

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КРУГОВОЙ ПРОПИТКИ

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniuk@gmail.com

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований динамики круговой пропитки тестовой бумаги различными типами жидких сред. При проведении опытов было использовано устройство, которое по динамике изменения емкости конденсатора позволяет определять время капиллярного впитывания тестовой бумагой. Особенностью данного прибора является непрерывный контроль за движением границы раздела фаз жидкое/твердое. На основании полученных экспериментальных данных была проведена аппроксимация и определены ряды модельных зависимостей.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс смачивания определяется гидрофильным (гидрофобным) взаимодействием жидкой и твердой фаз. От эффективности взаимодействия фаз зависит ход протекания процессов, в которых твердая фаза имеет развитую поверхность. Имеется многолетний опыт использования устройств Capillary Suction Time (CST) [1] и подобной разработки БГТУ [2] для оптимизации процессов очистки сточных вод и нефтедобычи, в частности, при механическом обезвоживании плотных глинистых суспензий и осадков промывных фильтров при очистке воды; обработке активных илов; для установки параметров работы фильтров и центрифуг; при повышении производительности сепарации механического префектификационного процесса; при определении подходящего электролита и полимера для снижения проницаемости вокруг ствола скважины нефтедобычи и множества других применений при обработке минералов в угольной и горнодобывающей промышленности, при производстве бумаги, сахара, в металлургии.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИБОР

Жидкости, которые пропитывают бумагу, изменяют общую диэлектрическую проницаемость многофазной системы. Прибор, который был использован при проведении опытов, состоял из двух частей: различных вариантов первичного преобразователя и универсального электронного блока измерения и индикации. Выбор конструкции определялся областью применения прибора. Для исследования осадков, которые характеризуются малой скоростью пропитки, использовалась конструкция, приведенная на рис. 1. Два круглых образца фильтровальной бумаги помещаются между обкладками конденсатора 1 и 2. Медные металлические поверхности отделены от бумаги тонким слоем пластичного диэлектрика. Осадок помещался в емкость 3. Соосность и исключение поверхностного течения жидкости обеспечивались сжатием обкладок пластинами 4,

на которых закрепляется датчик перепада давления 5. На нижней поверхности располагаются контактные площадки для определения достижения жидкостью границ измерительного конденсатора. Самая нижняя пластина конденсатора 1 имеет четыре изолированных сектора, которые позволяют сравнить скорость распространения по направлениям.

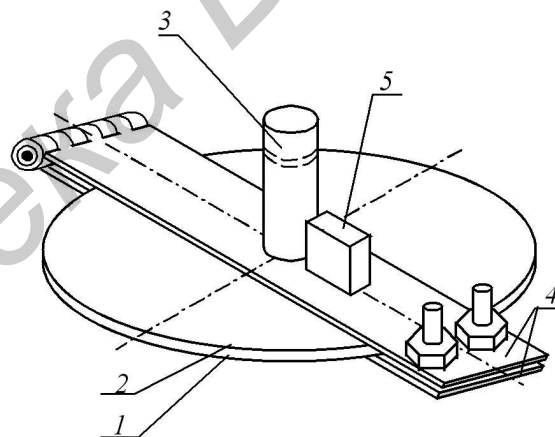


Рис. 1 – Конструкция первичного преобразователя: 1 – нижняя обкладка нижнего конденсатора; 2 – верхняя обкладка нижнего конденсатора; 3 – емкость для жидкости или осадков; 4 – металлические пластины для сжатия нижнего конденсатора; 5 – датчик перепада давления

Сформированный в первичном преобразователе сигнал о величине емкости C_A передается на универсальный электронный блок измерения и индикации. Для пересчета измеряемой емкости C_A в геометрический параметр пропитки бумаги использовалась формула

$$x = \sqrt{R_1^2 + (R_2^2 - R_1^2) \frac{C_A - C_0}{C_{end} - C_0}} \quad (1)$$

где R_1 – начальный радиус пропитки, R_2 – максимальный радиус кюветы, C_A – текущая емкость измерительного конденсатора, C_0 – начальная емкость измерительного конденсатора, C_{end} – конечная емкость конденсатора.

Начальное значение емкости C_0 определяется как среднее значение 10 измерений перед помещением пробы в прибор. Конечное значение емкости C_{end} определяется по срабатыванию контактных площадок при исследовании жидкостей с большими скоростями пропитки или по анализу тренда изменения емкости, если жидкость не достигает контактных площадок. Анализ трендов позволяет определять и начальный момент пропитки.

Для обеспечения повторяемости результатов были использованы модельные растворы при термостабильных условиях. Для оптимизации конструкции и программного обеспечения прибора были использованы среды: вода; промышленно выпускаемый «Оксидат торфа плюс» и «Оксидат торфа плюс», разбавленный в соотношении 1:10; суспензии глины с количеством сухого вещества 5, 10, 15 и 20 г/литр и подсолнечное масло.

В качестве тестовой бумаги во всех опытах между обкладками конденсатора помещалась фильтровальная бумага с радиусом пор 3–5 микрон. Для исключения влияния температуры и влажности на результаты измерений опыты проводились при одинаковых параметрах окружающей среды. Перед началом опыта проводился контроль горизонтальной установки первичного преобразователя (для исключения неравномерного влияния силы тяжести на границе распространения фронта смачивания). Результаты измерений аппроксимировались рядом модельных зависимостей:

$$C(t) = k_1 \left(\frac{1 - \exp(-k_2 t)}{k_3} + t \right)^{0,25} \quad (2)$$

$$C(t) = k_1 \left(\frac{1 - \exp(-k_2 t)}{k_3} + t \right)^{k_4} \quad (3)$$

$$C(t) = k_1 (1 - \exp(-k_2 t^{0,5})) \quad (4)$$

$$C(t) = k_1 (1 - \exp(-k_2 t^{k_3})) \quad (5)$$

$$C(t) = k_1 \left(t + k_2 \frac{t^{0,25}}{t^{0,25} + 1} \right)^{k_3} \quad (6)$$

$$C(t) = k_1 \left(t + k_2 \frac{t^{0,25}}{t^{0,25} + k_4} \right)^{k_3} \quad (7)$$

Поиск коэффициентов моделей для формул (3), (5) и (7) производился на персональном компьютере, для (2), (4) и (6) коэффициенты получались непосредственно в приборе. А затем значение емкости пересчитывалось в координату пропитки x по (1). Ряд моделей (2)-(7) оказался достаточным для все сред, которые испытывались на приборе.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Некоторые результаты экспериментов и применения моделей аппроксимации приведены на рис. 2 - 3.

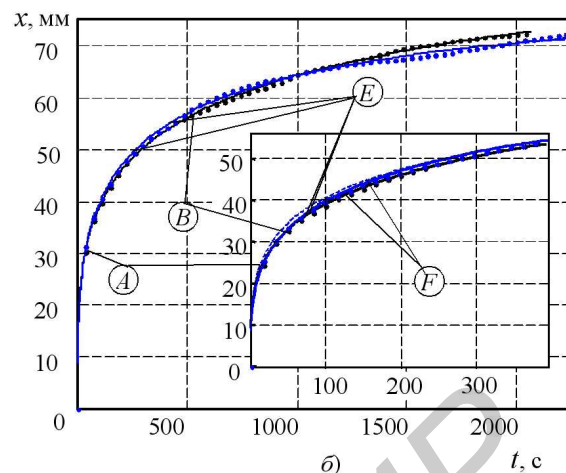


Рис. 2 – Изменение координаты фронта пропитки во времени для чистой водой при радиусе емкости (3) - 8,75 (А) и 12,6 (В) мм и результат аппроксимации (С) экспериментальных данных уравнением (6) и (D) – уравнением (7), (E) – уравнением (4), (F) – уравнением (5)

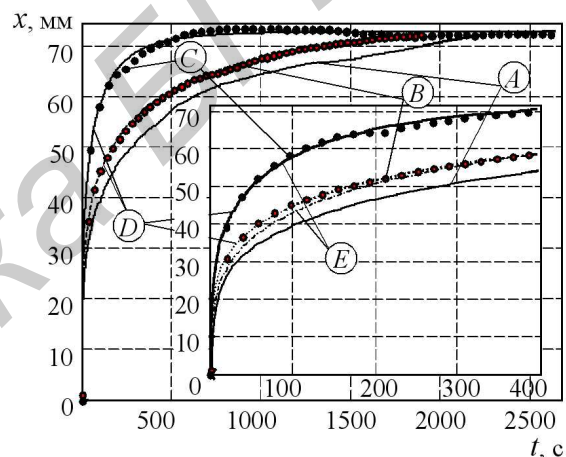


Рис. 3 – Изменение координаты фронта пропитки для чистой воды (А), суспензии «Глина Веселовская» с количеством вещества 5 мг/л (В) и 20 мг/л (С), и результат аппроксимации экспериментальных данных (D) уравнением (6) и (E) – уравнением (7)

Проведенные эксперименты показали, что по мере распространения фронта смачивания бумаги емкость преобразователя изменяется в диапазоне (50-1500 пФ). Также в результате опытов было установлено, что температура окружающей среды, начальный радиус пропитки, начальная высота столба жидкости оказывают существенное влияние на скорость капиллярного впитывания.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CST Equipment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tritonel.com/> – Дата доступа: 25.02.2013.
2. Способ определения распространения границы смачивания и краевого угла внутри капилляров пористого материала, устройство и автоматизированная система измерения, его реализующие // И. О. Оробей [и др.], Патент 1 С1 ВУ, МПК7 G01N13/02, 13/00. №8807 заявл. 17.09.2003; Оpubл.: 30.03.2005 – с. 16 7 л. ил. // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. Пат. Ведамства Респ. Беларусь. – 2005. - №2. - 11 с.