

УДК 658.012:681.324

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

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

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

E-mail: kvf@sevgtu.sebastopol.ua

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ КМОП-ТЕХНОЛОГИЯМИ

Выполнена постановка задачи многокритериального выбора интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении КМОП-технологиями. Построено парето-оптимальное множество решений поставленной задачи и на основании проведенных вычислительных экспериментов обсуждаются полученные результаты.

Ключевые слова: интеллектуальные информационные технологии управления, многономенклатурное производство, КМОП-технология, многокритериальный выбор, парето-оптимальное множество.

Изделия микроэлектроники, основанные на КМОП-технологии, в настоящее время представляют 75 % всех изделий мировой электронной промышленности. На их основе строятся постоянные и оперативные запоминающие устройства, микроконтроллеры, микропроцессоры, АЦП, ЦАП и т.д.

Создание новых технологий микроэлектроники предъявляет все более жесткие требования к качеству функционирования информационных систем управления технологическими процессами (ТП) их производства. 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 систем управления ТП является применение интеллектуальных информационных технологий управления [1].

В данной статье рассматривается подход к решению поставленной задачи, в котором для управления режимами настройки ТП микроэлектроники предлагается использовать систему поддержки принятия решений, основанной на многокритериальном выборе.

Цель статьи заключается в постановке и решении задачи параметрической коррекции ТП микроэлектроники на основе многокритериального выбора для повышения гарантоспособности системы оперативного управления. Здесь под гарантоспособностью понимается гибкость управления параметрами системы, выполнение плана по номенклатуре, а также снижение издержек, связанных с запуском изделий в производство и минимизацией длительности производственного цикла.

В качестве многономенклатурного ТП рассматривается производство процессоров, основанных на КМОП-технологии, классификация которых производится по величине рассеиваемой мощности. Следуя обозначенной цели, необходимо сформулировать задачу управления ТП так, чтобы при выполнении плана по объему и номенклатуре минимизировать объем запуска изделий в производство при минимальной длительности производственного цикла. Таким образом, решение рассматриваемой задачи параметрической коррекции ТП одновременно должно отвечать двум критериям.

Для построения математической модели параметрической коррекции ТП необходимо определить особенности многономенклатурных производств, которые состоят в следующем.

Воздействие случайных факторов на технологические процессы микроэлектроники, приводит к разбросу параметров выпускаемых изделий [2], относительно вектора математических ожиданий выходных параметров изделий $M = \{m(y_1), \dots, m(y_k)\}$. При изменении значений математических ожиданий выходных параметров изделий (центров настройки ТП) можно преобразовать поверхность распределения классификационных признаков $(y_1, \dots, y_k)$ выпускаемых изделий в соответствии с поверхностью номенклатурного плана. Таким образом можно влиять на объемы выпуска изделий в ту или иную номенклатурную группу. Подобное преобразование можно осуществить за счет реструктуризации центров настройки в ходе ТП — изменении их координат.

Математическая модель классификации изделий или полуфабрикатов выражает вероятностную связь между объемами выхода изделий в номенклатурные группы и объемом запуска их на классификацию [2]. При использовании нескольких центров настройки в ходе ТП математическая модель операции классификации изделий представляется в виде следующей системы уравнений

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

где z_i – объем выхода изделий i -ой номенклатурной группы $i = \overline{1, m}$; величины p_{ij} – вероятность выхода изделий i -ой группы при использовании j -го центра настройки, которая является функцией параметров распределений классификационных признаков, полученных при каждом из центров настройки ТП; $\eta_j = P_j N$ – объем выпуска изделий при использовании j -го центра настройки.

Параметр P_j характеризует долю времени использования j -го центра по отношению к длительности ТП (интенсивность использования центра), при этом $\sum_{j=1}^n P_j = 1$; N – объем запуска изделий на классификацию.

Совокупность значений координат j -го центра настройки ТП $m_j^j(U)$ и интенсивности его использования в ходе ТП определим как j -й технологический режим [2].

Для количественного выражения критерия, минимизирующего объем запуска изделий в производство введем показатель – коэффициент запуска изделий $K_{зан}$, равный отношению объема запуска изделий N к объему выпуска годных изделий Q : $K_{зан} = N/Q$. Поскольку в ходе производства, по множеству причин, неизбежен выпуск изделий, не соответствующих техническим условиям, объем запуска изделий в производство всегда должен превышать объем запланированного выпуска $N \geq Q$. Вследствие этого всегда $K_{зан} \geq 1$. Так как объем выпуска изделий N в свою очередь есть функция многих параметров ТП – числовые характеристики номенклатурных групп, число используемых центров настройки, координаты центров: $N = f(M, m, n)$, то и величина коэффициента запуска определяется этими же параметрами. Тогда цель задачи управления можно выразить следующим соотношением:

$$K_{зан}(M) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Определим временные затраты t_{ij} на производство одной партии изделий, относящихся, по условию классификации, к i -той номенклатурной группе, при использовании j -того режима настройки ТП. Затраты времени на производство являются функцией центров настройки ТП – $t_{ij}(m_j)$. Функция $t_{ij}(m_j)$ является достаточно гладкой. Например, в рассматриваемом случае она аппроксимируется некоторой квадратической функцией

$$t_{ij}(m_j) = a_i m_j^2 + b_i m_j + c_i,$$

где a_i , b_i и c_i – параметры, полученные эмпирическим путем.

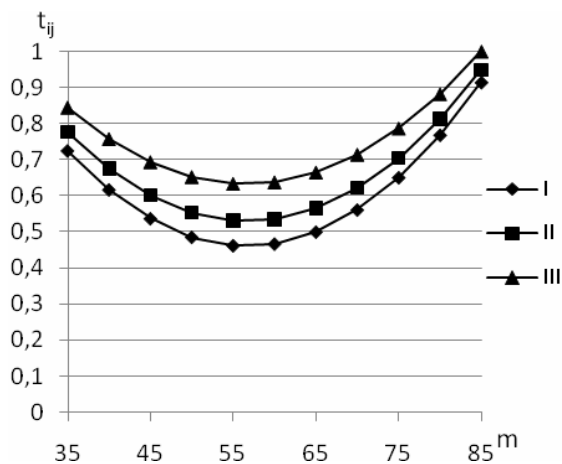


Рисунок 1 — Зависимость длительности производственного цикла от положения центра настройки ТП для различных номенклатурных групп

На рисунке 1 представлены функции $t_{ij}(m_j)$ для трех номенклатурных групп при единственном центре настройки ТП. Шкала времени на этом рисунке и всех последующих представлена в условных единицах времени $T_{ye} = T_{cp} / T_{max}$, где T_{cp} и T_{max} – соответственно сравниваемое и максимально допустимое значения временного интервала. По оси абсцисс здесь и на последующих рисунках отложено изменение классификационного признака – рассеиваемой мощности КМОП-процессоров, выраженной в ваттах.

Время, затраченное на производство изделий определяется выражением: $T(M) = \sum_{j=1}^n \eta_j \sum_{i=1}^m t_{ij} p_{ij}$,

при этом цель задачи, состоящая в минимизации длительности производственного цикла, представляется как

$$T(M) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Учитывая соотношение (1), условия выполнения плана по объему и номенклатуре для каждой группы можно представить следующим ограничением

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

где q_i – план выпуска изделий в i -ю номенклатурную группу.

Общий план выпуска изделий в процессе производства равен $\sum_{i=1}^m q_i = Q$.

На основе скалярных критериев (2) и (3), а также системы ограничений (4) можно построить модель управления многономенклатурным ТП, позволяющую найти минимальное значение коэффициента запуска изделий в производство при минимальной длительности производственного цикла

$$F(K_{zan}(M), T(M)) \rightarrow \min \quad (5)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Задача (5), представляет собой модель многокритериального выбора решения на множестве M , заданным системой неравенств (6). В задачах многокритериального выбора не существует оптимального решения, которое одновременно минимизировало бы все скалярные критерии. В таком случае говорят об эффективном или недоминируемом решении [3]. Важнейшим инструментом при поиске множества эффективных решений является принцип Парето, который предполагает, что кроме векторного критерия и множества возможных решений, обязательно в постановку задачи должно быть включено и отношение предпочтения лица, принимающего решение, (ЛПР) относительно заданных критериев [3]. Согласно принципу Парето будем считать, что ЛПР заинтересовано в получении, по возможности, меньших значений каждого из скалярных критериев $K_{zan}(M)$ и $T(M)$ векторного критерия (5).

Пусть ЛПР располагает двумя решениями $M' \in M$ и $M'' \in M$, где M — множество возможных решений задачи (5), (6). Отношение предпочтения ЛПР и отображение его на множество решений задачи (5), (6) определяется как:

$$K_{zan}(M') \leq K_{zan}(M'') \cap T(M') \leq T(M'') \Leftrightarrow M' \succ_M M'' \quad (7)$$

В таком случае эффективным или недоминируемым решением считается решение $M' \in M$ и именно оно должно быть включено во множество парето-оптимальных решений.

На основании установленного отношения предпочтений ЛПР решается задача многокритериального выбора. Процесс решения разбивается на несколько этапов.

I этап. Построение множества возможных приемлемых решений. На этом этапе отбрасываются все решения, которые заведомо не устраивают ЛПР.

II этап. Построение множества парето-оптимальных векторов и отображение его во множество парето-оптимальных решений.

III этап. Сужение множества парето-оптимальных решений на основании дополнительной информации ЛПР.

Решение задачи многокритериального выбора (5), (6) проводилось в процессе параметрической коррекции ТП производства КМОП процессоров по классификационному признаку рассеиваемой мощности. Исходные данные для вычислительного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики производственного плана выпуска КМОП-процессоров

Номенклатурные группы	I	II	III
Границы групп, Вт	33-60	60-75	70-85
План выпуска процессоров, %	50	20	30

Задача I этапа решалась в соответствии со следующими моделями:

$$\begin{aligned} & K_{zan}(M) \rightarrow \min \quad \text{при ограничениях} \quad \text{и} \quad T(M) \rightarrow \min \quad \text{при ограничениях} \quad , \quad (8) \\ & \begin{cases} T(M) \leq T_{\max}; \\ \sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \end{cases} \quad \begin{cases} K_{zan}(M) \leq K_{\max}; \\ \sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \end{cases} \end{aligned}$$

где $T_{\max}$ и $K_{\max}$ — максимально допустимые значения соответственно для длительности производственного цикла и коэффициента запуска.

В результате вычислительного эксперимента построено множество возможных векторов $F(K_{zan}(M), T(M))$, соответствующих множеству допустимых решений задачи (8). Координаты возможных решений задачи представлены на рисунке 2. Одновременно с построением множества

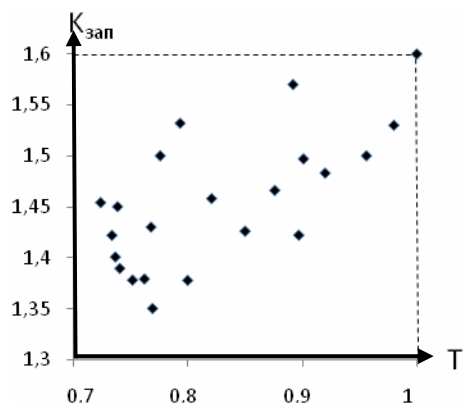


Рисунок 2 – Множество допустимых решений задачи многокритериального управления КМОП-технологиями

допустимых решений задачи многокритериального выбора установлено, что скалярные критерии (2) и (3) достигают в области допустимых решений своих минимальных значений: $K_{зан}^*(M)$ и $T^*(M)$.

Определены вектора, соответствующие минимальному значению каждого из частных критериев — коэффициента запуска $K_{зан}^*(M)$ и длительности производственного цикла $T^*(M)$.

Характер изменения частных критериев задачи в окрестности точек оптимальных решений при ограничениях $T(M) \leq T_{\max}$ для коэффициента запуска и $K_{зан}(M) \leq K_{\max}$ для длительности производственного цикла показан на рисунке 3. Отдельным маркером выделены оптимальные значения для каждого из критериев.

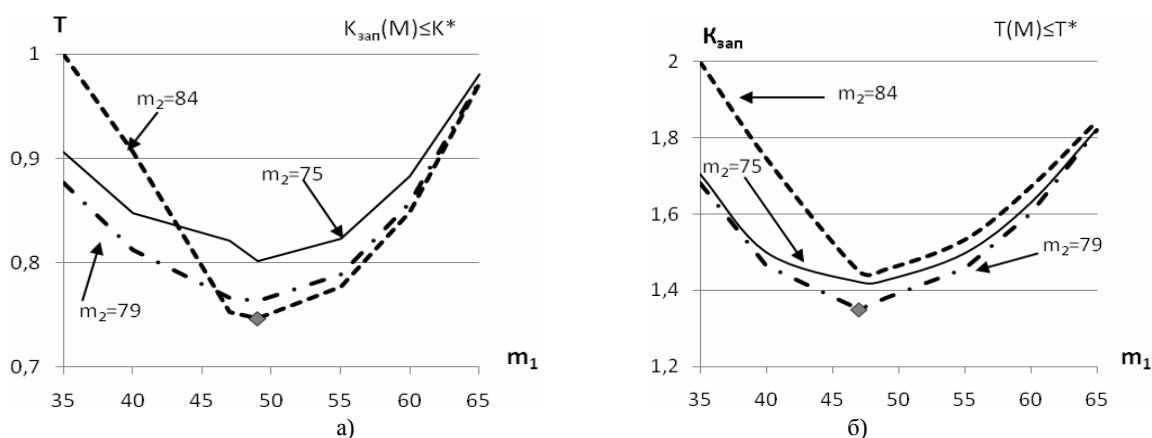


Рисунок 3 – Характер изменения частных критериев задачи многокритериального выбора интеллектуальной системы поддержки принятия решений: а) длительность производственного цикла; б) коэффициент запуска

Следующий этап решения задач многокритериального выбора заключается в построении множества парето-оптимальных векторов $P(F)$ и отображении построенного множества во множество парето-оптимальных решений $P_F(M)$. Парето-оптимальные множества построены в соответствии с известным алгоритмом [3] и на основании порядка предпочтений ЛПР относительно выбранных критериев (7), что изображено на рисунке 4.

Минимальные значения скалярных критериев и соответствующие им решения на отмечены символами: $\blacktriangle$ — минимальное значение коэффициента запуска; $\blacksquare$ — минимальное значение длительности производственного цикла.

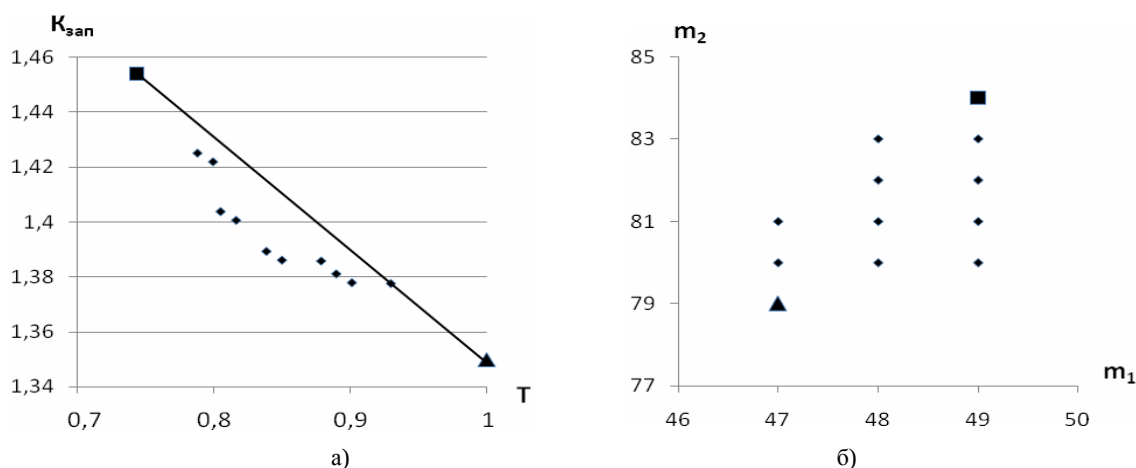


Рисунок 4 – Аппроксимация парето-оптимальных множеств задачи многокритериального выбора: а) множество парето-оптимальных векторов; б) множество парето-оптимальных решений

Для некоторых парето-оптимальных векторов из построенного множества в таблице 2 приведены эффективные решения, соответствующие векторам F_1 и F_2 , в которых каждый из скалярных критериев принимает минимальное значение, а также вектору F_3 , находящемуся на равном расстоянии от векторов F_1 и F_2 . В этой же таблице указаны и соответствующие представленным векторам параметры управления ТП: координаты центров настройки и интенсивности использования этих центров.

Таблица 2 – Эффективные значения параметров технологического режима

Отношение предпочтения ЛПР относительно скалярных критериев	Длительность производственного цикла, у.е. времени	Коэффициент запуска	Центры настройки, Вт		Интенсивности использования центров, %	
			m_1	m_2	P_1	P_2
$F_1(K_{зан}^*(M), T(M))$	1	1,35	47	79	43	57
$F_2(K_{зан}(M), T^*(M))$	0,73	1,46	49	84	42	58
$F_3 = \min d(F_1, F_2)$	0,82	1,38	49	81	44	56

Представленные многокритериальные модели параметрической коррекции и методы выбора решений, основанные на принципе Парето можно использовать в системах поддержки принятия решений при оперативном управлении технологическими процессами микроэлектроники.

В перспективе исследования можно получить сужение парето-оптимальных множеств в рамках решения многокритериальных задач, что и является третьим этапом решения задачи многокритериального выбора. Однако для решения этого этапа задачи необходима дополнительная информация о предпочтениях ЛПР относительно построенного множества решений.

Бібліографічний список використовуваної літератури

1. Балакирева И.А. Оптимизация многономенклатурных технологических процессов микроэлектроники на основе интеллектуального регулятора / И.А. Балакирева, А.В. Скатков // Оптимизация производств. процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2005. — Вып. 8. — С. 115–122.
2. Балакирева И.А. Обеспечение гарантоспособности системы управления многономенклатурным производством КМОП БИС / И.А. Балакирева, А.В. Скатков // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — Харьков: Изд-во ХАИ, 2009. — №6 (40). — С. 26–31
3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 144 с.

Поступила в редакцию 08.10.2010 г.

Скатков О.В., Балакірева І.А. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішення в багатокритерійних завданнях управління КМОП-технологіями

Виконана постановка завдання багатокритерійного вибору інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при управлінні КМОП-технологіями. Побудована парето-оптимальна множина рішень поставленої задачі і на підставі проведених обчислювальних експериментів обговорюються отримані результати.

Ключові слова: інтелектуальні інформаційні технології управління, багатономенклатурне виробництво, КМОП-технологія, багато-критерійний вибір, парето-оптимальна множина.

Skatkov A.V, Balakireva I.A. Decision-making intellectual systems in multiple criteria problems in the sphere of CMOS-technology control

The statement of the problem multiple criteria choice in the sphere of CMOS-technology control under the decision-making intellectual system is developed. The Pareto-optimal set is created and the results of the experiments are discussed.

Keywords: intellectual IT control, multi-nomenclature production, CMOS-technology, multiple criteria choice, Pareto-optimal set.