

УДК 621.9.047

Т. В. КОСАРЕВ, Р. Р. МУХУТДИНОВ, А. Н. ЗАЙЦЕВ, В. П. ЖИТНИКОВ

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ПОДСИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАТОДА

Представлена информационная модель автоматизированной системы управления процессом электрохимической обработки, включающая в себя модель данных и функциональную модель системы. Предложена математическая модель информационного параметра о физико-химическом состоянии поверхности катода. Информационная модель; модель данных; функциональная модель; автоматизированная система управления; электрохимическая обработка

ВВЕДЕНИЕ

При электрохимической обработке с вибрирующим электродом-инструментом (рис. 1) электрод-инструмент (катод) совершает гармонические колебания, в фазе нижнего положения катода (при сближении катода с поверхностью анода) подаётся рабочий импульс тока.

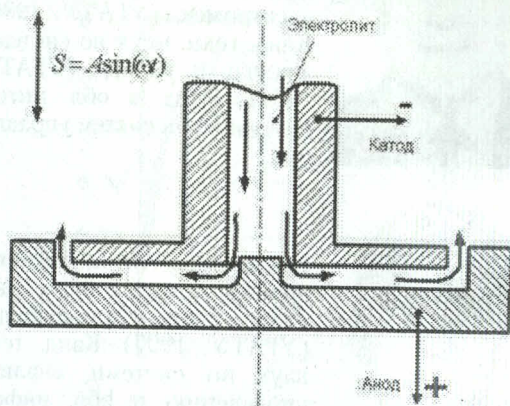


Рис. 1. Типовая технологическая схема импульсной электрохимической обработки вибрирующим электродом-инструментом

Поверхности электродов не являются однородными по своим физико-химическим свойствам, что обусловлено наличием на поверхности различных окисных пленок, осадков, флуктуаций легирующих элементов и т. д. Состояние поверхности электродов может изменяться с течением времени обработки, что чаще всего оказывает негативное влияние на выходные технологические показатели качества процесса [1].

Использовавшиеся ранее методы контроля физико-химического состояния поверхности катода, как правило, сводились к визуальному контролю поверхности катода либо к контролю по выходным технологическим показателям качества обработанной поверхности. И тот, и другой методы возможны только с прерыванием процесса электрохимической обработки. Наиболее типичным примером изменения физико-химического состояния катода в процессе обработки является образование отложений на поверхности катода. В настоящее время отложения с поверхности катода удаляются вручную после остановки процесса механически или химически. Это приводит к ухудшению выходных технологических показателей качества обработанной поверхности (макро- и микрогеометрии) и делает невозможным полностью автоматизировать процесс ЭХО.

Для контроля физико-химического состояния поверхности катода в процессе электрохимической обработки необходим соответствующий информационный параметр, который может быть измерен в ходе обработки и введен в автоматизированную систему управления процессом ЭХО.

В данной статье предлагается использовать информационный параметр, косвенно связанный с изменением физико-химического состояния поверхности электродов, — зависимость разности потенциалов на электродах от величины отложений на поверхности катода.

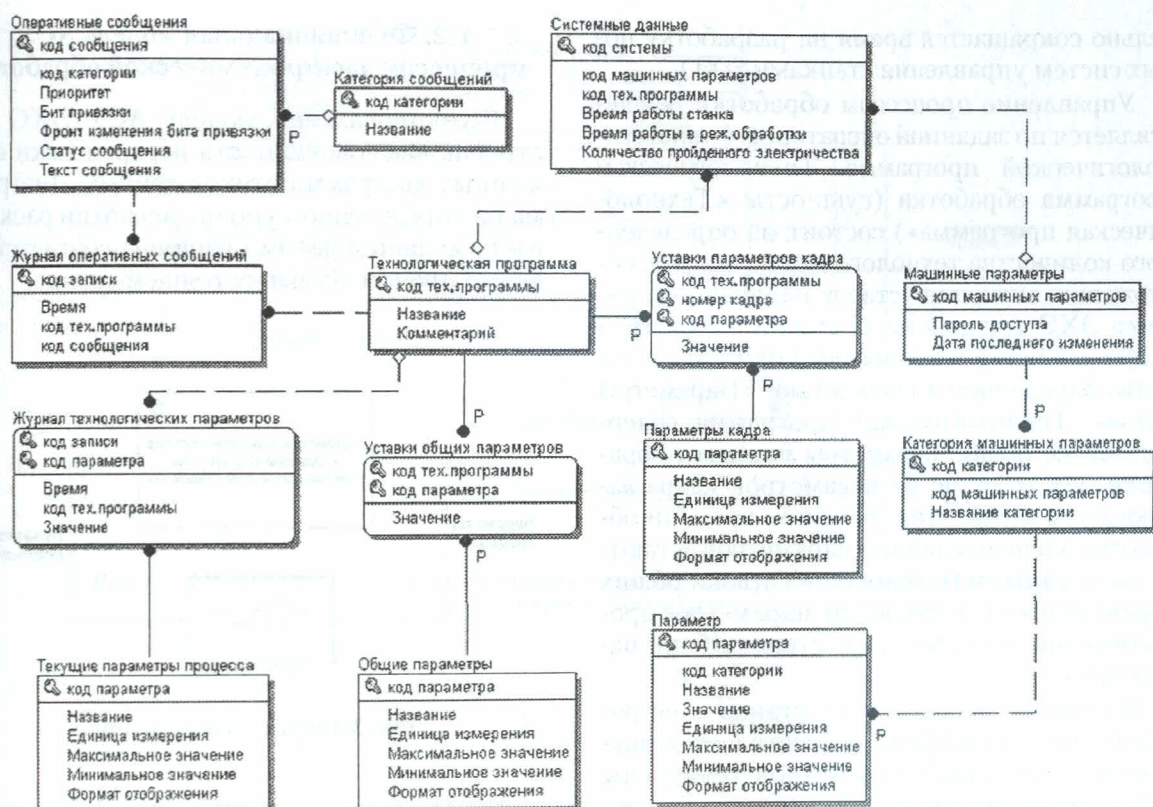


Рис. 2. Модель данных автоматизированной системы управления процессом электрохимической обработки

Изменение физико-химического состояния поверхности катода (удаление отложений) в процессе обработки может осуществляться подачей импульса тока обратной полярности [2].

Это позволит полностью автоматизировать процесс контроля и удаления отложений на катоде без прерывания процесса ЭХО и повысить качество обработанной поверхности. Для этого необходимо проведение экспериментальных исследований косвенного информационного параметра и разработка информационной модели автоматизированной системы управления станком.

В статье представлены:

- информационная модель автоматизированной системы управления станком импульсной электрохимической обработки (ЭХО) с подсистемой контроля физико-химического состояния катода;

- результаты экспериментальных исследований и математическая модель информационного параметра о физико-химическом состоянии поверхности катода.

1. ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСУ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Информационная модель системы автоматизированного управления процессом ЭХО включает в себя модель данных, выполненную по методологии семантического моделирования данных IDEF1X и функциональную модель, разработанную в соответствии с методологией DFD (Data Flow Diagrams).

1.1. Модель данных АСУ процессом электрохимической обработки

Представленная модель данных (рис. 2) обладает высоким уровнем абстракции, что обусловлено отсутствием в качестве атрибутов сущностей конкретных параметров процесса ЭХО либо других параметров и уставок, связанных с заданием технологической программы или настройкой оборудования. Тем самым достигается универсальность модели для различных процессов ЭХО и аппаратных реализаций систем станка электрохимической обработки. Это свойство модели данных позволяет унифицировать программное обеспечение системы, вследствие чего значи-

тельно сокращается время на разработку новых систем управления станками ЭХО.

Управление процессом обработки осуществляется по заданной оператором станка технологической программе. Технологическая программа обработки (сущность: «Технологическая программа») состоит из определённого количества технологических кадров, содержащих значения уставок параметров процесса ЭХО (сущность: «Уставки параметров кадра»). Состав технологических параметров кадра определяется сущностью: «Параметры кадра». Технологическая программа содержит также общие параметры процесса обработки. Их отличие от параметров кадра заключается в том, что с течением времени обработки значения данных параметров остаются постоянными (сущность: «Уставки общих параметров»). Состав общих параметров программы определяется сущностью: «Общие параметры».

Настройка оборудования станка электрохимической обработки осуществляется значениями машинных параметров (сущность: «Машинные параметры»). Доступ к программной форме, позволяющей оператору изменять значения машинных параметров, ограничен паролем. Машинные параметры разделяются по категориям, соответствующим типам оборудования, к которому относятся данные параметры (сущность: «Категория машинных параметров»).

Информация о состоянии процесса ЭХО и оборудования станка отображается в виде оперативных сообщений (сущность: «Оперативные сообщения»), которые в свою очередь могут быть разделены на категории (сущность: «Категория сообщений»). Каждое оперативное сообщение имеет свой приоритет, чем определяется очередность его появления на экране операторной станции станка. Событие, связанное с появлением оперативного сообщения, отражается записью в журнале оперативных сообщений (сущность: «Журнал оперативных сообщений»).

В журнале технологических параметров записывается история изменения в ходе обработки основных технологических параметров (сущность: «Журнал технологических параметров»). Состав регистрируемых параметров определяется сущностью: «Текущие параметры процесса».

Сущность «Системные данные» содержит общесистемные данные, необходимые для нормального функционирования оборудования.

1.2. Функциональная модель АСУ процессом электрохимической обработки

Функциональная модель АСУ ЭХО построена как совокупность иерархически вложенных диаграмм потоков данных. Диаграмма на определенном уровне иерархии раскрывает (является декомпозицией) соответствующий процесс на вышестоящем уровне.

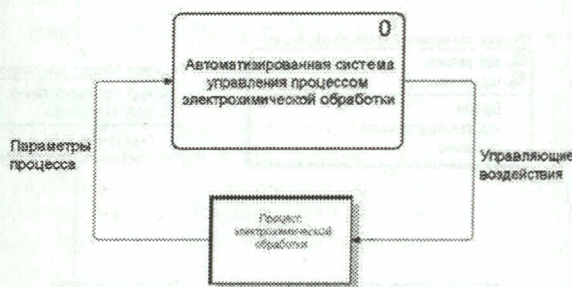


Рис. 3. Контекстная диаграмма

Контекстная диаграмма (рис. 3) является диаграммой самого высокого уровня. На ней отображен только один процесс — «Автоматизированная система управления процессом ЭХО», и внешняя по отношению к нему сущность «Процесс ЭХО». Входным потоком данных процесса 0 являются «Параметры процесса» электрохимической обработки, выходным потоком данных — «Управляющие воздействия».

Диаграмма, являющаяся декомпозицией процесса 0, изображена на рис. 4. Процесс 1 реализует управление по заданной оператором технологической программе. Выходным потоком данных этого процесса являются управляющие команды и текущие уставки, передаваемые другим процессам, управляющим исполнительными механизмами станка (процессы 2–5).

Рассматривая функциональную модель системы в контексте проблемы контроля и управления процессом изменения физико-химического состояния поверхности катода методом обратного тока, следует обратить внимание на диаграммы (рис. 5 и 6), раскрывающие процессы 1 и 2. Процесс 2 формирует массив управляющих воздействий источником тока на следующий период вибрации катода. Его работа синхронизирована с верхним положением вибратора цифровым сигналом с датчика верхнего положения («Сигнал синхронизации» на диаграмме рис. 5, 6). Для поддержания заданного напряжения в рабо-

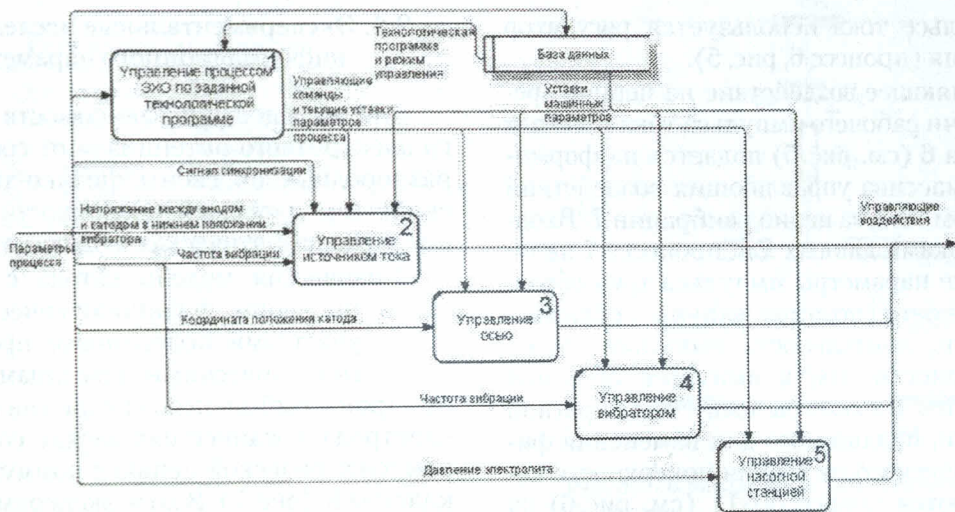


Рис. 4. Диаграмма потоков данных: «Автоматизированная система управления процессом электрохимической обработки»

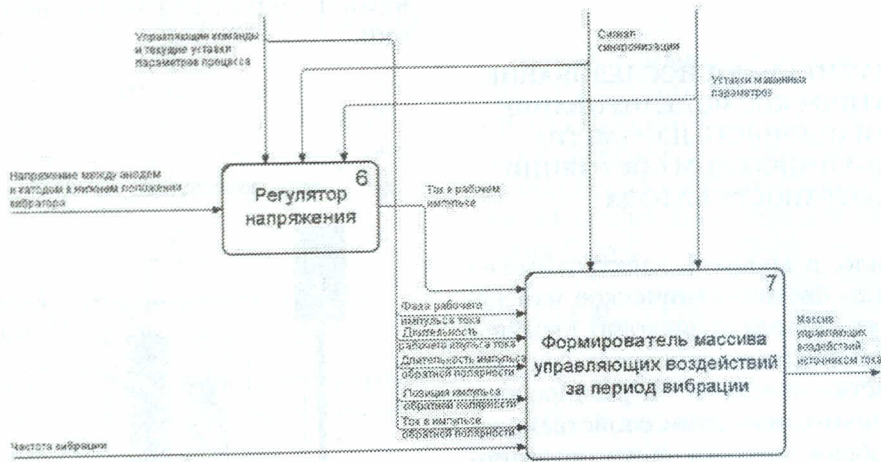


Рис. 5. Диаграмма потоков данных: «Управление источником технологического тока»

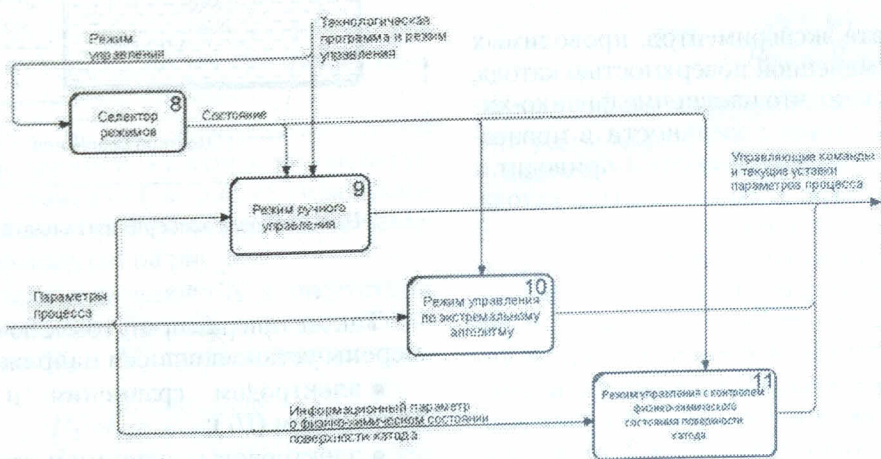


Рис. 6. Диаграмма потоков данных: «Управление процессом электрохимической обработки по заданной технологической программе»

чем импульсе тока используется регулятор напряжения (процесс 6, рис. 5).

Управляющее воздействие на период времени подачи рабочего импульса тока с выхода регулятора 6 (см. рис. 5) подается на формирователь массива управляющих воздействий источником тока за период вибрации 7. Входными потоками данных для процесса 7 являются также параметры импульса тока обратной полярности (позиция импульса обратной полярности, длительность импульса обратной полярности, ток в импульсе обратной полярности). Параметры импульса обратной полярности, подаваемого для изменения физико-химического состояния поверхности катода, задаются процессом 11 (см. рис. 6) на основании рабочей информации о физико-химическом состоянии поверхности катода.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА

Как правило, в процессе электрохимической обработки физико-химическое изменение поверхности катода происходит неравномерно по всей площади электрода, т.е. образуются участки поверхности, разнородные по своим физико-химическим свойствам, например при образовании на части поверхности катода отложений. Условимся в дальнейшем называть участок поверхности катода, свободный от отложений, «чистой» поверхностью.

В результате экспериментов, проводимых с частично измененной поверхностью катода, было установлено, что изменение физико-химического состояния поверхности в процессе электрохимической обработки приводит к изменению электродного потенциала катода. Исследования также показали, что измененная часть поверхности электрода имеет электродный потенциал, отличный от электродного потенциала «чистой» поверхности. В результате электродный потенциал катода является как бы суммарным потенциалом «чистой» поверхности и поверхности с измененными физико-химическими свойствами. Таким образом, изменение электродного потенциала катода в процессе обработки может являться информационным параметром о физико-химическом состоянии его поверхности.

2.1. Экспериментальные исследования информационного параметра

Для исследования зависимости суммарного электродного потенциала от соотношения разнородных по своим физико-химическим свойствам площадей поверхности электрода предложена физическая модель катода.

Физическая модель катода с разнородными по своим физико-химическим свойствам участками поверхности представлена двумя металлическими пластинами из бронзы (бронзовый электрод) и латуни (латунный электрод), соединенных между собой внешней электрической цепью с коммутирующим ключом K (рис. 7). В ходе экспериментов пластины погружались на разные глубины в емкость с 8%-м раствором электролита нитрата натрия, при замкнутом ключе K измерялось установившееся напряжение между пластинами и хлоросеребряным электродом сравнения.

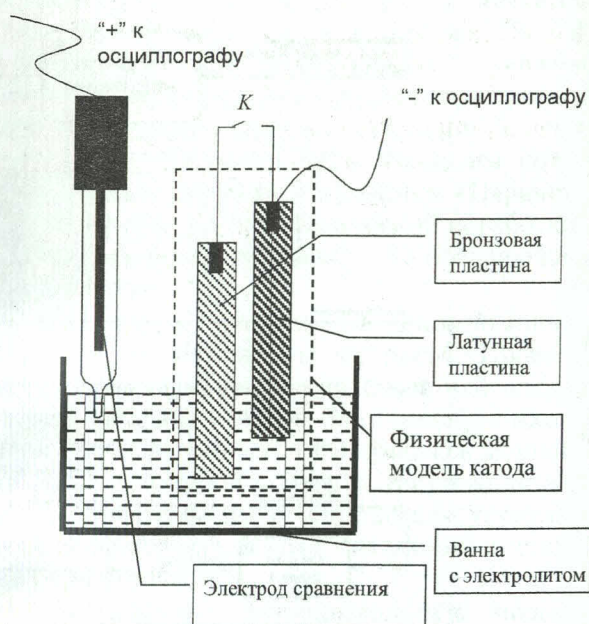


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

Так же при разомкнутом ключе K были измерены установившиеся напряжения между:

- электродом сравнения и бронзовым электродом (U_1);
- электродом сравнения и латунным электродом (U_2).

Напряжения между электродами измерялись цифровым осциллографом с входным сопротивлением 10 МОм.

Таблица

Результаты эксперимента	
Отношение площадей S_1/S_2 (S_1 — бронзы, S_2 — латуни)	Напряжение между замкнутыми пластинами и электродом сравнения, мВ
10:1	-5,6
5:1	-4,5
2:1	0
1:1	7
1:2	7,7
1:5	15,5
1:10	21,5

В результате опытов получены экспериментальные данные зависимости напряжения, измеренного между замкнутыми латунным и бронзовым электродами и хлоросеребряным электродом сравнения, от соотношения погруженных в электролит площадей бронзы и латуни (табл.).

Напряжение, измеренное между электродом сравнения и бронзовым электродом (U_1), составляет -16 мВ. Напряжение между электродом сравнения и латунным электродом (U_2) составляет 26 мВ.

2.2. Математическое моделирование информационного параметра

При математическом моделировании информационного параметра приняты следующие допущения:

- двойной электрический слой на границе раздела между металлом и электролитом при отсутствии электродных процессов можно рассматривать как конденсатор [3];

- сопротивление раствора электролита моделируется постоянными сосредоточенными омическими сопротивлениями.

Таким образом, для электрохимической ячейки, образованной электродами экспериментальной установки (см. рис. 7), справедлива эквивалентная электрическая схема замещения, изображенная на рис. 8.

При разомкнутом ключе K и отсутствии измерительного тока напряжения на электродах $M_s - M_1$ и $M_s - M_2$ соответственно:

$$U_1 = \varphi_1 - \varphi_s; \tag{1}$$

$$U_2 = \varphi_2 - \varphi_s, \tag{2}$$

где φ_1, φ_2 — начальные напряжения на емкостях C_1 и C_2 .

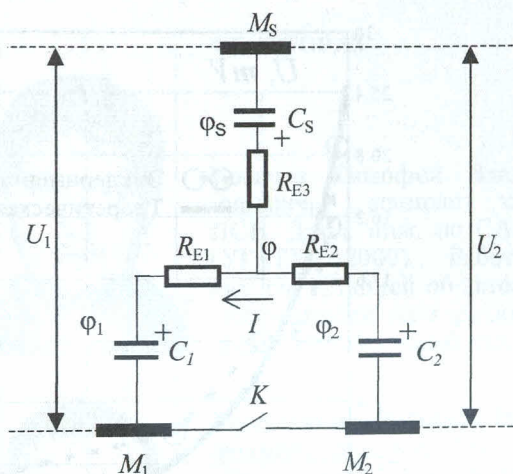


Рис. 8. Эквивалентная электрическая схема замещения: M_s — электрод сравнения, M_1 и M_2 — два разных металла, помещенные в электролит; R_e — омическое сопротивление электролита; C_s, C_1 и C_2 — емкости двойных слоев электродов с начальными напряжениями φ_s, φ_1 и φ_2 соответственно для M_s, M_1 и M_2

После замыкания ключа K и окончания переходного процесса между замкнутыми электродами и электродом M_s установится напряжение U . Чтобы определить это напряжение, рассмотрим уравнение, составленное по закону Кирхгофа для контура с емкостями C_1 и C_2 :

$$(R_{E1} + R_{E2}) I(t) = - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \int I(t) dt, \tag{3}$$

где $I(t)$ — ток, возникающий в контуре после коммутации.

Начальными условиями для уравнения (3) является значение тока в момент времени $t_0=0$:

$$I(0) = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_{E1} + R_{E2}}. \tag{4}$$

Решая данное дифференциальное уравнение, получаем выражение для тока, возникающего в контуре после замыкания ключа K :

$$I(t) = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_{E1} + R_{E2}} \times \exp \left\{ - \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 (R_{E1} + R_{E2})} t \right\}. \tag{5}$$

После окончания переходного процесса на емкостях установится напряжение

$$\varphi = \frac{1}{C_1} \int_0^\infty I(t) dt + \varphi_1 = \frac{\varphi_1 C_1 + \varphi_2 C_2}{C_1 + C_2}. \tag{6}$$

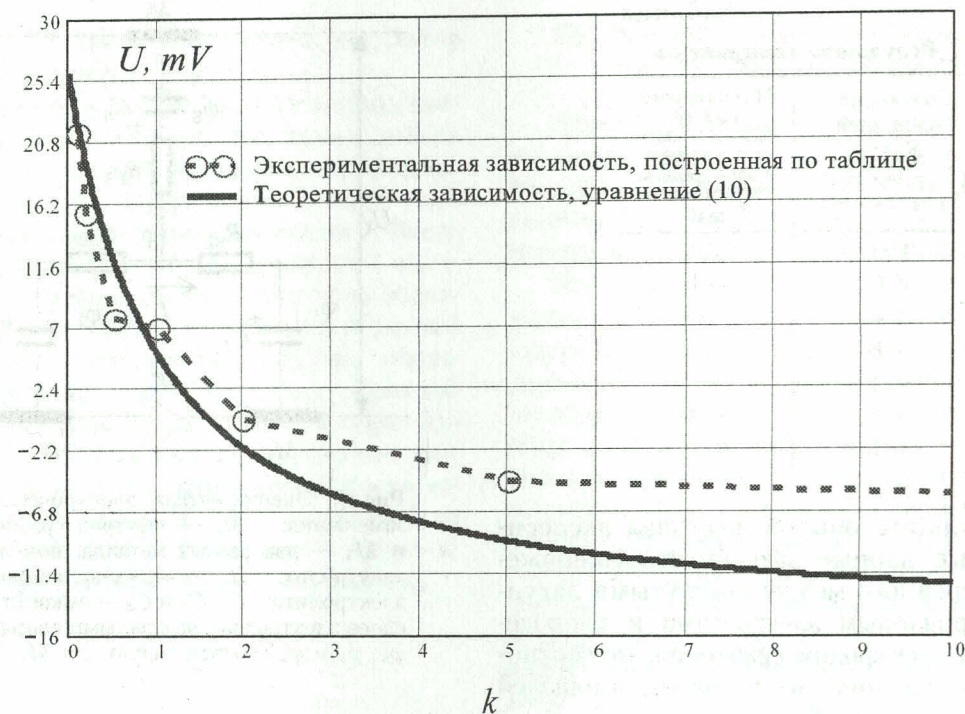


Рис. 9. Экспериментальная и теоретическая зависимости напряжения между электродом сравнения и замкнутыми бронзовым и латунным электродами от соотношения площадей

Исходя из предположения, что емкости двойных электрических слоев прямо пропорциональны площадям S_1 и S_2 погруженных в электролит поверхностей металлов M_1 и M_2 [4], можно записать:

$$C_1 = K_{f1} S_1; \quad (7)$$

$$C_2 = K_{f2} S_2, \quad (8)$$

где K_{f1} и K_{f2} — коэффициенты пропорциональности.

При условии, что $K_{f1} = K_{f2}$, из уравнений (6)–(8) получаем

$$\varphi = \frac{\varphi_1 k + \varphi_2}{k + 1}, \quad (9)$$

где $k = \frac{S_1}{S_2}$.

Таким образом, после окончания переходного процесса между электродом сравнения M_s и замкнутыми электродами M_1 и M_2 установится напряжение

$$U = \varphi - \varphi_s = \frac{U_1 k + U_2}{k + 1}. \quad (10)$$

Используя экспериментальные данные для напряжений U_1 и U_2 , можно построить теоретическую зависимость (10) напряжения

при замкнутом ключе K от соотношения площадей бронзового и латунного электродов (рис. 9).

Максимальное расхождение между экспериментальными и теоретическими данными (10) составляет 15,7%.

ВЫВОДЫ

1. Предложена универсальная модель данных для систем автоматизированного управления процессом электрохимической обработки, позволяющая быстро адаптировать программное обеспечение системы для различных аппаратных реализаций станка ЭХО.

2. Разработана функциональная модель системы автоматизированного управления процессом электрохимической обработки с подсистемой контроля физико-химического состояния поверхности катода.

3. Предложена физическая модель катода с разнородными по своим физико-химическим свойствам участками поверхности.

4. Предложена математическая модель информационного параметра о физико-химическом состоянии поверхности катода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agafonov I.L., Muchutdinov R.R., Zaitsev A.N., Zhitnikov V.P., Belogorsky A.L. The control of the process of pulse electrochemical machining with electrode vibration on the base of spectrum analysis of low-frequency component of gap electric resistance // Proc. of the 13th Int. Symp. for Electromachining ISEM XIII. Bilbao, Spain, 2001. V. 1. P. 213–230.
2. Amirchanova N.A., Brusse M., Gimaev N.Z., Zaitsev A.N., Kutsenko V.N., Markelova N.I., Belogorsky A.L. Investigation of cathode sedimentations under pulse ECM of steel with electrode tool vibration // Proc. of the 13th Int. Symp. for Electromachining ISEM XIII. Bilbao, Spain, 2001. V. 1. P. 313–325.
3. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. школа, 1975. 416 с.
4. Артамонов Б.А., Вишницкий А.Л., Волков Ю.С., Глазков А.В. Размерная электрохимическая обработка металлов: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. школа, 1978. 336 с.

ОБ АВТОРАХ



Косарев Тимофей Владимирович, аспирант каф. ПСИ. Дипл. инж. по САПР (УГАТУ, 2000). Работает над диссертацией об автоматизированных электрохимических методах обработки.



Мухутдинов Рафаиль Рамзисович, доц. каф. ОиТСП. Дипл. инж. электронной техники (УАИ, 1979). Канд. техн. наук по автоматиз. технологич. процессов (УГАТУ, 2000). Исследования в обл. электрохимических методов обработки, систем автоматизированного управления.



Зайцев Александр Николаевич, проф. каф. ОиТСП УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УГАТУ, 1972). Д-р техн. наук по процессам физ.-техн. обработки и САПР (защ. в Воронежск. политехн. ин-те, 1991). Исследования в обл. электрофизической и электрохимической размерной обработки материалов.



Житников Владимир Павлович, проф., зав. каф. проектир. средств информатики. Дипл. инж.-физик (МФТИ, 1973). Д-р физ.-мат. наук по механике жидкости и газа (Казанск. ун-т, 1993). Иссл. в обл. волновых течений жидкости, электрохим. формообразования, числен.-аналитических методов.