

# Построение системы комплексного анализа осадков при водоподготовке

Богослав Н.М.; Гринюк Д.А.; Оробей И.О.

Кафедра автоматизации технологических процессов и электротехники, факультет химической технологии и техники

Белорусский государственный технологический университет

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: hope\_rez@mail.ru

**Аннотация** — в работе рассмотрены вопросы, связанные с проблемами современного уровня автоматизации установок водоподготовки, а также аппаратного оформления данных процессов. Представлено устройство, позволяющее по изменению емкости конденсатора определять время капиллярного впитывания тестовой бумагой, которое может быть использовано для анализа сточных вод.

**Ключевые слова:** водоподготовка, смачивание, граница раздела фаз, краевой угол, электроосмос, математическая модель

## I. ВВЕДЕНИЕ

Загрязняющие воду примеси различаются по природе (неорганические, органические, биологические) и размерам. Крупные неорганические частицы (от единиц микрометров до миллиметра) гетерогенны, видны невооруженным глазом в виде мутности, имеют четкую границу раздела с водой и могут самопроизвольно осаждаться [1]. Микрочастицы (от долей до единиц микрометра) имеют неорганическую или биологическую природу, невооруженным глазом определяются как опалесценция, из-за броуновского движения не осаждаются. Макромолекулы растворимых органических веществ с молекулярной массой до 500 000 единиц, а также вирусы и бактерии имеют размеры от сотых долей до микрометра. Истинные растворы, содержащие ионы растворенных неорганических веществ, имеют размеры в единицы ангстрем.

Широкий спектр примесей и их неоднородный характер приводят к тому, что для обеспечения надлежащего качества водоподготовки необходимы адаптивные системы управления процессом водоочистки, а также усовершенствование существующих устройств анализа состава воды. В связи с этим возникает необходимость более точного исследования поверхностных явлений на границах раздела фаз. Большое значение имеет исследование явлений на границе раздела твердое тело – жидкость, в частности, смачивания и растекания на поверхности твердого тела. Эти эффекты являются начальными и существенными стадиями разных технологических процессов в том числе и водоочистке [2].

## II. Принцип действия и конструкция прибора

Обширная область практических приложений законов смачивания связана с движением жидкости в пористых средах. Сюда входят пропитка пористых тел, процессы сушки, фильтрация. При смачивании жидкостью пористого материала (например, бумаги) скорость впитывания зависит от следующих характеристик [3]: параметров бумаги (состава, пористости, формы пор, удельной поверхности и т. д.); состава и свойств воды; внешних факторов. При использовании стандартной бумаги, параметры которой могут варьироваться в незначительном диапазоне, основное влияние на впитывание оказывают состав

воды и внешние условия [4], что позволяет проводить анализ воды [5, 6]. Из-за разброса характеристик исследуемых сред актуальной представляется разработка бесконтактного принципа измерения фронта распространения жидкости. Процесс впитывания характеризуется изменением диэлектрической проницаемости конденсатора, в качестве диэлектрика которого используется впитывающая жидкость бумага. Прибор состоит из двух преобразователей. Емкость с исследуемой средой имеет непосредственный контакт с двумя образцами бумаги. Один образец связан с нижней частью пробы, другой – с верхней.

Конденсаторы располагаются в горизонтальной плоскости и имеют форму окружности. Медные металлические поверхности отделены от бумаги тонким слоем пластического диэлектрика для исключения поверхностного течения жидкости под действием статического давления. Из-за особенностей производства бумаги часто наблюдается зависимость ее свойств от направления. Для оценки анизотропии бумаги верхний конденсатор разбит на равные сектора, и процесс измерения движения фронта производится отдельно. Для расширения процесса физико-химического анализа свойств в нижний конденсатор встроена система электродов, позволяющая формировать разнополярные кратковременные импульсы, которые приводят к возникновению электроосмотического течения. Влияние электроосмоса на движение фронта жидкости оценивается с помощью тех же конденсаторов.

Анализируемая жидкость или влажный осадок помещается в кювету, которая располагается в центре конденсаторных пластин, после чего начинается процесс смачивания (впитывания). По мере распространения фронта смачивания емкости измерительных конденсаторов увеличиваются.

Сформированный в измерительной схеме преобразователя конденсатор  $C_A$  включается в резонансный контур с катушкой  $L1$ . Контур подключается к истоковому повторителю на  $VT1$ , который обеспечивает высокое входное и низкое выходное сопротивление (рис. 1).

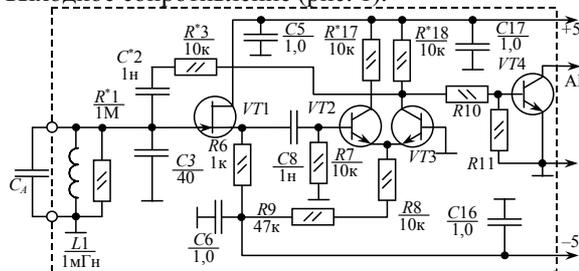


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная емкостного преобразователя:  $C_A$  – анализируемая емкость;  $L1$  – катушка регистрации;  $DA1$  – KP538УНЗ;  $DA2$  – KP140УД6;  $VT1$  – КП303Г;  $VT2, VT3, VT6$  – КТ368А

Схема представляет собой генератор, состоящий из истокового повторителя, дифференциального усилителя на  $VT2, VT3$  и ключа на  $VT4$ , формирующего цифровой выходной сигнал  $AF$ , поступающий непосредственно на

дискретный вход контроллера. Изменение резонансной частоты параллельного колебательного контура, состоящего из катушки  $L1$  и исследуемой переменной емкости  $C_A$ , параметры которой изменяются по мере смачивания фильтровальной бумаги, помещенной между обкладками конденсатора, приводит к изменению частоты сигнала  $AF$ . Конденсатор  $C3$ , подключенный параллельно к контуру, обеспечивает первоначальную подстройку резонансной частоты.

Измерительная схема сформирована для анализа резонансной частоты в районе 500 кГц. Вспомогательная емкость  $C3$  имеет значение 40 пФ. Эквивалентная емкость контура

$$C_P = C3 + C_A \quad (1)$$

в процессе измерения изменяется, примерно, от 40 до 600 пФ. Катушки индуктивности изготавливались из проволоки 0,15 мм на расчётное значение индуктивности 1 мГн.

Резистор  $R3$  и емкость  $C2$  обеспечивают положительную обратную связь. Схема позволяет генерировать импульсы на частоте параллельного колебательного контура. При изменении параметров исследуемой емкости меняется частота, и данное изменение регистрируется на контроллере прямым методом (ведется подсчет числа импульсов за установленное время).

Сигнал от трех одинаковых параллельных измерительных схем поступает на блок цифровой обработки. Он включает однокристалльный микроконтроллер с памятью программ ADUC831, жидкокристаллический индикатор, приемопередатчик сигналов интерфейса RS-232 и оптоэлектронный переключатель режимов работы.

Формы электроосмотических импульсов формируются на программируемых дискретных выходах. Увеличение размаха напряжения осуществляется за счет дополнительной схемы, которая гальванически развязана по отношению к выходам контроллера. Форма сигнала формируется за счет широтно-импульсной модуляции, несущая которой выделяется фильтром низкой частоты перед силовыми транзисторами. Включение сопротивления 100 Ом непосредственно в цепь электродов обеспечивает измерение электроосмотического тока с помощью встроенного в контроллер АЦП.

Использование переменного электроосмоса позволяет добиться лабильности электрического воздействия по отношению к исследуемой среде.

Циклы работы измерительных блоков синхронизирует программный таймер, реализованный на микроконтроллере. Контроллер также управляет работой и считывает данные, поступившие от емкостных преобразователей, обрабатывает результаты,

передает информацию в индикатор, сбрасывает сторожевой таймер, активирует переключатель и считывает его состояние, формирует и принимает сигналы по RS-232. Программное обеспечение разработано на языке СИ. Результаты измерений и служебная информация отображаются на индикаторе. Переключение режимов и просмотр истории проведенных измерений осуществляется с помощью клавиатуры.

Целью измерения емкости является получение зависимости движения фронта смачивания от времени.

Результаты измерения кинетики пропитки бумаги численно обрабатываются и подгоняются под одну из моделей движения фронта: модель свободного движения жидкости; модель движения с закупоркой капилляров или модель с аномальным движением. После окончания пропитки или снижения скорости распространения фронта намокания до определенного значения на экран выводится номер модели и ее параметры. Предварительные данные процесса можно получить и по запросу. Необходимость электроосмотического воздействия должна быть установлена заранее с помощью клавиатуры.

### III. Выводы

Представленное устройство позволяет по изменению емкости конденсатора определять время капиллярного впитывания тестовой бумагой и быть использовано для анализа сточных вод при использовании бумаги, параметры которой варьируются в незначительном диапазоне.

Проведенные эксперименты показали, что по мере распространения фронта смачивания фильтровальной бумаги, помещенной между обкладками конденсатора, емкость преобразователя изменяется в значительном диапазоне (от 60 пФ до 600 пФ). Таким образом, данный метод может быть использован для разработки прибора, представленного в статье, который может найти практическое применение в адаптивных интеллектуальных системах управления процессами водоочистки.

[1] Б. Е. Рябчиков. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М. ДеЛи принт, 2004, с. 301.

[2] Б. Д. Сумм. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976, с. 232 с

[3] Б. В. Дерягин. Вода в дисперсных системах. М.: Химия, 1989, с. 288.

[4] Д. Н. Смирнов, Автоматическое регулирование процессов очистки сточных и природных вод. М.: Стройиздат, 1974, с. 256.

[5] Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979, с. 568.

[6] Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир. 1980, с. 488.