

УДК 519.876.5: 658.512

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОНАННЯ ПАКЕТІВ РОБІТ У КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОМУ ВИРОБНИЧОМУ ПРОЦЕСІ

Щолоков І. С., Безкоровайний В. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

До комп'ютерно-інтегрованих технологічних процесів (КІТП) у сучасних виробничих компаніях висуваються все більш високі вимоги щодо якості продукції, їх екологічності, гнучкості, продуктивності, економічності, надійності тощо. Для задоволення цих вимог на етапах проектування, модернізації та керування КІТП розв'язується множина задач їх структурної, топологічної, параметричної оптимізації. У багатьох випадках при їх розв'язанні виникає необхідність найкращого розподілу потоків робіт (операцій) чи пакетів робіт між технологічним обладнанням. З цією метою використовуються математичні моделі і методи розв'язання задач про призначення та методологія математичного моделювання [1].

Для підвищення ефективності КІТП пропонується удосконалити модель процесу розподілу й виконання пакетів робіт, що дозволить більш повно враховувати специфіку робіт, завантаженість обладнання, витрати ресурсів і часові обмеження. Основними завданнями для розробленої моделі є: підвищення гнучкості технологічного процесу шляхом динамічного розподілу ресурсів та завдань; забезпечення оптимального використання ресурсів (обладнання, енергетичних, часових ресурсів) [2].

З метою врахування стохастичних факторів пропонується подавати процес розподілу і виконання робіт як процес функціонування системи з чергами (системи масового обслуговування – СМО). У цьому випадку пакети робіт подаються як заявки, що надходять на її вхід у випадкові моменти часу. Такі технології функціонування найбільш характерні для одиничного, малосерійного виробництва, ремонтних цехів. На першій фазі канал СМО здійснює розподіл заявки (пакету робіт) на n споріднених заявок (робіт

різної спеціалізації) між r каналами (технологічного обладнання). Матеріальні (фінансові) витрати, час та якість обробки заявки на другій фазі (виконання технологічних операцій) залежать від характеристик каналу. На останній фазі здійснюється агрегація заявок одного сімейства (складання виробу, оцінка його якості тощо). Її тривалість пропонується подавати випадковою величиною з заданим законом розподілу [3].

Розподіл робіт між каналами здійснюється шляхом розв'язання класичної задачі про призначення за показниками фінансових витрат $k_1(x) \rightarrow \min_x$, витрат часу на виконання пакету робіт $k_2(x) \rightarrow \min_x$ та якості виконання пакету робіт $k_3(x) \rightarrow \max_x$, модель якої для $n = r$ має вигляд [2]:

$$\begin{cases} f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_x, a_{ij} > 0, i, j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = \overline{1, n}; \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}; x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (1)$$

де $x = [x_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$ – матриця призначення (елемент $x_{ij} = 1$, якщо i -та робота виконується на j -му обладнанні; $x_{ij} = 0$ – в іншому випадку).

При цьому загальні витрати ресурсні на виконання i -ї роботи на j -му обладнанні враховують витрати на перехід до її виконання після виконання роботи з попереднього пакету.

Для оцінки варіантів розподілу з множини допустимих $x \in X$ в задачі (1) одночасно за всією множиною локальних критеріїв пропонується використати їх адитивну згортку [4]:

$$P(x) = \sum_{l=1}^3 \lambda_l \xi_l(x) \rightarrow \max_{x \in X}, \quad \xi_l(x) = \{[k_l(x) - k_l^-] / [k_l^+ - k_l^-]\}^{\alpha_l}, \quad l = \overline{1, 3}, \quad (2)$$

де $P(x)$ – функція загальної якості розподілу робіт $x \in X$; λ_l – вагові коефіцієнти локальних критеріїв, $\lambda_l \geq 0$, $l = \overline{1, 3}$, $\sum_{l=1}^3 \lambda_l = 1$; $\xi_l(s)$ – функція корисності локального критерію $k_l(x)$; k_l^+ , k_l^- – найкраще та найгірше

значення локального критерію $k_l(x)$; α_l – параметри, які визначають вид функції корисності значень локального критерію (увігнута, випукла чи лінійна).

Для визначення часу виконання пакетів робіт пропонується здійснювати імітаційне моделювання процесу як Q-схеми, подаючи вхідний потік пакетів як джерело Д, можливі черги перед технологічним обладнанням як накопичувачі H_i , а технологічне обладнання як канали K_i (рис. 1).

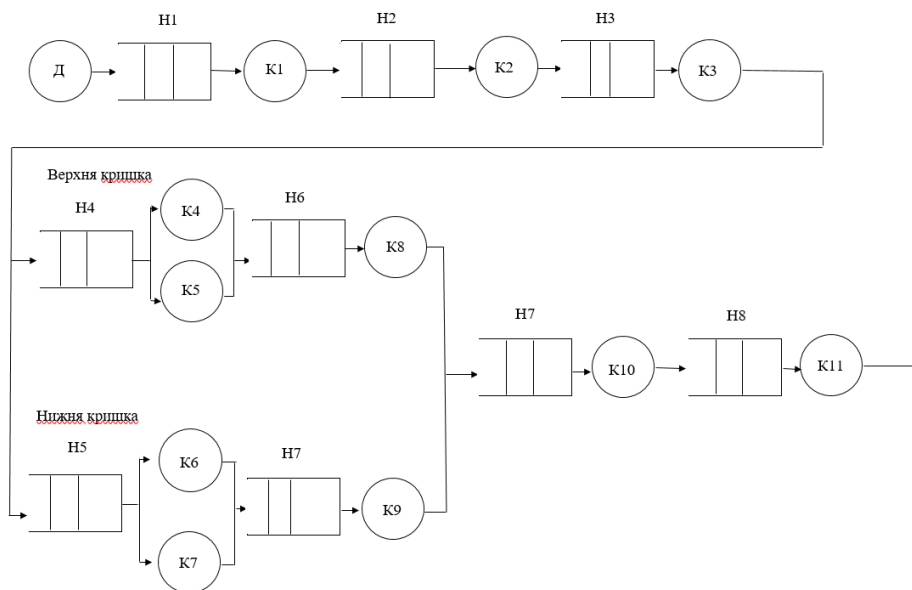


Рисунок 1 – Фрагмент Q-схеми процесу виготовлення корпусу електронного приладу

Для програмної реалізації моделі обрано пакет імітаційного моделювання GPSS W. Як достовірність отримуваних оцінок α використано ймовірність того, що отримане значення похибки моделювання ε не перевищить задане значення ε^* : $p[|\tau(x) - \bar{\tau}| \leq \varepsilon^*] = \alpha$. З урахуванням цього отримаємо співвідношення для оцінки похибок і необхідної кількості комп'ютерних експериментів:

$$\varepsilon = t_\alpha \sigma / \sqrt{N}, \quad N^* = t_\alpha^2 \sigma^2 / \varepsilon^2, \quad (3)$$

де t_α – квантиль нормального розподілу ймовірностей для заданого рівня достовірності α ; σ – середньоквадратичне відхилення отриманої оцінки.

Запропонована модель дозволяє СІМ-системам підвищити

продуктивність за рахунок ефективного розподілу ресурсів і скорочення часу простою. Її перевагами є: гнучкість (динамічно реагує на зміни у доступності ресурсів і дозволяє коригувати планування); зниження витрат (завдяки оптимізації ресурсів скорочуються енергетичні витрати та прості обладнання); підвищення точності (забезпечує кращий контроль над процесом виконання завдань, що знижує ймовірність помилок).

Отримані результати дозволяють підвищити ефективність технологій структурної та параметричної оптимізації КІТП в процесах їх проєктування, реінжинірингу чи керування ними. Їх використання сприятиме, зокрема, підвищенню продуктивності КІТП за рахунок скорочення часу виконання пакетів робіт, підвищувати якість продукції.

Напрямами подальших досліджень можуть бути врахування залежності між складними роботами пакетів, упровадження технологій штучного інтелекту для прогнозування потреби у технологічному обладнанні й автоматичного коригування планів в умовах зміни вимог.

Література:

1. Anil Kumar Inkulu and M.V.A. Raju Bahubalendruni, "Optimal resource allocation for multiple shop floor tasks in collaborative assembly", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 185, pp. 109695, 2023.

2. В. В. Безкоровайний, Д. В. Чоломбитко, «Моделювання процесу багатокритеріального розподілу та виконання пакетів робіт під час проєктування технологічних систем», *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, вип. 104, с. 7-14, 2024.

3. V. Bezkorovainyi, H. Bezuhla and D. Cholombytko, "Mathematical models of the cyclic work package distribution task", in *Innovative Integrated Computer Systems in Strategic Project Management*. Riga: ISMA, 2022, pp. 7-15.

4. Beskorovainyi V., "Combined method of ranking options in project decision support systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no 4 (14), pp.13-20, 2020.