

С.Е. Жарский, ассистент; Д.А. Гринюк, ст. преподаватель; И.О. Оробей, доцент;  
И.Ф. Кузьмицкий, доцент

## ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Converters of electrokinetic potential ( $\zeta$ -potential) on various electrokinetic the phenomena are present. Are analyzed their strong and weaknesses.

Современные системы управления технологическими процессами характеризуются обеспечением растущих требований к качеству продукции в условиях ограничения на выделяемые ресурсы, в частности энергетические. Успешное решение задач интенсификации технологий зависит от разработки и внедрения схем управления, эффективность которых во многом определяется информационным обеспечением. К числу объектов технологических процессов, испытывающих недостаток первичной информации, относятся дисперсные системы. Системы регулирования для процессов флокуляции, фильтрации, коагуляции, флотации и т. д. не могут игнорировать состояние поверхности раздела фаз (твердое тело–жидкость, газ–жидкость). Важнейшей характеристикой таких систем является электрокинетический потенциал (ЭКП).

Перенос лабораторных методик по измерению ЭКП на промышленные системы не позволяет получить удовлетворительный результат. Разработка универсального измерителя ЭКП для широкого круга дисперсных систем практически не осуществима вследствие относительности показаний из-за поляризационных эффектов, необратимых изменений свойств среды (лабильность по отношению к электрическим и акустическим полям), разброса состава коллоидных систем и т. д. [1–3]. Известные решения преобразователей ЭКП не обладают универсализмом, что и предопределяет наличие множества устройств, основанных на различных электрокинетических явлениях.

Теоретическая модель электрокинетических явлений в нестационарном сдвиговом потоке предусматривает получение измерительного сигнала путем периодического формирования щелевого капилляра за счет вращающегося движения, что отличает этот преобразователь от известного Streaming Current Detector (SCD) [3], в котором используется вращательно-поступательное движение. Преобразователь с вращающимся ротором исключает наличие направляющих в измерительной области, обеспечивает стабильный размер щелевого капилляра, что уменьшает погрешность измерений и улучшает эксплуатационные характеристики.

Модель с вращающимся ротором положена в основу двух конструкций, представленных на рис. 1–2. Формирование измерительного сигнала происходит на электродах 5 при периодическом образовании ротором 1 и стенкой стакана 2 плоского щелевого капилляра в зоне расположения электродов. Ротор приводится в движение двигателем 3. Исследуемая среда подается и отводится через штуцеры 4. Измерительные электроды выполнены из серебряной проволоки, покрытой хлор-серебром. На резисторе  $R1$  формируются импульсы напряжения с амплитудой, пропорциональной току течения, форма которых зависит от соотношения расстояния между электродами  $s$  и шириной капилляра  $2h$ , а частота равна удвоенной частоте вращения ротора.

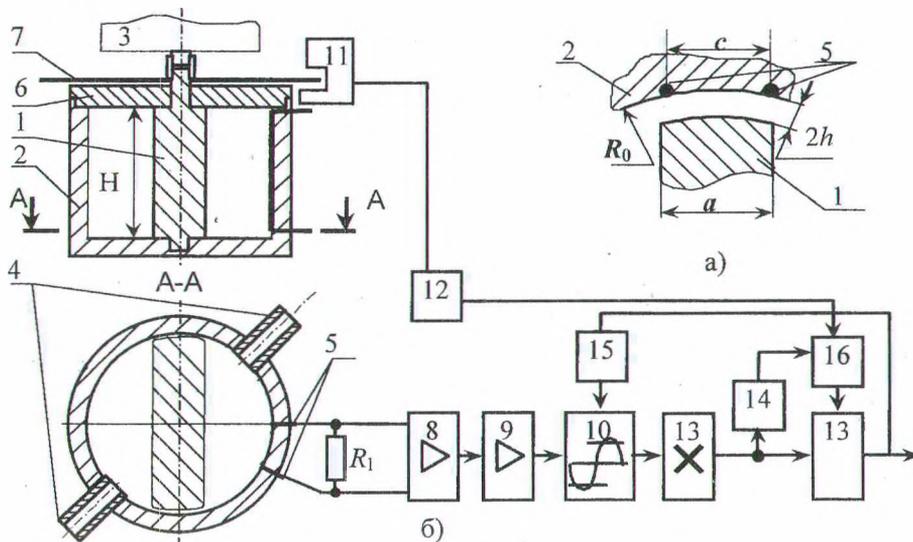


Рис. 1. Первичный преобразователь с периодическим нестационарным сдвигом между электродами: 1 – ротор; 2 – стакан; 3 – двигатель; 4 – штуцер; 5 – электроды; 6 – крышка; 7 – стробоскопический диск; 8 – предварительный усилитель; 9 – второй каскад усиления; 10 – регулируемый ограничитель; 11 – оптопара; 12 – схема формирования опорного сигнала; 13 – синхронный детектор; 14 – детектор срыва сигнала; 15 – формирователь синхроимпульсов перезаписи УВХ; 16 – схема подстройки уровня ограничения; 17 – выходной каскад

Измерительная схема содержит предварительный усилитель 8, второй усилительный каскад 9, регулируемый ограничитель 10, оптопару 11, схему формирования опорного сигнала 12, синхронный детектор 13, блок определения срыва сигнала 14, формирователь импульсов перезаписи выходного каскада 15, устройство задания уровня ограничения 16 и выходной каскад 17. Измеряемый сигнал синхронизирован с опорным сигналом, формируемым блоком 12. Для выделения сигнала из шума используется синхронный детектор 13.

Первичный преобразователь обладает высокой чувствительностью к электромагнитным полям промышленного происхождения, поэтому спектральные составляющие низкочастотных и одиночных импульсных помех в полосе пропускания синхронного детектора сравнимы с амплитудой основной гармоники полезного сигнала. Для уменьшения влияния этих помех в измерительную схему введены блоки 14–17.

Ток, протекающий по  $R_1$ , можно рассчитать по формуле [4]

$$I(t) = \frac{4 \varepsilon \varepsilon_0 V h \rho_0 \zeta_2}{3 \eta} \left[ 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n^2} \exp \left( -n^2 \pi^2 \frac{\eta t}{\rho_0 (2h)^2} \right) \right\} \right], \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – плотность раствора;  $\zeta_2$  – ЭКП неподвижной поверхности, образующей капилляр;  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon_0$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды и диэлектрическая постоянная;  $\eta$  – вязкость;  $V = \omega R_0$  – скорость подвижной образующей капилляра;  $R_0$  – радиус подвижного элемента.

Особенностью устройства, представленного на рис. 2, является улучшенный гидродинамический режим вследствие уменьшения зон турбулентности, что снижает воздействия на структурированные поверхности в зоне формирования измерительного сигнала. Использование эллиптического цилиндра позволило проводить и изменения вязкости. По результатам первичной информации с 6, 8, 10, 11 производится комплексная оценка электрокинетических свойств дисперсных систем: ЭКП, объемной, поверхностной проводимости и вязкости.

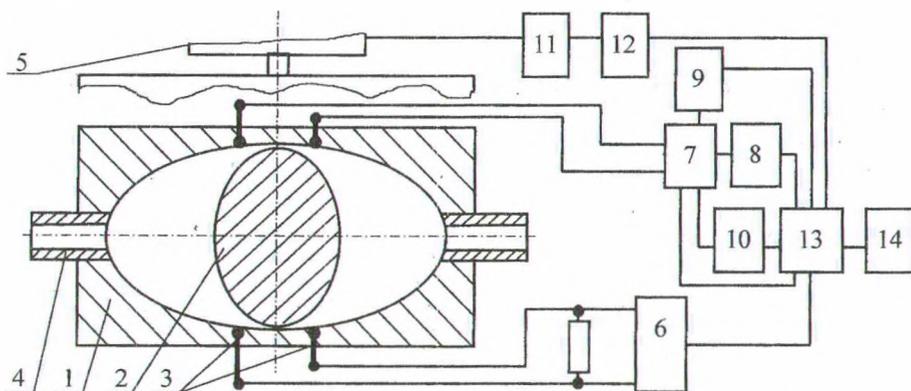


Рис. 2. Установка для комплексного измерения электрофизических характеристик с подвижным элементом в форме эллиптического цилиндра 1 – корпус; 2 – подвижной элемент; 3 – электроды; 4 – штуцер; 5 – двигатель; 6 – схема измерения тока течения; 7 – переключатель режимов; 8 – схема измерения потенциала течения; 9 – генератор; 10 – схема измерения электропроводности; 11 – схема управления электродвигателем; 12 – измеритель вязкости; 13 – блок коррекции и управления; 14 – блок индикации

Одна пара электродов производит непрерывный процесс измерения ЭКП методом тока течения, вторая попеременно измеряет потенциал течения и проводимость среды. Контроль вязкости производится по колебанию тока в цепи питания электродвигателя. При соосном вращении цилиндра в цилиндре и малой разнице радиусов этих цилиндров на каждый из них действует момент сопротивления [5]:

$$M = \frac{\eta R_m S_m (\omega R_0)}{2h}, \quad (2)$$

где  $R_m$  – средний радиус цилиндров;  $S_m$  – длина окружности соприкосновения. Если  $S_m = 2\pi R_m$ , то (2) приводится к виду

$$M = \pi \eta R_m^2 (\omega R_0) / h. \quad (3)$$

Поскольку величина  $h$  при вращении изменяется по гармоническому закону, то и момент сопротивления будет переменным. Амплитуда этих колебаний, согласно (3), прямо пропорциональна вязкости.

Одним из явлений, используемых в приборах измерения ЭКП, является электроосмос, который обладает хорошей точностью и отсутствием движущихся механических элементов. В основу устройства измерения ЭКП, представленного на рис. 3, положен электроосмос в знакопеременных полях, что позволяет в значительной степени нивелировать плохую лабильность этого электрокинетического явления. Использование электроосмотических приборов на постоянном токе приводит к большим и не поддающимся количественным ошибкам при расчете ЭКП по любым существующим формулам [1, 2].

Прибор имеет проточную камеру, которая образуется с помощью двух фильтрующих поверхностей, отделяющих электроды от среды. Расстояние между этими поверхностями позволяет сформировать на них представительный слой частиц за фазу одного такта измерения. Принцип работы прибора основан на преобразовании объемной скорости электроосмоса в частоту переключения полярности электродов при прохождении границей измерения определенного расстояния между метками, т. е. частота переключения пропорциональна ЭКП. В измерительном блоке прибора предусмотрено измерение частоты, напряжения и тока через электроды.

Природные и промышленные дисперсные среды имеют широкий разброс параметров по физико-химическим свойствам. Образованная с помощью фильтрующих поверхностей диафрагма в общем случае представляет смесь электрохимически активных и пассивных

элементов. Для повышения точности в устройстве реализована схема потактного изменения напряжения вверх и вниз на 20% с оптимизацией формы сигнала напряжения.

Вследствие неконтролируемого асимметричного потенциала и шумов электродов при построении первичных преобразователей ЭКП информативному сигналу придают переменный характер, что используется в известных преобразователях [3, 6, 7]. В качестве модулятора сигнала может быть использован периодический электровзрыв. Разряд в жидкости характеризуется большой мощностью с высокой скоростью нарастания фронта сдвига, что в соответствии с (1) обеспечивает увеличение амплитуды сигнала и уменьшает влияние обратного осмотического тока. Использование электроразряда позволяет отказаться от механических движущихся частей и автоматизировать процесс измерения.

Существенную трудность для интерпретации измерительного сигнала представляет непостоянство значения создаваемого давления. С целью нивелирования недостатков в устройстве применена дифференциальная схема формирования измерительного сигнала. Для предотвращения попадания продуктов разряда в исследуемую среду разрядная камера отделена мембранами от двух измерительных, в одну из которых помещается среда с известным значением ЭКП, в другую подается исследуемая среда. Измерительная схема фиксирует разность сигналов на электродах, что позволяет проводить количественную оценку ЭКП.

Преобразователи с вращающимся ротором наиболее универсальны, однако для дисперсных сред с большим разбросом размеров частиц и различными адсорбционными свойствами наблюдается определенная неадекватность показаний. Преобразователь на электроосмосе имеет хорошую точность, но требует лабильности среды по отношению к электромагнитным полям. Областью применения преобразователя с электровзрывом являются среды со слабыми адсорбционными свойствами при высоких требованиях к точности в окрестностях изоэлектрической точки. В то же время высокое напряжение и возникающий электромагнитный импульс в процессе измерения налагает некоторые ограничения на эксплуатационные характеристики.

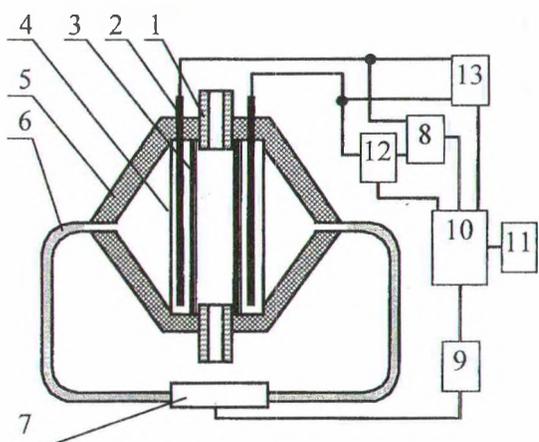


Рис. 3. Измерительный преобразователь ЭКП на переменном электроосмосе: 1 – штуцер; 2 – электроды; 3 – фильтрующие поверхности; 4 – «вялые» мембраны; 5 – корпус; 6 – измерительный капилляр; 7 – датчик перемещения; 8 – формирователь напряжения; 9 – преобразователь; 10 – схема управления; 11 – блок индикации; 12, 13 – измерители тока и напряжения

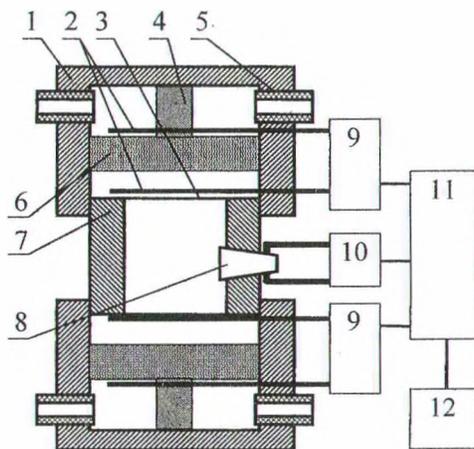


Рис. 4. Измерительный преобразователь ЭКП на электровзрыве: 1 – измерительная камера; 2 – электроды; 3 – мембрана; 4 – разделитель потоков; 5 – штуцер; 6 – фторопластовые пластины; 7 – корпус разрядной камеры; 8 – разрядник; 9 – измерительная схема; 10 – схема управления разрядником; 11 – блок управления; 12 – индикация

## ЛИТЕРАТУРА

1. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. – Киев: Наукова думка, 1975. – 246 с.
2. Горбачук И.Т. Электрокинетические явления в дисперсных средах. – Киев: КГПИ, 1986. – 102 с.
3. Пат. 5121062 США МКИ G 01 N 27/60. Streaming current detector probe / Robert Bean F. Steven Dentel K. (США); – № 568589 Заявл. 16.08.1990; Оpubл. 09.06.1992; НКИ 324/453. – 8 с.
4. Гринюк Д.А. Кинетические уравнения переноса для электрокинетических преобразователей с использованием сдвигового потока // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. наук и информ. Выпуск V. 1997. – С. 72–77.
5. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие: В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
6. Beck U. Measuring Zeta Potential by Ultrasonic Waves// Tappi. – 1978. – Vol. 61, № 1, – P. 63–65.
7. Касим-заде М.С., Халилов Р.Ф. Балашов А.Н. Электрокинетические преобразователи. – М.: Наука, 1973. – 136 с.