

И. Ш. Абдуллин, И. Х. Ибрафиров, Л. А. Симонова,  
Д. И. Ибрафиров, М. А. Чернова

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНО-НАПЫЛИТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые слова: металлизация ткани, вакуум, плазма.

Анализ взаимосвязи параметров вакуумно—напылительного технологического комплекса, параметров напыления и показателей качества процесса выявил, что наибольшее влияние оказывает коэффициент отражения и от него возможно контролировать все показатели качества процесса напыления. Оптимальным путем построения системы автоматического управления вакуумно—напылительного технологического комплекса, приводящим к стабилизации показателей качества технологического процесса, является стабилизация коэффициента отражения в зоне взаимодействия.

Keywords: tissue metallizing, vacuum, plasma.

Analysis of the relationship parameters vacuum sputter process complex deposition parameters and process quality indicators revealed that the greatest effect on the reflection coefficient and it is possible to monitor all indicators of quality of the deposition process. The optimal way of building a system of automatic control vacuum sputter of technological complex, leading to stabilization of quality process is the stabilization of the reflection coefficient in the interaction zone.

### Введение

Наиболее перспективным направлением совершенствования ВНТК является комплексный подход. Он включает создание системы автоматизированного проектирования ТП плазменной обработки, синтез САУ с обратными связями по параметрам, характеризующим процессы в зоне взаимодействия и внедрение новых методов обработки информативных параметров [1]. Оптимальным путем построения САУ ВНТК, приводящим к стабилизации показателей качества ТП, является стабилизация коэффициента отражения в зоне взаимодействия [2, 3].

Поэтому основной задачей является разработка методов измерения температуры и стабилизации ее за счет управления параметрами звеньев ВНТК [3]. При ионно-плазменной обработке требуется стабилизация заданных значений ТП, к которым относятся величина плотности тока, скорость осаждения напыляемого материала, время воздействия на подложку и коэффициент отражения напыленного материала, оказывающие наибольшее влияние на показатели качества ТП напыления.

### Анализ

Номинальные данные подсистемы приведены в таблице. Показатели качества определим по виду характеристики переходного процесса [4]. Переходная характеристика, построенная при номинальных значениях параметров системы, представляет собой монотонный переходной процесс [5]. При времени  $t=0,04$ с процесс затухает и стремится к установившемуся значению. Следовательно, система является устойчивой.

Расчет переходных характеристик САУ по заданным передаточным функциям [6] звеньев производился с помощью пакета прикладных программ MathCAD [7]. Результаты расчетов показаны на рисунке 1. Время переходных процессов, происходящих в контурах управления энергетическими и скорост-

ными характеристиками магнетрона, удовлетворяет необходимым требованиям, предъявляемым к ТП.

Таблица - Номинальные параметры звеньев САУ

| Наименование звена | Коэффициент передачи | Постоянная времени |
|--------------------|----------------------|--------------------|
| Источник питания   | $K_{ИП} = 0.01$      | $T_{ИП} = 2.4$     |
| Датчик мощности    | $K_{ДАТМ} = 0.0001$  | -                  |
| Усилитель 1        | $K_{УС1} = 100$      | -                  |
| Усилитель 2        | $K_{УС2} = 100$      | -                  |
| АЦП                | $K_{АЦП} = 1$        | -                  |
| МПС                | $K_{МПС} = 1$        | -                  |
| Демультимплексор   | $K_{ДЕМ} = 1$        | -                  |
| Фазовый регулятор  | $K_{ФРЕГ} = 10$      | $T_{ФРЕГ} = 1.5$   |
| Привод МЭЗ         | $K_{ЭЛ} = 0,8$       | $T_{ЭЛ} = 0,01$    |
|                    | $K_{МЕХ} = 0,75$     | $T_{МЕХ} = 0,1$    |
| Датчик МЭЗ         | $K_{ДМЭЗ} = 0,05$    | -                  |
| Счетчик 1          | $K_{СЧ} = 1$         | -                  |
| Счетчик 2          | $K_{СЧ} = 1$         | -                  |
| ЧПУ                | $K_{ЧПУ} = 1$        | -                  |
| ДПТ                | $K_{ЭЛ} = 0,8$       | $T_{ЭЛ} = 0,01$    |
|                    | $K_{МЕХ} = 0,75$     | $T_{МЕХ} = 0,1$    |
| Датчик скорости    | $K_{ДСК} = 0,05$     | -                  |
| ЧПУ                | $K_{ЧПУ} = 1$        | -                  |
| Магнетрон          | $K_{МАГ-Н} = 0.9$    | $T_{МАГ-Н} = 2.5$  |
| Ткань              | $K_{ТКА} = 0,5$      | $T_{ТКА} = 0,01$   |
| Датчик излучения   | $K_{ДИЗЛ} = 0.005$   | -                  |
| Усилитель 2        | $K_{УС2} = 100$      | -                  |
| АЦП                | $K_{АЦП} = 1$        | -                  |

Анализ переходных процессов в контурах САУ показывает, что показатели качества управления удовлетворяют требованиям, предъявляемым к системе, позволяющей обеспечить заданные показатели качества ТП с погрешностью не более 10%.

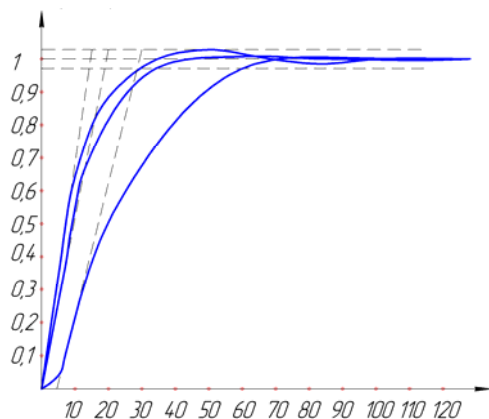


Рис. 1 - Графики переходных процессов контура управления мощностью плазмы при различных параметрах звеньев

На время переходного процесса автоматического поляриметра влияют постоянная времени схемы выборки и хранения, аналогово-цифрового преобразователя и время обработки информации микропроцессорной системой [6].

Время быстродействия схемы выборки и хранения около  $10^{-10}$ , т.е. задержка составляет не более 1нс. Аналогово-цифровой преобразователь дает задержку от 40 нс (8 разрядный К1108ПВ3) [55]. Время обработки микропроцессорной системы составляет около 1 мс.

Таким образом, общее время переходного процесса САУ составляет 1 мс (рис.2), что удовлетворяет условию максимально допустимого значения.

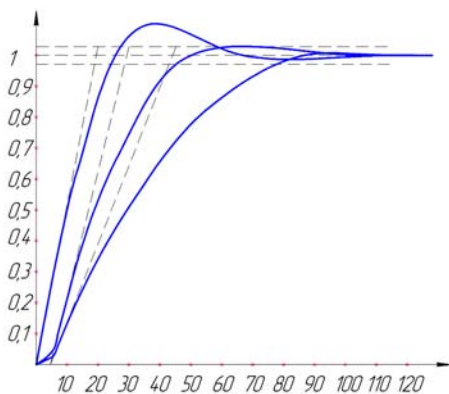


Рис. 2 - График переходного процесса САУ

#### Методика

Для выполнения поставленной цели по обеспечению заданных показателей качества ТП необходимо их экспериментальные зависимости от параметров САУ ввести в виде аппроксимирующих функций в базу данных [8]. Это обеспечивает доступ к требуемой информации о значениях параметров ВНТК для выполнения плазменного напыления с заданными показателями качества ТП. Сокращение времени поиска требуемых данных при всем многообразии но-

менклатуры деталей, материалов и значений показателей качества существенно снижает временные и экономические затраты на проведение дополнительных экспериментальных исследований [9,10]. Данный подход обеспечивается разработанными алгоритмами (рис.3) по аппроксимации экспериментальных характеристик.

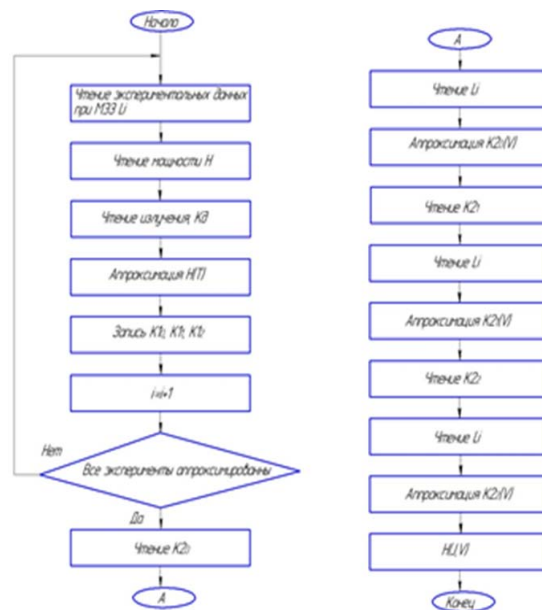


Рис. 3 - Алгоритм аппроксимации функций экспериментальных исследований

Разработанные алгоритмы программ по расчету параметров САУ и ТП включают в себя последовательность операций в соответствии с математической моделью, описывающей физические процессы, происходящие в зоне взаимодействия [1] плазмы с материалом (рис.4).

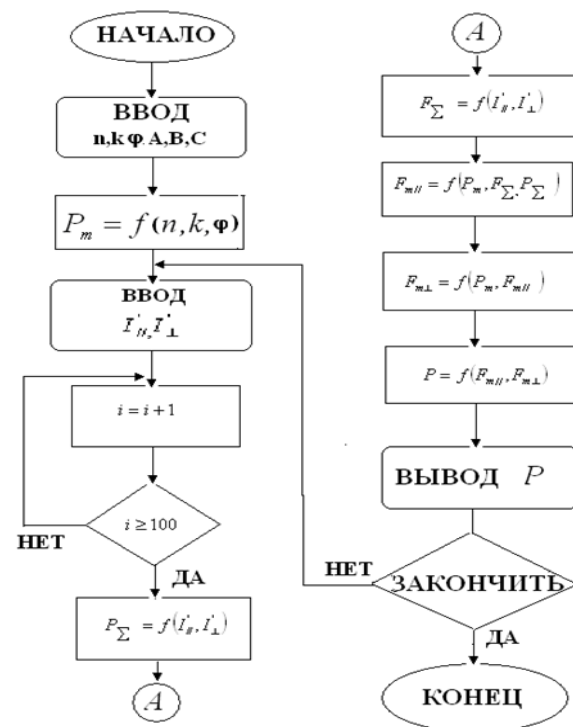


Рис. 4 - Алгоритм расчета управляющих воздействий на САУ

По разработанным алгоритмам производится расчет управляющих воздействий на САУ для последующего их преобразования и выдачи сигналов на исполнительные механизмы [11].

Комплексный подход к вопросу синтеза САУ позволяет минимизировать временные затраты ТП по металлзации тканей с получением заданных показателей качества.

В систему однородных дифференциальных уравнений, используя нормальную форму Коши, вводим номинальные данные подсистем [6]. Показатели качества САУ определяются по виду характеристики переходного процесса. Переходная характеристика, построенная при номинальных значениях параметров системы, представляет собой монотонный переходной процесс. При времени  $t=0,04$  с процесс затухает и стремится к установившемуся значению, система является устойчивой.

Для решения задачи оптимизации применяется метод параметрической оптимизации, заключающийся в расчете параметров системы, при которых целевая функция принимает экстремальное значение. В данной задаче в качестве целевой функции используется время переходного процесса [6]. Расчет переходных характеристик по заданным передаточным функциям звеньев САУ производился с помощью пакета прикладных программ MathCAD.

### Выводы

В результате анализа показателей качества САУ положением электродов получили, что время переходного процесса не превышает 0,5 с. при точности регулирования 10%.

Как показывают проведенные исследования по плазменной обработке материалов, показатели качества ТП зависят от таких параметров работы ВНТК, измерение которых возможно в реальном времени.

При стабилизации энергетических характеристик ВНТК происходит повышение эффективности использования дорогостоящего плазменного оборудования, а значит и эффективности автоматизированных технологических производств.

### Литература

1. Д.И. Исрафилов. Дисс. канд. тех. наук, КамПИ, Набережные Челны, 2007. 141 с.
2. L.A. Simonova, D. Israphilov, M. Chernova and A.Nugumanova, WASJ, 23, 7, 926-929 (2013)
3. L.A. Simonova, D. Israphilov, M. Chernova and A.Nugumanova, WASJ, 23, 7, 930-934 (2013)
4. И.Х. Исрафилов, В.В. Звездин, А.И. Нугуманова, Р.С. Файрузов, Д.И. Исрафилов, Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2, 86-88 (2007)
5. Л. А. Симонова, С. Ю. Юрасов, К. В. Симонова. Оборудование автоматизированного производства. Камская гос. инженерно-экономическая акад., Набережные Челны, 2011. 160 с.
6. Ю.И. Топчеев. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для втузов. Машиностроение, Москва, 1989.
7. Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. Машиностроение, Москва, 304с.
8. А.Т. Галиакбаров. Дисс. канд. тех. наук, КамПИ, Набережные Челны, 2006. 125 с.
9. Д.Р. Фархутдинова, Л.Н. Абуталипова. Вестник Казанского технологического университета, 20, 315-317 (2013)
10. А.Н. Титов, Н.К. Нуриев, Р.Ф. Тазиева. Вестник Казанского технологического университета, 19, 324-331 (2013)
11. Д.А. Башмаков. Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация, 2, 10-14 (2010)

---

© И. Ш. Абдуллин - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ; И. Х. Исрафилов - проф., зав. отделением «Энергетика и информатизация», Набережно-челнинский институт К(П)ФУ, IHIIsrafilov@kpfu.ru; Л. А. Симонова - проф., зам. дир. того же вуза, lasimonova@mail.ru; Д. И. Исрафилов – доц. каф. высокоэнергетических процессов и агрегатов того же вуза, DIIsrafilov@kpfu.ru; М. А. Чернова – инж. каф. автоматизации управления того же вуза, smilby@mail.ru.