

УДК 681.324

А.В. СКАТКОВ, И.А. БАЛАКИРЕВА

Севастопольский национальный технический университет, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ КМОП БИС

Рассмотрена задача обеспечения гарантоспособности системы оперативного управления в условиях многономенклатурного производства изделий микроэлектроники. Предложен метод решения задачи, в основе которого используется двухуровневая задача минимизации коэффициента запуска, на его основе построена имитационная модель. Эффективность предлагаемого подхода показана на основании результатов вычислительного эксперимента. Предложена схема процесса принятия решений, которая может лечь в основу управления производством микроэлектроники.

Ключевые слова: гарантоспособность, коэффициент запуска, классификационные признаки, номенклатурная группа, центр настройки, двухуровневая задача.

Введение

Важнейший класс производственных задач выпуска изделий микроэлектроники (МЭ) связан с вопросами обеспечения гарантоспособности систем оперативного управления технологическими процессами (ТП). Известно, что гарантоспособные системы обладают рядом свойств, соблюдение которых позволяет исключить существенные материальные издержки, связанные прежде всего с неизбежным выпуском брака и объемом запуска изделий в производство, превышающим плановый объем выпуска [1].

Воздействие случайных факторов, действующих на техпроцесс, приводит к разбросу параметров выпускаемых изделий, то есть к выпуску при единой технологии изделий различных типов. В условиях массового производства изделий 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 типономиналам. 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 [2]. И поэтому важно в такой ситуации, исходя из реального спроса на процессоры различных типов, сформулировать задачу параметрической коррекции ТП с целью 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.

Постановка задачи. Значения управляющих параметров $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ на входе ТП определяют значения выходных параметров выпускаемых изделий $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$. Воздействие случайных факторов v на ход ТП приводит к разбросу значений выходных параметров относительно некоторого центра распределения – математического ожидания $m_Y(U)$ с соответствующей функцией плотности распределения $f(m_Y(U))$.

Если область допустимого изменения выходных параметров изделий разбить на некоторое число подобластей с фиксированными границами, то изделия, выпускаемые при определенном значении управляющих воздействий и соответствующим им центре распределения выходных параметров, можно отнести к различным группам. Подмножество выходных параметров ТП, по значениям которых определяется принадлежность изделий к той или иной группе, определим как классификационные признаки выпускаемых изделий. Множество изделий, значения классификационных признаков которых принадлежат некоторой области с заранее определенными границами, представляют собой определенную номенклатурную группу.

Изменение положения математического ожидания классификационного признака, определяемое значениями управляющих воздействий ТП, приводит к изменению вероятности выпуска изделий в ту или иную номенклатурную группу (рис 1). Центр распределения классификационных признаков выпускаемых изделий при фиксированных значениях управляющих воздействий $m_Y(U)$ определяет центр настройки ТП.

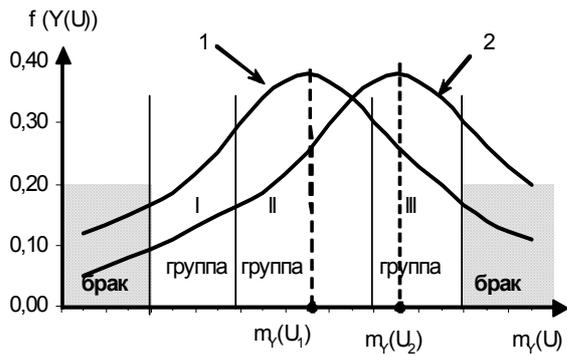


Рис. 1. Функции плотности распределения выходных параметров изделий при различных значениях их математических ожиданий $m_Y^1(U)$ и $m_Y^2(U)$

Управляя координатами центра настройки ТП $m_Y(U)$, можно преобразовать поверхность распределения классификационных признаков выпускаемых изделий в соответствии с поверхностью номенклатурного плана и, таким образом, 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.

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

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

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; коэффициенты P_j характеризуют долю времени использования каждого центра по отношению ко всей длительности ведения ТП, при этом $\sum_{j=1}^n P_j = 1$;

N – объем запуска изделий на классификацию. Величина P_j представляет собой интенсивность использования j -го центра настройки ТП, а $P_j N$ – объем выпуска изделий при использовании j -го центра настройки.

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. Формализация задачи управления многономенклатурным производством

Тип изделия характеризуется заданным набором признаков $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ – выходных контролируемых параметров ТП.

Изделие считается годным, если все его параметры y_i находятся в пределах установленных границ

$$y_{iH} \leq y_i \leq y_{iB}, \quad i = \overline{1, k},$$

где y_{iH} и y_{iB} – нижние и верхние границы возможного изменения выходного параметра y_i .

Каждый из выходных параметров $y_i, i = \overline{1, k}$ в общем случае является функцией вектора управляющих параметров $U = \{u_1, u_2, \dots, u_l\}$, то есть $y_i = \varphi(U)$.

Пределы изменения управляющих воздействий определены в ТУ, и для компонентов вектора U должны выполняться неравенства

$$u_{jH} \leq u_j \leq u_{jB}, \quad j = \overline{1, l},$$

где u_{jH} и u_{jB} – нижний и верхний пределы изменения входных управляющих воздействий.

Номенклатурной группе можно поставить в соответствие область в k -мерном пространстве классификационных признаков y_i и определяет типонаминал выпускаемых изделий.

Каждой номенклатурной группе изделий с соответствующим набором классификационных признаков

$$Y^i = \{y_1^i, y_2^i, \dots, y_k^i\}, \quad i = \overline{1, m},$$

где m – количество классификационных групп, соответствует некоторый вектор управляющих параметров

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_l\},$$

то множества векторов U отображается во множество векторов $Y: U \rightarrow Y$.

Значения классификационных признаков выпускаемых изделий определяются координатами центров настройки ТП. С целью преодоления технических трудностей рассмотрим случай, когда выпускаемое изделие характеризуется одним классификационным признаком.

Номенклатурные группы имеют следующие характеристики:

1. Значение классификационного признака для каждой из групп

$$Y = \{y^i\}, \quad i = \overline{1, m},$$

где m – количество номенклатурных групп.

2. Допустимая область изменения классификационного признака изделий Γ , причем $\Gamma = \bigcup_{i=1}^m G_i$ представляет собой объединение допустимых областей изменения классификационного признака y^i для каждой из номенклатурных групп. Для i -й группы область Γ представлена:

$$G_i = (g_{н}^i, g_{в}^i),$$

где $g_{н}^i$ и $g_{в}^i$ – соответственно нижняя и верхняя границы изменения классификационного признака для i -й номенклатурной группы.

Для единственного классификационного признака изделий область Γ представляется в виде вектора, определяющего границы номенклатурных групп

$$\Gamma = (g_1, g_2, \dots, g_i, g_{i+1}, \dots, g_m, g_{m+1}),$$

где g_i, g_{i+1} – соответственно нижняя и верхняя границы i -й номенклатурной группы.

3. План выпуска изделий в i -ую номенклатурную групп $q_i, i = \overline{1, m}$. Общий план выпуска изделий

будет равен $Q = \sum_{i=1}^m q_i$. Между планом запуска

изделий N и планом выпуска Q существует соотношение $N \geq Q$, поскольку часть изделий выпускается не соответствующими техническим условиям, то есть бракованными.

4. Вероятность выхода изделий в i -ую номенклатурную группу при использовании j -го режима настройки ТП. При вероятностном характере производства изделий многономенклатурных процессов каждый из возможных технологических режимов дает определенные значения классификационного параметра Y , который описывается соответствующей функцией распределения.

Вероятность выхода изделия в ту или иную классификационную область зависит от координат центра настройки ТП m_{yj} – математического ожидания, $j = \overline{1, n}$.

При заданных координатах j -го центра настройки ТП i -й номенклатурной группе с заданными границами изменения классификационных признаков можно поставить в соответствие вероятность выхода в нее изделий [3]:

$$p_{ij} = \int_{g_i}^{g_{i+1}} f(y|m_{yj}) dy,$$

где $f(y|m_{yj})$ – условная функция плотности вероятности распределения классификационного признака y при j -м центре настройки ТП, g_i, g_{i+1} – соответственно нижняя и верхняя границы i -й номенклатурной группы.

При использовании n технологических режимов, m номенклатурных групп и формировании групп по единственному классификационному признаку вероятности выхода изделий в группы при различных режимах настройки представлены матрицей вероятностей. $P = |p_{ij}|$.

Если в качестве критерия оптимальности многономенклатурного производства принять производственный запуск, обеспечивающий минимальное перекрытие планового задания по номенклатуре, то задачу оптимизации режимов настройки ТП для фиксированного центра можно представить следующим образом.

Определить минимум функции

$$\sum_{j=1}^n P_j N_j \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} P_j N_j \geq q_i. \quad (3)$$

В задаче (2), (3) минимизируется линейная форма в общем случае при нелинейных ограничениях. Однако если задано положение центра настройки процесса m_{yj} и известна функция плотности распределения значений классификационных параметров $f(y|m_{yj})$, то можно определить значения p_{ij} и сформировать матрицу вероятностей. В этом случае условия (3) линейны относительно неизвестных $P_j N_j$, и задача (2), (3) представляет собой задачу линейного программирования.

Введем величину – коэффициент запуска – $K_{зап}$, характеризующий перекрытие планового распределения изделий по номенклатурным группам общим объемом запуска изделий:

$$K_{зап} = \sum_{j=1}^n P_j N_j / \sum_{i=1}^m q_i. \quad (4)$$

Коэффициент запуска определяется технологическим режимом, то есть зависит от координат центра настройки ТП

$$M = (m_{y1}, m_{y2}, \dots, m_{yn}).$$

Таким образом, выбрав определенный вектор M и, учитывая (4) можно минимизировать запуск изделий в производство.

Итак, задача минимизации коэффициента запуска изделий в многономенклатурных производственных системах с учетом задачи (2), (3) представляется:

$$\hat{E}_{\text{зап}}(M) \rightarrow \min ; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j N_j \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} P_j N_j \geq q_i . \quad (7)$$

Задача (5) – (7) является двухуровневой задачей математического программирования, в которой задача (5) является ведущим элементом многономенклатурной производственной системы и относится к классу задач нелинейного математического программирования. В результате ее решения определяется M^* – оптимальный набор центров настройки ТП. Ограничения задачи (7) определяются техническими условиями производственной системы и учитываются в поисковых алгоритмах при определении оптимального режима.

Задача (6) при ограничениях (7) представляет собой ведомый элемент многономенклатурной производственной системы и относится к классу задач линейного математического программирования. Здесь определяется оптимальный технологический режим (P_j^*) , $j = \overline{1, n}$ использования центров настройки с координатами M^* .

Решение задачи (6) – (7) позволяет определить коэффициент запуска при фиксированном наборе центров настройки ТП. Далее, на основе поисковых алгоритмов, определяется следующий набор центров настройки, при котором коэффициент запуска уменьшится. Таким образом, можно найти набор центров настройки ТП, при котором коэффициент запуска достигает своего минимального значения при условиях выполнения плана по номенклатуре. В завершении вычислительных процедур определяются интенсивности использования P_j каждого из центров настройки.

2. Вычислительный эксперимент

Для анализа сформулированной задачи (5)-(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 процент-

ном отношении к общему производственному плану. Характеристики групп приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики групп

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

При этом ставилась задача определения технологического режима, при котором коэффициент запуска изделий в производство был бы минимальным.

В рамках проведения эксперимента предполагалось: значения потребляемой мощности распределены нормально с заданными параметрами; используется два центра настройки. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов

План выпуска, %			Коэф. за- пуска, $K_{\text{зап}}$	Центры настройки, Вт		Интенсивности использования центров, %	
I	II	III		m_1	m_2	P_1	P_2
50	30	20	1,7	46	64	0	100
20	30	50	1,52	48	78	14	86
20	50	30	1,17	65	78	51	49

Решение задачи минимизации коэффициента запуска осуществлялось на основе метода конфигураций (Хука-Дживса.). Обоснование выбора методов прямого поиска приведено в [3]. В результате вычислительного эксперимента установлено следующее.

1. Задача (5)-(7) имеет точку минимума в области изменения классификационных признаков.

2. При фиксированных параметрах распределения классификационного признака результат решения задачи определяется производственным планом;

3. При определенном плане выпуска изделий, например (50, 30,20), использование двух центров настройки нецелесообразно, поскольку интенсивность использования одного из центров настройки равна 0. В таком случае выпуск изделий осуществляется при единственном технологическом режиме, интенсивность использования которого равна ста процентам, например $m_2=64$ Вт.

4. В случае, когда интенсивности использования центров настройки ТП отличны от нуля, предполагается использования двух центров настройки. При этом должна решаться задача переналадки технологического режима [4].

На рис. 2 представлены функции плотности распределения потребляемой мощности КМОП-процессоров, соответствующие различным технологическим режимам и производственному плану выпуска (20,50,30).

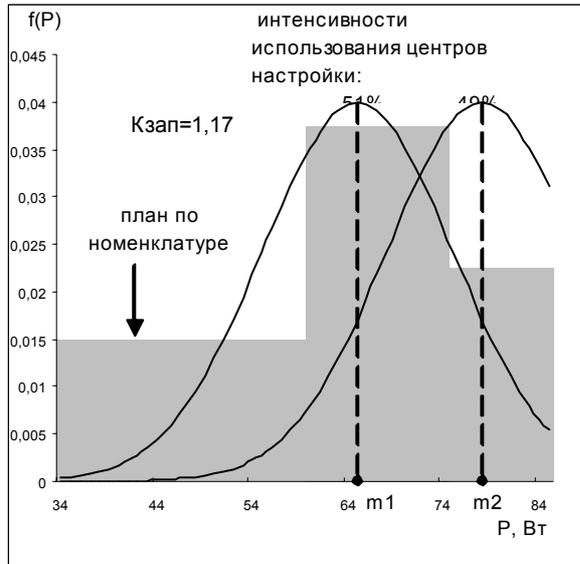


Рис. 2. Функции плотности распределения потребляемой мощности КМОП-процессоров для различных режимов настройки

5. Использование больше 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.

3. Схема процесса принятия решений

Особенности производства КМОП-процессоров, связанные с высокой стоимостью ресурсов и значительными энергозатратами, определяют подход к разработке СППР, которая обеспечивает гарантоспособность выбора наилучшего варианта и моделирования последствий решения задачи минимизации коэффициента запуска.

На основании исследования результатов решения задачи минимизации коэффициента запуска формируется описание типовых ситуаций, которое содержит:

- условия классификации КМОП-процессоров;
- плановое распределение изделий по номенклатурным группам;
- условия реструктуризации центров настройки ТП;
- наличие ограничений на эксплуатацию центров настройки.

Кроме того, при формировании заключений для управления ТП, необходимо установить характер зависимостей между управляющими параметрами ТП и признаками, положенными в основу классификации.

Учитывая описание типовых ситуаций и текущее состояние производственного процесса, СППР формирует рекомендации ЛПР оперативно-технического уровня. В качестве рекомендации выдаются следующие данные:

- количество используемых центров настройки ТП;
- координаты центров настройки ТП по каждому их классификационных признаков;
- интенсивности использования центров настройки;
- значения управляющих параметров ТП, при которых достигается вычисленные значения классификационных признаков – координаты центров настройки ТП.

Заключение

Предложен подход к обеспечению гарантоспособности системы оперативного управления производством КМОП-процессоров.

Построена двухуровневая модель задачи минимизации коэффициента запуска КМОП-процессоров в производство при условии классификации их по значению потребляемой мощности.

В результате проведения вычислительных экспериментов с моделью особенности решения задачи минимизации коэффициента запуска.

Предложена схема процесса принятия решений, которая может лечь в основу СППР при управлении производством КМОП-процессоров.

Литература

1. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С. Харченко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – № 5 (17). – С. 7-19.
2. Белоус А.И. Методы минимизации энергопотребления при проектировании КМОП БИС / А.И. Белоус, И.А. Мурашко, В.Я. Сякерский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – № 2(74). – С. 39-44.

3. Балакирева И.А. Оптимизация режима настройки технологического процесса при управлении многономенклатурным производством изделий микроэлектроники производства / И.А. Балакирева, Л.А. Литвинова, А.В. Скاتков // Оптимизация производств. процессов: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2004. – Вып. 7. – С. 123-129.

4. Балакирева И.А. Определение параметров управления с учетом скорости переналадок при многономенклатурном производстве / И.А. Балакирева, А.В. Скатков // Оптимизация производств. процессов: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2006. – Вып. 9. – С. 149-156.

Поступила в редакцию 21.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры Е.Т. Володарский, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНИМ ВИРОБНИЦТВОМ КМОП БІС

О.В. Скатков, І.А. Балакирева

Розглянуто завдання забезпечення гарантоздатності системи оперативного управління в умовах багатономенклатурного виробництва виробів мікроелектроніки. Запропонований метод рішення задачі, в основі якого використовується дворівневе завдання мінімізації коефіцієнта запуску, на його основі побудована імітаційна модель. Ефективність запропонованого підходу показана на підставі результатів обчислювального експерименту. Запропонована схема процесу ухвалення рішень, яка може лягти в основу управління виробництвом мікроелектроніки.

Ключові слова: гарантоздатність, коефіцієнт запуску, класифікаційні ознаки, номенклатурна група, центр настройки, дворівневе завдання.

PROVIDING OF DEPENDABILITY OF CONTROL THE SYSTEM BY MULTITOP-LEVEL PRODUCTION OF CMOS ENCORE

A.V. Skatkov, I.A. Balakireva

The task of providing of dependability of the system of operative management is considered in the conditions of multitop-level production of wares of microelectronics. The method of decision of task is offered, the two-tier task of minimization of coefficient of start is utilized in basis of which, on his basis a simulation model is built. Efficiency offered approach is rotined on the basis of results of calculable experiment. The chart of process of making a decision is offered, which can underlie management of operations of microelectronics.

Key words: dependability, coefficient of start, classification signs, top-level group, center of tuning, two-tier task.

Скатков Александр Владимирович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, e-mail: kvt@sevgtu.sebastopol.ua.

Балакирева Ирина Аркадьевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры кибернетики и вычислительной техники Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, e-mail: kvt@sevgtu.sebastopol.ua.