при решении которой приходится учитывать множество факторов, таких как:

- физические характеристики исследуемой среды.
- физические характеристики окружающей среды.
- форма канала и свойства материала, из которого он изготовлен.

К каждому датчику, как правило, прилагается набор документов, описывающих технические параметры прибора, его ограничения и рекомендации по эксплуатации.

Среди довольно большого разнообразия расходомеров по принципу действия можно выделить следующие основные группы:

- турбинные и шариковые расходомеры;
- вихревые расходомеры;
- ультразвуковые расходомеры;
- электромагнитные расходомеры;
- микро расходомеры;
- кориолисовские расходомеры;
- расходомеры с мишенями;
- детекторы изменения скорости потока.

Рассмотрим основные виды расходомеров. Одними из первых появились **турбинные расходомеры**. Еще в Древнем Египте заметили, что скорость водяного колеса прямо пропорциональна скорости движения воды в Ниле.

Винт Архимеда, использовавшийся в Месопотамии, также показал, что скорость вращения турбины пропорциональна скорости потока воды, протекающей через поливочный трубопровод. Для увеличения скорости вращения жерновов на мельницах приоткрывали шлюзовую заслонку, в результате чего увеличивались объем и скорость падающей на лопасти водяного двигателя воды, что приводило к увеличению числа оборотов приводного вала. Но лишь спустя тысячелетия появились первые крыльчатые и турбинные приборы, позволяющие измерять как скорость ветра на море (анемометры), так и скорость движения жидкостей и газов в трубопроводах [2].

Преимуществами крыльчатых и турбинных расходомеров являются их сравнительная простота, отсутствие электронных устройств в конструкции расходомеров, менее жесткие требования к наличию прямых участков измерительных трубопроводов. Однако крыльчатым, турбинным и шариковым расходомерам присущи следующие серьезные недостатки:

- вероятность засорения опорных подшипников осей турбин, что требует особой конструкции этих подшипников (невозможно выполнить для всех сред);
- вероятность отложения загрязнений на лопастях турбин (крыльчатках), особенно при работе в загрязненных средах природного газа и в насыщенной известью воде;
- сильная зависимость показаний величины расходов газов от величины избыточного давления в измерительном трубопроводе, что требует установки перед такими счетчиками систем поддержания постоянного давления;
- необходимость применения электронных вычислителей-корректоров в средах с переменной температурой, плотностью и давлением, что сильно удорожает систему;
- трудность съема показаний с механического счетчика при интеграции приборов в систему АСУ ТП.

В связи с данными обстоятельствами крыльчатые, турбинные и шариковые расходомеры все реже используются для систем учета и технологических измерений в промышленности и энергетике. Единственной областью применения, где с ними на сегодня еще не могут конкурировать другие расходомеры, является учет холодной и горячей воды в жилищно-бытовом секторе [2].

Принцип действия **расходомеров переменного перепада давления** основывается на том, что при протекании потока через сужающее устройство скорость его повышается по сравнению со скоростью до сужения, а статическое давление падает. По измеренным температуре и избыточному давлению определяется плотность среды. Зная диаметр трубопровода, плотность среды и перепад давления, можно определить мгновенную скорость потока, которая через известную площадь поперечного сечения трубопровода пересчитывается в объемный расход. Для реализации этого метода используются стандартные сужающие устройства – диафрагмы, сопла и трубы Вентури. Величина расхода определяется в соответствии с выражением

$$G = \beta \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \sqrt{\Delta P}, \quad (1.2)$$

где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности;

$D$  – внутренний диаметр трубопровода;

$\Delta P$  – величина перепада давления.

Как и для многих других расходомеров, применение этого метода требует выполнения комплекса определенных условий:

- фазовое состояние потока не должно изменяться при прохождении сужающего устройства (к примеру, пар после прохождении диафрагмы не должен конденсироваться, вода вскипать);

- поток до и после сужения должен быть ламинарным, что требует значительных длин прямых участков до и после сужающих устройств, особенно после местных сопротивлений (насосы, клапаны);

- загрязнение среды не должно превышать предельных значений.

Принцип действия электромагнитных расходомеров базируется на законе электромагнитной индукции Фарадея. В соответствии с ним в электропроводящей жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется электродвижущая сила, пропорциональная скорости движения жидкости. Конструктивно электромагнитные расходомеры выпускаются двух типов: для заполненных и частично заполненных трубопроводов. И в том, и в другом случае электропроводящая среда протекает в круглом трубопроводе, в котором создается магнитное поле с силовыми линиями, перпендикулярными направлению потока. В полностью заполненных трубопроводах индуцированное в рабочей среде напряжение снимается одной парой диаметрально установленных электродов. В частично заполненных трубопроводах индуцированное в рабочей среде напряжение снимается несколькими парами электродов, установленных на хордах, поэтому при опускании уровня жидкости всегда оказываются задействованными несколько пар электродов [3].

Достоинствами электромагнитных расходомеров являются:

- идентичность показаний величины расхода в полностью заполненных трубопроводах как для турбулентного, так и для ламинарного потоков;

- независимость показаний от вязкости и плотности среды;

- возможность реализации метода для очень больших диаметров трубопроводов и отсутствие при этом дополнительного динамического сопротивления;

- работоспособность при высоких давлениях среды – вплоть до 100 МПа.

К недостаткам следует отнести:

- невозможность использования расходомеров для непроводящих жидкостей (углеводороды, аммиак, кислоты и др.);

-наличие дополнительной погрешности от величины электропроводности жидкости, что вообще невозможно учесть в практике измерений, так как электропроводность среды (например, сетевой воды) может изменяться в течение года в десятки раз;

- возможность отложения магнетита на стенках измерительного трубопровода расходомера и значительное увеличение погрешности при наличии окислов железа в воде;

- необходимость резки трубопровода, приварки фланцев и установки измерительного трубопровода, что часто невыполнимо.

Одними из наиболее распространенных приборов измерения расхода и количества жидкостей, и газов являются расходомеры и счетчики **с ультразвуковыми первичными преобразователями**. Ультразвуковые расходомеры (УЗР) имеют ряд важных преимуществ:

-позволяют измерять расход с высокой точностью в широком динамическом диапазоне;

-не создают потери напора за счет отсутствия элементов прибора в измерительном канале;

-не влияют на гидродинамику потока;

-обладают повышенной надежностью за счет отсутствия подвижных элементов;

-обеспечивают возможность измерения расхода нефтепродуктов, агрессивных, неэлектропроводных, непрозрачных и неоднородных жидкостей (суспензий, пульп), в том числе многокомпонентных сред;

-низкое энергопотребление;

-предоставляют возможность имитационной поверки без демонтажа первичного преобразователя;

-предоставляют возможность монтажа без остановки технологического процесса (для накладных приборов);

-сохраняют технико-эксплуатационные характеристики во времени.

Кроме того, УЗР обладают высоким быстродействием и стабильностью метрологических характеристик (за исключением трубопроводов с малыми диаметрами), а линейная зависимость исходного сигнала от расхода и электронный выход определяют удобство применения этих расходомеров в системах автоматического управления и регулирования [4-6]. Как показывает уже имеющийся опыт, наиболее информативными являются измерение расхода жидких и газообразных сред на основе пьезоэлектрических преобразователей. Метод измерения ультразвуковыми расходомерами основывается на соотношении скоростей распространения акустических колебаний в неподвижной среде и самой среды. Многообразии параметров, которые зависят от скорости измеряемой среды, и предопределило большое количество способов измерения задержки прохождения сигнала от излучателя к приемнику и обратно. С дальнейшим развитием расходомеров данного типа преимущество предоставляется тем приборам, метрологические характеристики которых не

зависят от условий эксплуатации — температуры, давления, концентрации примесей, и т.п. [7].

В настоящее время известны три метода измерения расхода вещества с помощью ультразвука. Метод, основанный на разности времен распространения ультразвуковых волн, направленных за потоком и против него. Ультразвуковые колебания перемещаются подвижной средой. Поверхностью отражения для импульса зондирования является естественная внутренняя поверхность трубопровода или специальный экран непосредственно в измеряемой среде. При этом средняя скорость измеренной среды может определяться на основании эффекта сноса ультразвукового колебания подвижной средой и изменения времени прохождения луча как векторная разность скоростей ультразвуковых колебаний по направлению движения измерительной среды и против нее.

Измерительные схемы основаны на измерении разности времен, сдвига фаз, разности частот прохождения ультразвуковых сигналов, обусловленных скоростью потока

$$\Delta\tau = \frac{2LQB}{c^2 - (\sin\beta QB)^2}, \quad (1.3)$$

где  $Q$  — расход;

$B(Re, \rho, \mu, t, P, \varepsilon, D)$  — функция, зависящая от параметров измеряемой среды и параметров трубопровода;

$L$  — путь ультразвукового луча;

$Re$  — число Рейнольдса измеряемой среды;

$\rho$  — плотность измеряемой среды;

$\mu$  — вязкость измеряемой среды;

$t$  — температура измеряемой среды;

$P$  — давление измеряемой среды;

$\varepsilon$  — шероховатость трубопровода;

$D$  — диаметр трубопровода;

$c$  — скорость ультразвука в измеряемой среде;

$\beta$  — угол ввода ультразвукового луча относительно вертикали.

Второй метод, основанный на геометрическом сносе ультразвуковой волны (с лучом перпендикулярным к потоку), обусловленном движением потока вещества. Ультразвуковые волны излучаются в измеряемую среду по нормали к направлению движения потока. Два приемных пьезоэлемента устанавливаются рядом таким образом, что при неподвижном измеряемом потоке интенсивности колебаний, принятых каждым пьезоэлементом, равны. При движении измеряемого потока ультразвуковые волны распространяются в направлении потока, при этом интенсивность ультразвуковых колебаний на приемных пьезоэлементах разная. Измеренная разность сигналов на приемных пьезоэлементах является мерой расхода потока вещества. Метод приме-

ним для измерения в трубопроводах больших диаметров и при больших скоростях потоков. По своей сути данный метод отличается от описанного выше тем, что измеряется не время, а геометрический снос луча.

Третий метод, основанный на доплеровском сдвиге частоты ультразвукового сигнала, отраженного от частиц измеряемого потока. Передающий пьезоэлемент излучает гармонический ультразвуковой сигнал в измеряемую среду. Приемный пьезоэлемент воспринимает отраженный от неоднородностей потока, имеющий доплеровский сдвиг частот, сигнал. Мерой расхода является доплеровская разность частот излучаемого и отраженного сигналов:

$$\Delta f_{\text{д}} = \frac{f_1 (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) QV}{C} \quad (1.4)$$

где  $f_1$  — исходная частота ультразвуковых колебаний;

$\alpha_1$  — угол между вектором скорости частицы отражателя и направлением исходного луча;

$\alpha_2$  — угол между вектором скорости частицы отражателя и направлением отраженного луча;

$C$  — скорость ультразвука.

Для высокоточных измерений расхода целесообразно применять метод, основанный на разности времен распространения ультразвуковых волн, направленных по потоку и против него. Вследствие небольшой чувствительности, крутизны градуировочной характеристики невозможно получить высокую точность измерений методом геометрического сноса ультразвуковой волны. Доплеровский метод наиболее широко применяется для измерения локальных скоростей, а в области измерения расхода имеет ограниченные возможности.

**Вывод:** Такое обилие и разнообразие конструкций и схем УЗР вызвано постоянным совершенствованием ультразвукового метода, как наиболее перспективного метода измерения расхода и количества вещества. Те или иные конструкции специально создавались для определенных условий. Так, например, накладные УЗР просто незаменимы в случаях, когда необходимо проводить учет энергоносителя без остановки технологического процесса. А многоканальные УЗР характеризуются высокой точностью измерения, но при этом имеют большую стоимость.

**Список литературы:** 1. *Гуртовцев А.Л.* Комплексная автоматизация учета и контроля электроэнергии, и энергоносителей на промышленных предприятиях и их хозяйственных объектах // Промышленная энергетика. — 2002. — № 8. — С. 7-14. 2. *Дмитрий Тросников, Владимир Жук.* Расходомеры: принципы работы и опыт эксплуатации // Энергетика и ТЭК. — 2008. — №4(61). 3. *Дмитрий Тросников, Владимир Жук.* Расходомеры: принципы работы и опыт эксплуатации // Энергетика и ТЭК. — 2008. — №5(62). 4. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1989. — 7015. *Лобачев П.В., Шевелев Ф.А.* Измерение расхода жидкостей и газов в системах водоснабжения и канализации. — М.: Стройиздат, 1985. —

424 **6.** Киясбейли А.Ш., Измайлов А.М., Гуревич В.М. Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики. — М.: Машиностроение, 1984. — 128 с. **7.** Коробко И.В., Гришанова И.А., Писарец А.В., Кузьменко П.К. Использование приборов коммерческого учёта на Украине // Энергосбережение (Москва). — 2005. — № 3 — С. 36-40.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Gurtovcev A.L. Kompleksnaja avtomatizacija ucheta i kontrolja jelektrojenergii, i jenergonositelej na promyshlennyh predpriyatijah i ih hozjajstvennyh ob#ektah // Promyshlennaja jenergetika. — 2002. — № 8. — S. 7-14. **2.** Dmitrij Trosnikov, Vladimir Zhuk. Rashodomery: principy raboty i opyt jekspluatacii // Jenergetika i Tjek. —2008. — №4(61). **3.** Dmitrij Trosnikov, Vladimir Zhuk. Rashodomery: principy raboty i opyt jekspluatacii // Jenergetika i Tjek. —2008. — №5(62). **4.** Kremlevskij P.P. Rashodomery i schetchiki kolichestva: Spravochnik. — L.: Mashinostroenie, 1989. — 701 **5.** Lobachev P.V., Shevelev F.A. Izmerenie rashoda zhidkostej i gazov v sistemah vodosnabzhenija i kanalizacii. — M.: Strojizdat, 1985. — 424 **6.** Kijasbejli A.Sh., Izmajlov A.M., Gurevich V.M. Chastotno-vremennye ul'trazvukovye rashodomery i schetchiki. — M.: Mashinostroenie, 1984. — 128 s. **7.** Korobko I.V., Grishanova I.A., Pisarec A.V., Kuz'menko P.K. Ispol'zovanie priborov kommercheskogo uchjota na Ukraine // Jenergosberezhenie (Moscow). — 2005. — № 3 — p. 36-40.

*Поступила (received) 24.05.2013*

**Т. Г. МАЩЕНКО**, к.т.н., проф. НТУ «ХПИ»;  
**Т. А. ТОНОЯН**, магистр НТУ «ХПИ»

## **СНЯТИЕ И ОБРАБОТКА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

В статье рассмотрены результаты разработки прибора для анализа деятельности центральной нервной системы (ЦНС), с помощью которого можно исследовать биопотенциалы головного мозга, проводить диагностику, прогнозировать этапы лечения центральной нервной системы.

**Ключевые слова:** головной мозг, электроэнцефалограф, датчик, биоэлектрическая активность, фильтр низких частот, фильтр высоких частот.

**Введение.** Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод записи электрической активности различных отделов головного мозга, которая преобразуется в соответствующую кривую, называемую электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Прибор, с помощью которого выполняется электроэнцефалография, называется энцефалографом. Электроэнцефалограмма с помощью ряда характеристик отражает состояние головного мозга человека и уровень его сознания. В головном мозге человека процессы имеют электрохимическую природу, исходя из этого, на поверхности головы человека возникают потенциалы от 1мкВ до 2мкВ, при частотном диапазоне до 70Гц.

Такую активность можно зафиксировать простым прикладыванием пластинок из неполяризующихся материалов, при этом ЭЭГ не наносит никакого вреда человеческому организму. На выходе устройства получают графическое изображение колебаний биоэлектрических потенциалов мозга.

**Цель работы.** оценка информативных параметров электроэнцефалограммы и анализ методов их обработки.

**Анализ литературы.** В работах [1, 2] рассмотрены электрохимические процессы, происходящие в головном мозге, в [3, 4] описываются фильтры для подавления помех, возникающих при работе электроэнцефалографа, в [2] проанализированы характеристики существующих электроэнцефалографов.

Из зарубежных ЭЭГ устройств наиболее распространены электроэнцефалографы фирм *Nihon Kohden*, *ORION*. На отечественном рынке лидируют электроэнцефалографы фирм *Nihon Kohden*, МБН, *NeuroCom*, *TREDEX* («DX-системы»). На основании обзора и анализа технических характеристик уже разработанных ЭЭГ устройств можно сделать вывод, что они имеют высокие технические параметры, но дорого стоят, что подтверждает актуальность разработки.