

УДК 658.012:681.324

**И.А. Балакирева, ст. преп., Л.А. Литвинова, канд. техн. наук, доцент,
А.В. Скатков, д-р техн. наук, профессор**

г. Севастополь, Студгородок, СевНТУ, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Рассмотрена задача оптимизации режимов настройки технологических процессов при управлении многономенклатурным производством изделий микроэлектроники. На основании проведенных вычислительных экспериментов предлагаются методы и обсуждаются результаты решения поставленной задачи.

Важнейший класс производственных задач выпуска изделий микроэлектроники (МЭ) связан с вопросами организации оперативного управления технологическими процессами (ТП), в результате реализации которых формируются классификационные параметры, определяющие тип изделия, а следовательно, и номенклатуру выпускаемых изделий в целом.

Неизбежный разброс параметров, определяющих наличие одного или нескольких определенных качественных признаков, воздействие случайных факторов приводят 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 типонаминалам.

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

Выход изделий в i -тую классификационную группу с границами (g_i, g_{i+1}) оценивается по формуле

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

где y_i – объем выпуска изделий в i -тую классификационную группу; p_{ij} – вероятность выхода изделий в i -тую классификационную группу, изготовленных при j -том технологическом режиме; P_j – вероятность использования j -го технологического режима; 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.

В такой ситуации целесообразно сформулировать цель исследований следующим образом: выполнить оптимизацию многономенклатурного производства изделий МЭ, т.е. определить оптимальные центры настройки режимов ТП, при которых выполнение плана по номенклатуре производится при минимальном перекрытии планового распределения.

Если в качестве критерия оптимальности многономенклатурного производства принять производственный запуск, необходимый для выполнения плана по номенклатуре, то математически задачу оптимизации можно представить следующим образом.

Определить минимум функции

$$f(P_1N, P_2N, \dots, P_mN) = \sum_{j=1}^m P_jN \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^m p_{ij}P_jN \geq l_i, \quad (2)$$

где l_i , $i = \overline{1, n}$ – требуемый по плану объем выпуска изделий в i -тую классификационную группу.

В задаче (1),(2) минимизируется линейная форма в общем случае при нелинейных ограничениях. Однако если задано положение центра настройки режима ТП m_{Yj} и известна функция плотности распределения значений классификационных параметров $f(Y|m_{Yj})$, можно определить значения p_{ij} :

$$P = \begin{pmatrix} \int_{g_1}^{g_2} f(Y|m_{Y1})dY & \int_{g_1}^{g_2} f(Y|m_{Y2})dY & \dots & \int_{g_1}^{g_2} f(Y|m_{Ym})dY \\ \int_{g_2}^{g_3} f(Y|m_{Y1})dY & \int_{g_2}^{g_3} f(Y|m_{Y2})dY & \dots & \int_{g_2}^{g_3} f(Y|m_{Ym})dY \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \int_{g_n}^{g_{n+1}} f(Y|m_{Y1})dY & \int_{g_n}^{g_{n+1}} f(Y|m_{Y2})dY & \dots & \int_{g_n}^{g_{n+1}} f(Y|m_{Ym})dY \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Тогда при известной матрице вероятностей $P=(p_{ij})$ условия (2) становятся линейными относительно неизвестных P_jN , а задача (1), (2) представляет собой задачу линейного программирования:

$$\sum_{j=1}^m P_j N \rightarrow \min \quad (4)$$

при ограничениях

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

Здесь же необходимо учитывать нормировочное уравнение $\sum_{j=1}^m P_j = 1$.

Решение задачи (4), (5) обычным симплекс-методом позволяет определить объемы запуска $P_j N$ при заданных параметрах настройки ТП, минимизирующих величину общего производственного запуска на классификацию при условиях выполнения плана по номенклатуре.

Введем величину – коэффициент запуска, характеризующий перекрытие планового распределения изделий по номенклатурным группам общим объемом запуска изделий:

$$K_{зан} = \sum_{j=1}^m P_j N \bigg/ \sum_{i=1}^n l_i. \quad (6)$$

Поскольку $\sum_{i=1}^n l_i = const$ для запуска ТП, задачу (4),(5) можно представить в соответствии с (6) в следующем виде:

$$K_{зан} \rightarrow \min \quad (7)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} P_j N \geq l_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Исходными данными для решения поставленной задачи являются следующие факторы.

План по номенклатуре изделий, задается вектором $L = (l_1, l_2, \dots, l_n)$.

Значения классификационных границ по параметру Y определяются вектором $G = (g_1, g_2, \dots, g_i, g_{i+1}, \dots, g_{n+1})$. Каждой i -той классификационной группе, заданной границами (g_i, g_{i+1}) , соответствует объем выпуска изделий l_i .

Формирование номенклатуры изделий производится путем их классификации по параметру Y . Поскольку область изменения классификационных параметров задается интервалом с границами (g_1, g_{n+1}) , распределение значений случайной величины Y является усеченным с точками усечения g_1 и g_{n+1} . Функция плотности распределения вероятностей в этом случае равна

$$f(Y, m_Y, g_1, g_{n+1}) = \begin{cases} 0, & Y \leq g_1 \\ f(Y), & g_1 < Y \leq g_{n+1} \\ 0, & Y > g_{n+1} \end{cases}.$$

Степень усечения – вероятность того, что случайная величина Y окажется вне интервала (g_1, g_{n+1}) равна

$$P\{Y \notin (g_1, g_{n+1})\} = 1 - P\{Y \in (g_1, g_{n+1})\} = 1 - \int_{g_1}^{g_{n+1}} f(Y) dY \text{ и в общем случае бу-}$$

дет определяться положением центра настройки технологического режима m_Y .

Исходная информация также содержит выбранные произвольно начальные значения математического ожидания m_Y .

Для анализа сформулированной задачи (7), (8) были проведены вычислительные эксперименты. При этом ставились следующие задачи: выявить наличие оптимума целевой функции (7) в области определения классификационных параметров; установить, как количество возможных центров настройки ТП и дисперсия распределения параметра Y влияют на значение коэффициента запуска; определить соотношение количеств классификационных групп изделий и центров настройки ТП.

Для выяснения наличия экстремума целевой функции задачи (7), (8) в области определения классификационных параметров были проведены вычислительные эксперименты при следующих условиях. Формирование типонаименований осуществлялось по трем классификационным группам для различных номенклатурных планов (рисунок 1) и для двух возможных центров настройки; закон распределения случайной величины Y – нормальный усеченный, заданный функцией плотности распределения

$$f(Y, m_Y, \sigma^2, g_1, g_{n+1}) = \begin{cases} 0, & Y \notin (g_1, g_{n+1}) \\ f(Y) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(Y - m_Y)^2\right\}, & g_1 < Y \leq g_{n+1} \end{cases}, \quad (9)$$

где m_Y и σ^2 – соответственно математическое ожидание и дисперсия распределения параметра Y , оценки которых определяются в результате статистического исследования ТП. Значения вероятностей p_{ij} в матрице (3) вычисляются в соответствии с выбранным законом распределения (9).

В результате эксперимента выяснено, что целевая функция в области определения классификационных параметров имеет экстремум. Характер изменения и величина целевой функции в окрестности точки экстремума определяется номенклатурным планом, тем не менее, можно выделить характерные особенности изменения целевой функции независимо от номенклатурного плана. Во-первых, целевая функция может достигать минимума не в единственной точке, а на некотором множестве значений параметра Y , что говорит о возможности использования альтернативных режимов настройки ТП; во-вторых, функция имеет ярко выраженный овражный рельеф. Это свойство целевой функции является определяющим при выборе методов оптимизации при решении задачи (7), (8). На рисунке 2 изображены значения целевой функции для различных номенклатурных планов.

В ходе вычислительного эксперимента для определения точки экстремума задачи (7), (8) применялись методы прямого поиска экстремума, из них метод покоординатного спуска и метод конфигураций (метод Хука-Дживса), а также градиентный метод. Эффективность метода оценивалась количеством вычислений целевой функции (7) при фиксированной точности вычислений и начальных координатах поиска.

Установлено, что согласно выбранному критерию наиболее эффективными являются алгоритмы прямого поиска. Если количество возможных технологических режимов невелико – ($m \leq 3$), задачу (7), (8) предлагается решать с помощью метода Хука-Дживса, при количестве режимов $m > 3$ наиболее эффективным является метод покоординатного спуска.

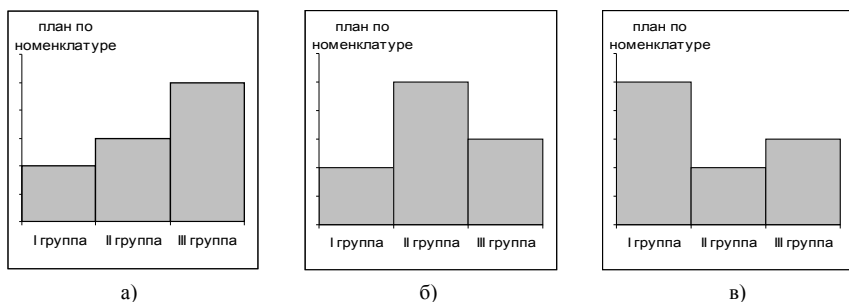


Рисунок 1 – Номенклатурные планы: а) – монотонный; б) – центрально-симметричный; в) – мультимодальный

Поскольку целевая функция имеет овражный рельеф, а в окрестности экстремума принимает практически равные значения, применение градиентных методов становится неэффективным.

На рисунке 3 показана линиями равного уровня целевая функция для монотонного номенклатурного плана и траектории спуска к экстремуму, полученные в результате реализации различных методов: штриховой линией – спуск, осуществляемый градиентным методом, штрих-пунктирной – методом покоординатного спуска и сплошной линией – методом Хука-Дживса. Видно, что целевая функция имеет овражный рельеф, область А представляет собой область альтернативных решений задачи оптимизации режимов настройки ТП. Значения целевой функции в этой области практически равны между собой. При наличии некоторых дополнительных ограничений, например, различной стоимости эксплуатации цен-

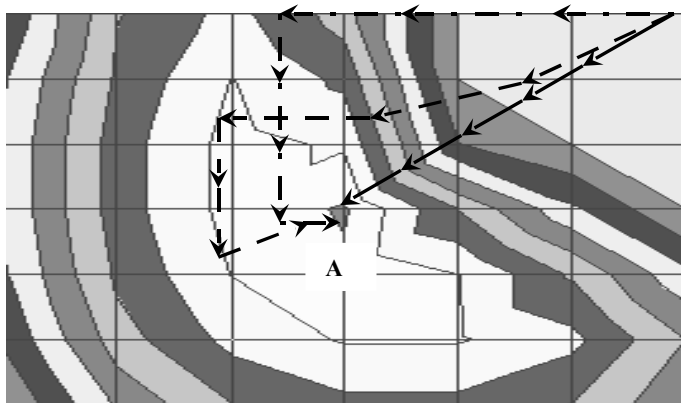
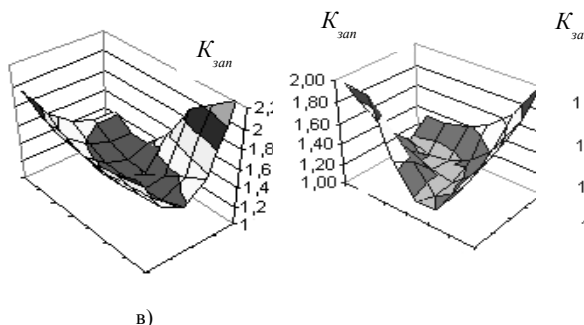


Рисунок 3 – Поиск экстремума целевой функции для монотонного номенклатурного плана: А – область минимума функции



а)

б)

в)

Рисунок 2 – Характер изменения целевой функции (значения коэффициента запуска) в окрестности точки экстремума: а) –

тров настройки или при наличии затрат на регулировку центров, область минимальных значений целевой функции может быть сокращена.

В заключение можно сказать, что выражения (7), (8) являются математической моделью задачи оптимизации режимов настройки ТП в условиях многономенклатурного производства. Эту модель можно использовать как базовую для решения различных задач оперативного управления технологическими процессами, например, при наличии ограничений на использование центров настройки ТП. Формулировка и решение этих задач будет являться объектом дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Глудкин О.П. Статистические методы в технологии производства радио-электронной аппаратуры / О.П. Глудкин. — М.: Энергия, 1977. — 296 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. — М.: Наука, 1964. — 576 с.
3. Реклейтис Г., Оптимизация в технике: [в 2-х т.] Пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Регсдел. — М.: Наука, 1984. — Т. 1. — 352 с.; — Т. 2. — 320 с.

Поступила в редакцию 6.02.2004 г.