

УДК 658.012:681.324

И.А. Балакирева, доцент, канд. техн. наук,

А.В. Скатков, профессор, д-р техн. наук

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: kvf@sevgtu.sebastopol.ua

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Рассматривается подход к разработке информационного обеспечения (ИО) интеллектуальной системы управления многономенклатурными технологическими процессами микроэлектроники, основанной на применении экспертного регулятора. Приводится структура информационного обеспечения на примере управления режимами настройки технологического процесса магнетронного напыления резистивных сплавов.

Создание новых технологий микроэлектроники предъявляет все более жесткие требования к качеству функционирования АСУ технологическими процессами (ТП). Совершенствование систем управления путем разработки новых типов исполнительных устройств дает определенный эффект. Однако значительная часть проблем, таких как повышение быстродействия, инвариантность к внешним воздействиям, изменение характеристик объекта управления и т.д., данным подходом решаются не в полной мере. Наиболее перспективным направлением совершенствования АСУ ТП является применение интеллектуальных технологий управления [1].

В рамках разработки интеллектуальных АСУ ТП способы организации их информационного обеспечения являются основополагающими, поскольку соответствие промышленной информации рациональным технологическим требованиям определяет конкурентоспособность предприятия при прочих равных условиях производства.

В данной статье рассматривается подход к решению поставленной задачи, в котором для управления режимами настройки технологическими процессами микроэлектроники предлагается использовать экспертный регулятор (ЭР).

Поскольку ЭР является составной структурной частью АСУ ТП, постановка задачи разработки его информационного обеспечения может быть осуществлена в рамках принятой терминологии и описания АСУ ТП [2]. Вместе с тем, специфика многономенклатурных технологических процессов микроэлектроники определяет функции и архитектуру применяемого информационного обеспечения ЭР. В связи с этим целесообразно определить особенности многономенклатурных технологических процессов и цель управления, которая состоит в минимизации объема запуска изделий или полуфабрикатов в производство и является определяющей при разработке ИО систем управления.

При вероятностном характере производства изделий микроэлектроники каждый из возможных технологических режимов дает определенные значения классификационных параметров Y , которые описываются соответствующей функцией распределения. Математическое ожидание такого распределения определим как центр настройки ТП при данном технологическом режиме m_Y .

Выход изделий в i -ую классификационную группу можно представить как

$$z_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} P_j N, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где z_i — объем выпуска изделий в i -ую классификационную группу, p_{ij} — вероятность выхода изделий в i -ую классификационную группу, изготовленных при j -ом технологическом режиме, P_j — вероятность

(интенсивность) использования j -того технологического режима, причем $\sum_{j=1}^n P_j = 1$; N — общий объем

запуска изделий на операцию классификации; $P_j N$ — объем запуска изделий при использовании j -го режима.

Таким образом, требуемое число типономиналов изделий может быть получено путем использования различных режимов ТП, изменением центров его настройки.

Обозначим объем запуска изделий при использовании j -го режима настройки процесса как $x_j = P_j N$, $j = \overline{1, n}$. При известной функции плотности распределения классификационных признаков $f(Y|m_{Yj})dY$ и фиксированных границах изменения их в номенклатурных группах G_i можно определить вероятность выхода изделий в i -ую группу, изготовленных при j -ом технологическом режиме.

Учитывая соотношение (1) и введенные обозначения, сформулируем задачу определения координат оптимальных центров настройки ТП, при которых выполнение плана по номенклатуре производится при минимальном объеме запуска изделий в производство.

Определить минимум функции

$$f(x_1, x_2, K, x_n) = \sum_{j=1}^n x_j \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n \int_{G_i} \dots \int f(y | m_{y_j}) dy; \quad x_j \geq q_i, \quad (3)$$

где $q_i, i = \overline{1, m}$ — требуемый по плану объем выпуска изделий в i -ю классификационную группу.

При фиксированных центрах настройки ТП и известной функции плотности распределения классификационных признаков ограничения (3) в сформулированной задаче являются линейными, а задача (2), (3) представляет собой задачу линейного программирования.

Решение задачи (2), (3) обычным симплекс-методом позволяет определить объемы запуска $x_j, j = \overline{1, n}$ при заданных параметрах настройки ТП, минимизирующих величину общего производственного запуска на классификацию при условиях выполнения плана по номенклатуре.

Для характеристики перекрытия планового распределения изделий по номенклатурным группам $Q = \sum_{i=1}^m q_i$ фактическим производственным распределением $N = \sum_{j=1}^n x_j$ введем величину — коэффициент запуска:

$$K_{zan} = N/Q. \quad (4)$$

В этом случае задачу определения центров настройки ТП $M = (m_{y1}, m_{y2}, \dots, m_{yn})$, минимизирующих коэффициент запуска изделий при выполнении плана по номенклатуре, можно представить:

$$K_{zan}(M) \rightarrow \min. \quad (5)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n \int_{G_i} \dots \int f(y | m_{y_j}) dy; \quad x_j \geq q_i. \quad (6)$$

В ходе вычислительных экспериментов установлено, что целевая функция (5) имеет ярко выраженный «овражный» рельеф, что затрудняет применение градиентных поисковых алгоритмов. Наиболее эффективными в данном случае являются алгоритмы прямого поиска: метод Хука-Дживса при числе центров настройки ТП $n \leq 3$ и метод покоординатного спуска при большей размерности задачи.

На основании доказанных утверждений об условиях существования решения задачи (2), (3) и исследования характера изменения целевой функций (5) сформирован алгоритм решения задачи определения минимального значения коэффициента запуска.

При фиксированном наборе центров настройки ТП $M^{(k)}, k = 0, 1, \dots$ решается задача линейного программирования (2), (3) и определяется объем запуска изделий $N^{(k)}$. На основании использования поисковых процедур определяется новый набор центров настройки $M^{(k+1)}$, при котором $N^{(k+1)} < N^{(k)}$. Процедура поиска повторяется до тех пор, пока выполняется соотношение $N^{(k)} - N^{(k+1)} > \varepsilon$, где ε — точность решения задачи, и в данном случае $\varepsilon = 1$. По завершению алгоритма определения координат центров настройки ТП, минимизирующих объем запуска N^* вычисляются: коэффициент запуска K_{zan} в соответствии с соотношением (4); интенсивности использования центров настройки ТП $P_j = x_j / N^*, j = \overline{1, n}$; значения управляющих параметров ТП, обеспечивающих оптимальные координаты центров настройки.

Система автоматизированного управления ТП магнетронного напыления разработана на основе ЭР.

Основываясь на цели управления и учитывая специфику многономенклатурных ТП МЭ, определим задачи и структуру информационного обеспечения (рисунок 1) ЭР.

Основными задачами информационного обеспечения ЭР с учетом связи с другими видами обеспечения функционирования ЭР являются [1]: определение форм информационного представления объектов и процессов, структуры и состава информации, ее соответствие решаемым задачам.

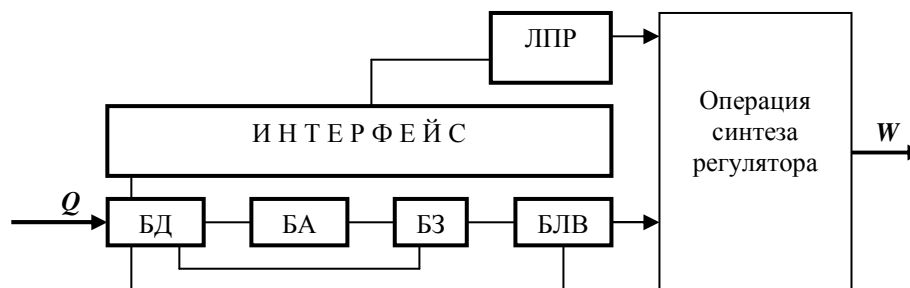


Рисунок 1 — Структура ИО ЭР: Q — текущие параметры объекта управления и характеристики процессов в системе; W — синтезированный регулятор в виде значений управляющих воздействий

ИО представляет собой совокупность базы данных (БД), базы знаний (БЗ), базы алгоритмов (БА), языковых средств их описания, методов организации и доступа к ним, а также способы взаимодействия ЭР и технологов.

База знаний ЭР содержит теоретические и эмпирические знания о системе и объекте управления. В базе теоретических знаний хранятся следующие сведения: пределы допустимого изменения управляющих воздействий ТП и классификационных признаков изделий; необходимые и достаточные условия существования решения поставленных задач; методы решения поставленных задач. База эмпирических знаний содержит: параметры законов распределения для каждого из классификационных признаков изделий, а так же их совместного распределения; результаты анализа статистической точности и стабильности ТП; результаты исследования влияния управляющих параметров ТП на значения классификационных признаков напыленного сплава; результаты исследования динамики изменения управляющих параметров ТП; регрессионные модели изменения классификационных признаков в зависимости от значений управляющих параметров.

В *базе данных* ЭР содержатся сведения о реально существующей производственной ситуации: цель выпуска изделий; способы формирования и значения границ номенклатурных групп выпускаемых изделий; объемы выпуска изделий в каждую номенклатурную группу; учет ограничений, связанных с выпуском изделий. Кроме указанных данных, связанных с плановыми заданиями в базе данных ЭР содержатся сведения о значениях текущих контролируемых параметрах ТП МН с целью их дальнейшего распознавания и компенсации в случае необходимости.

База алгоритмов представляет собой набор алгоритмов, позволяющих решать задачи оптимизации координат центров настройки ТП в зависимости от целей выпуска изделий и содержит следующие основные алгоритмы: решение задачи линейного программирования на основании симплекс-метода для определения объема запуска изделий при фиксированном наборе центров настройки ТП; формирование матрицы вероятностей на основе метода Гаусса; метод деления отрезка пополам для решения задачи минимизации объема выпуска изделий при единственном центре настройки ТП; методы прямого поиска — Хука-Дживса и покоординатного спуска, которые модифицированы с учетом специфики решаемых задач для определения минимального объема запуска изделий при реструктуризации центров настройки ТП. Кроме алгоритмов, в основании которых лежат математические модели управления ТП магнетронного напыления в базу алгоритмов входят алгоритмы, координирующие работу базы знаний и базы данных, а так же осуществляющие диалог «технолог-система управления» и накопление информации протокольного типа.

Экспертные заключения формируются в блоке логического вывода (БЛВ) на основе цели производства, а также распознавания и анализа текущей ситуации, возникающей в ходе ТП.

Для определения объема информационной базы ЭР и методов доступа к ней разработанные информационные графы решаемых задач. На рисунке 2 приведен пример информационного графа для решения задач определения координат центров настройки ТП МН, минимизирующих объем запуска изделий при реструктуризации центров, то есть при использовании нескольких центров настройки ТП. Вершинам информационного графа соответствуют источники информации и ее потребители — компоненты базы алгоритмов, запросы пользователя и рекомендации ЛПР, а дугам — информационные потоки — компоненты баз знаний и данных. Начальное состояние графа S_0 соответствует заданию цели управления процессом. Синтез регулятора представлен конечными состояниями S_8 — в случае принятия решения технологом и S_9 — в автоматическом режиме управления параметрами процесса. Промежуточные состояния графа $S_1 \div S_7$ отражают динамику изменения состояний в зависимости от реализации тех или иных вычислительных процедур, выбираемых в зависимости от ситуации.

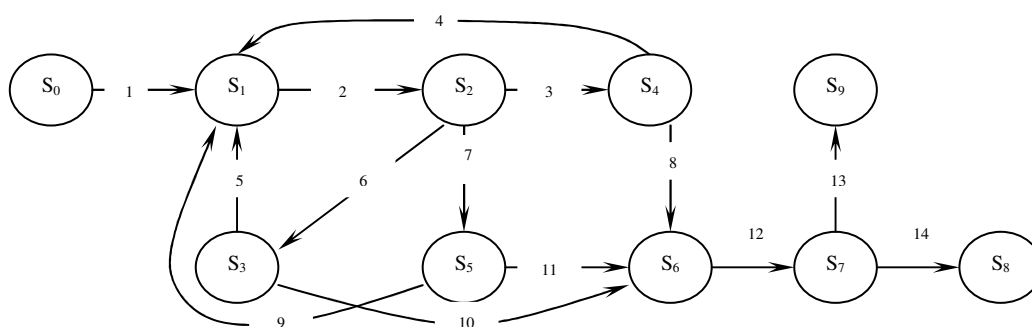


Рисунок 2 — Информационный граф задачи определения оптимального режима технологического процесса при реструктуризации центров настройки

Информационно-графовые модели данных (рисунок 3) задают связи баз знаний и данных с базой алгоритмов и являются основой интерактивного взаимодействия «технолог-система управления». Реализация диалога основана на списке наборов его состояний: S_0 — выбор функции из списка задач; S_1 — ввод данных; Ош — распознавание ошибки при вводе и повторный ввод данных; S_2 — расчет и просмотр результатов; S_3 — формирование экспертного заключения, документирование результатов; S_k — завершение сеанса.

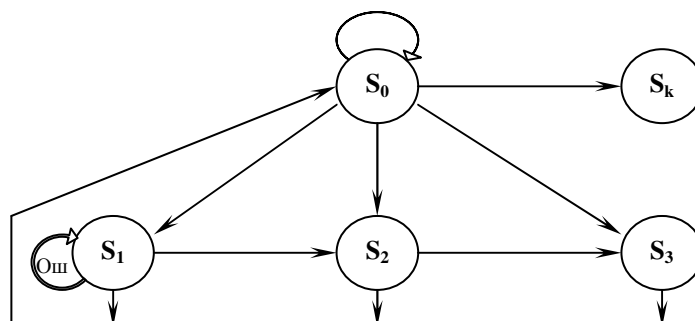


Рисунок 3 — Информационно-графовая модель реализации диалога

Каждое состояние системы диалога связано с конкретным кадром диалога, подсказкой и набором безусловных и условных программных действий. Безусловные действия обеспечивают настройку диалоговой системы и формирование содержимого кадра.

На основе разработанного информационного обеспечения решена задача определения минимального значения коэффициента запуска изделий для ТП магнетронного напыления резистивных сплавов (рисунок 4). Задача решена при следующих исходных данных: номенклатурные группы изделий сформированы по значениям удельного поверхностного сопротивления (УДПС — R_n) напыленного слоя; значения R_n распределены в соответствии с нормальным усеченным законом, точки усечения которого есть границы изменения классификационных признаков в номенклатурных группах.

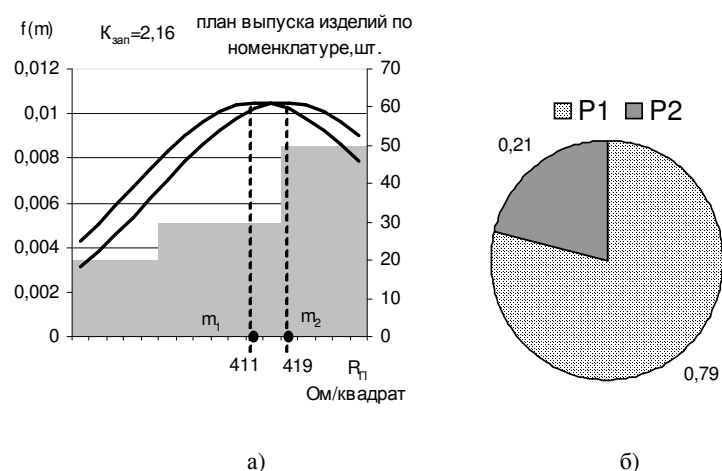


Рисунок 4 — Режим настройки ТП магнетронного напыления: а — координаты центра настройки ТП и функции плотности распределения $f(m)$ им соответствующие; б — интенсивности использования центров настройки ТП

Предложенный подход к разработке информационного обеспечения ЭР для ТП магнетронного напыления может найти применение при проектировании АСУ ТП в условиях многономенклатурного производства.

Перспективным направлением дальнейших исследований в области синтеза ЭР предполагается исследование особенностей поведения предложенных алгоритмов в нестационарных средах.

Библиографический список

1. Макаров И.М. Новое поколение интеллектуальных регуляторов / И.М. Макаров, В.М. Лохин // Приборы и системы управления. — 1997. — № 3. — С. 2.
2. Егоров С.В. Технологические процессы как объекты управления. / С.В. Егоров. — М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 1988. — 96 с.

Поступила в редакцию 14.04.2008 г.

