

ділянках зсунуті по часу, тобто валики вносять запізнення, яке є складною функцією параметрів валиків і ділянки стрічки між ними. Ефект запізнення пояснюється тим, що збільшення гальмівного моменту рулону призводить до зміни натягу безпосередньо після нього. Це призводить до зменшення швидкості обертання найближчого до рулону валика і зміни натягу між ним та наступним валиком і т.д.

Тому дані результати дозволяють вирішити принципово важливе питання про місцевстановлення вимірювача натягу. Ефект запізнення відсутній лише безпосередньо перед друкарською секцією, де і слід встановити давач натягу.

Побудова даної структурної схеми моделі стрічкопровідної системи дозволяє провести синтез системи автоматичного регулювання натягом з врахуванням нестационарності моделі та запізнення.

1. Стрепко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. *Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ*. К., 1998. 2. Казакевич В.В., Избицкий З.Н. *Системы автоматического управления полиграфическими процессами*. М., 1978. 3. Дурняк Б.В. *Аналіз моделей стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 1998. Вип.33. С.75-83. 4. Дурняк Б.В. *Математичні моделі елементів стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 1998. Вип.33. С.67-74. 5. Дурняк Б.В. *Спрощена математична модель обвідного валика стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Вісн. ДУ "Львівська політехніка"*. 1999. № 359. С.47-53. 6. Ерофеев А.А. *Теория автоматического управления*. Учеб. для вузов. С.-Пб., 1998.

УДК 630.323

АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ПРОДУКТИВНОСТІ І ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ З ДОВІЛЬНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВЕРСТАТІВ ІЗ РІЗНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

© Максимів В.М., Валюх О.А., 1999

Український державний лісотехнічний університет, кафедра «Автоматизація виробничих процесів, електротехніки і теплотехніки»

У даній статті описано методику визначення продуктивності верстатних ліній із несинхронним переміщенням заготовок, які складаються з довільної кількості верстатів. Методика враховує флуктації циклів верстатів, їх номінальні продуктивності, місткість накопичувачів, а також дозволяє обчислювати оптимальні значення місткості

накопичувачів і вибирати раціональні варіанти лінії за критерієм мінімум питомих інвестицій.

На сьогоднішній день немає методик, які описували б ефективність роботи верстатних ліній, які складаються з будь-якої кількості верстатів із різними значеннями продуктивності і стабільності операцій, різними видами транспортних зв'язків тощо. Особливо впливає на значення продуктивності ліній випадковий характер тривалості циклів окремих верстатів. Це є характерною рисою роботи деревообробного обладнання. У таких випадках доцільно застосовувати імітаційне моделювання, яке є надзвичайно потужним математичним апаратом і за його допомогою можна досліджувати лінії будь-якої структури. Але імітаційна модель як представник числових методів не показує величини та характер впливу параметрів окремих верстатів на показники ефективності роботи ліній. Для з'ясування цього впливу необхідно провести десятки або і сотні експериментів на імітаційній моделі, побудувати графіки чи таблиці і вже за ними робити аналіз та висновки. Тому для кількісного опису необхідно будувати математичні залежності.

Побудова математичних залежностей для опису роботи верстатних ліній, які складаються із верстатів різної продуктивності і стабільності операцій та мають різну місткість накопичувачів, є надзвичайно складним завданням. У таких випадках будують математичні залежності для опису роботи найпростіших варіантів – для ліній, які складаються із двох верстатів. Такий підхід виправданий ще й тим, що у різних галузях є значна кількість ліній із двох верстатів. Для спрощення побудови математичних залежностей враховують усереднені значення деяких факторів. Тому для початку будують математичну залежність, яка описуватиме продуктивність ліній із двох верстатів різної продуктивності, стабільності операцій і місткості накопичувача.

Продуктивність лінії з двох верстатів із врахуванням коефіцієнтів використання робочого часу верстатів дорівнюватиме

$$\mu_{\text{л}} \approx \mu_1 \rho_1 \approx \mu_2 \rho_2, \quad (1)$$

де $\mu_{\text{л}}$ – продуктивність верстатної лінії; μ_1, μ_2 – номінальна продуктивність 1-го і 2-го верстатів, відповідно; ρ_1, ρ_2 – коефіцієнти використання робочого часу 1-го і 2-го верстатів, відповідно.

Значення номінальних продуктивностей верстатів визначається як відношення одиниці до середнього значення тривалості циклу верстата. Коефіцієнти використання робочого часу верстатів визначаються як відношення часу “чистої” роботи до загального часу роботи. Основна проблема при цьому полягає саме у визначенні цих коефіцієнтів. Для дослідження характеру впливу продуктивності верстатів, стабільності операцій і місткості накопичувачів на продуктивність лінії на імітаційній моделі реалізовано сукупність експериментів. Отримані результати апроксимуються. За апроксиманту використано скорочений ряд Тейлора, який враховує члени до N-го порядку включно. В результаті, отримано такий вираз для обчислення коефіцієнта використання робочого часу менш продуктивного верстата:

$$\rho_1 = -0,06607 + 0,00052K_1 + 0,00045K_2 + 1,238\mu - 0,00294M +$$

$$+ 0,00143K_1\mu - 0,000034K_1M + 0,00163K_2\mu - 0,000032K_2M + \\ + 0,01061\mu M - 0,000015K_1^2 - 0,000017K_2^2 - 0,3339\mu^2 - 0,000025M^2, \quad (2)$$

де K_1 – параметр стабільності операції першого верстата ($K_1=1...70$); K_2 – параметр стабільності операції другого верстата ($K_2=1...70$); μ – співвідношення продуктивностей верстатів ($\mu=0,5...1,0$); M – місткість накопичувача ($M=0...20$).

Параметр стабільності операції K визначається як відношення квадрата середнього значення тривалості операції до дисперсії цієї величини $-K = t^2 / D$. Значення коефіцієнта використання робочого часу іншого верстата ρ_2 можна обчислити на основі виразу

$$\rho_2 = \mu_1 \rho_1 / \mu_2. \quad (3)$$

Отримані залежності дозволяють досліджувати значення продуктивності ліній із двох верстатів залежно від значень продуктивностей верстатів, параметрів стабільності операцій K_1 і K_2 , місткості накопичувача. На основі цих залежностей можна побудувати нові залежності, які дозволяють проводити оптимізаційні обчислення за техніко-економічними критеріями.

Продуктивність верстатних ліній із довільною кількістю верстатів може бути обчисленою за виразом:

$$\mu_n \approx \mu_1 \rho_1 \approx \mu_2 \rho_2 \approx \mu_3 \rho_3 \approx \dots \approx \mu_i \rho_i \approx \dots \approx \mu_n \rho_n, \quad (4)$$

де μ_n – продуктивність лінії із n верстатів; μ_i – номінальна продуктивність i -го верстата; ρ_i – коефіцієнт використання робочого часу i -го верстата.

Вважається, що продуктивність верстатних ліній слід визначати через продуктивність останнього верстата у лінії. У такому разі не враховується незавершене виробництво. Тоді продуктивність лінії запишеться

$$\mu_n = \mu_n \rho_n, \quad (5)$$

де μ_n – номінальна продуктивність останнього верстата у лінії; ρ_n – коефіцієнт використання робочого часу останнього верстата.

Основна проблема у визначенні продуктивності лінії у даному випадку полягає у визначенні коефіцієнта використання робочого часу. На основі виразу (3) можна записати

$$\rho_k = \mu_{k-1} \rho_{k-1} / \mu_k. \quad (6)$$

Тобто для того, щоб обчислити значення коефіцієнта використання робочого часу наступного верстата, необхідно знати значення цього коефіцієнта для верстата попереднього. Отже, обчисливши за виразом (2) значення коефіцієнта використання робочого часу менш продуктивного верстата ρ_1 , можемо обчислити значення для $\rho_2, \rho_3, \dots, \rho_k, \rho_n$. Знаючи ρ_n і μ_n , можна обчислювати значення продуктивності лінії. При цьому слід врахувати таку особливість. В обчисленнях значень ρ_k і μ_k для ліній, які складаються з 3-х і більше верстатів, не можна використовувати значення номінальної продуктивності $(k-1)$ -го верстата. Продуктивність цього верстата за умови, що він працює у лінії (i не є першим), не дорівнюватиме його номінальній продуктивності. За значення μ_{k-1} у таких випадках необхідно брати значення продуктивності лінії із $(k-1)$ верстатів.

Отже, якщо лінія складається із n верстатів, то спочатку визначаємо продуктивність лінії із двох перших верстатів:

$$\mu_{л2} = \mu_1 \rho_1 = \mu_2 \rho_2, \quad (7)$$

де $\mu_{л2}$ – продуктивність лінії із двох перших верстатів.

Перед обчисленням значення $\mu_{л2}$ за виразом (2), обчислюємо значення коефіцієнта ρ_1 . Далі лінію із двох перших верстатів приймаємо за перший умовний верстат із продуктивністю $\mu_{л2}$. Тобто $\mu_{ум1} = \mu_{л2}$. Знаючи $\mu_{л2}$, обчислюємо продуктивність лінії із трьох перших верстатів:

$$\mu_{л3} = \mu_{ум1} \rho_{ум1} = \mu_3 \rho_3, \quad (8)$$

де $\mu_{л3}$ – продуктивність лінії із трьох перших верстатів; $\mu_{ум1}$ – продуктивність першого умовного верстата, яка відповідає продуктивності лінії із двох перших верстатів; $\rho_{ум1}$ – коефіцієнт використання робочого часу 1-го умовного верстата; μ_3 – номінальна продуктивність третього верстата; ρ_3 – коефіцієнт використання робочого часу третього верстата.

Значення коефіцієнта $\rho_{ум1}$ обчислюємо за наведеними вище виразами. І таким чином обчислення ведуться до тих пір, поки не будуть враховані параметри n -верстата і визначено продуктивність лінії із n верстатів:

$$\mu_{лn} = \mu_{ум1} \rho_{ум1} = \mu_n \rho_n. \quad (9)$$

Обчислюючи значення коефіцієнтів використання робочого часу за виразом (2), необхідно враховувати значення коефіцієнтів стабільності операцій обох верстатів. За значення параметра стабільності операції K_1 (якщо цей верстат не перший) не можемо підставляти значення параметра стабільності $(k-1)$ -го верстата. У даному випадку слід враховувати параметр стабільності інтервалів випуску лінії, яка складається із $(k-1)$ верстатів.

Для дослідження залежності параметрів стабільності інтервалів випуску лінії із двох верстатів, які характеризуються різним співвідношенням продуктивностей, різними стабільностями операцій верстатів і місткістю накопичувача, на імітаційній моделі проведено сукупність експериментів. Обробка результатів імітаційного моделювання дозволила отримати математичну залежність для кількісної оцінки впливу вказаних факторів на значення параметра стабільності інтервалу випуску:

$$K_i = -22,58 + 41,74\mu + 0,54M + 0,52 K_1 - 0,25 K_2 - 18,48\mu^2 + 0,13\mu M - 0,30\mu K_1 + 0,84\mu K_2 - 0,06M^2 - 0,006MK_1 + 0,01MK_2 - 0,0026K_1^2 + 0,004K_1K_2 - 0,002K_2^2, \quad (10)$$

де μ – співвідношення продуктивностей першого та другого верстатів ($0,5 \leq \mu \leq 1,5$); M – місткість накопичувача ($M \in 0,10$); K_1 – стабільність операцій першого верстата ($10 \leq K_1 \leq 60$); K_2 – стабільність операцій другого верстата ($10 \leq K_2 \leq 60$).

Отримані залежності та запропонований алгоритм дозволяють описувати продуктивність ліній з будь-якою кількістю верстатів різної продуктивності μ_i і стабільності та різними значеннями місткості накопичувачів M .

Підставивши у відому формулу для обчислення фактичної продуктивності верстатних ліній значення коефіцієнта використання робочого часу останнього верстата ρ_n і середнє значення тривалості циклу цього верстата, отримаємо вираз, який враховує

вплив випадкового характеру тривалості технологічних операцій

$$Q_{\phi} = p K_{\phi} \eta \rho_n / t_n, \quad (11)$$

де Q_{ϕ} – фактична продуктивність верстатної лінії; p – кількість об'єктів оброблення, що випускається за один цикл; η – коефіцієнт придатності продукції; ρ_n – коефіцієнт використання робочого часу останнього верстата у лінії; t_n – середнє значення тривалості циклу останнього верстата (за умови, що він працює не у структурі лінії).

Для вибору оптимальних (раціональних) варіантів верстатних ліній пропонується критерій мінімум питомих інвестицій

$$k = I / (N P_p), \quad (12)$$

де k – питомі інвестиції; I – інвестиції, необхідні для реалізації даного варіанта лінії; N – термін експлуатації у роках; P_p – річна фактична продуктивність.

Неодхідні для реалізації певного варіанта інвестиції, згідно із запропонованим алгоритмом, можна розписати як витрати для першого (першого умовного) верстата – B_1 , другого верстата – B_2 і витрат на реалізацію накопичувача місткістю M – $B_n M$. Тоді попередній вираз запишеться

$$k = (B_1 + B_2 + B_n M) / (N P_p), \quad (13)$$

де B_n – витрати для реалізації накопичувача місткістю $M=1$.

Для визначення фактичної продуктивності P_{ϕ} використовуємо вираз (2). Тому продиференціювавши останній вираз $\partial k / \partial M$, прирівнявши його до нуля та провівши необхідні перетворення, отримуємо залежність для обчислення оптимальних значень місткостей накопичувачів між верстатами.

1. Дашенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. М., 1984.
2. Елементи теорії автоматичних ліній / Д.Л.Дудюк, Л.Д.Загвойська, В.М.Максимів та ін.; Під ред. Д.Л.Дудюка. К., 1998.
3. Дудюк Д.Л., Максимів В.М., Сорока Л.Я. Моделювання і оптимізація технологічних потоків лісопереробки. К., 1995.
4. Автоматизация процессов машиностроения / Я.Буда, В.Гановски, В.Вихман и др.; Под ред. А.И.Дашенко. М., 1991.

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ФУНКЦІЙ КОМПЛЕКСНОЇ ЗМІННОЇ У ДОСЛІДЖЕННІ РЕГУЛЬОВАНИХ СИСТЕМ

© Мартин Є.В., 1999

ДУ «Львівська політехніка», кафедра «Нарисна геометрія та графіка»

Розроблені та обґрунтовані геометричні засоби фазового простору функцій комплексних змінних як основи формування областей стійкості параметрів регульованих систем. Запропоновані геометричні моделі n -вимірному комплексного простору для формування многовидів, що являють графіки функцій комплексних змінних.