

## ВПЛИВ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛЬНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ДІЛЬНИЦЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА

Описано дослідження впливу стабільності виробничих ділянок на ефективність функціонування роботи автоматичних ліній деревообробного виробництва. Пропонується новий метод аналітичного обчислення еквівалентних параметрів стабільності для багатодільничих виробничих систем послідовного компонування. За допомогою аналітичних та імітаційних моделей процесів роботи автоматизованих виробничих систем різної продуктивності, досліджено вплив стабільності роботи устаткування на продуктивність системи. Підвищення продуктивності виробничих систем здійснюють за допомогою оптимального компонування устаткування і структурно-параметричної оптимізації. Встановлено вплив стабільності технологічного устаткування на продуктивність автоматизованих виробничих систем в умовах випадкових впливів на технологічний процес. Для стохастичних виробничих систем досліджувати процес є надто важко. Встановлено аналітичні залежності показників технологічних процесів від умов функціонування дуже складно. Науково обґрунтовано оптимальні параметри автоматизованих систем за показниками продуктивності, стабільності, надійності та економічної ефективності. Компонування автоматизованих виробничих систем сучасними високопродуктивними верстатами значно покращує продуктивність, але не завжди є економічно доцільним, тому що не усуває вплив стохастичних факторів на ефективність функціонування технологічного процесу, а створює появу складніших стохастичних процесів. Запропоновано використовувати аналітичні розв'язки та імітаційне моделювання для дослідження виробничих систем.

**Ключові слова:** втрати робочого часу, стабільність виробничих систем, параметр стабільності, стохастичний характер, імітаційне моделювання, структурно-параметрична оптимізація, продуктивність.

Аналіз моделей виробничих систем показує, що у багатьох сферах промислового виробництва, додаткові втрати робочого часу можуть досягати половини всього оперативного часу [1, 7, 8]. У результаті знижується продуктивність виробництва, створюються перевитрати енергії та підвищення екологічних збитків тощо. Прагнення підвищувати завантаження існуючого обладнання не завжди є ефективним, бо це може привести до таких же або подібних втрат. Вихід у такій ситуації знаходиться шляхом оптимізації параметрів, структури, способу організації функціонування конкретних виробничих систем. Вирішення проблеми узгодження розташування верстатів з різною стабільністю технологічних операцій в автоматичних лініях значно впливає на ефективність використання автоматичних ліній у деревообробному виробництві [8-10]. Вплив величини параметра стабільності тривалості технологічних операцій на ефективність функціонування виробничих систем вже довгий час вивчається дослідниками автоматизованого виробництва, технологічних потоків та ліній. Численними дослідженнями у цій галузі

<sup>1</sup> Оріховський Роман Ярославович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-278-13-68. E-mail: [romanorix9@gmail.com](mailto:romanorix9@gmail.com)

<sup>2</sup> Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: [serhiy.hayda@nltu.edu.ua](mailto:serhiy.hayda@nltu.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

[1, 2, 5, 6] встановлено, що однією з вагомих причин низької ефективності роботи різноманітних автоматизованих виробничих систем є низькі значення параметрів стабільності технологічних операцій, особливо це стосується процесів оброблювання деревини. Параметри стабільності технологічних операцій значно відрізняються між собою, деякі виробничі операції мають дуже високу стабільність, а інші технологічні операції виконуються з меншою стабільністю, тому параметр Ерланга близький до одиниці. Пропонується використовувати одне еквівалентне значення для всіх дільниць, які входять до складу цілої системи [3]. Способи визначення еквівалентних параметрів стабільності детально розглянуті раніше [3] залежно від виду компонування технологічного обладнання.

В автоматизованих лініях, у яких верстати розміщуються послідовно і мають різні тривалості технологічних операцій  $t_i$  та різні параметри стабільності еквівалентне значення параметра стабільності визначається за формулою:

$$K = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{t_{Bi}^2}{K_i} \quad (1)$$

де  $t_{Bi} = t_i / t$  – відносна тривалість оброблювання на  $i$ -й операції;  $t$  – сумарний час оброблювання на усіх технологічних операціях;  $n$  – загальна кількість технологічних операцій;  $K_i$  – параметр стабільності кожної технологічної операції ( $K_i = t_i^2 / D_i$ ). Параметр стабільності усіх одиниць обладнання (дільниць)

$$K_e = 1 / n \sum_{i=1}^n \frac{t_{Bi}^2}{K_i} \quad (2)$$

Для послідовних виробничих систем доцільно підбирати устаткування із близькою тривалістю оброблювання на усіх технологічних операціях. В цьому разі еквівалентний параметр стабільності обчислюється за формулою

$$K_e = 1 / nt_b^2 \sum_{i=1}^n K_i^{-1} \quad (3)$$

Враховуючи, що  $t_b = 1/n$ , отримаємо

$$K_e = n / \sum_{i=1}^n K_i^{-1} \quad (4)$$

Для автоматизованої виробничої системи із послідовним функціонуванням  $n$ -ої кількості одиниць устаткування однакової продуктивності із різними параметрами стабільності  $K_i$  обернена величина еквівалентного параметра стабільності

$$K_e^{-1} \text{ дорівнює середньому арифметичному значенню } K_e^{-1} = \sum_{i=1}^n K_i^{-1} / n \quad (5)$$

Таким чином, для виробничої дільниці послідовної роботи кількох одиниць устаткування із різними параметрами стабільності відбувається усереднення цих параметрів. У випадку значної переваги тривалостей високостабільних технологічних операцій еквівалентний параметр стабільності може наближатися до відповідних великих параметрів стабільності [2]. Для двох послідовних верстатів з однаковою продуктивністю з параметрами стабільності за виразом (4) еквівалентне значення буде дорівнювати

$$K_e = 2 / (K_1^{-1} + K_2^{-1}) \quad (6)$$

Змінюючи параметри стабільності для двох дільниць  $K_1$  і  $K_2$  в межах від 1 до 100 (табл. 1) буде змінювати еквівалентне значення цілої виробничої системи  $K_e$ . Максимальне еквівалентне значення параметра  $K_e$  буде наближатися до двократної величини одного з них при максимальному зростанні параметра стабільності іншої дільниці (табл. 1). Збільшення параметра стабільності першої дільниці  $K_1$  до 100 дає незначне зростання еквівалентного значення  $K_e$ , наприклад при  $K_2=5$ , або при  $K_2=1$ . Інтенсивне збільшення еквівалентного значення  $K_e$  спостерігається із зростанням  $K_1$  для випадку високої стабільності іншої дільниці  $K_2 \geq 50$ .

**Табл. 1. Вплив параметрів стабільності цехів на еквівалентне значення  $K_e$**

$K_2 \setminus K_1$	1	2	5	10	25	50	100
1	1	1,3	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0
5	1,7	2,9	5	6,7	8,3	9,1	9,5
50	2,0	3,8	9,1	16,7	33,3	50	66,7
100	2,0	3,9	9,5	18,2	40	66,7	100

Процес збільшення параметра стабільності цілої виробничої системи значно залежить від кількості одиниць устаткування у технологічній лінії та співвідношення параметрів їх стабільності. Для трьох виробничих дільниць еквівалентний параметр обчислюється за формулою  $K_e = 3 / (K_1^{-1} + K_2^{-1} + K_3^{-1})$ . (7)

Обчислення еквівалентного значення  $K_e$  при змінюванні одного параметра  $K_1$  від 1 до 100, для  $K_2=K_3=5$  та змінювання параметрів  $K_1$  і  $K_2$  в цих межах при  $K_3=5$  показані в табл. 2. Встановлено що, одночасне підвищення стабільності двох виробничих дільниць дає вищий результат, ніж для однієї дільниці, хоча для другого випадку початкове значення параметра  $K_e$  є вищим. Ще вищою є інтенсивність зростання еквівалентного значення  $K_e$  для чотирьох виробничих дільниць. Найменший вплив має збільшення стабільності лише однієї окремої виробничої дільниці  $K_1$  за низької стабільності інших (табл. 2). Проведені дослідження стосуються для послідовних дільниць виробничих систем із однаковою продуктивністю. Для виробничих систем різної продуктивності потрібно використовувати повні співвідношення (1) і (2). Еквівалентний параметр є нечутливим до відхилення співвідношення продуктивностей в межах  $\pm 10-15\%$  [3], тому для наближеного аналізу можна використовувати наближений метод. При значних відхиленнях, вищих 20-30% можуть виникати у розрахунках значні похибки.

**Таблиця 2. Вплив стабільності кількох дільниць на еквівалентне значення  $K_e$**

Кількість дільниць, а	Параметри стабільності	$K_1 (K_i)$						
		1	2	5	10	25	50	100
3	$K_2=K_3=5$	2,1	3,3	5	6	6,8	7,1	7,5
	$K_3=5$	1,4	2,5	5	7,5	10,7	12,5	15,0
5	$K_2=K_3=K_4=K_5=5$	2,8	3,8	5	5,6	6,0	6,1	6,2
	$K_3=K_4=K_5=5$	1,9	3,1	5	6,2	7,3	7,8	8,1
	$K_4=K_5=5$	1,5	2,6	5	7,1	9,6	10,9	11,6
	$K_5=5$	1,2	2,3	5	8,3	13,9	17,9	20,8

У цьому разі рекомендується використовувати імітаційне моделювання для розрахунку автоматизованих виробничих систем. Використовуючи імітаційні моделі технологічних ліній виконують кібернетичні експерименти, з метою визначення випадкового впливу або стабільного характеру тривалості циклу на продук-

тивність автоматизованої виробничої системи. При незначному підвищенні стабільності технологічних операцій коефіцієнти використання робочого часу усіх виробничих дільниць зростають. При введенні у технологічну лінію технологічних операцій із стабільним циклом уцілому підвищуються коефіцієнти використання усіх одиниць устаткування. Тому під час проектування автоматизованих виробничих систем доцільно підсилювати технологічну лінію у центрі за допомогою встановлення високостабільного устаткування, що дає змогу підвищити продуктивність цілої системи. Запропонована рекомендація буде корисною для технологічних ліній деревообробного виробництва.

За результатами досліджень можна рекомендувати, що для автоматизованих виробничих систем у яких усе устаткування працює із стабільним циклом роботи, доцільно відсікати технологічним розривом нестабільну технологічну операцію, з метою пом'якшення впливу нестабільності на функціонування цілої лінії.

Для технологічних ліній, у яких все устаткування є нестабільним, збільшувати міжопераційні запаси доцільно посередині лінії, при цьому фактична продуктивність технологічної ліній спостерігається найвищою. Дослідження показують, що підвищення стабільності обладнання значно підвищує продуктивність виробничих систем [2]. Продуктивність виробничої системи найбільше зростає при підвищенні параметра стабільності від 1 до 30, подальше підвищення стабільності роботи обладнання є малоефективним, оскільки збільшення фактичної продуктивності є дуже незначним. Подані тут співвідношення і підходи розв'язують одне важливе завдання аналізу й синтезу широкого класу виробничих систем з різними параметрами стабільності роботи їх складових елементів.

**Висновки:** Еквівалентний параметр стабільності виробничої системи є нечутливим до відхилення співвідношення продуктивностей у межах до 15%. При перевищенні співвідношення продуктивностей виробничих дільниць понад 30% можуть виникати у розрахунках значні похибки, тому рекомендується використовувати імітаційне моделювання для розрахунку автоматизованих виробничих систем. Використовуючи імітаційні моделі технологічних ліній визначають вплив параметра стабільності устаткування на продуктивність автоматизованої виробничої системи.

### Література

1. **Dudyuk D.L., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya., Orikhovsky R.Ya. et al.** (1996): *Imitatsiyne modelyuvannya hnuchkykh avtomatyzovanykh liniy u lisovyrobnychomu kompleksi* [Simulation modeling of flexible automated lines in the forestry complex]. Monograph. – Kyiv. – 140 p., (in Ukrainian).
2. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1995): *Modelyuvannya i optymizatsiya tekhnolohichnykh potokiv lisopererobky* [Modeling and optimization of technological flows of forest processing]. Textbook. – Kyiv. – 416 p., (in Ukrainian).
3. **Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya.** (1992): *Elementy teoriiy avtomatychnykh liniy* [Elements of the theory of automatic lines]. Textbook. – Kyiv. – 192 p., (in Ukrainian).
4. **Wentzel E.S.** (1988): *Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations Research: Problems, Principles, Methodology]. – Moscow: Nauka. – 208 p. (in Russian).
5. **Gayda S.V.** (1998): Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробленні: Основи створення / *Hnuchki avtomatyzovani vyrobnytsva ta robototekhnika v derevoobroblyenni* [Flexible manufacturing system and robots technology in the Woodworking. Vol.1: Fundamentals of creating flexible manufacturing system]. Lviv: UNFU. – 149 p.

6. **Gayda S.V.** (1998): Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробленні: Основи робототехніки / *Hnuchki avtomatyzovani vyrobnytstva ta robototekhnika v derevoobroblenni* [Flexible manufacturing system and robots technology in the Woodworking. Vol.2: Fundamentals of robots technology]. Lviv: UNFU. – 144 p

7. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya li-zhok dvospal'nykh riznykh konstruksiy* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:21-31 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>

8. **Gayda S.V.** (2017): Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини / *Vykorystannya nechitkykh ekspertnykh system dlya pidtrymky pryunyattya rishen' v protsesi sortuvannya vzhivanoyi derevyny* [Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>

9. **Gayda, S.V.** (2007): Дослідження концентрації операцій у сучасному меблевому виробництві / *Doslidzhennya kontsentratsiyi operatsiy u suchasnomu meblevomu vyrobnytstvi* [Research of concentration of operations is in modern furniture Production]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:73-79 (in Ukrainian).

10. **Gayda S.V., Kshyvetskyu B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian).

UDC 658.527.011.56

*Assoc. prof. R.Ya. Orikhovskyy, PhD;  
assoc. prof. S.V. Gayda, Doctor of Sciences – UNFU*

### **The influence of different parameters of stability of production sites on the efficiency of functioning of woodworking production**

The article describes the study of the influence of the stability of production sites on the efficiency of automatic woodworking production lines. A new method of analytical calculation of equivalent stability parameters for multi-part production systems of sequential layout is proposed. With the help of analytical and simulation models of automated production systems of different productivity, the influence of equipment stability on system productivity is investigated. Improving the productivity of production systems is carried out through the optimal layout of equipment and structural and parametric optimization. The aim of the study is to determine the impact of the stability of technological equipment on the performance of automated production systems in terms of random effects on the technological process. It is too difficult for stochastic production systems to investigate the process. It is very difficult to establish analytical dependences of indicators of technological processes on operating conditions. Such problems can be solved using simulation methods. At the same time, the computer processes simulate the functioning of automated production systems. Investigating the operation of automated production systems in stochastic conditions on simulation models, it is possible to scientifically substantiate the optimal parameters of automated systems in terms of productivity, stability, reliability and cost-effectiveness. As a result, ways to increase the productivity of the production system are established. The layout of automated production systems with modern high-performance machines significantly improves productivity, but is not always economically feasible, because it does not eliminate the influence of stochastic factors on the efficiency of the technological process, but creates more complex stochastic processes. Modern methods for estimating the impact of different values of the stability parameter on the efficiency of automated production systems are incomplete. It is proposed to use analytical solutions and simulation modeling to study production systems.

**Keywords:** loss of working time; stability of production systems; stability parameter; stochastic nature of technological operations; simulation modeling; structural-parametric optimization and productivity of automated production systems.