

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВОДООЧИСТКИ С ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ АППАРАТА В ВИДЕ ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

The paper is devoted to problems of control of processes water-purification with maintenance optimum dosage flocculating agent. At construction of a system the representation of the device by the way of plant with the distributed parameters is used, that allows to allocate frequency characteristics of obtained properties of formed deposits and on their properties to minimize a dose flocculating agent with minimization dosage on consequent dehydration.

Для математического описания большинства технологических процессов с разделением фаз (обогащение, водоподготовка, водоочистка и т. д.) используются дифференциальные уравнения в частных производных [1], что обусловлено большими размерами используемых в промышленности аппаратов и существенными различиями параметров в различных точках аппарата.

Для систем управления технологическими процессами с локализованным выходом распределенные параметры с движением среды по аппарату принято сводить к запаздыванию, характеризующему задержку во времени при получении выходного значения регулируемой величины. Запаздывание отражается в виде фазового сдвига при анализе системы управления при помощи АФЧХ и затягивает переходной процесс. Такой подход оправдан при наличии единственной точки приложения управляющего воздействия и получения выходного сигнала. Однако для некоторых процессов имеется принципиальная возможность получения информации об их ходе до точки выхода. К числу таких процессов относится водоочистка на первичных отстойниках горизонтального и радиального типов, а также подобных аппаратов. Однако и для них возможность получения информации по чистоте воды затруднена. Существующие методы контроля чистоты, формирующие поверхности отклика, либо слишком длительны (лабораторный анализ прозрачности, пробная очистка) [2], либо обладают точностью, ставящей под сомнение получаемые результаты (оптическая плотность, мутность и т. д.). При этом окончательная очистка требует последующих стадий и дополнительного оборудования.

Удорожание ресурсов, используемых реагентов и энергоносителей повышает актуальность подходов, обеспечивающих даже небольшую их экономию. Управление по критерию минимизации используемых реагентов возможно в процессах водоочистки, состоящих из следующих стадий [13]: 1) взаимодействие очищаемой среды с коагулянтами и флокулянтами; 2) осаждение образовавшихся осадков в первичных отстойниках; 3) обез-

воживание образованных осадков с применением ленточных фильтров и centrifуг; 4) транспортирование, складирование или иная утилизация осадков. Величина влажности образованных в отстойниках осадков существенно влияет на энергозатраты при их последующей обработке.

Полный анализ свойств и динамики образования осадков достаточно сложен [2], однако существуют методы анализа интегральных свойств осадков, их обобщающих параметров, к числу которых относятся электрокинетический потенциал (ЭКП) и время капиллярного впитывания (ВКВ). Они находятся в корреляции с другими качественными и количественными параметрами чистоты (удельное сопротивление, pH, мутность, индекс центрифугирования и т. д.) рис. 1 [3].

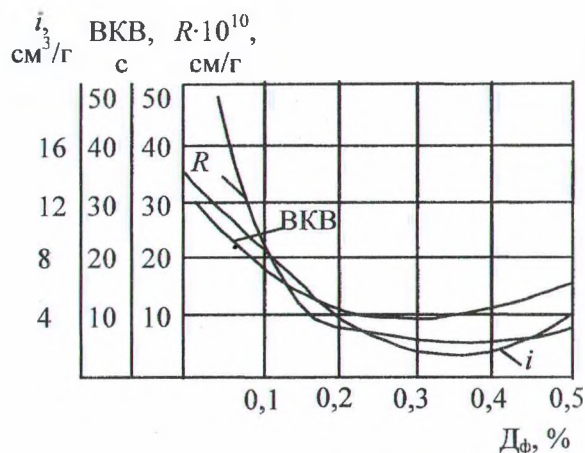


Рис. 1. Влияние дозы флокулянта ОКФ (D_f) на индекс центрифугирования i , ВКВ и удельное сопротивление R активного ила ТСА ($C_{исх} = 2,5\%$)

Использование известных зависимостей ВКВ от параметров среды позволяет корректировать дозу применяемых при очистке реагентов. Взаимосвязь краевого угла (движущая сила процесса смачивания) с потенциалом поверхности (рис. 2) дисперсной фазы позволяет устранить сравнительно малое быстрое действие метода определения ВКВ [4].

При этом полагается, что состав очищаемой дисперсной среды может варьироваться в некоторых пределах, определенных

и предсказуемых для конкретного производства или местности. Измеренный ЭКП также является интегральной оценкой поверхностного заряда частиц дисперсной системы (рис. 2).

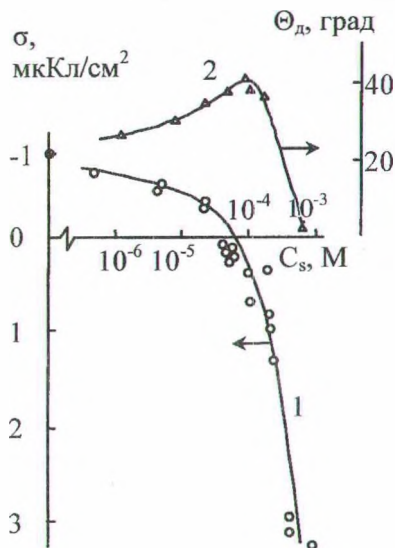


Рис. 2. Концентрационная зависимость заряда поверхности кварца (1) и краевого угла (2) в ходе адсорбции ЦТАБ

Неизбежную неопределенность параметров должна устранять система управления с использованием подходящих алгоритмов, в частности экстремального и адаптивного. Она функционирует следующим образом. Контур экстремального управления определяет минимальное ВКВ по величине тестового воздействия, подаваемого на вход системы. Поскольку прямое влияние дозы флокулянта или расхода раствора полиэлектролита на величину поверхностного заряда неизвестно, то на основании зависимостей, подобных приведенным на рис. 2, определяется некоторая ненулевая величина ЭКП, пропорциональная дозе полиэлектролита [5]. Функционирование двух подсистем возможно с разделением по времени или частоте. В первом случае сначала идет подстройка коэффициентов передачи системы адаптивного управления, т. е. на вход системы стабилизации ЭКП поступает тестовый сигнал изменения расхода раствора полиэлектролита с фиксированной частотой и амплитудой. После определения коэффициентов передачи и постоянной времени подсистемы регулирования ЭКП система переходит к определению значения ЭКП, соответствующего минимальному значению ВКВ. Функционирование системы поиска экстремального расхода раствора полиэлектролита основывается на полученной адаптивной системой зависимости изменения ЭКП от расхода раствора флокулянта. Экстремум ВКВ определяется

регистрацией отклика на подачу тестового сигнала изменения ЭКП. Для этого алгоритма функционирования системы поиска экстремального значения ЭКП предпочтительнее разделение по времени, т. к. для определения значения ЭКП, соответствующего экстремальному ВКВ, необходима информация о коэффициенте передачи подсистемы регулирования ЭКП с целью формирования амплитудного шага поиска.

Поиск экстремума с разделением по частоте затрудняется наличием случайных помех по составу дисперсной фазы на входе системы, что усложняет выделение полезной составляющей из измеренного сигнала. Наличие усреднителей состава перед первичным отстойником, имеющих емкость одного порядка с объемом аппарата, отфильтровывает высокочастотные составляющие колебаний состава дисперсной системы. Дополнительные трудности возникают с получением информации о свойствах сформировавшихся осадков при новом расходе раствора полиэлектролита. Получение информации при анализе уплотненного осадка на выходе аппарата снижает быстродействие системы поиска экстремума. Другой способ – получение пробы осадка при помощи отборного устройства, погружаемого в точку аппарата, обладающую максимальной скоростью реакции на изменение расхода реагента. Для определения этой точки необходима информация о математической модели аппарата.

Найдем математическую модель в виде объекта с распределенными параметрами. Рассматривая материальные потоки в аппарате, заметим, что подаваемая для осветления жидкость движется по поверхности покоящейся жидкости и после осаждения части взвешенной дисперсной фазы через сливное устройство попадает в сборник осветленной жидкости. Режим течения потока стараются сделать ламинарным, в противном случае осаждения происходить не будет. Для ламинарного потока при условии постоянного уровня жидкости на поверхности неподвижной зоны получаем

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{2 \cdot r} \frac{\partial (V(r) \cdot r \cdot C)}{\partial r} - V_z \frac{\partial C}{\partial z} - D \frac{1}{2 \cdot r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) - D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, \tag{1}$$

где C – концентрация дисперсных частиц определенного размера d ; t – время; r, z – радиальная и вертикальная координаты соответственно; $V(r)$ – радиальная скорость движения

жидкости; D – коэффициент диффузии частиц размера d ; V_z – скорость вертикального осаждения частиц с диаметром d .

Зависимость радиальной скорости движения жидкости от радиуса описывается формулой $V(r) = V_0 r_0 / r$; где V_0 – скорость движения жидкости на границе ламинарной зоны на расстоянии r_0 от ввода жидкости в аппарат. При известном ориентировочном распределении частиц по размерам на выходе аппарата смешения сумма решений (1) по распределению позволяет численно определить радиальную координату с максимальной осаждаемой массой. В данной точке устанавливается пробоотборное устройство. Временные характеристики решения уравнения (1) позволяют определить частоту тестового сигнала подсистемы поиска экстремума. При этом точное решение по начальному распределению можно и не определять, достаточно найти разложение по собственным функциям. Для заданного начального распределения частиц по размерам можно построить кривую распределения по радиальной координате и в точке максимума установить пробоотборное устройство. Саму же сумму решений будем использовать для определения максимальной частоты изменения тестового сигнала по расходу флокулянта. Общий вид решения представляется как

$$C(t, r, z) = C1 e^{c_1 t} \times \\ \times C4 e^{1/2 \left(\frac{z V_z}{D} + \frac{z \sqrt{V_z^2 - 4 D c_1 - 2 D c_2}}{D} \right)} \times \\ \times C2 BesselJ \left(\frac{1}{2} \frac{V_0 r_0}{D}, \sqrt{\frac{c_1}{D}} r \right) r^{\left(\frac{V_0 r_0}{2 D} \right)} + \\ + C1 e^{c_1 t} C5 e^{1/2 \left(\frac{z V_z}{D} + \frac{z \sqrt{V_z^2 - 4 D c_1 - 2 D c_2}}{D} \right)} \times \\ \times C2 BesselJ \left(\frac{1}{2} \frac{V_0 r_0}{D}, \sqrt{\frac{c_1}{D}} r \right) r^{\left(\frac{V_0 r_0}{2 D} \right)}. \quad (2)$$

Здесь приведена часть решения, т. к. при устремлении r_0 к нулю только функция Бесселя первого рода ($BesselJ$) остается ограниченной, а функция Бесселя второго рода стремится к бесконечности. При ограниченной концентрации на входе в зону отстаивания (в наших технологических процессах концентрация твердой фазы около 2 %) необходимо отсутствие неограниченных функций [6, 7]. Коэффициенты c_1 , c_2 определяются из решения системы уравнений (3) при соблюдении граничных условий третьего рода, из которых получаем коэффициенты $C1$, $C2$, $C4$, $C5$. Ввиду сложности уравнений (2), (3) нахождение

значений описанных параметров возможно только численно при определенных коэффициенте диффузии и скорости осаждения, определяемой по закону Стокса. При ламинарном режиме и наличии априорной информации о распределении частиц по размерам определение этих коэффициентов для известных размеров аппарата и скоростей материальных потоков не представляет трудностей:

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} F_3(z) = \\ = \frac{F_3(z) c_1}{D} - \frac{1}{2} \frac{F_3(z) c_2}{D} - \frac{V_z}{D} \frac{\partial}{\partial z} F_3(z), \\ \frac{\partial^2}{\partial r^2} F_2(z) = \\ = \frac{F_2(r) c_2}{D} - \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{\partial}{\partial z} F_2(z) \right) (V_0 r_0 + D)}{D r}, \\ \frac{\partial}{\partial t} F1(t) = F1(t) c_1. \quad (3)$$

В точке $r = r_0$, где зона перемешивания с флокулянтном граничит с зоной гравитационного разделения, граничные условия для (1) для частиц с определенным гидравлическим радиусом можно представить как поддержание граничной концентрации на определенном уровне. Численное значение концентрации определяется распределением частиц по размерам на выходе зоны перемешивания с флокулянтном [2]. Рассматриваем величину ЭКП на границе зон как управляющее воздействие, влияющее на свойства осадков с неопределенным коэффициентом передачи, определяемым алгоритмом детектирования экстремума. Тогда подсистему регулирования ЭКП на выходе из зоны перемешивания следует рассматривать как «адаптивный позиционер», для которого необходима своя собственная система подстройки коэффициентов передачи.

Необходимость адаптивной системы стабилизации ЭКП определяется гарантированным предотвращением перезарядки двойного слоя добавкой высокомолекулярного полиэлектролита, что обеспечивается с помощью учета коэффициента передачи расход полиэлектролита – ЭКП. Взаимосвязь ЭКП с концентрацией электролитов имеет экспоненциальный характер [8], что создает определенные трудности при выборе тестовых воздействий для приборов с ограниченными измерительными диапазонами. При таком подходе к стабилизации заданного значения ЭКП можно использовать датчик, измеряющий изменение ЭКП дисперсной системы относительно некоторого заданного значения, например от ЭКП фто-

ропластовой мембраны, на которой формируется слой осадка [10]. Для определения ВКВ возможно использовать датчик, предложенный в [11, 12], на базе которого возможно создать автоматизированную систему определения экстремума по ВКВ с точкой отбора пробы в соответствии с описанным алгоритмом. При этом предварительная оценка постоянной времени зоны смещения показывает, что величина $T_{см}$ значительно превышает наименьшее собственное число, определяющее динамику зоны гравитационного осаждения. Данный факт позволяет использовать алгоритм разделения частот. Структурная схема предлагаемой системы регулирования приведена на рис. 3.

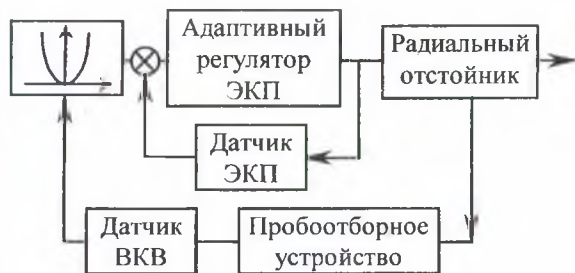


Рис. 3. Структурная схема система управления

Литература

1. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. Сер. Химическая кибернетика. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976.

2. Polymer Molecular Weight and Mixing Effects on Floc Compressibility and Filterability S.M. Glover, Y.-D. Yan, G.J. Jameson and S. Biggs, 6th World Congress of Chemical Engineering Melbourne, Australia 23–27 September, 2001.

3. Агрономик Р.Я. Технология обработки осадков сточных вод с применением центрифуги ленточных фильтр-прессов // Наука строит. пр-ва. – М.: Стройиздат, 1985. – 144 с.

4. Сергеева И.П., Ермакова Т.Б., Соболев В.Д., Чураев Н.В. Исследование свойств гидрофобных поверхностей методом капиллярной электрокинетики. Структура и динамика молекулярных систем. – 2003. – Вып. X. – Часть 3. – С. 49–52.

5. H. Saveyn, Elke Van Peteghem, Paul Van der Meeren Enhancing wastewater sludge dewatering by polyelectrolyte conditioning. Commun Agric Appl Biol Sci. 2003;68(3):43–6.

5. Голосков Д.П. Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2004. – 539 с.

7. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 384 с.

8. Баран А.А., Платонов Б.Э. Электроповерхностные характеристики полимерсодержащих дисперсных систем // Успехи химии. – 1981. – Т. 50, № 1. – С. 161–191.

9. Жарский С.Е., Гринюк Д.А., Оробей И.О., Кузьмицкий И.Ф. Электрокинетические преобразователи для технологического контроля // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. науки и информ. – 2004. – Вып. XII. – С. 136–140.

10. Жарский С.Е., И.О. Оробей, Д.А. Гринюк, И.Ф. Кузьмицкий, В.Н. Марцуль. Измеритель времени капиллярного впитывания // ИФЖ. – Т. 77, № 5. С. 160–164.

11. Жарский С.Е., Оробей И.О., Гринюк Д.А., Сарока В.В. Измеритель параметров смачивания // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. науки и информ. – 2003. – Вып. XII. – С. 89–92.

13. Справочник бумажника / Под ред. С.А. Пузырева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1966.