

УДК 681.518.2

Н.И. Чичикало, Н.А. КиктевДонецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра электронной техникиE-mail: chichikalo@rambler.ru, niktev@rambler.ru**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В АСУ ТП ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ****Abstract**

Chichikalo N.I., Kiktev N.A. Practic realization by a method of dynamic programming in a management information system by the technological process of obtaining of carbonic salts. The method of dynamic programmings used a management information system by the technological process of obtaining of carbonic salts.

Keywords: optimization, method of the dynamic programming, control system, production of carbonates.

Анотація

Чичикало Н.І., Киктев М.О. Практична реалізація методу динамічного програмування в АСУ ТП електрохімічного розчинення. Використаний метод динамічного програмування для системи управління технологічним процесом здобуття вуглекислих солей.

Ключові слова: оптимізація, метод динамічного програмування, система управління, виробництво карбонатів

Аннотация

Чичикало Н.И., Киктев Н.А. Практическая реализация метода динамического программирования в АСУ ТП электрохимического растворения. Использован метод динамического программирования для системы управления технологическим процессом получения углекислых солей.

Ключевые слова: оптимизация, метод динамического программирования, система управления, производство карбонатов.

Постановка проблемы и ее актуальность.

Задача управления процессом электрохимического получения карбонатов состоит в нахождении оптимальных параметров процесса, позволяющих произвести максимальное количество продукта заданного качества. Данная задача является актуальной, так как на Украине она не решена.

Цель статьи.

На основании физической и регрессионной математической модели процесса электрохимического растворения (ЭХР) необходимо разработать структуру двухконтурного управления, сформулировать задачу динамического программирования и составить рекуррентные соотношения для выработки оптимальной стратегии управления процессом.

Основные материалы исследований.

Структура математической модели процесса электрохимического растворения показана на рис. 1. Для каждого вида карбоната в БД занесены определенные характеристики оптимальных значений параметров — кислотности, плотности тока, температуры окружающей среды, температуры электролита. Входными параметрами модели являются:

- заданные значения уровня $h^{(3)}$, кислотности $pH^{(3)}$, плотности тока $D_a^{(3)}$ и температуры электролита $T_3^{(3)}$, температуры воздуха в помещении $T_6^{(3)}$, полученные в результате исследований и моделирования в разделе 2;

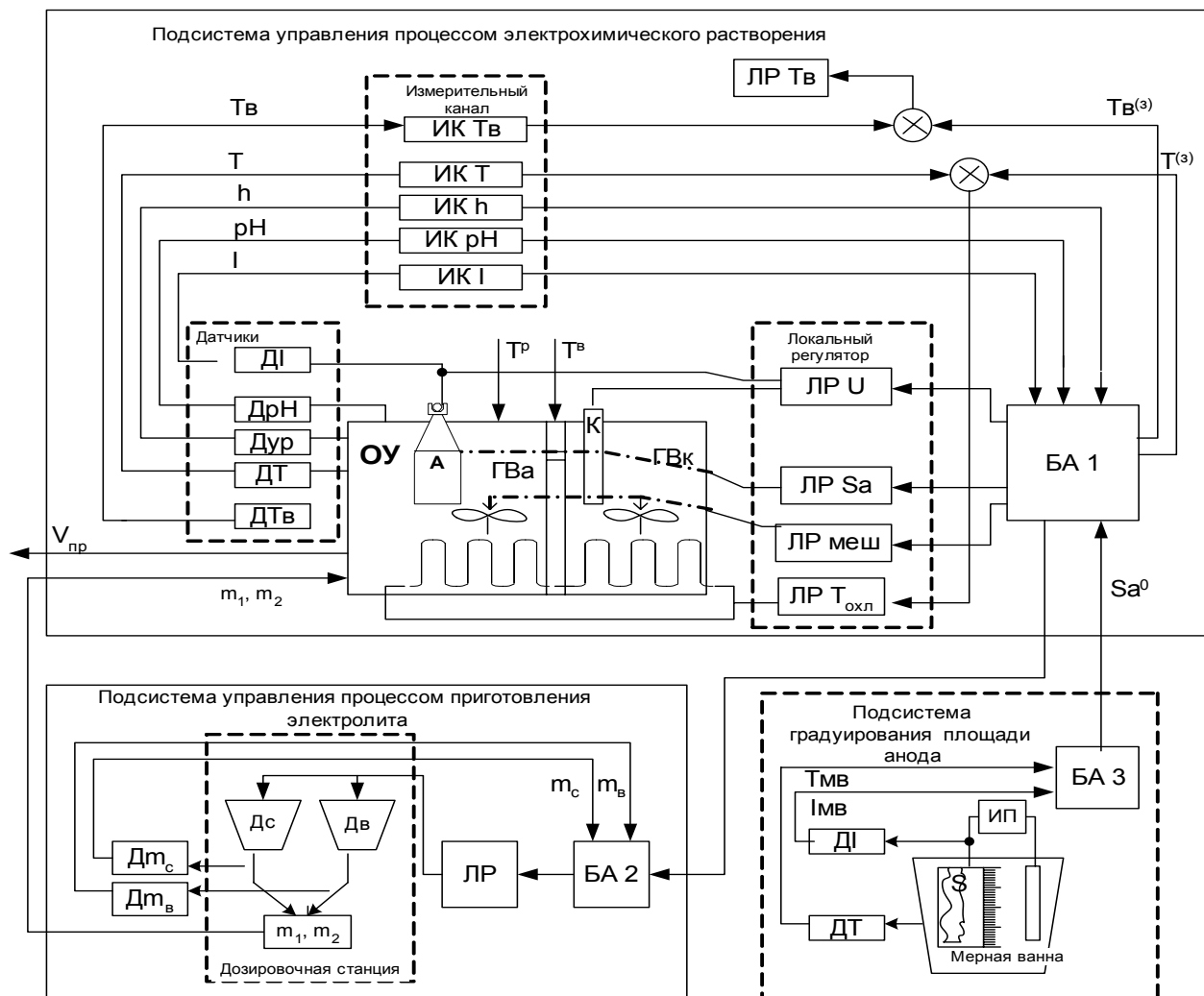


Рисунок 1 — Структурная схема двухконтурного управления технологическим процессом электрохимического получения карбонатов

- измеренные фактические значения pH , тока I , температуры $T_e^{(3)}$, температуры воздуха в помещении $T_e^{(3)}$, и уровня h ;
- материал анода (МА), конфигурация анода (КА), состав электролита (СЭ);
- характеристика технологического оборудования (объем ванны V_e) ;
- отградуированная площадь анода S_a^0 ;
- заданный выход продукта $M^{(3)}$.

Выходными параметрами являются управляющие воздействия:

- масса недостающего компонента электролита (углекислого натрия или двууглекислого натрия) m_1, m_2 ;
- подаваемое напряжение в цепь электролиза ΔU ;
- температуры электролита T_e и окружающего воздуха T_e ;
- время окончания процесса τ_{np} .

На основании исследований аналогичных процессов следует, что для параметрической идентификации модели процесса электрохимического растворения необходимо установить математические зависимости между входными и выходными переменными:

- взаимосвязь площади анода, тока и температуры электролита $I_a = f_1(S_a, T)$;

- вольт-амперные характеристики процесса для различных составов электролита, материалов и конфигураций анодной массы $U = f_2(I)$;
- взаимосвязь оптимальной плотности тока и концентрации металла в электролите $D_a^{opt} = f_3(C)$;
- зависимость продолжительности процесса от заданного выхода продукта $\tau_{пр} = f_4(m^{(3)})$;
- зависимость кислотности электролита от составляющих его компонентов Na_2CO_3 и NaHCO_3 $pH = f_5(C_1, C_2)$;
- динамическое изменение площади анода в процессе электролиза $S_a = f_6(S_a^0, t)$;
- динамическое изменение тока, кислотности, температуры электролита и уровня в процессе электролиза $I = I(t)$, $pH = pH(t)$, $T = T(t)$, $h = h(t)$;
- влияние металла, применяемого в качестве анода, состава электролита и конфигурации анода на вид указанных выше зависимостей.

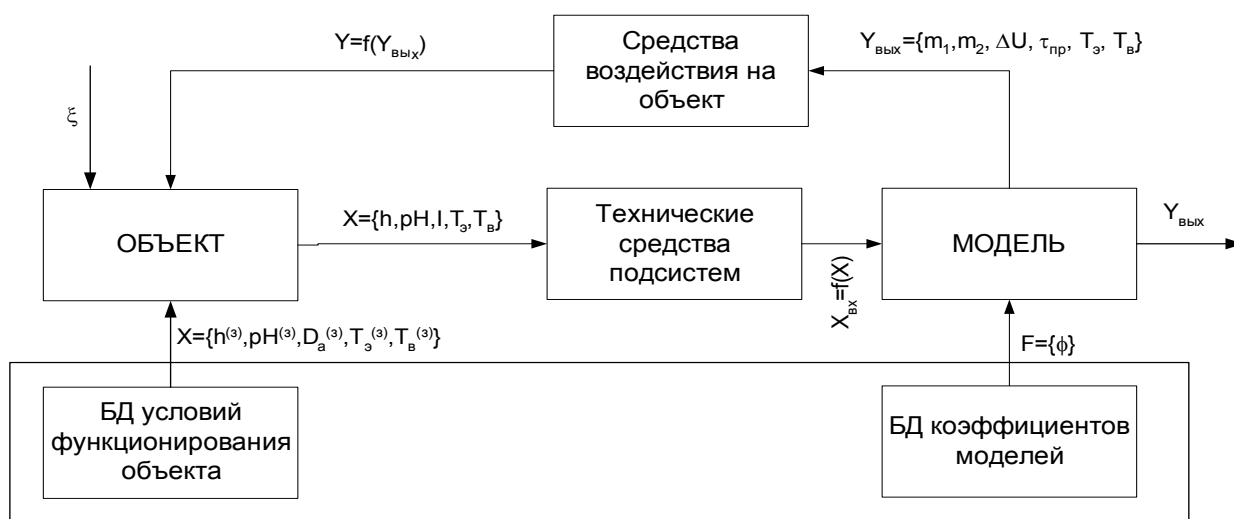


Рисунок 2 — Структура математической модели процесса электрохимического растворения

На основании критерия управления током процесса [1] выработаем оптимальную стратегию управления анодной плотностью тока. Оптимизация режима плотности тока дает возможность получить оптимальные значения продолжительности процесса τ^{opt} и плотности тока D_a^{opt} . Рассмотрим решение поставленной задачи [1] методом динамического программирования. Исходное состояние системы (S^0) можно представить вектором измеренных значений pH, плотности тока и температуры в момент времени t^0 :

$$S^0 = [pH^0 \quad D_a^0 \quad T_s^0].$$

Вектор управляющих воздействий на i -м шаге равен:

$$Y^i = [\Delta pH^i \quad \Delta D_a^i \quad \Delta T_s^i].$$

В результате применения управления Y^i , система переходит в новое состояние

$$S^i = \varphi^i \left(S^{i-1}, \begin{matrix} \Delta pH^i \\ \Delta D_a^i \\ \Delta T_s^i \end{matrix} \right).$$

Основное функциональное уравнение Беллмана для задачи электрохимического растворения сформулировано в [1]:

$$F_{n-k}(S^0) = \max_{Y_{k+1}} \left[Z_{k+1}, \left(S^k, \begin{matrix} \Delta pH^{k+1} \\ \Delta D_a^{k+1} \\ \Delta T^{k+1} \end{matrix} \right) + F_{n-k-1} \left(\varphi_{n-k} \left(S^{k+1}, \begin{matrix} \Delta pH^{k+1} \\ \Delta D_a^{k+1} \\ \Delta T^{k+1} \end{matrix} \right) \right) \right],$$

где $k=0,1,\dots,n-1$.

Эффективность управления достигается за n шагов с дискретным интервалом времени Δt . Показателем эффективности управления процессом является масса выхода вещества за n шагов. Вычисление массы полученного продукта в заданном дискретном интервале Δt осуществляется согласно рекуррентному соотношению

$$m_i(t) = m_{i-1}(t) + \max[\Delta m_i] = m_{i-1}(t) + \max \left[f_i \begin{matrix} \text{pH}(t) + \Delta \text{pH} \\ D_a(t) + \Delta D_a \\ T(t) + \Delta T \end{matrix} \right]$$

Задача динамического программирования для процесса электрохимического растворения формулируется следующим образом: необходимо найти матрицу управляющих воздействий

$$U = \begin{bmatrix} \Delta pH_1, \Delta pH_2, \dots, \Delta pH_n \\ \Delta Da_1, \Delta Da_2, \dots, \Delta Da_n \\ \Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_n \end{bmatrix},$$

обеспечивающую максимальный выход вещества за интервал времени, равный периоду протекания процесса,

$$M = \sum_{i=1}^N m_i \rightarrow \max,$$

где i — шаг дискретизации временного интервала τ ,

$$m_i(t) = f(\text{pH}_i(t), D_{ai}(t), T_i(t)),$$

$$\text{pH} = f(t), D_a = f(t), T = f(t),$$

$$m(t) = (0,434 + 0,0719 \cdot \text{pH} - 0,0191 \cdot D_a - 0,01202 \cdot T + 0,0012 \cdot \text{pH} \cdot T - 0,00067 \cdot \text{pH}^2 + 0,00007 D_a^2) \cdot t,$$

при этом параметры процесса должны находиться в пределах гранично-допустимых значений:

$$\text{pH}_{\min} \leq \overline{\text{pH}} \leq \text{pH}_{\max}$$

$$T_{\min} \leq \overline{T} \leq T_{\max}$$

$$D_{a \min} \leq \overline{D_a} \leq D_{a \max}$$

Экспериментальным путем получены динамические зависимости рН, плотности тока и температуры (табл 1, рис. 3). Гранично-допустимые значения параметров технологического процесса, при которых достигается наилучшие условия (максимальный выход вещества и заданное качество продукта), определенные путем планирования эксперимента, приведены в табл.2 [2].

Результаты моделирования метода динамического программирования для оптимизации технологического режима процесса электрохимического растворения приведены на рис. 4: управление величиной рН (а), оптимальное значение рН (б), управление плотностью тока (в), оптимальное значение плотности тока (г), управление температурой (д), оптимальное значение температуры (е).

Таблица 1 — Экспериментальные динамические характеристики технологического процесса

| Вид функции | Коэффициенты | | | R ² |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₀ | C ₁ | C ₂ | |
| $pH(t) = C_0 + C_1 e^{C_2 t}$ | 11.510 | -3.1021 | -0.0821 | 0.839 |
| $D_a(t) = C_0 + C_1 e^{C_2 t}$ | 3.5082 | 0.5112 | -0.0810 | 0.913 |
| $T(t) = C_0 + C_1 e^{C_2 t}$ | 55.261 | -38.108 | -0.105 | 0.866 |

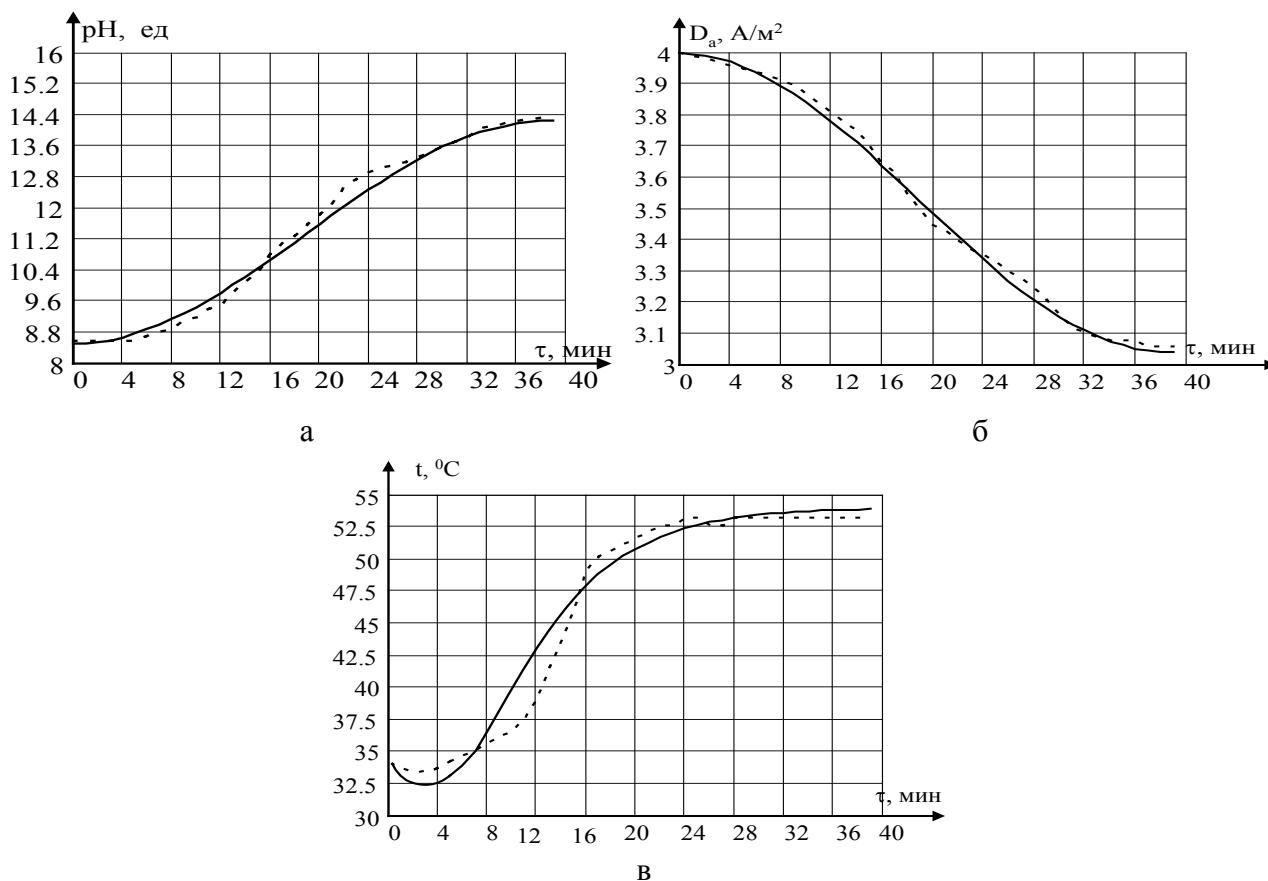


Рисунок 3 — Динамические характеристики pH, плотности тока и температуры вследствие протекания процесса электролиза

Таблица 2 — Гранично-допустимые параметры технологического процесса ЭХР

| Растворяемый металл | Параметры процесса | | | | | Результат | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | Плотность тока | Концентрация, % | | | pH, ед | t, °C | Выход по веществу, % | Скорость реакции, г/мин | Энергозатраты, кВт*ч |
| | | NaHCO ₃ | Na ₂ CO ₃ | Na ₂ SO ₄ | | | | | |
| Кобальт | 800 А/м ² | 8,2–9,0 | 0,1–0,2 | 0,1 | 7,5 | 28 | 96% | 24 | 18 |
| Цинк | 250 А/м ² | 9,0–10,0 | 0–0,1 | 0,1 | 9,0 | 24 | 97% | 34 | 20 |
| Медь | 200 А/м ² | 8,2–9,0 | 0,1–0,2 | 0,1 | 7,5 | 24 | 97% | 42 | 20 |
| Медь | 300 А/м ² | 8,5–9,0 | 0,1–0,2 | 0,1–0,2 | 8,5 | 34 | 98% | 60 | 22 |
| | | | | | | | | | |

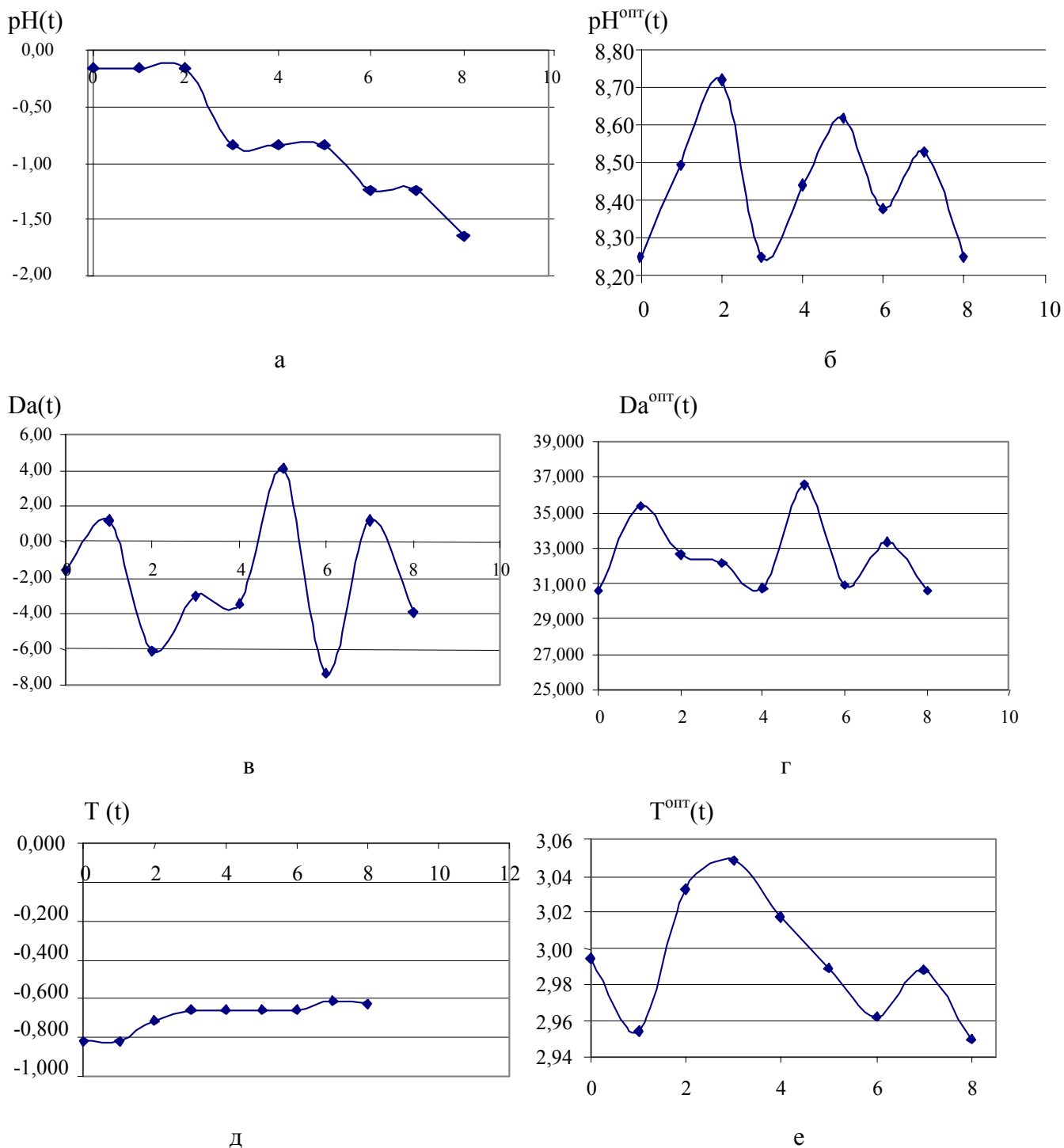


Рисунок 4 — Результаты моделирования метода динамического программирования

Таким образом, с помощью метода динамического программирования получены оптимальные значения управлений pH , плотностью тока и температурой в каждый момент времени, позволяющие получить максимальное количество продукта в течение заданного периода протекания процесса.

На основании критерия управления током процесса [3] выработаем оптимальную стратегию управления анодной плотностью тока. Оптимизация режима плотности тока дает возможность получить оптимальные значения продолжительности процесса τ^{opt} и плотности тока D_a^{opt} .

Обоснование полученных научных результатов.

С целью последующей реализации метода управления процессом ЭХР проведем анализ возмущающих воздействий (загрязнения анода и колебаний электрической сети). Графики функций распределения этих параметров показаны на рис. 5. В качестве параметров возмущающих воздействий выбраны: колебание напряжения сети U (а) и толщина загрязняющего слоя анода d (б). Как видно из рис. 5, данные возмущающие воздействия имеют нормальный закон распределения.

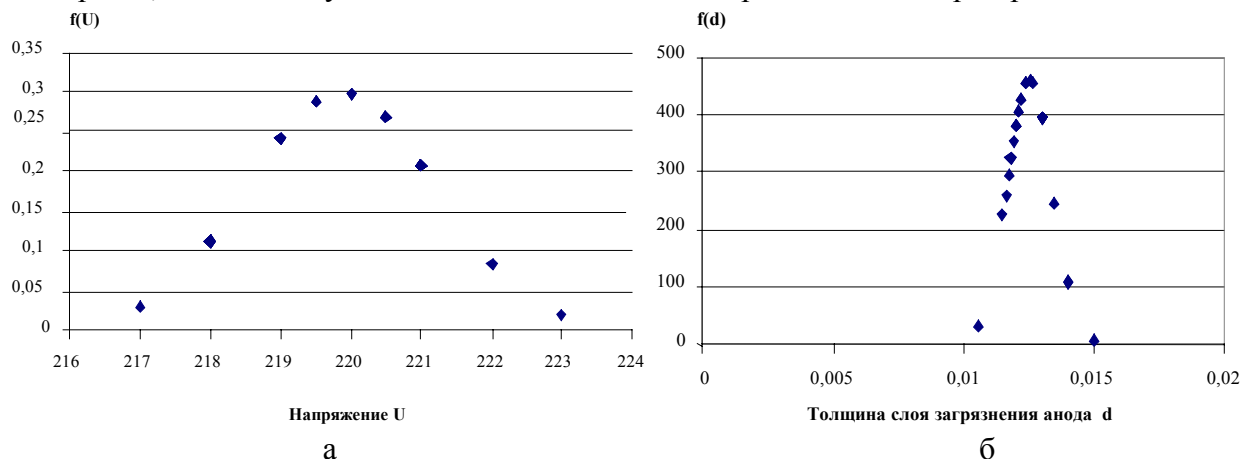


Рисунок 5 — Графики нормального распределения случайных внешних возмущений — колебаний напряжения сети (а) и загрязнения анода (б)

Выводы.

1. Разработана структура двухконтурного управления процессом электрохимического растворения, а также структура математической модели электрохимического процесса
2. Определены входные и выходные параметры модели, между которыми установлены математические зависимости.
3. Составлено рекуррентное соотношение для вычисления массы полученного продукта в заданном дискретном интервале времени
4. Сформулирована задача динамического программирования для процесса электрохимического растворения
5. Проведено компьютерное моделирование метода динамического программирования, в результате которого получены оптимальные управления величинами рН, плотности тока и температурой электролита
6. В результате анализа случайных возмущающих воздействий установлено их соответствие нормальному закону распределения

Литература

1. Киктев Н.А., Чичикало Н.И. Оптимизация управления процессом получения карбонатов методом динамического программирования. / Наукові праці ДонДТУ, вип. 64. — Д., ДонДТУ, 2003. — С. 38–44.
2. Киктев Н.А. Построение регрессионной математической модели процесса электрохимического получения карбонатов на основе экспериментальных исследований. / Наукові праці ДонДТУ, вип. 3. — Д., ДонДТУ, 1999. — С. 307–313.
3. Чичикало Н.І., Кіктев М.О. Математична постановка задачі керування технологічним процесом електрохімічного одержання вуглекислих солей. / Наукові праці ДонДТУ, вип. 20. — Д., ДонДТУ, 2000. — С. 114–121.

Здано в редакцію:
16.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.