

ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ РОБОЧОГО ЧАСУ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ І СТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ У ГАЛУЗІ ДЕРЕВООБРОБЦІ

Проаналізовано новий метод розрахунку додаткових втрат робочого часу в системах послідовного компонування, розглядається завдання застосування сучасних методів розрахунку автоматизованих виробничих систем для підвищення ефективності функціонування на деревообробних підприємствах. Проаналізовано вплив стохастичних факторів на стабільність функціонування технологічних операцій. Обґрунтовано, що у деревообробній галузі технологічні операції мають малу стабільність, тому накладання втрат робочого часу проявляється особливо. Підвищення продуктивності технологічних ліній виконують за допомогою розроблення оптимальних схем компонування обладнання, структурно-параметричної оптимізації. Існуючі методи оцінювання накладання втрат робочого часу є наближеними і придатні тільки для виробничих систем з однаковими ділянками. Для складних виробничих систем виконують імітаційне моделювання функціонування лінії. Встановлено, що для багатофазних виробничих систем доцільно використовувати імітаційні моделі парної взаємодії з різними ступенями накладання втрат робочого часу. Залежно від кількості послідовних фаз, ступінь накладання втрат часу в умовних розрахункових парах змінюється. Аналіз автоматизованих виробничих систем дає змогу оцінити ефективність системи у цілому та її елементів з урахуванням стохастичних впливів на виробничий процес. Здійснено проектування автоматичних ліній здійснюють порівняння різних варіантів об'єктів досліджень та їх обґрунтування. Виконано дослідження, що дають можливість встановити параметри технологічних ліній, які значно впливають на фактичну продуктивність та ефективність. Підвищення ефективності автоматизованих виробничих систем здійснюють за допомогою розроблення оптимальних схем компонування устаткування, структурно-параметричної оптимізації.

Ключові слова: автоматизовані виробничі системи, додаткові втрати робочого часу; параметр стабільності; імітаційне моделювання; структурно-параметрична оптимізація.

Завдання аналізу ефективності автоматичних ліній у галузі деревооброблення полягає у встановленні оцінок продуктивності виробничої системи, впливу стохастичних факторів на її функціонування. Розв'язання за таких завдань здійснюють за допомогою використання методів імітаційного моделювання. При проектуванні технічних рішень порівнюють різні варіанти об'єкта дослідження та їх обґрунтування. Додаткові втрати робочого часу у виробничій системі, що виникають у процесі взаємодії послідовно працюючих ділянок. Ці додаткові накладені втрати робочого часу значно знижують ефективність використання виробничої системи у цілому. У деревообробній галузі технологічні операції мають невисоку стабільність, тому підвищене накладання втрат робочого часу проявляється тут, особливо. Додаткові накладені втрати можуть сягати половини усіх втрат робочого часу виробничої системи. На це впливають наступні фактори:

- в одному виробничому цеху зосереджені різні види обробляння заготовок, виробів;
- дуже виражена нестабільність тривалості операцій у деревообробці;
- технологічні лінії мають велику кількість технологічних операцій та характеризуються великою довжиною і кількістю заготовок;
- у виробничому процесі одночасно знаходяться заготовки різних типорозмірів деталей.

¹ 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

Важливим завдання є оцінювання усіх складових витрат та втрат робочого часу з метою підвищення ефективності виробництва і виготовлення якісної продукції. Існуючі методи оцінювання накладання втрат робочого часу є наближеними і придатні тільки для виробничих систем з однаковими дільницями [1, 2]. Для виробничих систем, які складаються з двох послідовних дільниць і мають різні номінальні продуктивності побудовані аналітичні залежності. За цими залежностями обчислюються накладені втрати робочого часу для кожної із дільниць [2]. У випадку більшої кількості послідовних виробничих дільниць з різною номінальною продуктивністю виконується наближене оцінювання втрат робочого часу за допомогою відповідних обчислень, які використовуються для двох дільниць, у подальшому утворюється умовна проміжна дільниця, яка об'єднується у виробничу систему з наступною і т.д. [1, 2, 6-10]. Спочатку обчислюються накладені втрати робочого часу для двох перших дільниць. Потім розраховується значення їх продуктивності. На наступному кроці перші дві дільниці будуть розглядатися як одна умовна дільниця, яка взаємодіє з наступною дільницею. Обчислюються параметри нової умовної дільниці і так до кінця лінії. Для складних виробничих систем виконують імітаційне моделювання функціонування лінії [1, 3, 4].

На величину втрат робочого часу впливає кількість послідовних дільниць. Для технологічних ліній з високою стабільністю роботи технологічного устаткування, коефіцієнт накладання втрат робочого часу у виробничій системі визначається за формулою [1,2]:

$$H_c = 1 + \frac{1}{(a - 1)V_d}, \quad (1)$$

де: **a** - кількість послідовних виробничих дільниць; **V_d** - власні втрати виробничої дільниці.

Величина додаткових втрат робочого часу залежить від кількості послідовних дільниць (**a**) у виробничій системі і власних втратами на кожній дільниці **V_d**. Вираз (1) не враховує ступінь стабільності тривалостей технологічних операцій і можливість використання гнучких зв'язків між окремими дільницями. Виробничі системи, які мають жорстко з'єднані між собою виробничі дільниці з індивідуальним ритмом роботи та нестабільні (коли коефіцієнт стабільності, **K=1**), тоді коефіцієнт додаткових втрат робочого часу обчислюється емпіричним виразом:

$$H_{ci} = 0,6(3) - 0,6 / a, \quad 2 \leq a \leq 50 \quad (2)$$

У виробничих системах з єдиним ритмом роботи, коли всі технологічні операції розпочинаються одночасно після закінчення попередніх операцій на усіх дільницях, величина втрат робочого часу є більша. Вона визначається за допомогою формули:

$$H_{ce} = 1 - \left(\sum_{i=1}^a \frac{1}{i} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Порівняння впливу кількості виробничих дільниць на величину додаткових втрат робочого часу показує, що чим більші власні втрати, тим вище значення коефіцієнта накладання втрат робочого часу у системі. Якщо кількість виробничих дільниць досягає п'яти і більше, то коефіцієнти додавання втрат робочого часу у виробничих системах значно відрізняються між собою. Ідеальні моделі можуть лише наближено оцінювати реальні виробничі системи. З теорії масового обслуговування [3-5] маємо, що для моделі системи з двох послідовних дільниць, які

мають продуктивність μ_1 і μ_2 , коефіцієнт використання робочого часу першої і другої виробничої ділянки обчислюється за формулою (4)

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3} = \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} \\ \rho_2 &= \mu\rho_1, \quad \mu = \mu_1 / \mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

За формулою (5) розраховується величина коефіцієнта накладання втрат робочого часу для першої виробничої ділянки

$$H_1 = 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{\mu^2}{1 + \mu + \mu^2} \quad (5)$$

Для другої виробничої ділянки розраховуємо за формулою (6)

$$H_2 = 1 - \rho_2 = 1 - \mu\rho_1 = 1 - \frac{\mu + \mu^2}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{1}{1 + \mu + \mu^2}. \quad (6)$$

З виразів (5) та (6) визначаємо таке відношення (7)

$$H_1 / H_2 = \mu^2 = \mu_1^2 / \mu_2^2. \quad (7)$$

Звідси отримуємо $H_1 = \mu^2 H_2$. (8)

Відношення коефіцієнтів втрат робочого послідовних ділянок є прямо пропорційним до відношення квадратів їхніх продуктивностей. Дані співвідношення дозволяють проаналізувати виробничий процес і оцінювати результат взаємодії двох виробничих ділянок. Їх використовують для багатофазних систем.

Проте, метод послідовного аналізу багатофазних систем за залежностями для двох ділянок не відображає дійсного результату накладання втрат робочого часу, а дає завищені результати. У реальних виробничих процесах існує велика ймовірність одночасних затримок роботи устаткування на різних фазах виробництва. У цьому разі їх втрати не накладаються. Послідовний метод розрахунку таких схем компонування не враховує цього. Завищення додаткових втрат робочого часу зростає із кількістю розрахунків для умовних пар устаткування. Для багатофазних виробничих систем доцільно використовувати імітаційні моделі парної взаємодії з різними ступенями накладання втрат робочого часу. Залежно від кількості послідовних фаз, ступінь накладання втрат часу в умовних розрахункових парах змінюється. Сумарна дія нових віртуальних пар устаткування відповідатиме дійсному показникові накладання втрат робочого часу у виробничій системі.

Для забезпечення необхідної точності розрахунку додаткових втрат робочого часу пропонуємо використовувати показник степеня n у формулах (9) залежно від кількості ділянок у виробничій системі.

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \mu^n \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \\ H_2 &= 1 - \rho_2 = 1 - \mu \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Достовірні результати обчислень (10) отримуються при такому співвідношенні показника степеня n і кількістю ділянок a

$$n = \sqrt[3]{4a}, \quad (10)$$

$$2 \leq a \leq 30.$$

Якщо кількість ділянок змінюється від 2 до 30, та показник степеня n зростає від 2 до 5 (рис.1). Традиційні методи розрахунків послідовного аналізу пар ділянок з постійним показником $n=2$ дають досить велике завищення результатів. Розбіжність між розрахунковими й дійсними значеннями перевищує 30%. Втрати робочого часу для a однакових ділянок за традиційними послідовними розрахунками (11) сягають рівня позначеного кривою 2 на рис.2:

$$H_T = 1 - \left(\frac{2}{3}\right)^{\log_2 a}. \quad (11)$$

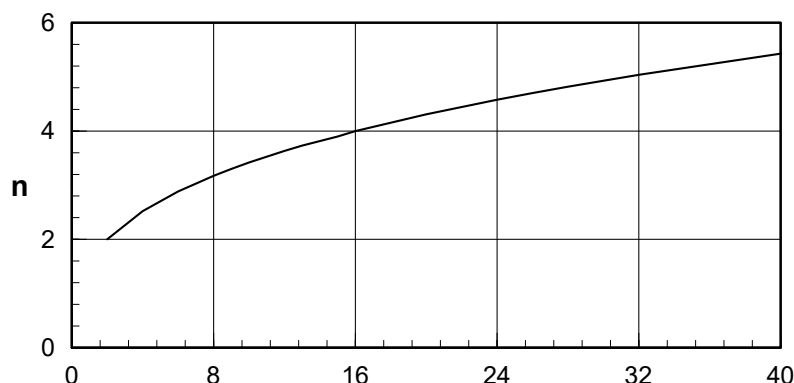


Рис. 1. Залежність показника n від кількості ділянок технологічної лінії

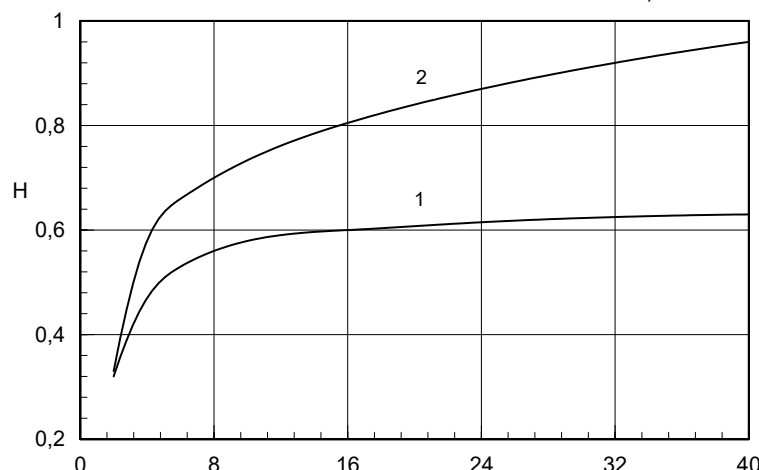


Рис. 2. Фактична залежність коефіцієнта втрат робочого часу H від кількості ділянок технологічної лінії a (1) і розрахункове значення (2)

Реальне накладання додаткових втрат робочого часу розраховується за формулами (9) із показником степеня n , що знаходиться за формулою (10). Дійсні значення коефіцієнта накладання втрат за виразом (12)

$$H_n = 1 - \left(\frac{n}{n+1}\right)^{\log_2 a} = 1 - \left(1 + n^{-1}\right)^{-\log_2 a} = 1 + \left[1 + (4a)^{-1/3}\right]^{-\log_2 a}, \quad 2 \leq a \leq 30. \quad (12)$$

Для однакових умов функціонування виробничої системи, формули (2) та (12) дозволяють отримувати близькі значення (крива 1 рис. 2). Для автоматизованих виробничих систем необхідно забезпечити швидкодію та надійність, що досягається підвищенням точності та інших характеристик деталей і вузлів. В автоматизованих виробничих системах, автоматизованих лініях доцільно застосовувати концентрацію операцій [6, 7, 10], що дає змогу: підвищити якість виробів, скоро-

тити час їхнього оброблення шляхом зменшення кількості допоміжних операцій, поліпшити умови керування виробництвом. Важливе значення має впорядкування стабільності тривалості циклу верстатів у різних технологіях [10-16].

Виконані дослідження дають можливість зробити такі **висновки**:

1. Ефективність автоматизованих виробничих систем з послідовним розміщенням виробничих дільниць зменшується через накладання втрат робочого часу;
2. Існуючі методи розрахунку дають завищені результати до 30%;
3. Запропонований метод дає змогу врахувати залежність коефіцієнта накладання втрат робочого часу від кількості виробничих дільниць у системі, дає точніші результати розрахунків функціонування послідовних виробничих систем.
4. Метод дозволяє аналізувати якість функціонування виробничих дільниць з різними продуктивностями та розв'язувати завдання синтезу виробничих систем.

References

1. **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).
2. **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).
3. **Williams, D.I.** Manufacturing systems: an introduction to the technologies. - Open University Press Milton Keynes, England, 1988. - 208 p.
4. **Orikhovsky R.Ya., Gayda S.V.** (2020) : Вплив різних параметрів стабільності виробничих дільниць на ефективність функціонування деревообробного виробництва / *Vplyv riznykh parametriv stabil'nosti vyrobnychykh dil'nyts' na efektyvnist' funktsionuvannya derevoobrobnoho vyrobnytstva* [The influence of different parameters of stability of production sites on the efficiency of functioning of woodworking production]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:49-53 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204605>
5. **Gayda S.V., Kshyvetsky B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblyennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian).
6. **Gayda S.V.** (1998): Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробленні: Основи створення / *Hnuchki avtomatyzovani vyrobnytstva 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.
7. **Gayda S.V.** (1998): Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробленні: Основи робототехніки / *Hnuchki avtomatyzovani vyrobnytstva ta robototekhnika v derevoobroblyenni* [Flexible manufacturing system and robots technology in the Woodworking. Vol.2: Fundamentals of robots technology]. Lviv: UNFU. – 144 p
8. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya lizhok dvospal'nykh riznykh konstruktsiy* [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>
9. **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>
10. **Gayda, S.V.** (2007): Дослідження концентрації операцій у сучасному меблевому виробництві / *Doslidzhennya kontsentratsiyi operatsiy u suchasnomu meblevomu vyrobnytstvi* [Re-

search of concentration of operations is in modern furniture Production]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:73-79 (in Ukrainian).

11. **Gayda S.V.** (2020) : Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktsiy ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:54-64 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>

12. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Somar G.V.** (2020) : Дослідження впливу породи та режимів шліфування на питому продуктивність шліфувальної шкурки / *Doslidzhennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na pytomu produktyvnist' shlifival'noyi shkurky* [Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>

13. **Gayda S.V., Voytovych I.G., Orikhovskyy R.Ya.** (2020) : Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya nizhok stoliv obidnikh riznykh konstruktsiy* [Research of technological processes of production of legs of tables of various designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:36-49 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204604>

14. **Gayda S.V., Grytsak S.A.** (2020) : Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев / *Porivnyal'nyu analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hnutykh elementiv iz riznykh porid derev* [Comparative analysis of physical and mechanical characteristics of bent elements from different tree species]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:16-27 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>

15. **Gayda, S.V., Kiyko O.A.** [2020]: Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 [1 [107]], 89–97. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>.

16. **Gayda, S.V., Kiyko O.A.** [2020]: The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. Poznan : Drewno, 63 [206], 77-102. doi: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>.

UDC 658.527.011.56

Assoc. prof. R.Ya. Orikhovskyy – UNFU

The estimation of losses of working time in production systems and work stability of automatic lines in the field of woodworking

The paper analyzes a new method of calculating additional losses of working time in sequential layout systems, considers the problem of applying modern methods of calculating automated production systems to improve the efficiency of woodworking enterprises. The influence of stochastic factors on the stability of technological operations is analyzed. Additional imposed losses of working time significantly reduce the efficiency of production systems as a whole. In the woodworking industry, technological operations have little stability, so the imposition of loss of working time is particularly pronounced. The actual performance of automated lines is significantly reduced. Improving the productivity of technological lines is performed by developing optimal equipment layout schemes, structural and parametric optimization. An important task is to calculate the component costs of the production process and losses of working time in order to improve production efficiency and manufacture quality products. Existing methods for estimating the imposition of loss of working time are approximate and suitable only for production systems with the same sites. In the case of a large number of consecutive production sites with different nominal productivity, an approximate estimate of the loss of working time is performed using the appropriate calculations used for the two sites. In subsequent calculations, a conditional section is created, which interacts with the next section, the parameters of the new section are calculated and so the calculation is carried out to the end of the production line. For complex production systems, simulation of line operation is performed.

Key words: automated production systems, additional losses of working time; stability parameter; simulation modeling; structural-parametric optimization.