

УДК 658.012:681.324

И.А. Балакирева, доцент, канд. техн. наук*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: kvf@sevgtu.sebastopol.ua***ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Выполнена постановка задачи параметрической коррекции технологических процессов при управлении многономенклатурным производством изделий микроэлектроники на основе многокритериальной модели. Предложен метод решения поставленной задачи и на основании проведенных вычислительных экспериментов обсуждаются полученные результаты.

Ключевые слова: многономенклатурное производство, технологический режим, центр настройки, векторная оптимизация, частные решения, метод приоритетов.

Воздействие случайных факторов на технологические процессы микроэлектроники, приводит к разбросу параметров выпускаемых изделий, т.е. к выпуску при единой технологии изделий различных типов. В условиях массового производства изделий микроэлектроники (МЭ) разброс значений параметров, по которым определяется принадлежность к тому или иному типу, неизбежен. Поэтому после завершения технологического цикла изготовления изделий МЭ проводится их классификация по типонаминалам. Так, например, фирма Intel выпускает процессоры, основанные на КМОП-технологии. Потребляемая мощность процессоров составляет порядка 35 Вт для мобильных компьютеров, порядка 65 Вт – для настольных и порядка 80 Вт – для серверного процессора.

Цель статьи заключается в формулировке задачи параметрической коррекции технологического процесса (ТП) для повышения гарантоспособности системы оперативного управления ТП, заключающуюся в гибкости управления параметрами процесса и выполнении плана по номенклатуре, а также снижению издержек, связанных с запуском изделий в производство.

В связи с этим целесообразно сформулировать задачу управления технологическим процессом так, чтобы при выполнении плана по номенклатуре минимизировать объем запуска изделий в производство при минимальном объеме выпуска брака.

Особенность многономенклатурных ТП состоит в следующем. При изменении значений математических ожиданий выходных параметров изделий $M = \{m(y_1), \dots, m(y_k)\}$ 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 операции классификации изделий или полуфабрикатов выражает вероятностную связь между объемами выхода изделий в номенклатурные группы и объемом запуска их на классификацию, и представлена в виде системы уравнений:

$$z_i = p_i(X, U, v, S, R) \cdot N, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где z_i – объем выхода изделий в i -ю номенклатурную группу; $p_i(X, U, v, s, R)$ – вероятность выхода изделий в i -ю номенклатурную группу, в общем случае определяемая значениями: входных параметров ТП, не подлежащих управлению – X , управляющими воздействиями – U , воздействиями случайных факторов v , состоянием самого ТП – S и значениями регулирующих воздействий – R ; N – объем запуска изделий на классификацию.

При использовании нескольких центров настройки в ходе ТП математическая модель операции классификации изделий (1) представляется в виде следующей системы уравнений

$$z_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где z_i – объем выхода изделий в i -ю номенклатурную группу $i = \overline{1, m}$; матрица коэффициентов p_{ij} системы уравнений является функцией параметров распределений классификационных признаков, полученных при каждом из центров настройки ТП; η_j – объем выпуска изделий при использовании j -го центра настройки, который равен $\eta_j = P_j N$. Коэффициенты P_j характеризуют долю времени

использования каждого центра по отношению ко всей длительности ведения 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 $m_Y^j(U)$ и интенсивности его использования в ходе ТП определим как j -й технологический режим [1].

Введем показатель – коэффициент запуска изделий в производство, равный отношению объема запуска изделий N к объему выпуска годных изделий Q . Этот показатель определяется также и положением центров настройки ТП: $K_{зан}(M) = N/Q$. Тогда цель задачи управления можно выразить следующим соотношением:

$$K_{зан}(M) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Будем считать, что выпуск изделий осуществляется в m номенклатурных групп с границами $G = \{g_1, g_2, \dots, g_{m+1}\}$. Число используемых центров настройки равно n .

Объем выпуска брака $\eta_j^{\bar{p}}$ для j -го центра равен

$$\eta_j^{\bar{p}} = \int_{-\infty}^{g_1} f(Y|m_j(Y)) + \int_{g_{m+1}}^{\infty} f(Y|m_j(Y)),$$

где $f(Y|m_j(Y))$ – функция плотности распределения классификационных признаков Y в центре настройки m_j .

Тогда цель задачи, относящуюся к минимизации брака, можно выразить следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n \eta_j^{\bar{p}} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Объем выпуска изделий в каждую из номенклатурных групп представляется ограничением:

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Здесь p_{ij} – вероятность выпуска изделий в i -ю номенклатурную группу при использовании j -го центра настройки; q_i – план выпуска изделий в i -ю номенклатурную группу. Общий план выпуска изделий в процессе производства равен $\sum_{i=1}^m q_i = Q$.

Учитывая соотношения (2) – (5) можно построить модель управления многономенклатурным ТП, минимизирующую коэффициент запуска изделий в производство при минимальном выпуске брака и при условии выполнения планового задания:

$$F_1 = \sum_{j=1}^n \eta_j^{\bar{p}} \rightarrow \min, \quad F_2 = K_{зан}(M) \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Задача (6), (7) представляет собой задачу многокритериального нелинейного математического программирования. При решении таких задач невозможно найти такое решение, которое одновременно оптимизировало бы все имеющиеся целевые функции, поэтому в такой ситуации речь может идти лишь о некотором «эффективном решении» или компромиссном [2].

Если лицо, принимающее решение (ЛПР), располагает некоторой вещественной функцией предпочтения, то многокритериальную (векторную) задачу математического программирования можно свести к задаче скалярной минимизации, основанной, например, на методе приоритетов [2, 3]. Согласно методу приоритетов поочередно решаются скалярные задачи оптимизации, начиная с задачи с целевой функцией, имеющей наивысший приоритет. В процессе решения последовательных задач решение

задачи с целевой функцией, имеющей более низкий приоритет не должно ухудшить полученные ранее решения задач с целевыми функциями, имеющими более высокий приоритет.

Для анализа сформулированной задачи (6), (7) были проведены вычислительные эксперименты на примере производства КМОП-процессоров. Классификация процессоров проводилась по значению потребляемой мощности P . Выделено три номенклатурные группы. План выпуска в каждую группу представлен в процентном отношении к общему производственному плану. Характеристики групп приведены 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, %	20	50	30

При этом ставилась задача определения технологического режима, минимизирующего как объем выхода брака, так и коэффициент запуска изделий в производство; при этом необходимо выполнение плана по объему и номенклатуре. В рамках проведения эксперимента предполагалось: значения потребляемой мощности распределены нормально с заданными параметрами; используется два центра настройки. Предполагалось, что целевая функция F_1 имеет более высокий приоритет, чем F_2 (6). Первый этап решения проводился согласно модели:

$$F_1 = \sum_{j=1}^n \eta_j^{\text{бп}} \rightarrow \min \quad \text{при ограничениях} \quad \sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

В результате решения задачи (8) был определен технологический режим, при котором достигается минимальный объем выхода бракованных изделий – $F_1 = N_{\text{бп}}^*$. На следующем этапе решения в качестве целевой функции используется F_2 (6), а в систему ограничений (7) вводится дополнительное, которое не позволяет ухудшить значение целевой функции F_1 :

$$F_2 = K_{\text{зап}}(M) \rightarrow \min \quad \text{при ограничениях} \quad \sum_{j=1}^n \eta_j^{\text{бп}} \leq N_{\text{бп}}^*, \quad \sum_{j=1}^n p_{ij} \eta_j \geq q_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Результаты эксперимента в соответствии с моделями (8), (9) представлены в таблице 2 и показаны на рисунке 1.

Таблица 2 – Оптимальные значения параметров технологического режима

Критерии оптимизации	Объем выпуска брака, %	Коэффициент запуска	Центры настройки		Интенсивности использования центров	
			m_1	m_2	P_1	P_2
Частная оптимизация в соответствии с критерием F_1	21	1,86	65	80	100	0
Частная оптимизация в соответствии с критерием F_2	30	1,17	64	74	51	49
Совместная оптимизация F_1 и F_2	21	1,34	60	70	80	20

В результате вычислительного эксперимента установлено следующее.

1. Задача (6), (7) имеет частные оптимальные решения в области изменения классификационных признаков.

2. При решении частной задачи минимизации объема выхода брака при определенном плане выпуска изделий, использование двух центров настройки нецелесообразно, поскольку интенсивность использования одного из центров настройки равна нулю. В таком случае выпуск изделий осуществляется при единственном технологическом режиме, интенсивность использования которого равна 100%, например $m_1=65$ Вт (таблица 2).

3. В случае, когда интенсивности использования центров настройки ТП отличны от нуля, предполагается использования двух центров настройки. При этом должна решаться задача переналадки технологического режима. На рисунке 2 изображены функции плотности распределения потребляемой мощности КМОП-процессоров, соответствующие различным технологическим режимам и используемым критериям оптимальности.

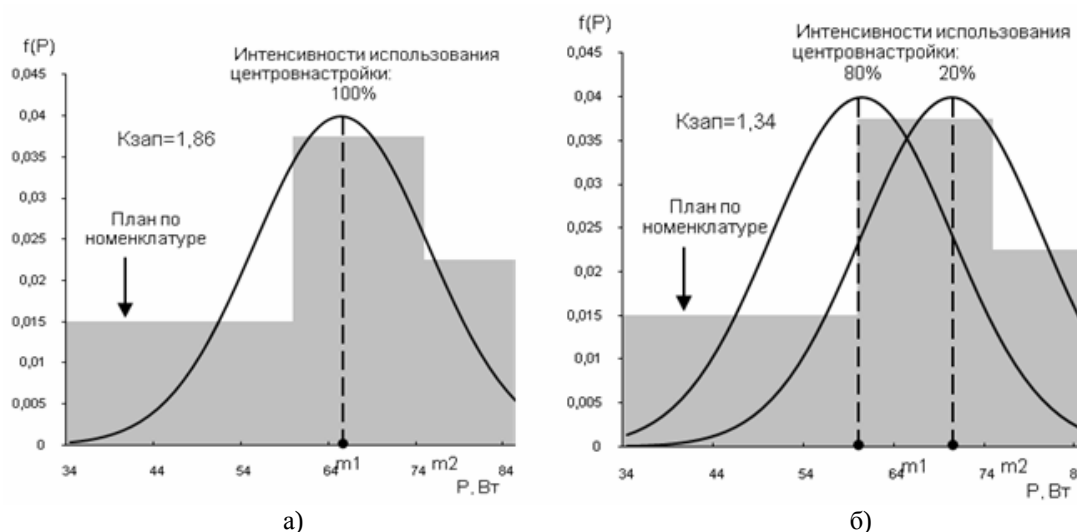


Рисунок 1 – Функции плотности распределения потребляемой мощности КМОП-процессоров при различных критериях: а) оптимальное решение, минимизирующее объем выхода брака; б) компромиссное решение, минимизирующее как объем выхода брака, так и коэффициент запуска изделий в производство

4. Использование большего числа центров настройки может привести к снижению значения коэффициента запуска, но в такой ситуации необходимо учитывать, что любое изменение технологического режима связано с определенными материальными затратами. Здесь может иметь место компромиссное решение между снижением коэффициента запуска и минимизацией затрат на переналадку.

В заключение можно сказать, что рассмотренные многокритериальные модели в дальнейшем можно применить в процессе принятия решений многономенклатурным производством.

Библиографический список

1. Балакирева И.А. Оптимизация режима настройки технологического процесса при управлении многономенклатурным производством изделий микроэлектроники производства / И.А. Балакирева, Л.А. Литвинова, А.В. Скатков // Оптимизация производств. процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2004. — Вып. 7. — С. 123–129.
2. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 416 с.
3. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций, 6-е издание: пер. с англ. / Таха Хэмди А. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. — 912 с.

Поступила в редакцию 18.05.2010 г.