

УДК 622.7-52: 004.6

**А.В. Письменский**, старший преподаватель,  
Восточнoукраинский национальный университет им. В.Даля

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЛЬНОГО СГУСТИТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

*Исследован метод восстановления параметров объекта в процессе его нормального функционирования при наличии возмущений. Установлено влияние настроек идентификатора на точность восстановления параметров. Предложен алгоритм восстановления неизвестного времени чистого запаздывания.*

**радиальный сгуститель, оптимальный дискретный регулятор, идентификатор параметров модели объекта**

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Анализ систем автоматизации процессов сгущения и осветления шламов в радиальных сгустителях показал, что существующие системы не обеспечивают заданное качество оборотной воды и сгущенного продукта, так как в слив уносится значительное количество твердой фазы, плотность сгущенного продукта имеет большую дисперсию, увеличивается расход дорогостоящих флокулянтов и потери воды с отходами. Это обусловлено отсутствием системности при автоматизации процессов, недостаточной точностью используемых моделей, невозможностью адаптации САУ к нестационарным параметрам объекта и возмущений, а также неполной информацией о технологическом процессе, что снижает эффективность управления.

**Анализ исследований и публикаций.** Установлено, что параметры сгустителя как объекта управления являются нестационарными. Диапазоны изменения параметров объекта по каналу расход сгущенного продукта  $Q_{сг}$  – плотность сгущенного продукта  $P_{сг}$ , для постоянной времени и коэффициента усиления составляют соответственно до 40 и 50% [1]. Моделированием работы САУ плотностью сгущенного продукта [2] установлено, что время регулирования и дисперсия изменяются пропорционально изменению параметров объекта. Исследованиями переходных процессов САУ установлено, что вследствие большого диапазона изменения параметров объекта регуляторы при неизменных настройках не обеспечивают заданное качество, поэтому необходима их адаптация и текущая идентификация параметров объекта.

**Постановка задачі.** Определить возможность использования рекуррентного метода наименьших квадратов для восстановления параметров объекта в процессе его нормального функционирования для адаптации оптимальной дискретной системы управления при стохастических возмущениях [3] и повышения точности регулирования процессом сгущения шлама в радиальном сгустителе.

**Задачи исследований.** Исследовать условия достижения заданной точности в оценки вектора параметров объекта при разных коэффициентах настроек идентификатора при наличии стохастических возмущений (шума объекта). Определить алгоритм восстановления параметров модели с неизвестным временем запаздывания.

**Изложение основного материала исследования.**

Функциональная схема системы автоматического управления процессом сгущения шламовых вод по каналу регулирования в радиальном сгустителе представлена на рис. 1.

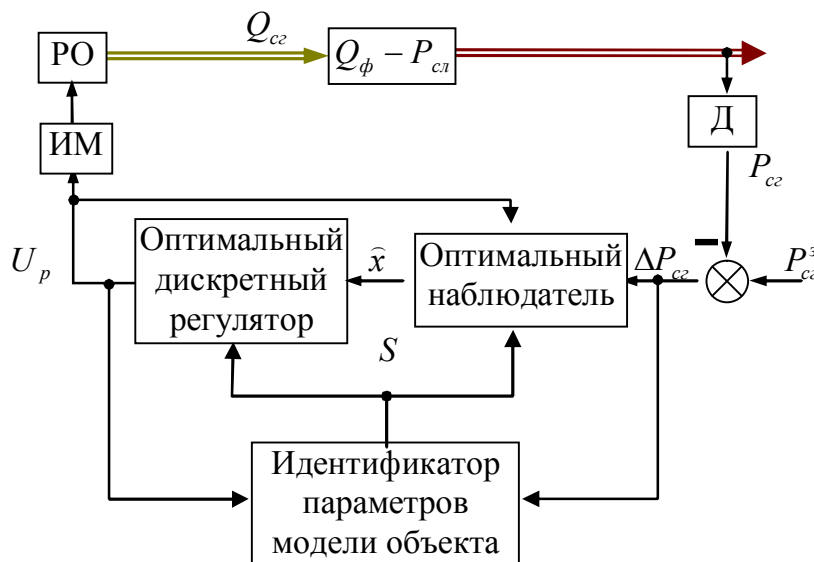


Рисунок 1 - Функциональная схема САУ процесса сгущения:

$P_{c2}^3$  – задание содержания твердой фазы в сгущенном продукте;  $U_p$  – сигнал управления с регулятора;  $\hat{x}$  – фазовый вектор;  $S$  – вектор параметров модели объекта; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган

Сигнал отклонения  $\Delta P_{c2}$  с элемента сравнения поступает на вход наблюдателя состояния. С наблюдателя состояния, восстановленный в условиях шума фазовый вектор  $\hat{x}$ , поступает на оптимальный дискретный регулятор плотности сгущенного продукта, реализующий регулирующие воздействие  $Q_{c2}$  на объект управления через ИМ и РО. Сигналы  $\Delta P_{c2}$  и  $U_p$  (сигнал управления с регулятора) по-

ступаєт на ідентифікатор параметрів моделі, котрий востановлює вектор параметрів моделі об'єкта  $S$ .

Для об'єкта управління по каналу регулювання  $Q_{c2} - P_{c2}$  описується рівняннями:

$$x_1(n+1) = -a_1 \cdot x_1(n) + 1 \cdot u(n) + V_0(n), \quad (1)$$

$$y(n) = b_1 \cdot x_1(n) + V_n(n), \quad (2)$$

де  $a_1 = 0,9363$ ,  $b_1 = 2,0406 \cdot 10^{-3}$  – для сгустителя отходов флотации;  $V_0(n)$ ,  $V_n(n)$  – послідовності гауссових випадкових величин з нульовими математическими очікуваннями і обмеженими дисперсіями  $D_0(n)$  і  $N_0(n)$ , представляючі відповідно шуми об'єкта і спостереження,

виконан синтез оптимального дискретного регулятора вмісту твердої фази в стисненому продукті з урахуванням шуму об'єкта (вмісту твердої фази в живильнику) при квадратичній критерії оптимальності [4].

Для обмеженого спектра частот випадкового сигналу в смузі пропускання об'єкта вид спектральної густоти відповідає спектральній густоті білого шуму [5]. В табл. наведено статистичні характеристики шуму об'єкта, приведені до його виходу (канал густота вихідного живильника  $P_u - P_{c2}$ ).

Таблиця - Статистичні характеристики шуму об'єкта

Канал	Передаточна функція	Інтенсивність	Дисперсія, (г/л) <sup>2</sup>	Верхня частота спектра випадкового процесу, с <sup>-1</sup>	Смуза пропускання, с <sup>-1</sup>
$P_u - P_{c2}$	$W(p) = \frac{K_u}{T_u \cdot p + 1}$ $K_u = 1,5$ $T_u = 1800, \text{с}$	$5,718 \cdot 10^3$	32,01	$5,41 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$

Для рішення задачі оцінки параметрів об'єкта в дискретному виді використано рекуррентний метод найменших квадратів [6].

Соотношення між входом і виходом об'єкта має вид:

$$y(n) = \sum_{j=1}^p a_j y(n-1) + \sum_{i=1}^q b_i u(n-1) + \xi(n), \quad (3)$$

де  $\xi(n)$  – послідовність нормально розподілених випад-

ных величин, или дискретный «белый шум» с характеристиками  $M\{\xi(n)\} = 0$ ,  $\text{cov}[\xi(n), n] = M\{\xi(n)\xi(n+\tau)\} = \sigma^2 \delta(\tau)$  ( $\sigma^2$  – дисперсия,  $\delta(\tau)$  – функция Кронкера).

В векторной форме (3) имеет вид:

$$y(n) = N(n)S + \xi(n), \quad (4)$$

где  $S$  – вектор неизвестных параметров.

Вектор измеренных наблюдений определяется выражением  $N(n) = [y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-p); u(n-1), u(n-2), \dots, u(n-q)]$ , (5)

вектор неизвестных параметров:

$$S = [a_1, a_2, \dots, a_p; b_1, b_2, \dots, b_q]^T \quad (6)$$

Функционал минимума средней квадратичной ошибки вектора  $\bar{D}$  при  $k$  наблюдений имеет вид:

$$J = \sum_{n=1}^k [y(n) - N(n)\hat{S}]^2. \quad (7)$$

Средняя квадратичная оценка вектора параметров  $\hat{S}$  определяется на основе рекуррентных уравнений:

$$\begin{aligned} \hat{S}(n) &= \hat{S}(n-1) + H(n)e(n); \\ e(n) &= y(n) - N(n)\hat{S}(n-1); \\ H(n) &= F(n-1)N(n)^T [\beta + N(n)F(n-1)N(n)^T]^{-1}; \\ F(n) &= [I - H(n)N(n)]F(n-1) / \beta, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\beta$  – экспоненциальный фактор забывания.

Начальные данные при расчете:

$$F(0) = aI, \quad \hat{S}(0) = S_{нач}, \quad (9)$$

где  $I$  – единичная матрица;

$S_{нач}$  – начальное значение вектора параметров, которое в общем случае можно считать нулевым вектором;

$a$  – коэффициент аппроксимации.

Для определения достаточного числа наблюдений  $k$  используем условие:

$$E(n) = \sum_{i=1}^{100} [y(i) - N(i)\hat{S}(k)] \leq E_{min}, \quad (10)$$

где  $E_{min}$  – заданная погрешность вычислений.

При выполнении этого неравенства фиксируется минимальное число наблюдений  $k$ , при котором достигается заданная точность.

Данный алгоритм может быть применен при восстановлении вектора неизвестных параметров объектов с запаздыванием ( $d$ -дискретное запаздывание считается известным). В этом случае вектор измеренных наблюдений имеет вид:

$$N(n) = [y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-p); \\ u(n-d-1), u(n-d-2), \dots, u(n-d-q)] \quad (11)$$

Если при восстановлении требуется определить и время запаздывания, то можно воспользоваться следующим алгоритмом:

1. Выполнить оценку вектора  $\hat{S}(k)$  при запаздывании  $d = 1$ .
2. Проверить выполняется ли неравенство (10) если неравенство выполняется, то алгоритм окончен, если не выполняется, то  $d = d+1$  и перейти на шаг 1.

Число наблюдений  $k$  выбирается заведомо большее, чем это требовалось бы при восстановлении  $\hat{S}(k)$  при известном времени запаздывания  $d$  с тем, чтобы свести ошибку вычислений к минимуму.

На рис. 2 приведен фрагмент моделирования работы идентификатора при наличии шума объекта.

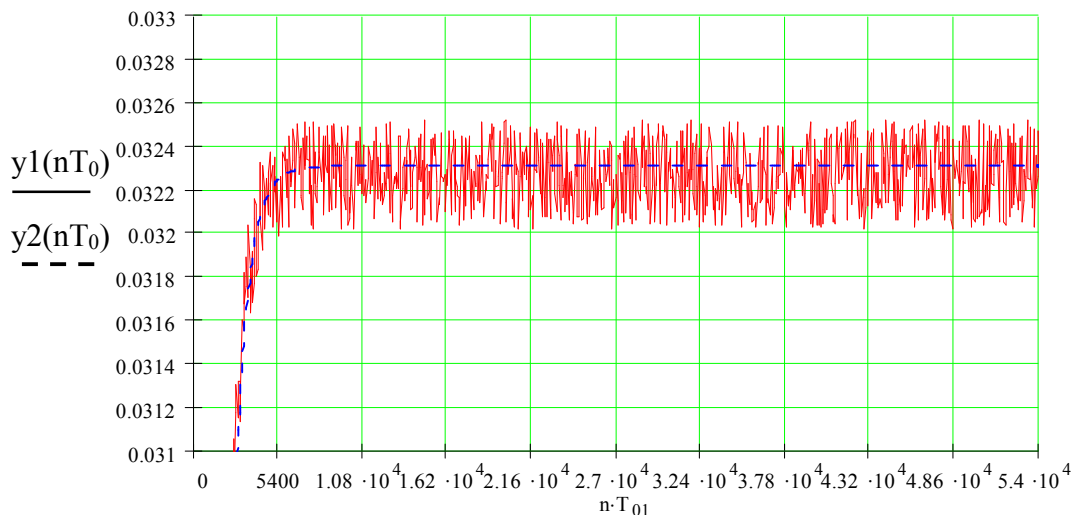


Рисунок 2 - Моделирование работы идентификатора:  
 $y1(nT_0)$  – сигнал, подаваемый на вход идентификатора;  
 $y2(nT_0)$  – смоделированный сигнал с восстановленными параметрами;  
 $nT_0$  – дискретное время

На рис. 3 и рис. 4 показаны результаты изменения ошибки аппроксимации  $e(n)$  (8) и точности вычисления  $E(n)$  (10) как функции от числа наблюдений при восстановлении параметров модели объек-

та по каналу регулювання (апериодическое звено первого порядка без запаздывания). При моделюванні прийнято:  $a = 10^5$ ,  $\beta = 0,5$ ,  $E_{min} = 10^{-2}$ ,  $D_o(n) = 32$  г/л,  $T_0 = 54$ с (період дискретизації), на вхід системи подавалось ступенчате впливання, початкове значення вектора параметрів  $S_{нач}$  нульове. Задана точність вичислень була досягнута при  $k = 17$ .

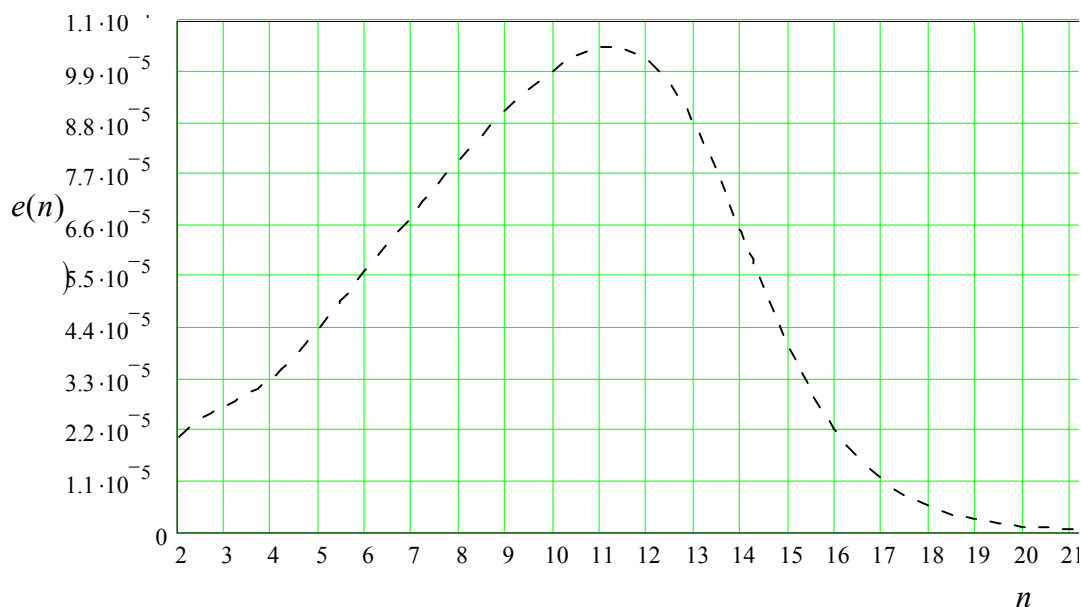


Рисунок 3 - Изменение ошибки аппроксимации МНК:  
 $e(n)$  – ошибка аппроксимации;  $n$  – число итераций

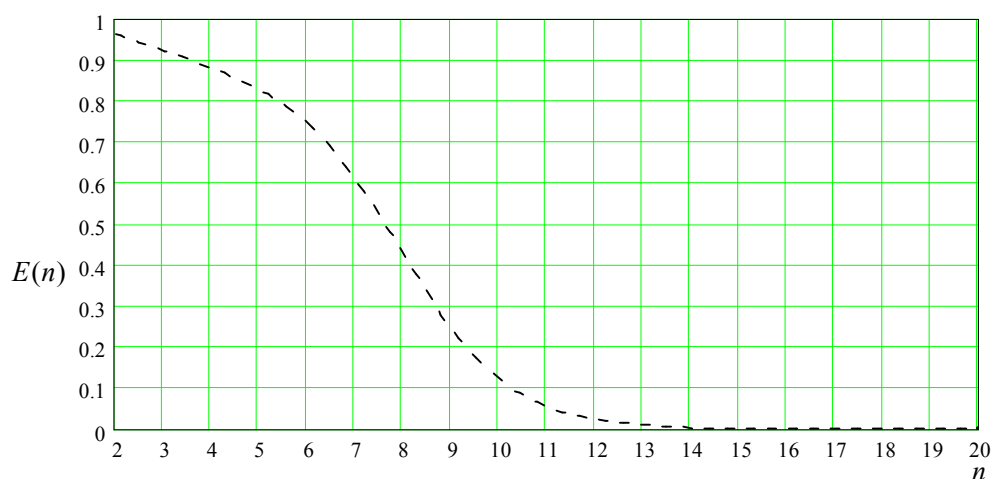


Рисунок 4 - График функции точности вычислений:  
 $E(n)$  – погрешность вычислений

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Моделирование восстановления параметров сгустителя по каналу расход исходного питания – уровень сгущенного продукта показали, что заданная точность оценки достигается за 17 итераций при наличии шума объекта. В процессе исследований установлено, что при увеличении коэффициента аппроксимации  $a$  точность оценки вектора пара-

метров  $\hat{S}$  підвищується, помилка апроксимації знижується, заданна погрешність  $E_{min}$  досягається за менше число ітерацій. Вплив експоненціального фактора забуття  $\beta$  обернено  $a$ .

Предложено алгоритм відновлення параметрів об'єкта з невідомим часом затримки.

Методика відновлення параметрів об'єкта використана при синтезі САУ процесом стиснення шламу в радіальному стиснувачі для адаптації регулятора і оптимального оцінювача фільтра Калмана до нестационарних параметрів об'єкта.

#### Список літератури

1. Ульшин В.О. Адаптивне керування технологічними процесами: [монографія] / В.О. Ульшин, Д.А.Зубов. – Луганськ: вид-во СНУ, 2002. – 210 с.
2. Письменский А.В. Метод автоматического управления процессами стиснення шламових вод і освітлення відходів флотации / А.В. Письменский // Східно-Європейський журнал передових технологій, Харків. –2010. – №5(47). – С. 117-127.
3. Письменский А. В. Корреляційний аналіз збурюючих впливів і вихідних параметрів для вибору каналу управління радіальним стиснувачем / А. В.Письменский, В.А. Ульшин // Вестник СНУ ім. В.Даля. –2004. – №11. – С. 117-121.
4. Письменский А.В. Синтез оптимального цифрового регулятора радіального стиснувача / А.В. Письменский, В.А. Ульшин // Вестник СНУ ім. В.Даля. –2005 – №3. – С. 146-155.
5. Письменский А.В. Моделирование роботи оцінювача фільтра при відновленні фазового вектора процесу стиснення / А.В. Письменский, В.А. Ульшин // Вестник СНУ ім. В.Даля. –2009. – №12. – С. 98-104.

**О.В. Письменський.** Ідентифікація параметрів радіального згущувача як об'єкту управління. Досліджений метод відновлення параметрів об'єкту в процесі його нормального функціонування за наявності збурень. Встановлений вплив налаштувань ідентифікатора на точність відновлення параметрів. Запропонований алгоритм відновлення невідомого часу чистого запізнення.

**радіальний згущувач, оптимальний дискретний регулятор, ідентифікатор параметрів моделі об'єкту**

**A. Pismenskiy.** Identification of Parameters of the Radial Thickener as a Control Object. A method of parameters recovery of the object during its normal functioning in the presence of disturbances is presented. The influence of the construction site-identifier on the accuracy of reconstruction parameters is discussed.

**radial thickener, optimal discrete controller, the ID model parameters of the object**

Стаття надійшла до редколегії 28.09.2010

Рецензент: зав. каф. системної інженерії Східноукраїнського нац. ун-та ім. В.Даля,  
д-р техн. наук, проф. В.О.Ульшин

© Письменский А.В., 2010