

Виконані дослідження також підтвердили наявність екстремуму і достатню для функціонування САР ЕР чутливість за коефіцієнтом апроксимуючої залежності  $I_3=f(U)$  штучної зовнішньої характеристики електропечі для відповідної її девіації. Таким чином, отримані результати підтверджують досягнення симетрування та стабілізації струмів фаз при використанні запропонованої двоконтурної САР ЕР ДСП, що позитивно впливає як на показники функціонування самої дугової сталеплавильної печі, так і на показники якості електроенергії мережі живлення у точці її під'єднання.

#### Список джерел

1. Шидловський А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества электроэнергии в электрических сетях. - Киев.: Наукова думка, 1985.-268 с.
2. Я.С.Паранчук, А.О.Лозинський, С.В.Щербовських Багатоконтурна система керування режимами електротехнологічного комплексу "дугова сталеплавильна піч – електропостачальна мережа". Матеріали міжнародної конференції з управління "Автоматика-2001", Одеса, 2001.- С.205-206.
3. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1978. 736 с.

## ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПО РЕАКЦИЯМ НА УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В АСУ ТП ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ

Киктев Н.А.,

Чичикало Н.И., д.т.н., доцент

Донецкий национальный технический университет

Для проверки достоверности разработанных методов и моделей проведен компьютерный эксперимент в АСУ ТП ЭХР с использованием результатов, полученных в реальном времени работы промышленной электрохимической установки. Эксперимент проведен в трех вариантах: методом наблюдений с последующей компьютерной обработкой информации; с использованием известных способов автоматизации [89], [109]; с использованием разработанных методов, моделей и алгоритмов.

Эксперимент включает следующие этапы:

- задание объекта управления моделью в виде аналитических формул и генерация моделирующих баз данных согласно моделям по разработанным алгоритмам;
- генерация технологических баз данных согласно разработанным системам управления технологическими режимами для углекислых солей меди, цинка и кобальта;
- идентификация объекта управления;
- формулирование критериев оценки результатов работы АСУ ТП ЭХР;
- отработка реакции системы управления с использованием существующих и разработанных управляющих алгоритмов при различных технологических режимах;
- сравнение результатов экспериментов и проверка адекватности согласно сформулированным критериям.

Для поддержания в процессе электролиза заданной плотности тока необходимо знать площадь анода в любой момент времени. С этой целью проведены экспериментальные исследования для анода различной конфигурации и материала и получена модель, которую обобщенно можно представить в виде:

$$S_a^{(y)} = \sum_{k=0}^2 B_k^{(y)}(t) \cdot I, \quad \text{где} \quad B_k^{(y)}(t) = \sum_{k=0}^2 b_k^{(y)} \cdot t, \quad (1)$$

$b_k^{(ij)}$  – эмпирические коэффициенты для  $i$ -й конфигурации и  $j$ -го материала.

Закон изменения площади анода во времени имеет вид, приведенный в табл. 1.

Таблица 1 – Влияние изменения площади анода  $S_a$ , материала и конфигурации

Материал	Конфигурация		
	Пластины	Проволока	Сложная
Медь	$S_a = -0,177 \ln(t) + 0,8367$	$S_a = 0,118 e^{-0,0357t}$	$S_a = -0,1405 \ln(t) + 0,7536$
Цинк	$S_a = -0,1869 \ln(t) + 0,8863$	$S_a = 0,885 e^{-0,0657t}$	$S_a = 0,7906 e^{-0,0628t}$
Кобальт	$S_a = 0,7817 e^{-0,0635t}$	$S_a = -0,1357 \ln(t) + 0,8031$	$S_a = -0,1357 \ln(t) + 0,8031$



Для определения первоначальной площади анода составлена модель, позволяющая определять  $S_a$  на основании измеренных значений тока и температуры электролита. С этой целью проведены экспериментальные исследования зависимости  $I = f(S_a, t^0)$  для анода различной конфигурации и материала. Модель представлена полиномом 2-й степени и имеет вид:

$$S_a^{(ij)} = \sum_{k=0}^2 B_k^{(ij)}(t) \cdot I, \quad \text{где} \quad B_k^{(ij)}(t) = \sum_{k=0}^2 b_k^{(ij)} \cdot t, \quad (2)$$

где  $b_k^{(ij)}$  – эмпирические коэффициенты для  $i$ -й конфигурации и  $j$ -го материала.

После аппроксимации опытных данных стандартными функциями по методу наименьших квадратов получены функциональные зависимости (табл. 2).

Для управления кислотностью электролита при электрохимическом получении карбонатов, возникает необходимость исследования зависимости водородного показателя рН от концентрации углекислого натрия, двууглекислого натрия и сернокислого натрия:

$$pH = \Psi(C_1, C_2, C_3), \quad (3)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  - концентрации в электролите соответственно  $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3, \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Как видно из описания способа получения карбонатов методом ЭХР, добавление в электролит углекислого натрия в небольших количествах (0,52%) приводит к увеличению рН от 7,0 до 8,6. Электролит, содержащий сернокислый натрий, обладает повышенной электропроводностью по сравнению с другими реагентами, и для увеличения этого показателя  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  вводят в незначительных количествах (0,42%). Добавление сернокислого натрия в небольших количествах не влияет на рН электролита и зависимость (3) будем считать функцией двух переменных

$$pH = \Psi(C_1, C_2) \quad (4)$$

Таблица 2 – Модель  $I=f(S_a, t)$  для анода различной конфигурации и материала

Материал	Конфигурация анода		
	Пластины	Проволока	Сложная
Медь	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \\ a_0 = 51.41 - 2.75 \cdot t + 0.04 \cdot t^2 \\ a_1 = -2.95 + 0.18 \cdot t \\ a_2 = 0.03 \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = -a_0 - a_1 I \\ a_0 = -4.78 + 0.38 \cdot t - 0.01 \cdot t^2 \\ a_1 = 0.61 - 0.01 \cdot t^2 \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \\ a_0 = 2.41 - 3.56 \cdot t + 0.12 \cdot t^2 \\ a_1 = 2.76 + 0.18 \cdot t - 0.03 \cdot t^2 \\ a_2 = 0.02 + 0.04 \cdot t \end{cases}$
Цинк	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \\ a_0 = -1856 - 1.95 \cdot t + 0.08 \cdot t^2 \\ a_1 = 6.86 + 0.09 \cdot t + 0.01 \cdot t^2 \\ a_2 = 0.02 - 0.01 \cdot t \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I \\ a_0 = 71.41 - 2.75 \cdot t + 0.02 \cdot t^2 \\ a_1 = 23.23 - 1.97 \cdot t + 0.04 \cdot t^2 \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I \\ a_0 = 1753 + 0.095 \cdot t + 0.01 \cdot t^2 \\ a_1 = 242 + 0.01 \cdot t^2 \end{cases}$
Кобальт	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I \\ a_0 = 15128 - 5.56 \cdot t + 0.14 \cdot t^2 \\ a_1 = 7.58 + 0.08 \cdot t - 0.01 \cdot t^2 \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I \\ a_0 = 12918 - 1.88 \cdot t - 0.01 \cdot t^2 \\ a_1 = 2.97 + 1.18 \cdot t - 0.04 \cdot t^2 \end{cases}$	$\begin{cases} S_a = a_0 + a_1 I \\ a_0 = 12918 - 1.88 \cdot t - 0.01 \cdot t^2 \\ a_1 = 2.97 + 2.18 \cdot t - 0.04 \cdot t^2 \end{cases}$

В результате статистической обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов определены эмпирические коэффициенты квадратичной зависимости рН от  $C_1$  и  $C_2$ . Искомое уравнение имеет вид:

$$pH = 6.766 + 0.516 \cdot C_2 - 0.0393 \cdot C_1 - 0.013 \cdot C_1 \cdot C_2. \quad (5)$$

Формирование управляющего воздействия по массе 1%-ного концентрата углекислого натрия осуществляется по формуле:

$$m = \frac{C_{зад}(pH(t+\tau)) \cdot h_3 - C_{изм}(pH(t)) \cdot h_{изм}(t)}{C_{конц}} \cdot \rho_{конц} \quad (6)$$

Коэффициенты моделей  $I = f(S_e, t)$ ,  $S_a = S_a(\tau)$  и  $pH = \Psi(C_1, C_2)$  заносятся в моделирующие базы данных.

Система управления процессом ЭХР имеет двухуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень иерархии системы управления выполняет функции контроля и управления механизмами и технологическими параметрами с применением локальных средств. К ним относится контроль и управление температурой, измерение уровня, рН, измерение и стабилизация тока в ваннах.



Верхний уровень иерархии системы включают функции контроля и управления технологическими параметрами процесса с применением ПЭВМ. К ним относятся:

- корректировка состава электролита для поддержания рН с учетом уровня;
- расчет и задание оптимальной плотности тока ванны.

В статическом режиме осуществлена выработка оптимальной стратегии управления на основании регрессионных моделей. В результате крутого восхождения по поверхности отклика получены гранично-допустимые значения независимых факторов, в пределах которых осуществляется выбор оптимального режима с учетом текущего состояния объекта управления. Установлено, что независимыми факторами, влияющими на выход продукта при получении карбонатов электрохимическим способом, являются плотность тока, температура и кислотность электролита  $pH$ . Значения заданных параметров процесса вводятся в технологическую базу данных. Алгоритм оценки адекватности принятых решений реальным управляющим процедурам реализован в среде Visual Basic 6.0 и включает следующую последовательность операций.

Из технологической базы данных выбираем режим, соответствующий производимому виду продукции (рис.1), а из моделирующей – коэффициенты динамической модели, характеризующие прогнозируемый ход процесса. Прогнозируемое значение параметра процесса определяется согласно динамическому закону его изменения. С учетом инерционности объекта управления и системы определено время запаздывания, которое включает время измерения рН с учетом инерционности датчика, время передачи сигнала с периферийного устройства в ЭВМ, время преобразования "аналог-код" для ввода в ЭВМ, время обращения к базе данных и поиска требуемой записи, время обращения к процедуре расчета значения концентрации, время выдачи уставки дозатору жидких компонентов, время дозирования концентрата, время перемешивания электролита.

Далее задаем материал и конфигурацию анода для вычисления первоначальной площади анода (рис.2). В базе данных заложены три возможных варианта конфигураций: пластины, проволока и сложная,

и три возможных состава электролита. Таким образом, используется по девять моделей двух видов -  $I = f(S_e, t)$  и  $S_a = S_a(\tau)$ .

По считанным из базы данных коэффициентам для соответствующего материала и конфигурации осуществляется идентификация модели  $I=f(S_a, t)$  и определяется первоначальная площадь анода (рис.3). Далее запускается режим “Анодное растворение” и фиксируется время начала процесса. Модель управления кислотностью (рН) электролита показана на рис. 4. Эта модель используется для вычисления массы (б) недостающего компонента электролита.

На рис.5 показана форма текстового отображения хода процесса. При нарушении режима осуществляется сигнализация красным цветом, а при включении исполнительного механизма – зеленым.

На рис.6 показано графическое отображение динамики изменения рН (верхний график) и уровня (нижний график). Как видно из диаграммы, при превышении кислотности допустимого предела осуществляется добавление двууглекислого натрия, что влечет за собой повышение уровня электролита. Серым цветом выделен период запаздывания системы управления при отработке управляющего воздействия, который не превышает 3 с. На рис.7 показана отработка управляющих воздействий для обеспечения заданной плотности тока. В центральной части диаграммы отображена оптимальная плотность тока, рассчитываемая по коэффициентам динамической модели. Регулирование осуществляется по ПИ-закону, время переходного процесса не превышает 2-4с. Амплитуда перерегулирования составляет 0.1, или 3%, время перерегулирования - 1-2с.

Оценка результатов функционирования разработанной автоматизированной системы управления выполняется по следующим динамическим характеристикам:

- время переходного процесса в АСУ ТП;
- амплитуда и время перерегулирования;



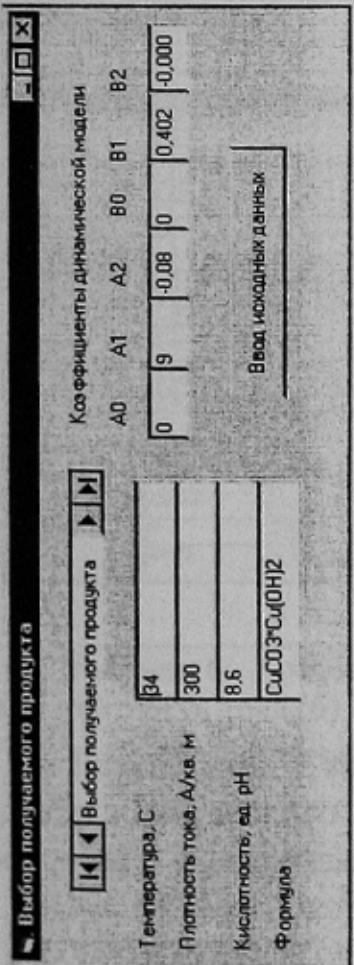
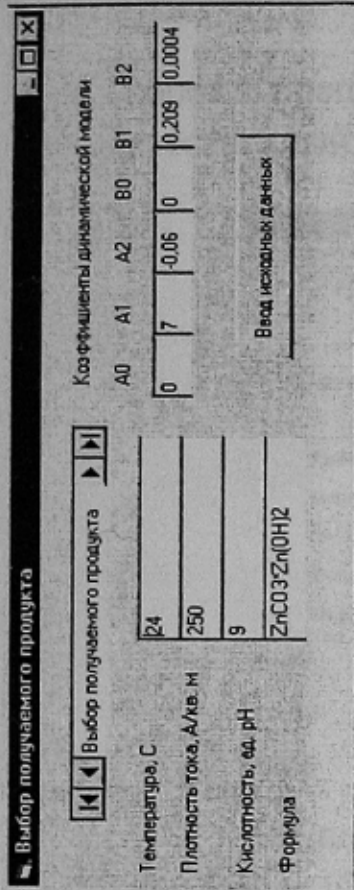


Рисунок 1 - Выбор получаемого вида продукции

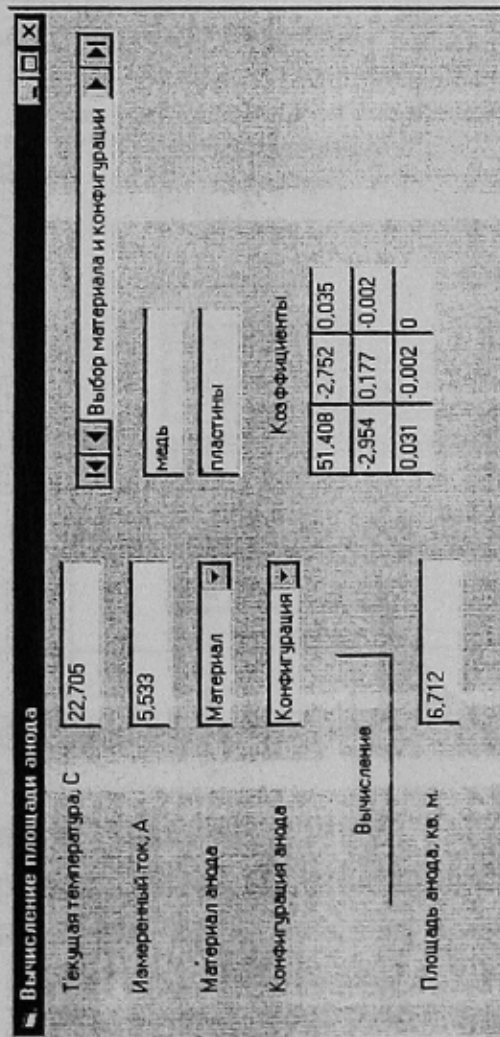
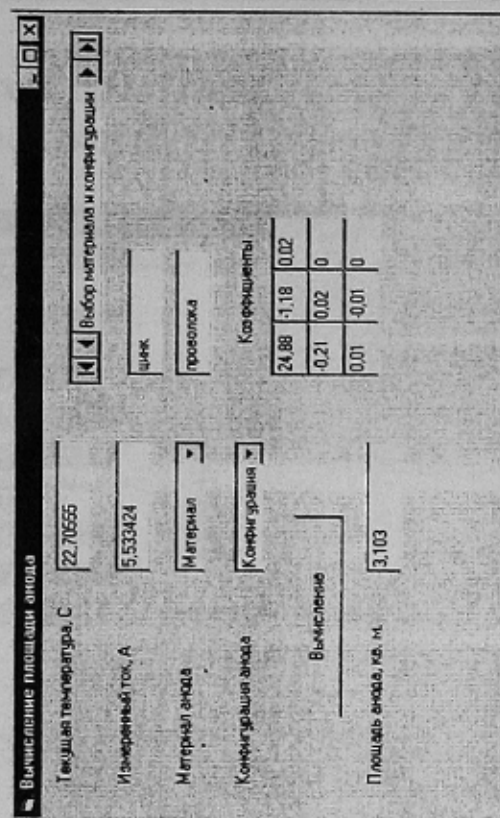
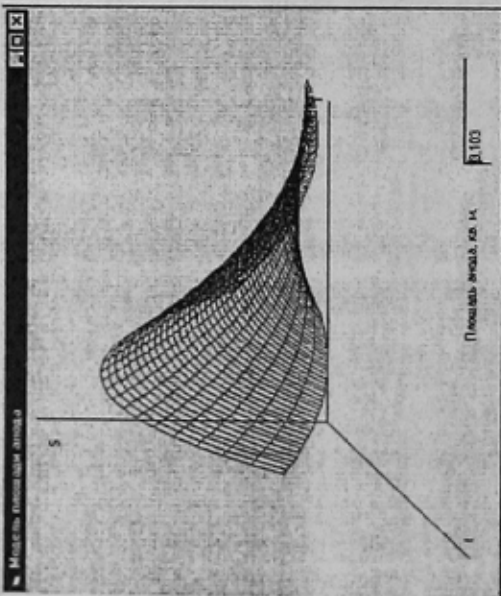
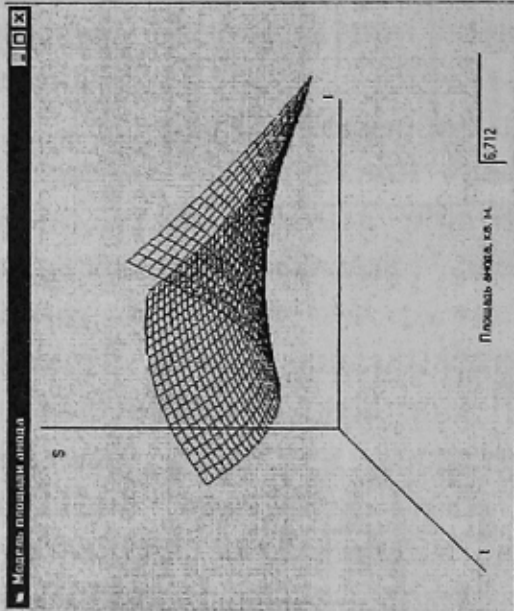
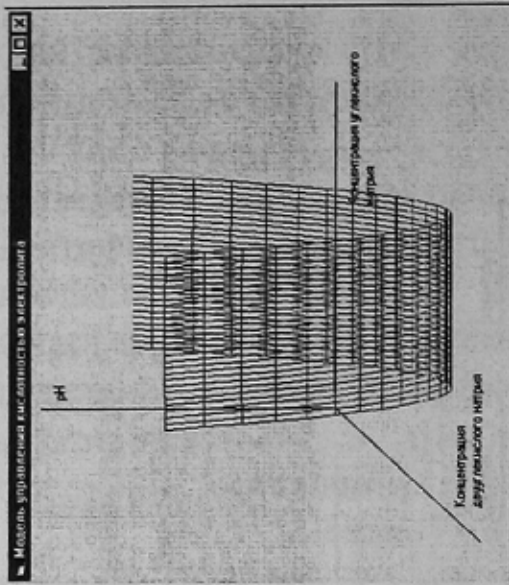


Рисунок 2 - Вычисление первоначальной площади анода



а

б

в

Рисунок 3 - Модели  $I=f(S_a, t)$  и вычисление площади анода (а, б); модель  $pH=f [C(Na_2CO_3, C(NaHCO_3))]$  (в)



- скорость процесса и выход продукции;
- качественный состав продукции.

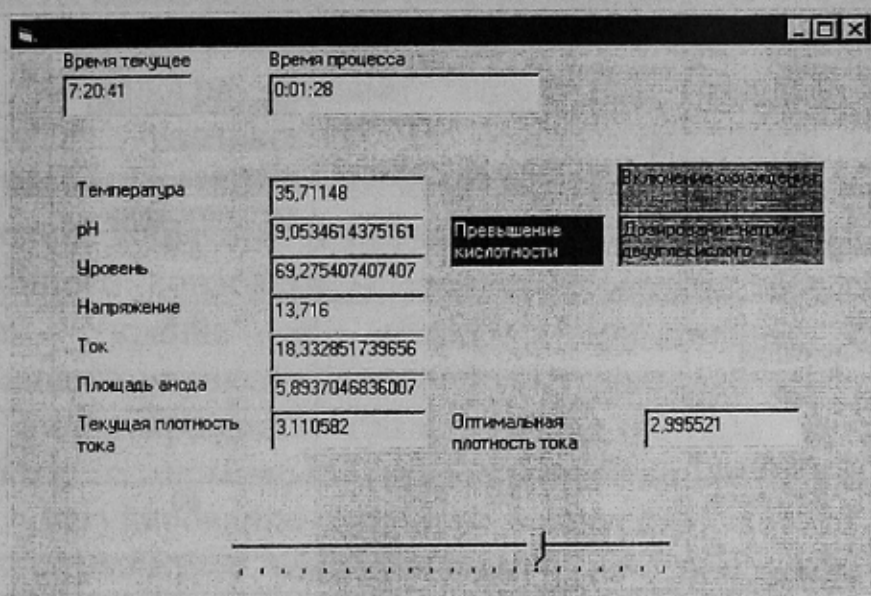


Рисунок 5 – Текстовое отображение хода процесса

Результаты проведенных компьютерных экспериментов приведены в табл. 3.

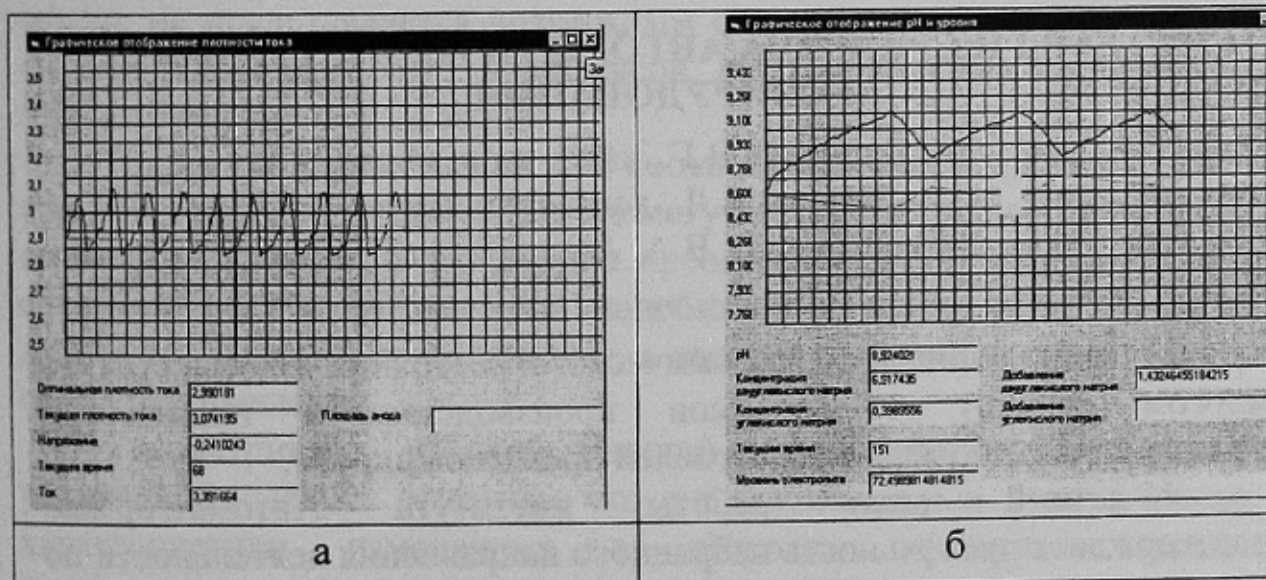


Рисунок 6 - Графическое отображение кислотности и уровня электролита (а) и плотности тока (б)

Результаты компьютерного эксперимента в АСУ ТП электрохимического растворения констатировали улучшение основных показателей по сравнению с использовавшимися ранее

методами на 6...34% и по сравнению с неавтоматизированным процессом на 17...69%.

Таблица 3 – Оценка результатов функционирования АСУ ТП ЭХР

Динамическая характеристика	Метод проведения компьютерного эксперимента		
	методом наблюдений с последующей компьютерной обработкой информации	с использованием известных способов автоматизации	с использованием разработанных методов, моделей и алгоритмов.
Время переходного процесса, с	7-12	6-8	3-5
Амплитуда перерегулирования, %	5-10	3-8	2-5
Время перерегулирования, с	3-4	2-3	1-2
Скорость процесса, г/с	30	60	85
Выход продукции, кг	6	11	16
Качественный состав продукции, %	66	78	92

## СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАБОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Курносков В.Г., канд. экон. наук

Красик Я.Л., докт. техн. наук

ОАО «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» г. Донецк, Украина

Уровень социально-экономического состояния государства во многом зависит от объемов производства и технической оснащенности добывающих отраслей промышленности.

45-летний опыт работы института Автоматгормаш подтверждает правильность избранного направления деятельности по созданию высокоэффективных технических средств управления, диагностики, автоматизации и связи для угледобывающего и проходческого оборудования угольных шахт.

С использованием системного подхода в Автоматгормаш сформулирована концепция создания систем и средств, направленная