



Р. Я. Оріховський, Б. О. Магура

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ РОБОЧОГО ЧАСУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ ДЕРЕВООБРОБКИ

Розроблено новий метод розрахунку додаткових втрат робочого часу в автоматизованих лініях деревообробного виробництва, який можна використовувати для їх аналізу та синтезу. Для цього було досліджено вплив стабільності технологічних операцій деревообробного виробництва на ефективність функціонування автоматизованих виробничих систем і технологічних ліній. Проаналізовано, що головними причинами низької ефективності роботи автоматизованих виробничих систем на підприємствах деревообробної галузі є невеликі значення параметрів стабільності технологічних операцій, а також накладні втрати робочого часу верстатів. Встановлено, що технологічні процеси оброблення деревини і деревинних матеріалів піддаються значному впливу стохастичних чинників: розмірно-якісних характеристик сировини та матеріалів, параметрів і стану технологічного устаткування, організації виробничого процесу, зовнішніх впливів. Застосовано новий метод, який дає змогу розглядати виробничий процес з позицій теорії масового обслуговування та використовувати імітаційне моделювання для дослідження структури і компонування автоматизованих ліній, а також підвищення ефективності і продуктивності їх роботи. Важливим завданням для дослідників є оцінити усі складові втрат робочого часу з високою точністю для забезпечення високої продуктивності виробництва. На величину значень втрат робочого часу впливає кількість послідовно працюючих верстатів в автоматизованій лінії. З'ясовано, що в автоматизованих лініях з високою стабільністю функціонування технологічного устаткування, коефіцієнт використання робочого часу автоматизованої лінії є значно вищим, підвищується ефективність і продуктивність деревообробного виробництва. Встановлено, що ефективність автоматизованих ліній з послідовним розміщенням верстатів знижується через накладні втрати робочого часу функціонування верстатів, які виникають у процесі функціонування устаткування. Оцінено вплив на ефективність виробництва усіх складових втрат робочого часу устаткування з метою їх зменшення та для забезпечення високої продуктивності роботи автоматизованих ліній деревообробного виробництва. Запропоновано використовувати новий метод обчислення, у якому вводиться коректувальний коефіцієнт для розрахунку автоматизованих ліній, залежно від кількості верстатів у технологічному потоці та враховано залежність ступеня накладених втрат робочого часу від кількості верстатів. Метод дає змогу дещо точніше розраховувати реальні процеси функціонування автоматизованих ліній.

Ключові слова: компонування технологічних ліній; автоматизовані лінії деревообробного виробництва; деревообробне устаткування та верстати; параметр стабільності технологічних операцій; ефективність автоматизованих виробничих систем.

Вступ / Introduction

Вплив стабільності технологічних операцій деревообробного виробництва на ефективність функціонування автоматизованих виробничих систем і технологічних ліній залишається одним з головних завдань багатьох науковців та дослідників технологічних процесів і виробничих дільниць.

Постановка завдання дослідження полягає у тому, що важливим завданням для підвищення ефективності автоматизованих ліній деревообробного виробництва є аналіз втрат робочого часу устаткування та їх причини, можливі шляхи підвищення продуктивності устаткування. Цими проблемами займалися англійські науковці Д. Вільямс [18] та американські науковці Б. Бадімен [1], Б. Тан, С. Гершвін [17], М. Стріт [16]. Проте їх праці стосуються вивчення технологічних процесів маши-

нобудування. Аналіз публікацій [5, 11, 12, 13] показав, що дослідження автоматизованих ліній деревообробної галузі з метою покращення показників функціонування автоматизованих виробничих систем проводили багато дослідників протягом тривалого часу. Було запропоновано різні підходи і методи для підвищення продуктивності автоматизованих ліній, зокрема імітаційне моделювання роботи автоматизованої лінії. Наші дослідження стосуються автоматизованих ліній деревообробного виробництва, які мають свої особливості. Дослідження автоматизованих ліній деревообробного виробництва для підвищення їх ефективності та продуктивності функціонування є актуальними. У попередніх дослідженнях [2] не було враховано усіх складників втрати робочого часу устаткування. Для зменшення втрат робочого часу та забезпечення високої продуктивності роботи ав-

Інформація про авторів:

Оріховський Роман Ярославович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Email: romanorix9@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-4136-4058>

Магура Богдан Олексійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра лісопромислового виробництва та лісових доріг.

Email: magbogdan@yahoo.com; <https://orcid.org/0009-0008-9825-0855>

Цитування за ДСТУ: Оріховський Р. Я., Магура Б. О. Визначення втрат робочого часу в автоматизованих виробничих системах деревообробки. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 2. С. 124–129.

Citation APA: Orikhovsky, R. Ya., & Mahura, B. O. (2024). Determination of running time losses in automated processing systems in woodworking. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(2), 124–129. <https://doi.org/10.36930/40340216>

томатизованих ліній виконували ці дослідження.

Численні наукові дослідження [1, 2, 3, 4, 17, 18] показують, що однією із причин низької ефективності роботи автоматизованих виробничих систем на практиці є невеликі значення параметрів стабільності технологічних операцій. Саме такі причини характеризують процеси оброблення деревини і деревинних матеріалів.

Об'єкт дослідження – розрахунок автоматизованих ліній деревообробного виробництва.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення втрат робочого часу в автоматизованих виробничих системах, а також ефективності їх роботи.

Мета роботи – оцінити вплив втрат робочого часу устаткування на ефективність виробництва для їх зменшення та для забезпечення високої продуктивності роботи деревообробних автоматизованих ліній.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- зробити аналіз останніх досліджень за цією тематикою;
- обговорити і проаналізувати результати досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні методи кількісного аналізу впливу двох або більше значень параметра стабільності на ефективність автоматизованих виробничих систем є недосконалими. Наприклад, використовують одне усереднене значення для усіх верстатів технологічної лінії [4]. Усі способи визначення усереднених параметрів стабільності [2] розглядають залежно від способу компонування технологічного устаткування. Це може бути послідовне, паралельне або змішане агрегування верстатів залежно від встановленої технології оброблення [18]. В одній з методик розрахунку коефіцієнтів використання робочого часу обладнання двоверстатних автоматизованих ліній з жорстким агрегуванням обладнання проведено імітаційне моделювання роботи автоматизованих ліній та сформульовано висновки і рекомендації щодо підвищення продуктивності виробництва [7]. У наукових працях [7, 8] здійснено аналіз побудови математичних залежностей для моделювання процесу функціонування двоверстатної автоматизованої лінії з гнучким міжагрегатним зв'язком і досліджено якісних показники таких ліній. Здійснено обчислення коефіцієнтів використання робочого часу і продуктивності виготовлення продукції. Дослідники запропонували можливість застосування розробленої методики [6] впорядкування послідовності розташування верстатів різної продуктивності для структур триверстатних автоматизованих ліній зі стохастичною тривалістю оброблення заготовок на рівнотарізностабільному обладнанні. Було встановлено характер та ступінь впливу параметра Ерланга технологічних операцій на продуктивність машинної системи.

Розроблено рекомендації щодо ефективності компонування автоматизованих ліній з урахуванням раціональної послідовності продуктивності та стабільності роботи верстатів. Науковці працюють над проблемою формалізації показників ефективності функціонування автоматизованих ліній з жорстким агрегуванням обладнання [9]. Багато досліджень проведено у галузі формування функціональних структур автоматизованих виробничих систем зі штучним інтелектом третього покоління [3]. Проаналізовано функції та структури гнучких автоматизованих виробничих систем та обґрунтовано принципи побудови і особливості систем автоматизованого контролювання та управління технологічним

процесом і гнучким автоматизованим виробництвом [3]. Проблема моделювання та дослідження процесу функціонування автоматизованих ліній, підвищення їх продуктивності вже протягом багатьох років займаються науковці Массачусетського технологічного інституту (англ. *Massachusetts Institute of Technology*) у США [1, 17].

Результати досліджень та їх обговорення / Research results and their discussion

Усереднений параметр стабільності для технологічних ліній, які використовують послідовне поєднання верстатів і працюють із *неоднаковими* циклами операцій t_i і параметрами стабільності обчислюють за такою залежністю [2]:

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

де: $t_{b,i} = t_i/t$ – відносна тривалість циклу i -ої технологічної операції; t – тривалість технологічної операції; n – кількість технологічних операцій у технологічній лінії; K_i – параметр стабільності перебігу i -ої технологічної операції.

Параметр стабільності технологічної операції деревообробного виробництва відповідає коефіцієнту Ерланга, його обчислюють за формулою:

$$K_i = \frac{t_i^2}{D_i}, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де D_i – дисперсія тривалості i -ої технологічної операції.

Тому усереднений параметр для усіх n верстатів обчислюють за формулою

$$K_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{b,i}^2}{K_i}. \quad (3)$$

Для послідовної структури технологічних ліній із однаковими за значеннями тривалості оброблення t_e на усіх технологічних операціях, усереднений параметр стабільності обчислюють за формулою:

$$K_e = \frac{t_e^2}{n} \sum_{i=1}^n K_i^{-1}. \quad (4)$$

Оскільки $t_e = 1/n$, то отримаємо:

$$K_e = n \sum_{i=1}^n K_i^{-1}. \quad (5)$$

В автоматизованих лініях із послідовною структурою компонування устаткування з однаковою продуктивністю, але різними параметрами стабільності технологічних операцій K_i маємо, що обернене значення усередненого параметра стабільності K_e^{-1} буде дорівнювати їхньому середньому арифметичному значенню

$$K_e^{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i^{-1}. \quad (6)$$

У технологічній лінії із послідовним розміщенням верстатів з різними параметрами стабільності технологічних операцій використовують усереднені параметри. У разі великої переваги в автоматизованій лінії устаткування, для якого характерна висока стабільність технологічних операцій, усереднений параметр стабільності дорівнює високим параметрам стабільності [2]. Для технологічної лінії, що має два верстати приблизно однакової продуктивності, усереднений параметр стабільності технологічних операцій обчислюють за такою формулою:

$$K_e = \frac{2}{K_1^{-1} + K_2^{-1}}. \quad (7)$$

Збільшення параметра стабільності тривалості технологічної операції першого верстата K_1 у технологічній лінії до значення 100 зумовлює незначне збільшення усередненого параметра стабільності цілої технологічної лінії K_e . Для малих значень стабільності технологічної операції на другому верстаті у лінії із значеннями параметра Ерланга $K_2 = 5$ і одночасно великих значень параметра стабільності на першому верстаті, буде незначне збільшення усередненого параметра стабільності. Інтенсивне збільшення усередненого значення параметра стабільності технологічної лінії K_e відбувається за одночасного збільшення параметра стабільності першого верстата K_1 та другого верстата, коли $K_2 \geq 50$.

Розрахунок усередненого параметра стабільності технологічної лінії значно залежить від кількості верстатів у технологічній лінії та їх параметрів стабільності. У технологічній лінії, яка складається з трьох верстатів приблизно однакової продуктивності, усереднений параметр стабільності обчислюють за формулою

$$K_e = 3 / \sum_{i=1}^3 K_i^{-1}. \quad (8)$$

Такі висновки використовують для технологічної лінії із послідовним компонуванням верстатів з однаковою продуктивністю. У технологічній лінії, де працюють верстати різної продуктивності, застосовуються формули (1) і (3). Усереднений параметр стабільності технологічної лінії мало залежить від відхилень продуктивності верстатів у лінії, саме до 10 %. Тому застосовують наближений метод обчислень параметрів роботи автоматизованих ліній. Цей підхід вирішує завдання аналізу і синтезу автоматизованих ліній з різними параметрами стабільності функціонування устаткування.

У ході виробничого процесу автоматизованої лінії, яка складається із послідовно розміщених верстатів, виникають накладні втрати робочого часу, які значно зменшують ефективність використання всієї лінії. Значне накладання втрат робочого часу верстатів особливо є характерним у технологічних лініях деревообробного виробництва. Для технологічних операцій деревообробки характерна їх мала стабільність. У деревообробці додаткові втрати робочого часу верстатів становлять половину усіх втрат робочого часу технологічного процесу. На це впливають такі чинники:

- в одному технологічному потоці є різні види оброблення деревини та заготовок;
- технологічні потоки деревообробки вміщують велику кількість технологічних операцій;
- на деревообробному виробництві одночасно обробляється велика кількість заготовок різних порід деревини, сортів та розмірів.

Важливим завданням є оцінити усі складові втрати робочого часу автоматизованої лінії із високою точністю з метою забезпечення високої продуктивності виробництва. Сучасні методи оцінювання значень накладання втрат робочого часу застосовують для технологічних ліній з верстатами, що характеризуються однаковими параметрами [2, 4]. У технологічних лініях з двох послідовних верстатів, що мають різні номінальні продуктивності, використовують аналітичні залежності для обчислення накладених втрат робочого часу [2]. Для технологічної лінії, яка складається з трьох або більше послідовних верстатів із різною продуктивністю

роботи застосовують наближене оцінювання таких втрат робочого часу. Використовують відповідні обчислення для двох верстатів, що розташовані поряд у лінії [2, 4]. На першому кроці обчислюють накладні втрати для двох перших верстатів. Обчислене значення продуктивності ділять на двох верстатів використовують у наступному кроці обчислень. Перші два верстати розглядають під час математичного моделювання як одну умовну виробничу одиницю. Вона взаємодіє з наступним верстатом. Здійснюються обчислення відповідних параметрів для нової умовної ділянки. Обчислення виконують до закінчення технологічного потоку. Одночасно з обчисленнями виконують імітаційне моделювання автоматизованої лінії на комп'ютері.

На величину значень втрат робочого часу впливає кількість верстатів, які працюють у технологічній лінії і розміщуються послідовно один за одним. В автоматизованих лініях, що мають верстати і технологічне устаткування із високою стабільністю функціонування, коефіцієнт накладання втрат робочого часу автоматизованої лінії обчислюють за формулою [2, 4]:

$$H_c = 1 + \frac{1}{(a-1) \cdot B}, \quad (9)$$

де: a – кількість верстатів у технологічному потоці; B – втрати робочого часу на окремому верстаті.

Значення втрат робочого часу автоматизованої лінії обчислюють за кількістю одиниць верстатів у технологічній лінії і втратами робочого часу на окремих верстатах B . Розрахункові формули не враховують ступінь стабільності технологічної операції, а також використання гнучких виробничих зв'язків між окремими верстатами.

У виробничих системах кількість верстатів, які мають однакові характеристики і з'єднані між собою без накопичувальних міжопераційних пристроїв з індивідуальним ритмом роботи та мінімальною стабільністю тривалості технологічної операції параметр Ерланга $K = 1$. Коефіцієнт додаткових втрат робочого часу такої виробничої системи обчислюють за допомогою формули [2]:

$$H_{cl} = 0,6333 - 0,6 / a, \quad 2 \leq a \leq 50. \quad (10)$$

Велика кількість кібернетичних експериментів з використанням імітаційних комп'ютерних моделей і велика кількість варіантів компонування автоматизованих ліній підтверджують точність розрахунків за формулою (10) у широкому діапазоні $2 \leq a \leq 50$.

У технологічних лініях, які мають у своєму складі устаткування з єдиним ритмом функціонування, усі наступні технологічні операції розпочинаються одночасно. Тільки після завершення попередніх технологічних операцій на усіх верстатах можна розпочати оброблення наступної заготовки. Втрати робочого часу в таких технологічних лініях є відчутними. Їх обчислюють за допомогою формули:

$$H_{cl} = 1 - \left(\frac{a}{\mu} \right)^{-1}. \quad (11)$$

Порівняння впливу кількості верстатів технологічної лінії на величину втрат робочого часу показує, що для малої кількості верстатів лінії вони є однаковими. Чим більші власні втрати часу на окремих верстатах, тим більше значення коефіцієнта накладання втрат робочого часу у технологічній лінії. Аналітичні моделі наближено оцінюють роботу реальних систем виробництва.

З теорії масового обслуговування [2] для простої моделі виробничої системи із двох послідовно розміщених верстатів і продуктивністю μ_1 і μ_2 коефіцієнт використання робочого часу першого і другого верстатів обчислюють за допомогою таких формул:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3} = \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} \\ \rho_2 &= \mu \cdot \rho_1, \quad \mu = \mu_1 / \mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Обчислюємо коефіцієнти накладання втрат робочого часу для першого верстата у технологічній лінії за допомогою формули:

$$H_1 = 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{\mu^2}{1 + \mu + \mu^2} \quad (13)$$

Для другого верстата у технологічній лінії виконуємо обчислення коефіцієнта накладання втрат робочого часу за такою формулою:

$$H_2 = 1 - \rho_2 = 1 - \mu \cdot \rho_1 = 1 - \frac{\mu + \mu^2}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{1}{1 + \mu + \mu^2} \quad (14)$$

Сформуємо таке відношення коефіцієнтів накладання втрат робочого часу обох верстатів технологічної лінії:

$$H_1 / H_2 = \mu^2 = \mu_1^2 / \mu_2^2 \quad (15)$$

Отримаємо такий зв'язок між коефіцієнтами накладання втрат робочого часу:

$$H_1 = \mu^2 \cdot H_2 \quad (16)$$

Співвідношення коефіцієнтів втрат робочого часу для послідовно розташованих верстатів технологічної лінії є прямо пропорційним до відношення квадратів продуктивності цих верстатів. Коефіцієнти використання робочого часу верстатів є обернено-пропорційними до номінальних продуктивностей верстатів технологічної лінії.

За допомогою отриманих формул можна аналізувати виробничий процес і здійснювати оцінку взаємодії двох верстатів у технологічній лінії. Для багатофазних виробничих систем у разі послідовного об'єднання верстатів в автоматизовану лінію також можна використовувати такий метод. У цьому методі використовують послідовний попарний верстатний аналіз втрат робочого часу устаткування. Такий метод обчислень дає дещо завищені результати із запасом. Ступінь завищення зростає із збільшенням кількості верстатів у технологічній лінії. Наприклад, для технологічної лінії з п'яти верстатів розрахункові значення перевищують реальні до 20 %, а для десяти верстатів – до 30 %.

Схема попарного верстатного розрахунку автоматизованих ліній не враховує тих причин, що у реальних виробничих процесах відбуваються одночасні затримки заготовок на деревообробних верстатах і втрати робочого часу не додаються. Значення завищення додаткових втрат робочого часу збільшується із збільшенням кількості верстатів у технологічному потоці. Тому для моделювання багатофазних технологічних ліній використовують моделі парної взаємодії із різними ступенями накладання втрат робочого часу. У розрахункових формулах вводять коректувальний коефіцієнт, який змінюється, залежно від кількості верстатів в автоматизованій лінії. Отже, метод буде відповідати дійсному показникові накладання втрат робочого часу у технологічній лінії.

Забезпечується необхідна точність покрокового розрахунку втрат робочого часу верстатів технологічної лінії за допомогою показника степеня n у формулах (17) і

(18) залежно від кількості верстатів у автоматизованій лінії. Отримаємо такі формули:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \mu^n \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \\ H_2 &= 1 - \rho_2 = 1 - \mu \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Дослідження дають задовільні результати обчислень, якщо використовувати залежність між показником степеня n і кількістю верстатів у лінії

$$n = \sqrt[3]{4a}, \quad 2 \leq a \leq 30 \quad (18)$$

Якщо кількість верстатів у технологічній лінії змінюється від двох одиниць до 30, тоді показник степеня n збільшується до 4,9 (рис. 1).

Методика розрахунку за методом послідовного аналізу пар верстатів в автоматизованій лінії дає змогу отримувати завищені результати обчислень із запасом (рис. 2). Наприклад, для технологічної лінії з восьми верстатів виконані обчислення та дійсні значення віднімаються на 25 %.

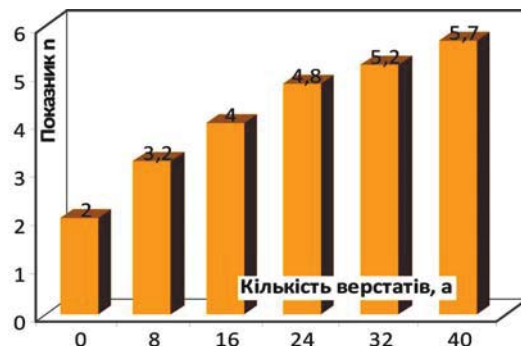


Рис. 1. Залежність показника n від кількості верстатів a в автоматизованій лінії / Dependence of the indicator n on the number of machines a in the automated line

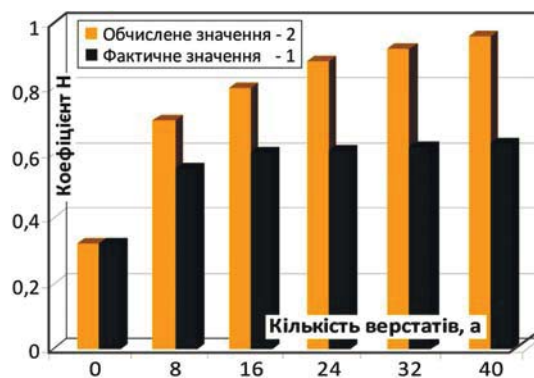


Рис. 2. Фактичне (1) та обчислене (2) значення коефіцієнта втрат робочого часу залежно від кількості верстатів a в автоматизованій лінії / Actual (1) and calculated (2) value of the coefficient of running time losses depending on the number of machines a in the automated line

На діючих автоматизованих лініях накладні втрати робочого часу верстатів обчислюють за допомогою формул (17) з використанням показника степеня n (18). Дійсні значення коефіцієнта накладених втрат робочого часу верстатів обчислюють за допомогою формули:

$$H_T = 1 - \left(\frac{2}{3} \right)^{\log_2 a} \quad (19)$$

В однакових умовах функціонування автоматизованих ліній, для обчислення накладних втрат робочого часу верстатів формули (10) та (20) дають можливість отримувати наближені розрахункові значення:

$$H_n = 1 - \left(\frac{n}{n+1} \right)^{\log_2 a} = 1 - (1 + n^{-1})^{-\log_2 a} = 1 + \left[1 + (4a)^{-1/3} \right]^{-\log_2 a} \quad (20)$$

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

Обговорення результатів дослідження. Вивчення публікацій з цієї тематики вказує, що науковці використовують різні підходи до вирішення проблеми. Наприклад, американські науковці [10] розглядають безперервну виробничу систему з двох верстатів із буфером кінцевої ємності. Верстати піддаються відмовам, ремонту та профілактичному технічному обслуговуванню залежно від стану. Кожний верстат може переходити у кілька окремих станів, які характеризуються різними параметрами продуктивності, починаючи від ідеальної роботи до повного вимкнення. Ми пропонуємо більш детально розглядати функціонування виробничої системи із урахуванням впливу різних стохастичних збурювальних впливів на виробничий процес, що дасть точніші розрахунки.

У роботі [19] виробнича лінія містить кілька робочих одиниць, з'єднаних між собою послідовно. Щоб забезпечити задану продуктивність, буфери зазвичай розподіляються між суміжними одиницями. Таку систему називають системою серійного виробництва з проміжними буферами. Верстат у виробничій системі не може виконувати заплановані завдання, якщо вихідний буфер порожній або наступний буфер заповнений. Перерви у роботі забезпечують додаткові можливості для обслуговування верстатів. Такий підхід до імітаційного моделювання також використано у наших моделях. Застосування нашого методу дає змогу компенсувати втрати робочого часу верстатів, які можуть виникати з різних причин.

У науковій роботі [15] запропоновано інноваційну стратегію технічного обслуговування системи. Система містить пошкоджений верстат та буферний запас. Зі збільшенням кількості закінчених виробничих операцій стан верстата погіршується, тому зростає брак виробництва. Стохастичний процес збільшує відсоток дефектів і спричинює відмови. Щоб відновити продуктивність верстата потрібно приймати рішення. Запропоновано використовувати гібридний метод оптимізації стратегії обслуговування виробничої системи. Гібридний метод передбачає інтеграцію модифікованого методу прийняття рішень людиною, імітаційне моделювання Монте-Карло та застосування генетичного алгоритму (GA). Людина приймає рішення для вибору ефективних заходів з технічного обслуговування, враховуючи відповідну інформацію про систему. Потім на підставі математичної моделі, використовуючи імітаційне моделювання Монте-Карло та GA, коригують ключові параметри, щоб оптимізувати дії та мінімізувати витрати. Науковий підхід є дуже цікавим. Його можна надалі використовувати для покращення наших розробок.

У науковій роботі [14] автори розглядають виробничу систему безперервного потоку заготовок з двома верстатами, які підлягають профілактичному технічному обслуговуванню залежно від стану та розділені проміжним буфером кінцевої ємності. Кожний верстат може перейти в кілька окремих станів, починаючи від ідеального функціонування до повної відмови. Запропонований підхід враховує різні витрати на побічні ефекти, в т.ч. й витрати, пов'язані з погіршенням якості системи. Розроблено методологію для опису стохастичного ви-

робничого процесу та аналізу складного компромісу між профілактичним обслуговуванням і буферною ємністю. Отримані результати вказують на важливість урахування якісних характеристик та можливих витрат під час здійснення профілактичного обслуговування верстатів і оптимізації продуктивності виробничої системи. Профілактичне обслуговування верстатів варто розглядати з погляду всієї виробничої системи, а не окремих верстатів. Цим дослідженням надають більшу увагу для встановлення порядку профілактичного обслуговування верстатів виробничої системи.

Вивчення конкретних причин втрат робочого часу дають можливість вжити необхідних заходів для їх усунення. Запропонований метод розрахунку дає змогу оцінити вплив на ефективність виробництва усіх складових втрат робочого часу устаткування з метою їх зменшення, для забезпечення високої продуктивності роботи автоматизованих ліній деревообробного виробництва. Метод обчислення враховує коректувальний коефіцієнт для розрахунку автоматизованих ліній залежно від кількості верстатів у технологічному потоці та враховує залежність ступеня накладених втрат робочого часу від кількості верстатів. Запропонований метод дає змогу з високою точністю обчислювати реальні процеси функціонування автоматизованих ліній.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше розроблено новий метод розрахунку накладних втрат робочого часу верстатів автоматизованих ліній деревообробки та запропоновано докладний аналіз втрат робочого часу устаткування з метою їх подальшої компенсації та підвищення продуктивності.

Практична значущість результатів дослідження – результати дослідження можна застосувати для обчислень параметрів роботи автоматизованих ліній деревообробної галузі із врахуванням накладних втрат робочого часу функціонування верстатів та їх подальшої компенсації.

Висновки / Conclusions

Проведені дослідження впливу втрат робочого часу та стабільності технологічних операцій деревообробного виробництва на ефективність функціонування автоматизованих виробничих систем і технологічних ліній дають змогу використовувати нові методи для розрахунку параметрів виробничих систем. За результатами проведеного аналізу продуктивності автоматичних ліній деревообробки можна дійти таких основних висновків:

- встановлено, що ефективність автоматизованих ліній з послідовним розташуванням верстатів знижується через накладні втрати робочого часу їх функціонування;
- застосовано методи розрахунку накладних втрат робочого часу функціонування верстатів, які дають змогу здійснювати обчислення із значним запасом до 25 %;
- запропоновано використовувати коректувальний коефіцієнт для обчислень, залежно від кількості верстатів в автоматизованій лінії. Новий метод обчислень є простим. Він враховує залежність ступеня накладних втрат робочого часу від кількості верстатів у технологічній лінії. Цей метод дає змогу точніше відтворювати процеси функціонування автоматизованих ліній і дає достовірні результати обчислень. Метод використовують для аналізу якості функціонування і компонування автоматизованих ліній деревообробки.

References

1. Benny, S. Budiman. (2004). Optimal Capacity Adjustment for Supply Chain Control. Massachusetts Institute of Technology, 122 p. URL: <https://web.mit.edu/manuf-sys/www/oldcell11/theses/budiman-phd-2004.pdf>
2. Dudyuk, D. L., Maksimiv, V. M., Orikhovskiy, R. Ya., et al. (1996). Simulation modeling of flexible automated lines in the forest production complex. Monograph. Kyiv: ISDO, 140 p. [In Ukrainian].
3. Dudyuk, D. L., Mazepa, S. S., & Mysyk, M. M. (2008). Flexible automated production and robotic complexes. Tutorial. Lviv: Magnolia, 278 p. [In Ukrainian].
4. Dudyuk, D. L., Zagvoyska, L. D., Maksimiv, V. M., & Soroka, L. M. (1998). Elements of the theory of automatic lines. Tutorial. Kyiv-Lviv: IZMN, 192 p. [In Ukrainian].
5. Hayda, S. V., Voytovych, I. G., & Orikhovskiy, R. Ya. (2020). Study of technological processes of manufacturing dining table legs of various designs. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 46, 36–49. <https://doi.org/10.36930/42204604>
6. Ivanyshyn, T. V. (2011). Rational sequence of machines in automated lines. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(3), 328–332. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_3/328_Iwa.pdf
7. Ivanyshyn, T. V. (2011). The method of calculating the coefficient of utilization of working time of two-machine automated lines with rigid aggregation of equipment. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(6), 67–71. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_6/67_Iwa.pdf
8. Ivanyshyn, T. V., & Valyukh, O. A. (2012). Formalization of quality performance indicators of a two-machine automated line with flexible inter-unit communication. *Scientific Bulletin of UNFU*, 22(14), 370–374. [In Ukrainian]. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_14/370_Iwa.pdf
9. Ivanyshyn, T. V., Ozymok, Yu. I., & Kapral, Yu. R. (2022). Formalization of performance indicators of the automated two-machine machine system with rigid equipment aggregation. Materials of the VII International Scientific and Technical Conference on the Problems of Higher Education and Science TK-22 Progressive directions of the development of automatic technological complexes, Lutsk, 19–21. [In Ukrainian].
10. Mohamed-Chahir, Fitouhi, Mustapha, Nourelfath, & Stanley, B. Gershwin. (2017). Performance evaluation of a two-machine line with a finite buffer and condition-based maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 166, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.03.034>
11. Orikhovskiy, R. Ya. (2018). The influence of the stability of technological operations on the efficiency of the functioning of automatic lines in woodworking. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 57–62. <https://doi.org/10.36930/42184408>
12. Orikhovskiy, R. Ya. (2019). Study of the reliability and stability of automatic lines in woodworking. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 112–116. <https://doi.org/10.36930/42194514>
13. Orikhovskiy, R. Ya., & Gaida, S. V. (2020). The influence of various parameters of the stability of production sites on the efficiency of the operation of woodworking production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 46, 49–53. <https://doi.org/10.36930/42204605>
14. Shuaichong, Wei, Mustapha, Nourelfath, & Nabil, Nahas. (2023). Analysis of a production line subject to degradation and preventive maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108906>
15. Shuyuan, Gan, & Nan, Shen. (2023). Maintenance Optimization for a Production System Subject to Shocks Considering a Buffer Inventory and Production Defects. *Reliability Engineering & System Safety*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109487>
16. Street, M. W. (2001). Quick Response Inventory Replenishment for a Photographic Material Supplier. Master of Business Administration and Master of Science in Mechanical Engineering. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. 60 p. URL: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/84518/48953638-MIT.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
17. Tan, B., & Gershwin, S. B. (2001). On Production and Subcontracting Strategies for Manufacturers with Limited Capacity and Backlog-Dependent Demand. *Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology*, Working Paper, OR354-01. URL: <https://hdl.handle.net/1721.1/5315>
18. Williams, D. I. (2008). Manufacturing systems: an introduction to the technologies. Open University Press Milton Keynes, England.
19. Yifan, Zhou, Yiming, Guo, Tian Ran, Lin, & Lin Ma. (2018). Maintenance optimisation of a series production system with intermediate buffers using a multi-agent FMDP. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.07.008>

R. Ya. Orikhovsky, B. O. Mahura

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

DETERMINATION OF RUNNING TIME LOSSES IN AUTOMATED PROCESSING SYSTEMS IN WOODWORKING

A new method of calculating additional losses of running time in automated woodworking processing lines has been developed. This method is used thereafter for the analysis and synthesis of automated lines of woodworking manufacturing. For this purpose, the impact of woodworking manufacturing technological operations stability on the efficiency of the automated processing systems and technological lines functioning has been investigated. Small values of technological operations stability parameters, as well as imposed losses of machine running time are the main reasons for the low efficiency of automated processing systems at the woodworking industry enterprises. Woodworking and wood-base materials processing are significantly influenced by the following stochastic factors: size and quality characteristics of raw materials, parameters and conditions of technological equipment, manufacturing process organization, external influences. The new method enables considering the manufacturing process from the perspective of mass service theory and using simulation modeling for studying the structure and layout of automated lines in order to increase the efficiency and productivity of their work. An important task for researchers is to estimate all components of running time losses with high accuracy to ensure high manufacturing productivity. The amount of running time losses is affected by the number of consecutively working machines at the automated line. In automated lines with high stability of the technological equipment functioning, the automated line running time utilization ratio is significantly higher, consequently, the efficiency and productivity of woodworking process increases. It has been established that the efficiency of automated lines with sequential placement of machines decreases due to imposed losses of the machine operation running time, which arise during the operation of the equipment. The impact on the production efficiency of all components of the equipment running time losses has been evaluated in order to reduce their impact on production efficiency and to ensure high productivity of automated woodworking processing lines. The proposed new method uses a correction factor for the calculation of automated lines, depending on the number of machines in the technological flow and allows for the dependence of the running time-imposed losses degree on the number of machines. Thus, the method allows calculating the real processes of automated lines functioning with higher accuracy.

Keywords: automated lines of woodworking manufacturing; woodworking equipment and machines; layout of technological lines; technological operations stability parameter; equipment running time losses; efficiency of automated processing systems.