

УДК658.012:681.324

Балакірєва І.<sup>1</sup>; Скатков А.<sup>2</sup>, докт.техн.наук

<sup>1</sup>Севастопольський національний технічний університет

<sup>2</sup>Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР НАСТРОЮВАННЯ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ

*Виконано постановку задачі оптимізації режимів настроювання технологічних процесів при управлінні багатономенклатурним виробництвом виробів мікроелектроніки із врахуванням вартості експлуатації центрів настроювання. Запропоновано метод вирішення поставленої задачі і на основі проведених обчислювальних експериментів обговорюються отримані результати.*

### Умовні позначення

$Z_i$  – об'єм випуску виробів;

$p_{ij}$  – ймовірність виходу виробів;

$P_j$  – ймовірність (інтенсивність) використання  $j$ -того технологічного режиму;

$N$  – загальний об'єм запуску виробів на операцію класифікації;

$P_j N$  – об'єм запуску виробів при використанні  $j$ -того режиму;

$G_i$  – область зміни класифікаційних ознак виробів.

Важливий клас задач виробництва виробів мікроелектроніки (МЕ) пов'язаний з питаннями оптимізації оперативного управління процесами (ТП), в результаті реалізації яких формуються класифікаційні параметри, що визначають тип виробів, і, відповідно, номенклатуру виробів в цілому.

Розкид параметрів, що визначають наявність однієї чи кількох визначених якісних ознак, вплив випадкових факторів призводить до випуску за єдиною технологією виробів різних типів. В умовах масового виробництва виробів МЕ завжди потрібне визначення розкиду значень параметрів, за яким визначається приналежність до того чи іншого типу. Тому після завершення технологічного циклу виготовлення виробів МЕ проводиться їх класифікація за типоміналом.

При імовірнісному характері виробництва виробів МЕ кожен із можливих технологічних режимів подає певні значення класифікаційних параметрів  $Y$ , які описуються відповідною функцією розподілу. Математичне очікування такого розподілу є центром настроювання П при даному технологічному режимі  $m_{\gamma}$ .

Вихід виробів в  $i$ -ту класифікаційну групу можна подати як  $z_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} P_j N$ ,  $i = \overline{1, m}$ , де  $z_i$  – об’єм випуску виробів в  $i$ -ту класифікаційну групу,  $p_{ij}$  – ймовірність виходу виробів у  $i$ -ту класифікаційну групу, виготовлених при  $j$ -тому технологічному режимі,  $P_j$  – ймовірність (інтенсивність) використання  $j$ -того технологічного режиму,  $N$  – загальний об’єм запуску виробів на операцію класифікації,  $P_j N$  – об’єм запуску виробів при використанні  $j$ -того режиму. Таким чином, необхідна кількість типоміналів виробів буде отримана шляхом використання різних режимів ТП, зміною центрів його настроювання.

В такій ситуації доцільно сформулювати задачу оптимізації багатомінімумного виробництва виробів МЕ, тобто визначити оптимальні центри настроювання режимів ТП, при яких виконання плану за номенклатурою відбувається при мінімальному перекриванні планового розподілу.

Якщо в якості критерію оптимальності багатомінімумного виробництва прийняти виробничий запуск, необхідний для виконання плану за номенклатурою, тоді математично задачу оптимізації можна подати таким чином.

Визначити мінімум функції

$$f(P_1 N, P_2 N, \dots, P_n N) = \sum_{j=1}^n P_j N \quad (1)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} P_j N \geq q_i, \quad (2)$$

де  $q_i, i = \overline{1, m}$  – необхідний за планом об’єм випуску виробів в  $i$ -ту класифікаційну групу.

В задачі (1), (2) мінімізується лінійна форма в загальному випадку при нелінійних обмеженнях. Однак якщо задано розташування центру настроювання режиму ТП  $m_{yj}$  відома функція густини розподілу значень класифікаційних параметрів  $f(Y|m_{yj})$ , можна визначити значення  $p_{ij} = \int_{G_i} \dots \int f(Y|m_{yj}) dY$ , де  $G_i$  – область зміни класифікаційних ознак виробів у  $i$ -тій номенклатурній групі. Тоді при відомій матриці ймовірностей  $P = \|p_{ij}\|$  умова (2) є лінійною відносно невідомих  $P_j N$ , а задача (1), (2) є задачею лінійного програмування.

$$\sum_{j=1}^n P_j N \rightarrow \min \quad (3)$$

при обмеженнях

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

Тут же необхідно враховувати нормувальне рівняння  $\sum_{j=1}^n P_j = 1$ . Вирішення задачі (3), (4) звичайним методом дозволяє визначити об’єми запуску  $P_j N$  при заданих параметрах настроювання, які мінімізують величину загального виробничого запуску на класифікацію при умовах виконання плану за номенклатурою.

Введемо величину – коефіцієнт запуску, що характеризує перекриття планового розподілу виробів за номенклатурними групами і загальним об’ємом випуску виробів:

$$K_{зан} = \sum_{j=1}^n P_j N / \sum_{i=1}^m q_i. \quad (5)$$

Визначивши  $N$  - об'єм запуску виробів в результаті вирішення задачі (5), (6) можна згідно виразу (5) обчислити коефіцієнт запуску.

У задачі (3), (4) відсутні будь-які обмеження на умови використання центрів настроювання ТП. Однак на практиці може статися, що необхідно враховувати вартість експлуатації центрів настроювання. У зв'язку з цим координати центру настроювання, які мінімізують коефіцієнт запуску, повинні визначатися із врахуванням затрат на експлуатацію.

В такій ситуації доцільно сформулювати задачу визначення розташування центрів настроювання ТП, які мінімізують коефіцієнт запуску, при мінімальних затратах на експлуатацію даних центрів.

Нехай при експлуатації  $j$ -того режиму ТП вводиться штраф за випуск одиниці продукції при даному центрі настроювання, що дорівнює  $c_j$ . Величина штрафу є функцією координат центру настроювання ТП  $c_j = c(m_{yj})$ . Тоді розмір штрафу для випуску всього об'єму виробів, вироблених при  $j$ -тому режимі складає  $c(m_{yj})P_j N$ , а при усіх можливих режимах  $\sum_{j=1}^n c(m_{yj})P_j N$ . Тоді при заданому номенклатурному плані виробництва виробів можна сформулювати задачу визначення центрів настроювання ТП, що мінімізують коефіцієнт запуску і затрати на експлуатацію центрів настроювання:

$$\sum_{j=1}^n c(m_{yj})P_j N \rightarrow \min \quad (6)$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n p_{ij}P_j N &\geq q_i, \quad i = \overline{1, m} \\ \sum_{j=1}^n P_j &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Задача (3), (4), як і задача (6), (7) є задачею лінійного програмування. З обчислювальної точки зору до таких задач використовують одні і ті ж методи вирішення. При рівних обмеженнях (4), (7) поставлених задач значення коефіцієнтів цільових функцій відрізняються, що може призвести до різних результатів їхнього вирішення.

В такому випадку слід обґрунтувати вплив коефіцієнтів цільової функції (6) на розташування координат та інтенсивності використання центрів настроювання ТП, а також - на величину коефіцієнта запуску.

Вихідними даними для вирішення поставленої задачі є такі фактори.

План за номенклатурою виробів задається вектором  $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ .

Формування номенклатури виробів відбувається шляхом класифікації за параметром  $Y$ , що в загальному випадку має розмірність  $k$ , однак в рамках статті розглядають одномірний параметр  $Y = (y)$ .

Значення класифікаційних меж номенклатурних груп за параметром  $y$  визначаються вектором  $G = (g_1, g_2, \dots, g_i, g_{i+1}, \dots, g_{n+1})$ . Кожній  $i$ -тій класифікаційній групі, що задається межами  $(g_i, g_{i+1})$ , відповідають об'єм випуску виробів  $q_i$ .

Зміна величини штрафу в залежності від координат центрів настроювання ТП задано функцією  $c(m_y)$ , яка показана на рис.1.

Вихідна інформація також містить початкові координати центрів настроювання  $m_{y_j}$ .

Для порівняльного аналізу результатів сформульованих задач (3), (4) і (6), (7) були проведені обчислювальні експерименти. При цьому були поставлені такі цілі: виявити наявність оптимуму цільових функцій (3) і (6) в області визначення класифікаційних параметрів; визначити вплив коефіцієнтів цільової функції (6) на розташування координат центру настроювання ТП та інтенсивності їх використання, а також на величину коефіцієнта запуску.

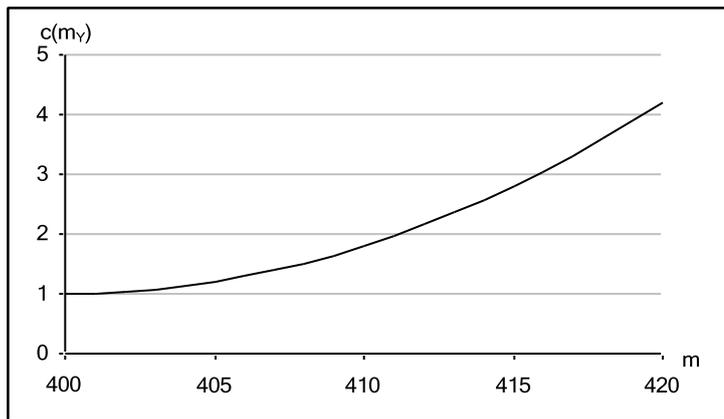


Рис.1. Функція штрафу за експлуатацію центру настроювання

В процесі експериментів розглядався ТП напilenня резистивних сплавів з магнетронного джерела, що є складовою частиною виробництва гібридних інтегральних мікросхем. Формування номенклатури виробів після технологічного циклу здійснюється за трьома класифікаційними групами для різних номенклатурних планів і для двох можливих центрів настроювання за значенням поверхневого опору (УДПО) напilenого на підложку резистивного сплаву. Закон розподілу значень УДПО - нормальний зрізаний, що задається функцією густини розподілу.

В результаті попередніх досліджень встановлено, що цільова функція задачі (3), (4) досягає свого мінімуму в області зміни класифікаційних параметрів. Однак можна виділити деяку сукупність точок області, в яких значення коефіцієнта запуску співпадають до третього-четвертого десяткового знака, тобто вони практично рівні між собою (див. рис. 2). В даному випадку можна говорити не про єдину точку мінімуму цільової функції (3), а про область її мінімуму. Розмір області, перш за все, визначається параметрами закону розподілу вихідних класифікаційних параметрів і плановим наданням  $q_i, i = \overline{1, m}$ . Такий характер зміни цільової функції (3) свідчить про те, що можливе використання альтернативних центрів настроювання, при яких коефіцієнти запуску практично рівні. Наявність обмежень на умови експлуатації центрів настроювання звужує область мінімуму цільової функції.

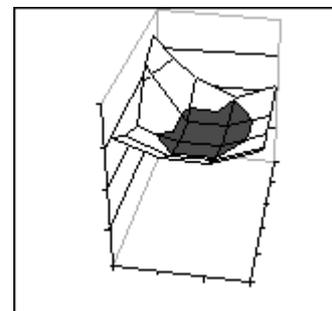


Рис.2. Характер зміни коефіцієнта запуску

Результати дослідження впливу вартості експлуатації центрів настроювання на значення об'єму запуску, і, відповідно, коефіцієнта запуску показані на рис. 3 центрами настроювання і функціями густини розподілу значень УДПО, що їм відповідають. Крім того, на графіках (рис. 3, а, в) виділено сірим фоном план випуску виробів у номенклатурні групи. Інтенсивності використання центрів настроювання ТП при відсутності і наявності вартісних обмежень на експлуатацію центрів настроювання подані на рис.3, б, г.

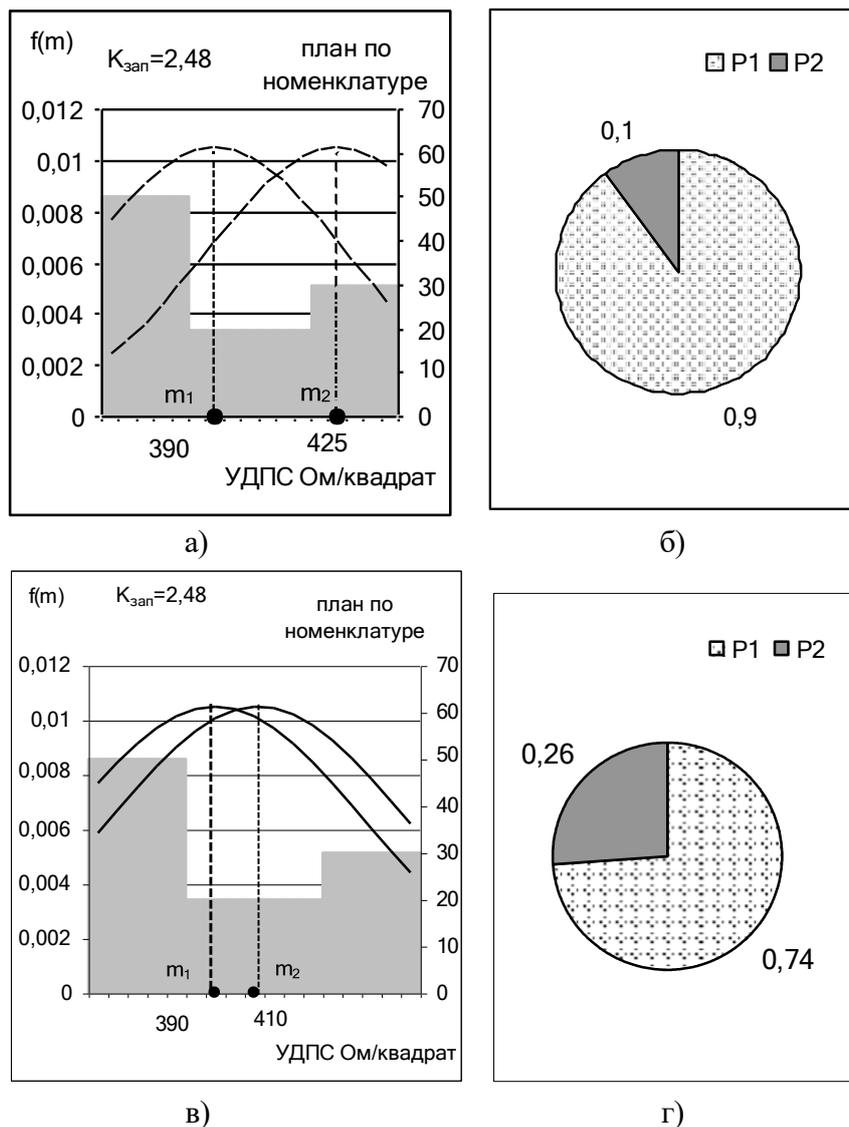


Рис. 3. Режими настроювання ТП: а, в – розташування центрів настроювання ТП відповідно без врахування і з врахуванням вартості експлуатації центрів; б, г – інтенсивності використання центрів настроювання ТП відповідно без врахування і з врахуванням вартості експлуатації центрів.

В результаті аналізу вирішення задач (3), (4) і (6), (7) встановлено, що при фіксованому номенклатурному плані (рис. 3,а,в) і врахуванні вартості експлуатації центрів настроювання значення коефіцієнту запуску не змінюється. Це пояснюють тим, що цільова функція (6) досягає свого мінімального значення у точці, яка належить області мінімуму функції (3), навіть і на межі даної області. У такому випадку спостерігається незначне збільшення коефіцієнта запуску. На рис. 3,а,в видно, що координати  $m_1$  одного із центрів настроювання, які визначені в результаті вирішення задач (3), (4) і (6), (7) співпадають, а координати центра  $m_2$ , отримані в результаті вирішення задачі (6), (7), містяться у даному інтервалі  $(m_1, m_2)$ , що визначений в результаті вирішення задачі (3), (4). Інтенсивності використання центрів настроювання ТП також змінюються при введенні додаткової умови – вартості експлуатації даних центрів (рис. 3,б,г). При даних умовах вирішення задачі зростає навантаження на другий центр настроювання.

**Висновки.** В статті обговорюються результати обчислювального експерименту при фіксованій функції штрафу за експлуатацію центру і визначеному номенклатурному плані. Однак зміна даних параметрів здійснює значний вплив на

результати розглянутої задачі. Результати експериментів, проведених для різних номенклатурних планів і функцій штрафів, які не висвітлені у даній роботі, дозволяють зробити наступні висновки. При врахуванні вартості експлуатації центрів настроювання ТП коефіцієнт запуску залишається незмінним або несуттєво зростає; змінюють своє розташування, координати одного із центрів настроювання. Інтенсивності використання центрів настроювання ТП, як правило, змінюються. У ситуації, коли в результаті обчислень при визначеному номенклатурному плані інтенсивність використання будь-якого центру настроювання матиме нульове значення, тоді такий центр при проведенні ТП використовуватися не буде.

Слід відзначити, що введення додаткових умов на вартість експлуатації центрів настроювання ТП змінює режими його поведінки. Однак відсутня будь-яка спільність результатів вирішення поставленої задачі. В такій ситуації необхідно вирішувати задачу кожен раз для конкретних вихідних даних. Крім того, запропоновану математичну модель задачі (6), (7) визначення координат центрів настроювання ТП, що мінімізує об'єм запуску при мінімальних затратах на експлуатацію центрів, можна використовувати при вирішенні задач оперативного управління і оптимізації режимів настроювання ТП в умовах багатоніменклатурного виробництва.

*The task of technological process tunings methods optimization in multinomenclature manufacturing of microelectronics product considering exploitation tuning centers is solved. The given task solution is offered and results are obtained on the basis of carried out calculating experiment.*

### **Література**

1. Глудкин О.П. Статистические методы в технологии производства радиоэлектронной 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., Рейвиндран А., Регсдел К. Оптимизация в технике: в 2-х томах. Пер. с англ. / Г. Реклейтис, – М.: Наука, 1984. – Т.1.- 352 с. – Т.2.- 320 с.

*Одержано 14.06.2004 р.*