

Т. В. Іванишин, Б. П. Поберейко, О. А. Валюх

Національний лісотехнічний університет України

СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯК МОДЕЛЬ ДЛЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ З ЖОРСТКИМ АГРЕГАТУВАННЯМ ДВОХ МАШИН

Обґрунтовано проблеми та задачі дослідження продуктивності і автосмагиваних ліній як випадкової величини з метою пошуку резервів щодо її підвищення та розроблення методів розрахунку якісних показників машинних систем для побудови їх ефективних структур і раціональної системи експлуатації. Описано структуру, параметри та аналітичні залежності ймовірностей фінальних станів системи масового обслуговування як математичної моделі автоматичної лінії з жорстким зв'язком між двома верстатами. Побудовано аналітичні залежності і для розрахунку коефіцієнта використання та накладених втрат робочого часу автосмагиваної лінії, жорстко агрегатованої двома машинами неоднакової продуктивності.

Ключові слова: продуктивність, автосмагивана лінія, ймовірність, система масового обслуговування, верстат, математична модель, коефіцієнт використання, накладені втрати

T. Ivanyshyn, B. Pobereyko, O. Valyukh

MASS SERVICE SYSTEM AS A MODEL FOR FORMALIZING PERFORMANCE INDICATORS OF AUTOMATED LINES WITH RIGID AGGREGATION OF TWO MACHINES

The problems and research tasks of studying the productivity of automated lines as a random variable in order to identify reserves for its improvement and develop methods for calculating the quality indicators of machine systems to construct their effective structures and rational operating systems are justified. The structure, parameters, and analytical dependencies of the probabilities of the final states of a mass service system are described as a mathematical model of an automatic line with a rigid connection between two machines. Analytical dependencies are constructed for calculating the utilization ratio and imposed losses of working time of an automated line, rigidly aggregated by two machines with different productivity.

Keywords: productivity, automated line, probability, mass service system, machine, mathematical model, utilization ratio, imposed losses.

Постановка проблеми. Аналіз процесу функціонування автоматизованих ліній показує, що на практиці важко забезпечити раціональні умови їх експлуатації. У результаті ефективність прийнятих структурно-компонувальних рішень, рівень надійності й стабільності роботи обладнання та якісні показники оброблення заготовок, які були закладені в будову машинної системи на основі проведених теоретичних досліджень, дають змогу реалізувати певну частину продуктивних можливостей автоматизованої лінії [1]. Як правило, в процесі її функціонування продуктивність обладнання, якість виготовленої продукції та витрати на експлуатацію є не постійними величинами через нестабільність інтервалів технологічних операцій, якості предметів оброблення та інструментів, рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу тощо. Це призводить до того, що реальні показники ефективності автоматизованої лінії під час її роботи не співпадають з прогнозованими, оскільки мають випадковий характер [2]. Тому, забезпечення проектних показників машинної системи у виробничих умовах, розроблення теорії та методів їх розрахунку з метою побудови раціональної системи експлуатації автоматизованої лінії є важливою науковою проблемою [1-3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для оброблення заготовок чи виготовлення деталей можна вибирати різні варіанти побудови автоматизованої системи машин, які відрізняються методами та маршрутами технологічних операцій, ступенем їх диференціювання та концентрації, типом обладнання й числом робочих позицій, компонованням транспортної системи, системою керування та числом різнотипних буферних пристроїв [3]. Тому, вибір оптимального поєднання технологічних і конструктивних параметрів проєктованих ліній базується на формалізації їх взаємозв'язків з показниками надійності, продуктивності й економічної ефективності роботи обладнання.

Дослідження продуктивності машинних систем в умовах їх експлуатації, передбачає розв'язання двох задач: знаходження резервів підвищення продуктивності ліній та отримання статистичних даних для проєктування нових автоматизованих систем машин з одночасним

узагальненням досвіду експлуатації діючих їх конструкцій і порівняльним аналізом ефективності роботи обох варіантів [2]. Тому математичною основою теорії продуктивності ліній є рівняння, які описують функціональну залежність продуктивності верстатів і машинної системи від технологічних, технічних, конструктивних, вартісних й інших показників обладнання [3].

Продуктивність автоматизованої лінії залежить від числа і продуктивності верстатів, які працюють в її структурі, ступеня диференціювання й концентрації технологічних операцій, числа і ємності міжверстатних накопичувачів та місць їх розташування, структурних варіантів побудови машинної системи [1-3]. Чим більша кількість дільниць і міжопераційних накопичувачів запасів заготовок, тим вища продуктивність ліній. Але ця залежність має асимптотичний характер: додавання кожного нового накопичувача дає зменшувальний додатковий приріст продуктивності [3].

Проектування раціональної структури автоматичної лінії й принципів її експлуатації повинно базуватись, перш за все, на аналізі реального технологічного процесу із врахуванням можливої зміни фактичної продуктивності ліній, позациклових втрат робочого часу, коефіцієнтів використання робочого часу, завантаження й технічного використання машинної системи тощо [1, 2]. Оскільки ці величини за своєю природою є випадковими (варіюються в певних межах), то визначити їх достовірні числові значення можна лише шляхом тривалих спостережень і замірів із відповідним математичним обробленням статистичних даних. Отримані результати дають змогу проводити структурний аналіз багатостатних систем із застосуванням аналітичних методів та методу імітаційного моделювання [2].

Викладення основного матеріалу. Дослідження показують, що під час функціонування автоматичної лінії практично всі її технологічні дільниці працюють в умовах стохастичної невизначеності зміни важливих показників процесу оброблення чи виготовлення деталей [2]. Тобто, ці показники є випадковими величинами, або випадковими функціями. Їх імовірнісні характеристики, як правило, невідомі через мінливість параметрів сировини, матеріалів і заготовок та конструктивну особливість обладнання зі стохастичним варіюванням параметрів потоків замовлень і їх оброблення.

Тому для математичного моделювання автоматизованої лінії з жорстким зв'язком між двома машинами (рис. 1) можна застосувати аналітичний апарат системи масового обслуговування (СМО) з обмеженим часом очікування замовлення [2, 4], процес роботи якої є випадковим марковським процесом з відсутністю післядії та з дискретним станом і неперервним часом поступлення найпростішого потоку заготовок (потоків Пуассона) і показниковим розподілом часу їх обслуговування на технологічних дільницях [4].

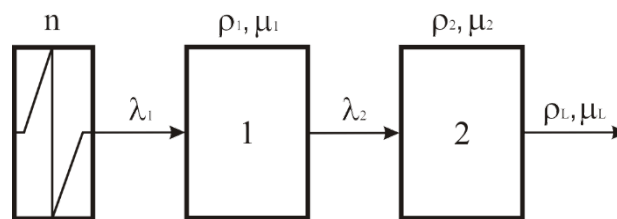


Рис. 1. Схема автоматизованої лінії послідовної структури з жорстким зв'язком між двома верстатами:

n – число вхідного потоку заготовок; λ_1, λ_2 – інтенсивності подачі заготовок на перший і другий 2 верстати; ρ_1, ρ_2 – коефіцієнти використання робочого часу верстатів; μ_1 і μ_2 – продуктивності верстатів; ρ_L – коефіцієнт використання робочого часу лінії; μ_L – продуктивність лінії

У такому разі автоматизована лінія є багатоканальною системою масового обслуговування (рис. 2), яка характеризується числом каналів, випадковим поступленням потоку замовлень, випадковим часом їх обслуговування, коефіцієнтами використання робочого часу каналів та продуктивністю системи [4]. Ці параметри відображають здатність СМО обслуговувати потоки замовлення і зв'язують їх у вигляді математичного очікування випадкових величин з такими показниками ефективності роботи системи, як: середнє число замовлень, що обслуговуються в одиницю часу; середнє число замовлень в черзі; середній час очікування обслуговування; імовірність відмови в обслуговуванні без очікування; імовірність того, що число замовлень у черзі перевищує певне значення тощо.

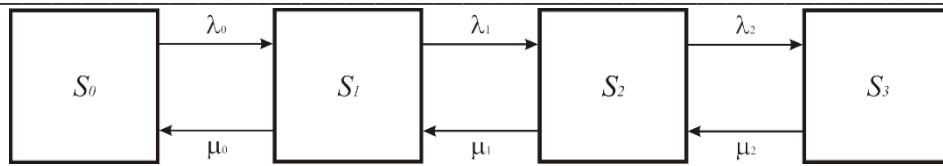


Рис. 2. Граф багатоканальної СМО як моделі автоматизованої двоверстатної лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком:

S_0 – два верстати вільні (простоюють); S_1 – перший верстат виконує замовлення, другий вільний; S_2 – другий верстат виконує замовлення, перший вільний; S_3 – обидва верстати виконують замовлення; $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ – інтенсивності вхідних потоків замовлень; μ_0, μ_1, μ_2 – інтенсивності виконання замовлень на верстатах

Відповідно до рис. 1 рівняння ймовірностей станів системи в період часу $t + \Delta t$ для усталеного режиму роботи верстатів мають вигляд [2]:

– в системі роботи двох машин відсутні заготовки – $p(0, 0, t)$, тобто на перший верстат не поступає жодна заготовка – $(1 - \lambda_1 \Delta t)$, а на другому верстаті обробляється одна заготовка – $p(0, 1, t)$ і після завершення її обробки – $\mu_2 \Delta t$ вона покине систему, але надалі на другий верстат за час Δt не поступають інші заготовки $(1 - \lambda_2 \Delta t)$:

$$p(0, 1) = \rho_2 p(0, 0), \quad n_1 = n_2 = 0, \quad (1)$$

де n_1, n_2 – число заготовок на ділянці роботи першого і другого верстатів;

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \text{ – коефіцієнт використання робочого часу другого верстата;}$$

– на ділянці роботи першого верстата знаходиться n_1 заготовок (одна обробляється, інші чекають своєї черги), а на другому верстаті відсутні заготовки:

$$(1 + \rho_1) p(n_1, 0) = \frac{\rho_1}{\rho_2} p(n_1, 1) + \rho_1 p(n_1 - 1, 0), \quad n_1 > 0, \quad n_2 = 0, \quad (2)$$

де $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$ – коефіцієнт використання робочого часу першого верстата;

– на ділянці роботи першого верстата відсутні заготовки (одна обробляється, інші чекають своєї черги), а в зоні роботи другого верстата знаходиться n_2 заготовок (одна обробляється, інші чекають своєї черги):

$$(1 + \rho_2) p(0, n_2) = \frac{\rho_2}{\rho_1} p(1, n_2 - 1) + p(0, n_2 + 1), \quad n_1 = 0, \quad n_2 > 0; \quad (3)$$

– обидва верстати працюють: на ділянці першої машини знаходиться n_1 заготовок, а на ділянці другої машини – n_2 заготовок:

$$(\rho_1 + \rho_2 + \rho_1 \rho_2) p(n_1, n_2) = \rho_2 p(n_1 + 1, n_2 - 1) + \rho_1 p(n_1, n_2 + 1) + p(n_1 - 1, n_2), \quad n_1 > 0, \quad n_2 > 0; \quad (4)$$

Розв'язання системи рівнянь фінальних ймовірностей станів СМО (1-4) дає змогу отримати залежності для визначення максимальних значень коефіцієнтів використання машин двофазної системи з жорстким агрегуванням верстатів різної продуктивності [2]:

$$\rho_1 = \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3}; \quad \rho_2 = \mu \cdot \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3}, \quad (5)$$

де $\mu = \frac{\mu_1}{\mu_2}$ – співвідношення продуктивностей верстатів у лінії.

Тоді, граничне значення інтенсивності потоку замовлень у СМО (пропускної здатності системи) в усталеному режимі її роботи можна визначити зі співвідношення:

$$\lambda_{max} = \mu_L = \mu_1 \rho_1 = \mu_2 \rho_2 \quad (6)$$

Враховуючи те, що в теорія продуктивності ліній запропоновано обчислювати величину використання робочого часу всієї автоматизованої системи машин за формулою [1]:

$$\rho_L = \frac{1}{1 + \sum \frac{1 - \rho_i}{\rho_i}} \quad (7)$$

то для випадку двоверстатної лінії ця залежність має вигляд:

$$\rho_L = \frac{1}{1 + \frac{1 - \rho_1}{\rho_1} + \frac{1 - \rho_2}{\rho_2}} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 + \rho_1 - \rho_1 \rho_2} = \frac{1}{\frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_1} - 1}. \quad (8)$$

Практичне застосування рівняння (8) для розрахунку чи прогнозування параметра ρ_L характеризується значними труднощами та суттєвими похибками в зв'язку зі складністю визначення коефіцієнтів ρ_1 і ρ_2 , як випадкових величин [2].

Тому, виразивши ρ_1 і ρ_2 у рівнянні (8) через співвідношення (5), які були виведені під час аналітичного аналізу фінальних імовірностей станів СМО як моделі автоматизованої лінії, отримаємо залежність для розрахунку ρ_L за величинами співвідношення продуктивностей верстатів у машинній системі:

$$\rho_L = \frac{1}{\frac{1}{\mu \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3}} + \frac{1}{\mu \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3}} - 1} = \frac{\mu(1 - \mu^2)}{1 - \mu^4} = \frac{\mu}{1 - \mu^2}. \quad (9)$$

Тоді, підставивши у (9) співвідношення $\mu = \frac{\mu_1}{\mu_2}$, отримаємо рівняння для обчислення величини коефіцієнта використання робочого часу ρ_L автоматизованої лінії за показниками продуктивності верстатів з умовою, що їх величини є неоднаковими ($\mu_1 \neq \mu_2$, $\mu \neq 1$):

$$\rho_L = \frac{\mu}{1 + \mu^2} = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1^2 + \mu_2^2}. \quad (10)$$

Продуктивності машин у лінії можна визначити як $\mu_i = \frac{1}{t_i}$, де t_i – середнє значення тривалості технологічної операції на верстаті.

Враховуючи те, що згідно з теорією продуктивності ліній накладені втрати H_L робочого часу автоматизованої машинної системи дорівнюють [2, 5]

$$H_L = 1 - \rho_L, \quad (11)$$

то в нашому випадку:

$$H_L = 1 - \frac{\mu}{1 + \mu^2} = \frac{1 - \mu + \mu^2}{1 + \mu^2}. \quad (12)$$

Або, виразивши (12) через продуктивності верстатів, що компонують автоматизовану лінію, отримаємо співвідношення:

$$H_L = \frac{\mu_1^2 - \mu_1 \mu_2 + \mu_2^2}{\mu_1^2 + \mu_2^2}. \quad (13)$$

Висновки. Побудовані математичні залежності дають змогу отримати адекватні результати обчислень і роботи справедливих висновки під час аналізу чи прогнозування показників ефективності функціонування автоматизованих машинних систем в умовах стохастичної невизначеності зміни інтервалів випуску продукції, коли потоки заготовок на лінії є найпростішими, а тривалості їх оброблення описуються показниковим законом розподілу ймовірностей.

Список використаних джерел

1. Кузнецов М. М. Автоматизация производственных процессов: учеб. для вузов / М. М. Кузнецов, Л. И. Волчкевич, Ю. П. Замчалов; под ред. Г. А. Шаумяна – М.: Высшая школа, 1978. – 431 с.
2. Елементи теорії автоматичних ліній / Дудюк Д. Л., Загвойська Л. Д., Максимів В. М., Сорока Л. М. – Київ-Львів, 1998. – 190 с.
3. Автоматизация процессов машиностроения: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Я. Буда, В. Гановски, В. С. Вихман и др.; под ред. А. И. Дашенко. – М.: Высш. школа, 1991. – 480 с.
4. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник / А. Л. Литвинов. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.
5. Дудюк Д. Л. Оцінка й елімінування втрат робочого часу в автоматизованих системах деревообробного виробництва / Д. Л. Дудюк, Л. Д. Загвойська. – Львів: вид. дім “Панорама”, 2003. – 140 с.