

$$\mu\tau_e \approx W_e / \sqrt{K} + I = \sum_{j=2}^a j^{-1} / \sqrt{K} + I. \quad (18)$$

Звідси максимальне навантаження у часі

$$\rho_{e\max} = \left(\sum_{j=2}^a j^{-1} / \sqrt{K} + I \right)^{-1} \quad (19)$$

і коефіцієнт накладання ВРЧ

$$H_e \approx \left(\sqrt{K} / \sum_{2 \leq j \leq a} j^{-1} + I \right)^{-1} = \left(\frac{I}{\sum_{2 \leq j \leq a} j^{-1}} + 1 \right)^{-1}. \quad (20)$$

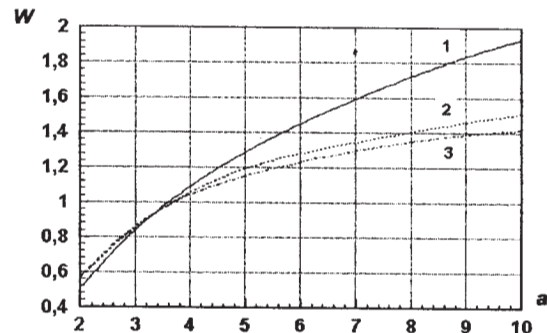


Рис. 2. Характер залежності параметра W від кількості одиниць обладнання для: 1 – експоненціальної, 2 – трикутної, 3 – прямокутної моделей розподілу

Отримане таким чином просте і компактне співвідношення досить добре узгоджується з результатами імітаційного моделювання та аналітичною залежністю [1,2]. Середнє квадратичне відхилення розрахунків у межах $2 \leq a \leq 10$ та $1 \leq K \leq 120$ становить $\sigma = 0,013$. Найменші відхилення спостерігаються для 3...5 одиниць обладнання.

У випадку двох послідовних дільниць чи верстатів коефіцієнт накладання ВРЧ тепер можна визначити за співвідношенням

$$H_{2e} \approx (2\sqrt{K} + I)^{-1} = (2/v + I)^{-1}. \quad (21)$$

Воно досить близьке до отриманих раніше, у тім числі й до теоретичних розв'язків.

Встановлені у цьому розділі аналітичні й емпіричні залежності розкривають основні закономірності функціонування виробничих систем, взаємодію у часі технологічного обладнання між собою та з допоміжними механізмами, вплив структури, параметрів і способу організації роботи окремих верстатів, дільниць, ліній і технологічних потоків на неминучі додаткові ВРЧ та інші показники ефективності виробничих систем. Ці залежності дають змогу не тільки оцінити вплив різних факторів і параметрів на ефективність виробничих систем, але й знайти шляхи й методи оптимізації цих систем.

Література

1. Д. Дудюк, Л. Загвойська, В. Максимів та ін. Елементи теорії автоматичних ліній. – Львів – Київ: ІЗМН, 1998. – 192 с.
2. Дудюк Д.Л., Загвойська Д.Д., Максимів В.М. Проблеми активності структури складних систем// Церква і соціальні проблеми. Екологія, економіка і християнська мораль: українська дійсність і перспективи. – Львів: Місіонер, 2000. – С. 245-253.
3. Максимів В.М. Моделювання процесів функціонування автоматизованих ліній деревообробки. – Львів. – К.: ІСДО, 1997. – 185 с.
4. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Г. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

УДК 630.323

Т.В. Іванишин – УкрДЛТУ

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РОБОТИ ТРИВЕРСТАТНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ БРУСКОВИХ ЗАГОТОВОК З ГНУЧКИМ АГРЕГАТУВАННЯМ ОБЛАДНАННЯ

Синтезовані аналітичні залежності показників функціонування триверстатних автоматизованих ліній з гнучким агрегуванням обладнання.

T.V. Ivanyshyn – USUFWT

The production lines and technology flows mathematic models of windows and doors blocks

The production three machinery systems mathematic models with flexible bounds for mechanical processing the details.

Як показує практика, з огляду на специфіку технологічного процесу механічної обробки брускових заготовок віконних і дверних блоків, експлуатація у ньому синхронних автоматизованих і поточних ліній з фіксованим ритмом T їх роботи (з жорстким агрегуванням обладнання) є неефективною, бо залежно від номенклатури, типу і характеристик обладнання, сировини та продукції, що комплектує готовий виріб, величина тривалості t_i технологічних операцій на дільницях має стохастичний характер [4]. Тобто значення t_i завжди є різним, як у межах однієї дільниці, так і на суміжних операціях і постійно змінюється на деякому випадковому проміжку його варіювання: $t_{imin} \leq t_i \leq t_{imax}$. Через таку мінливість інтервалів випуску t_i у виробничих системах з жорстким міжверстатним зв'язком посилюється взаємний вплив дільниць одна на одну і веде до їх додаткових позациклових втрат. У цьому разі продуктивність таких ліній порівняно з іншими варіантами компонування систем є найменшою [1-3].

Очевидно, що кращим варіантом на дільницях механічної обробки брускових заготовок є експлуатація несинхронних виробничих систем зі змінним ритмом T роботи обладнання – $T = var$, де момент закінчення обробки деталі на попередньому верстаті, як правило, не співпадає з початком її обробки на наступному агрегаті. У цьому випадку негативний вплив на якісні показники роботи системи різниці величини продуктивностей кожної пари машин, що компонують лінію, можна нівелювати за рахунок встановлення у структурі потоку між всіма його робочими позиціями міжопераційних накопичувачів місткістю M_k ($k = 1...2$) заготовок, які забезпечують незалежність роботи суміжних верстатів у випадку змінного ритму їх роботи і дозволяють локалізувати вплив випадкових відмов

окремих механізмів, пристроїв і інструменту. З цієї причини лінія з гнучким зв'язком є найбільш складним і дорогим варіантом, але за рахунок забезпечення автономної роботи її верстатів у межах величини місткості M_k накопичувачів, її продуктивність буде значно вищою за продуктивність лінії з жорстким зв'язком [1, 3].

Тому під час ідентифікації процесу функціонування триверстатної виробничої системи з гнучким міжагрегатним зв'язком поряд з такими її якісними показниками як стабільність інтервалів випуску K_i ($i=1...3$) і співвідношення продуктивностей обладнання μ_n ($n=1...2$) необхідно враховувати вплив на роботу лінії місткості M_k накопичувачів, який обмежується оптимальною величиною параметра M_k і одночасно є одним із визначальних. З метою визначення характеру даного впливу у кількісному та якісному відношенні використано алгоритм синтезу математичних моделей [4], застосований для формалізації процесу функціонування ліній столярно-будівельного виробництва з жорстким агрегуванням обладнання, які розглядалися як найпростіші елементи виробничої системи, що характеризуються Ерланговим законом розподілу тривалості t_i технологічних операцій.

Очевидно, що функціональна залежність вибраної цільової функції, що характеризує систему від великої кількості розглянутих вхідних факторів: $K_1, K_2, K_3, M_2, M_3, \mu_1, \mu_2$, робить синтезовану математичну модель громіздкою та незручною для практичних розрахунків, а також знижує їх достовірність. Тому розглянемо умову, коли продуктивність всіх верстатів лінії однакова – $P_1 = P_2 = P_3$, тобто відношення продуктивностей кожної пари машин – $\mu_1 = \mu_2 = 1$. Взаємозв'язок окремих дільниць триверстатної виробничої системи встановлюємо за допомогою взаємодії кількісних співвідношень параметрів стабільності K_i інтервалів випуску послідовно працюючих агрегатів, що характеризують її роботу в умовах стохастичної невизначеності – $K_i = \bar{t}_i^2 / D(t_i)$ та зв'язані з цикловою продуктивністю кожного верстата у лінії через середнє значення тривалості циклу $\bar{t}_i$ обробки на дільницях – $\mu_i = 1 / \bar{t}_i$ і місткості M_k магазинів-накопичувачів між агрегатами, що компенсують частину простоїв обладнання.

На основі проведених експериментальних виробничих досліджень та аналізу попередніх результатів [4] вибрані такі межі зміни вхідних факторів: $1 \leq K_1 \leq 40$, $1 \leq K_2 \leq 40$, $1 \leq K_3 \leq 40$, $K_1 \neq K_2 \neq K_3$, $1 \leq M_2 \leq 10$ і $1 \leq M_3 \leq 10$. Для кількісного і якісного аналізу функціональної залежності $\rho_3 = f(K_1, K_2, K_3, M_2, M_3)$ за допомогою ЕОМ на імітаційній моделі реалізовано близько 16000 кібернетичних експериментів, що відображають можливі випадкові стани виробничої системи. Використавши класичний метод реалізації кібернетичного експерименту, який полягає в обробці отриманих статистичних даних та їх апроксимації у поліном другого порядку, отримано сукупність математичних залежностей, адекватних стохастичному технологічному процесу функціонування триверстатної лінії з гнучким агрегуванням обладнання. У даних моделях функцією відгуку є коефіцієнт використання робочого часу ρ_3 останньої машини, якість функціонування якої характеризується ритмом обробки замовлень на попередніх дільницях і визначає кінцевий вихід продукції з лінії.

Проведене тестування отриманих моделей на предмет достовірності обчислення цільової функції показало, що найменшу похибку δ розрахунків, значення якої в основному не перевищує 5 % (тільки в 10-ти випадках на всьому проміжку

16000 реалізацій експерименту, що відповідає 0,06 %, δ знаходиться у межах 6-7 %) має така модель:

$$\rho_3 = 0,616206 + \ln \left[K_1^a \cdot K_2^b \cdot K_3^c \cdot M_2^d \cdot M_3^k \right], \quad (1)$$

$$\text{де: } a = 0,048626 + \ln \left[K_1^{-0,00701} \cdot K_2^{0,001984} \cdot M_2^{-0,012034} \cdot (K_3 \cdot M_3)^{0,001763} \right];$$

$$b = 0,067409 + \ln \left[K_3^{0,001831} / \left(K_2^{0,008793} \cdot (M_2 \cdot M_3)^{0,00699} \right) \right];$$

$$c = 0,048733 + \ln \left[M_2^{0,001909} / \left(K_3^{0,006963} \cdot M_3^{0,012012} \right) \right];$$

$$d = 0,068056 + \ln \left[M_3^{0,006374} / M_2^{0,006162} \right]; \quad k = 0,068056 + \ln \left[M_3 / M_2 \right]^{0,0063}.$$

$$K_H = 1 - \rho_3; \quad (2)$$

Рівняння (1) дозволяє проводити якісну оцінку роботи двох інших верстатів у лінії, знаходити так звані "вузькі" місця та недоліки у компонованні всього технологічного потоку, усувати їх за допомогою встановлення оптимальної місткості міжагрегатних буферних пристроїв. Крім того, виведена регресійна залежність дозволяє розрахувати коефіцієнт K_n накладання втрат робочого часу останнього агрегату у лінії (2).

Як показують дослідження, показники ефективності роботи довільного верстата, що самостійно працює за межами технологічного потоку, завжди вищі за його показники функціонування у межах довільно скомпонованої виробничої системи через наявність додаткових втрат робочого часу K_n машини, що виникають внаслідок взаємодії головного обладнання лінії між собою та з допоміжними механізмами [1]. Встановлення гнучких міжагрегатних зв'язків у вигляді накопичувачів оптимальної місткості M_k веде до зменшення значення коефіцієнта K_n обладнання за рахунок синхронізації роботи кожної пари машин, підвищення коефіцієнта використання їх робочого часу та підвищення ритму роботи лінії у цілому (рис. 1).

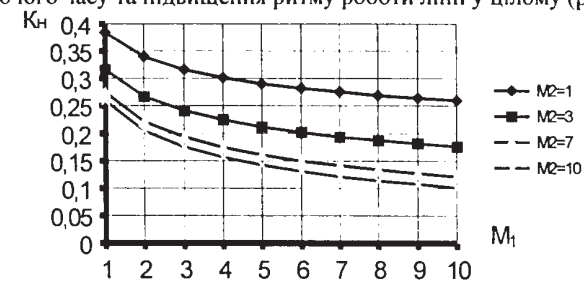


Рис. 1. Залежність коефіцієнта накладання K_n втрат робочого часу верстата від місткостей M_2 і M_3 накопичувачів

З накладених на задачу обмежень видно, що у випадку, коли виробнича система укомплектована високостабільним обладнанням ($K_i > 20$, $i=1...3$) коефіцієнти використання та накладання втрат робочого часу всіх верстатів будуть практично однаковими і еквівалентними коефіцієнтам лінії ρ_i і $K_{ли}$: $\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho_3$ і $K_{ли} = K_{n2} = K_{n3}$. Якщо ж верстати у системі сильно відрізняються своєю стабільністю інтервалів випуску, то у цьому випадку саме значення їх параметрів Ерланга K_i регламентують величину оптимальної місткості M_2 і M_3 міжагрегатних накопичува-

чів, а у задачі математичного опису триверстатної виробничої системи за функцією мети доцільно вибрати її фактичну продуктивність P_f . Тому, у випадку, коли оцінка ефективності функціонування багатроверстатної виробничої системи здійснюється за критерієм її фактичної продуктивності P_f , можна використовувати математичну модель (з точністю обчислень до 7 %), синтезовану за допомогою вище описаного алгоритму апроксимації отриманих внаслідок імітації результатів 16000 експериментів можливих випадкових станів системи, в якій коефіцієнти апроксиманти для багатфакторного експерименту обчислено методом найменших квадратів. Ця модель визначає функціональну залежність цільової функції від визначених вхідних факторів – $P_f = f(K_1, K_2, K_3, M_2, M_3)$. А саме:

$$P_f = 0,647186 + \ln(K_1^a \cdot K_2^b \cdot K_3^c \cdot M_2^d \cdot M_3^k), \quad (3)$$

$$\text{де: } a = 0,023389 + \ln\left[\frac{K_3^{0,002586} \cdot (K_2 \cdot M_3)^{0,0017495}}{(K_1^{0,00335} \cdot M_2^{0,014157})}\right];$$

$$b = 0,064836 + \ln\left[\frac{K_3^{0,002232}}{(K_2^{0,006554} \cdot M_2^{0,009636} \cdot M_3^{0,007125})}\right];$$

$$c = 0,036464 + \ln\left[\frac{M_1^{0,002828}}{(K_3^{0,006858} \cdot M_2^{0,012106})}\right];$$

$$d = 0,112114 + \ln\left[\frac{M_3^{0,00637}}{M_2^{0,016957}}\right]; k = \ln\left[e^{0,064844} / M_3^{0,006155}\right];$$

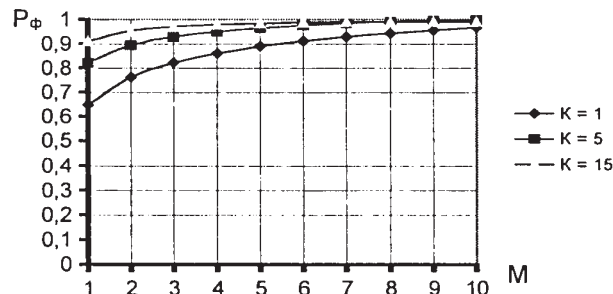


Рис. 2. Вплив параметрів K і M на величину фактичної продуктивності P_f триверстатної лінії

Як показали дослідження (рис. 2), у випадку комплектування триверстатної виробничої системи з гнучким міжагрегатним зв'язком високостабільним обладнанням, підвищення параметра Ерланга K устаткування системи за рахунок проведення технічних заходів з питань механізації та автоматизації основних і допоміжних операцій, модернізації головного обладнання та послідовного підвищення міжопераційних запасів M предметів обробки перед працюючими агрегатами, фактична продуктивність P_f лінії постійно буде збільшуватись.

Висновки

- Синтезовані математичні моделі відображають стохастичний характер функціонування триверстатних виробничих систем несинхронної дії з гнучким агрегуванням рівнопродуктивного обладнання різної стабільності технологічних операцій і можуть використовуватись під час вибору раціональних варіантів ліній та визначення кількісних показників якості їх роботи.

- Представлені графічні залежності ілюструють закономірності функціонування виробничих систем несинхронної дії з гнучким агрегуванням обладнання і вказують основні методи підвищення ефективності їх використання.
- За рахунок встановлення у структурі триверстатної лінії з низькою стабільністю інтервалів випуску кожної її ділянки (значення параметрів Ерланга $K_i \rightarrow \min$) гнучких міжагрегатних зв'язків з оптимальною місткістю M_k накопичувачів можна підвищити фактичну продуктивність P_f системи на 47 %.
- Під час проведення структурно-параметричної оптимізації високостабільних виробничих систем зі змінною (несинхронною) роботою обладнання за критерієм їх фактичної продуктивності безмежне збільшення величини місткості M_k буферних магазинів є недоцільним і малоефективним, бо у цьому випадку підвищення продуктивності P_f буде незначним і надалі повільно нівелюється.
- Всі зроблені висновки справедливі для оцінки роботи триверстатних виробничих систем з гнучким агрегуванням рівнопродуктивного обладнання різної стабільності інтервалів випуску на ньому.

Література

- Дудюк Д.Л. Елементи теорії автоматичних ліній. – К.: ІСДОУ, 1998. – 192 с.
- Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок. – М.: Наука, 1988. – 253 с.
- Максимів В.М. Моделювання процесів функціонування автоматизованих ліній деревообробки. – Львів: ІМЗНУ, 1997. – 184 с.
- Іванишин Т.В. Математичні моделі ліній і технологічних потоків виробництва віконних та дверних блоків з жорстким агрегуванням обладнання// Науковий вісник. Львів: УкрДЛТУ, 2000, вип. 10.1. – С. 258-262.

УДК 674.047

Ст. викл. Я.Ф. Кулешник – УкрДЛТУ

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОЧАТКОВОГО РОЗПОДІЛУ ВОЛОГОСТІ У ДЕРЕВИНИ

Запропоновано рівняння початкового розподілу вологості у деревині як двовимірному тілі, котре базується на експериментальних даних отриманих при сушінні дубових заготовок.

Ya.F. Kuleshnyk – USUFWT

Principles of initial distribution of moisture in wood

An equation of initial moisture distribution in wood as a two-dimension body based on experimental data obtained during drying of oak timber pieces.

При побудові математичної моделі процесу конвективного сушіння деревини як двовимірного тіла визначальним є питання початкового розподілу вологості у деревині. Дослідженням шуканої залежності присвятили свої роботи багатьох вчених [1, 2], де були запропоновані функції на основі степеневій та косинусоподібній залежності.

$$W(x, \tau) = W_{II} - \left(\frac{x}{R}\right)^2 \cdot (W_{II} - W_{II}); \quad (1)$$

$$W(x, \tau) = W_{II} + (W_{II} - W_{II}) \cdot \cos \frac{\pi \cdot x}{2 \cdot R}, \quad (2)$$