

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВЕЛИЧИНИ СПІВВІДНОШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕРСТАТІВ У АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЯХ

Методами імітаційного та математичного моделювання процесу оброблення брускових заготовок на деревообробних автоматизованих лініях з жорстким агрегуванням обладнання досліджено вплив величини співвідношення продуктивності верстатів на питомі зведені витрати випуску продукції в умовах стохастичної зміни тривалості технологічних операцій на дільницях машинних систем. Дано рекомендації щодо проектування автоматизованих ліній, скомпонованих верстатами з оптимальним співвідношенням циклових продуктивності.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, математичне моделювання, верстат, жорстке агрегування, стохастична зміна, тривалість технологічної операції, автоматизована лінія, співвідношення продуктивності, питомі зведені витрати.

**Актуальність теми.** Кожна автоматизована лінія в процесі свого функціонування має накладені втрати робочого часу [1], величина яких залежить від показників роботи верстатів, їх кількості і способів з'єднання у лінії та складної природи стохастичного взаємовпливу машин у технологічному потоці [2]. Оскільки простої верстатів у лініях підпорядковуються законам випадкового розподілу, то очікувані накладені втрати в автоматизованих машинних системах на стадії їх проектування часто оцінюються орієнтовно. Це призводить до того, що реальні показники ефективності роботи лінії не збігаються з прогнозованими: продуктивність технологічного процесу, зазвичай, є нижчою за проекту, а видатки на випуск продукції зростають [2].

**Мета дослідження.** Визначення оптимального співвідношення продуктивності верстатів, що компонують автоматизовану лінію, та встановлення характеру його впливу на питомі зведені витрати оброблення заготовок.

**Методика розв'язання задачі.** Для визначення оптимальних співвідношень продуктивності  $\mu_j$  верстатів у лінії, що є одним із способів зменшення коефіцієнта міжверстатного накладання втрат робочого часу та видатків  $Z_L$  на виготовлення продукції, застосовано математичну модель, отриману за допомогою імітаційного моделювання процесу функціонування триверстатної лінії з жорстким агрегуванням обладнання [4, 5]:

$$Z_L = e^{\ln(5,04385 \cdot K_1^a \cdot K_2^b \cdot K_3^c \cdot \mu_1^d \cdot \mu_2^k)}, \quad (1)$$

де:  $K_1, K_2$  і  $K_3$  – коефіцієнти стабільності роботи верстатів (параметри Ерланґа):  $1 \leq K_i \leq 60, i = 1, \dots, 3$ ;  $\mu_1$  і  $\mu_2$  – співвідношення продуктивності верстатів  $P_i$ :  $\mu_1 = P_1/P_2, \mu_2 = P_2/P_3, 0.5 \leq \mu_j \leq 2.0, j = 1, 2$ ;

$$a = \ln[0,9431 \cdot K_1^{0,0092} \cdot K_2^{-0,00173}] ;$$

$$b = \ln[0,9397 \cdot K_2^{0,009917} \cdot K_3^{-0,00174} \cdot \mu_1^{-0,00965}] ;$$

$$c = \ln[0,9433 \cdot K_3^{0,00919} \cdot K_1^{-0,00064} \cdot \mu_1^{-0,01417} \cdot \mu_2^{-0,02014}] ;$$

$$d = \ln[1,02353 \cdot K_1^{0,02011} \cdot \mu_1^{0,53919} \cdot \mu_2^{0,5837}] ;$$

$$k = \ln \left[ 0,9760 \cdot K_1^{0,01452} \cdot K_2^{0,00942} \cdot \mu_2^{0,5378} \right] .$$

За допомогою побудованої математичної моделі (1), зафіксувавши на визначених рівнях значення вхідних факторів  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $\mu_1$  і  $\mu_2$ , отримано масив значень функцію відгуку  $Z_L$ , який представлено в табл. 1 і табл. 2.

**Табл. 1. Залежність зведених витрат  $Z_L$  на оброблення заготовок від параметрів  $\mu_i$  і  $K_i$  роботи рівнопродуктивних верстатів лінії**

| Вхідні параметри | Величина питомих зведених витрат $Z_L$ на оброблення однієї заготовки для $\mu_1 = \mu_2$ |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\mu_1 = \mu_2$  | 0,5                                                                                       | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2     |
| $K_1=K_2=K_3=1$  | 11,21                                                                                     | 7,78 | 5,48 | 5,04 | 5,33 | 6,09 | 7,28 | 8,95 | 11,19 |
| $K_1=K_2=K_3=5$  | 8,94                                                                                      | 6,21 | 4,37 | 4,02 | 4,25 | 4,86 | 5,81 | 7,14 | 8,93  |
| $K_1=K_2=K_3=10$ | 8,43                                                                                      | 5,86 | 4,12 | 3,80 | 4,01 | 4,58 | 5,48 | 6,73 | 8,42  |
| $K_1=K_2=K_3=40$ | 8,04                                                                                      | 5,58 | 3,93 | 3,62 | 3,82 | 4,37 | 5,22 | 6,42 | 8,03  |

**Табл. 2. Залежність зведених витрат  $Z_L$  на оброблення заготовок  $Z_L$  від параметрів  $\mu_i$  і  $K_i$  роботи різнопродуктивних верстатів лінії**

| Співвідношення продуктивностей машин | Величина питомих зведених витрат $Z_L$ на оброблення однієї заготовки для $\mu_1 \neq \mu_2$ |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\mu_1$                              | 0,5                                                                                          | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2     |
| $K_1 = K_2 = K_3 = 1$                |                                                                                              |      |      |      |      |      |      |      |       |
| $\mu_2 = 0,5$                        | 11,21                                                                                        | 9,29 | 7,43 | 6,64 | 6,31 | 6,21 | 6,25 | 6,39 | 6,61  |
| $\mu_2 = 0,8$                        | 7,27                                                                                         | 6,33 | 5,48 | 5,21 | 5,20 | 5,34 | 5,58 | 5,89 | 6,27  |
| $\mu_2 = 1,0$                        | 6,43                                                                                         | 5,74 | 5,15 | 5,04 | 5,16 | 5,40 | 5,74 | 6,16 | 6,64  |
| $\mu_2 = 1,4$                        | 5,92                                                                                         | 5,47 | 5,20 | 5,32 | 5,63 | 6,09 | 6,64 | 7,29 | 8,02  |
| $\mu_2 = 2,0$                        | 6,19                                                                                         | 5,94 | 6,00 | 6,42 | 7,07 | 7,88 | 8,85 | 9,95 | 11,19 |
| $K_1 = K_2 = K_3 = 5$                |                                                                                              |      |      |      |      |      |      |      |       |
| $\mu_2 = 0,5$                        | 8,94                                                                                         | 7,40 | 5,91 | 5,28 | 5,01 | 4,92 | 4,96 | 5,06 | 5,23  |
| $\mu_2 = 0,8$                        | 5,82                                                                                         | 5,06 | 4,37 | 4,15 | 4,14 | 4,25 | 4,43 | 4,68 | 4,97  |
| $\mu_2 = 1,0$                        | 5,15                                                                                         | 4,59 | 4,11 | 4,02 | 4,11 | 4,30 | 4,57 | 4,90 | 5,28  |
| $\mu_2 = 1,4$                        | 4,75                                                                                         | 4,38 | 4,16 | 4,25 | 4,50 | 4,86 | 5,29 | 5,81 | 6,39  |
| $\mu_2 = 2,0$                        | 4,98                                                                                         | 4,78 | 4,81 | 5,15 | 5,66 | 6,30 | 7,07 | 7,94 | 8,93  |
| $K_1 = K_2 = K_3 = 10$               |                                                                                              |      |      |      |      |      |      |      |       |
| $\mu_2 = 0,5$                        | 8,43                                                                                         | 6,98 | 5,57 | 4,97 | 4,71 | 4,63 | 4,66 | 4,76 | 4,91  |
| $\mu_2 = 0,8$                        | 5,49                                                                                         | 4,78 | 4,12 | 3,91 | 3,90 | 4,00 | 4,17 | 4,4  | 4,68  |
| $\mu_2 = 1,0$                        | 4,87                                                                                         | 4,34 | 3,89 | 3,79 | 3,87 | 4,05 | 4,31 | 4,61 | 4,97  |
| $\mu_2 = 1,4$                        | 4,49                                                                                         | 4,15 | 3,93 | 4,01 | 4,25 | 4,58 | 4,99 | 5,47 | 6,02  |
| $\mu_2 = 2,0$                        | 4,71                                                                                         | 4,52 | 4,55 | 4,86 | 5,34 | 5,95 | 6,67 | 7,49 | 8,42  |
| $K_1 = K_2 = K_3 = 40$               |                                                                                              |      |      |      |      |      |      |      |       |
| $\mu_2 = 0,5$                        | 8,04                                                                                         | 6,65 | 5,29 | 4,72 | 4,47 | 4,39 | 4,42 | 4,51 | 4,65  |
| $\mu_2 = 0,8$                        | 5,25                                                                                         | 4,56 | 3,93 | 3,73 | 3,71 | 3,80 | 3,97 | 4,18 | 4,44  |
| $\mu_2 = 1,0$                        | 4,66                                                                                         | 4,15 | 3,71 | 3,62 | 3,69 | 3,86 | 4,09 | 4,39 | 4,72  |
| $\mu_2 = 1,4$                        | 4,31                                                                                         | 3,97 | 3,76 | 3,83 | 4,05 | 4,37 | 4,76 | 5,21 | 5,73  |
| $\mu_2 = 2,0$                        | 4,52                                                                                         | 4,34 | 4,36 | 4,65 | 5,11 | 5,69 | 6,37 | 7,15 | 8,03  |

З побудованих за даними табл. 1 і табл. 2 графіків функціональної залежності  $Z_L = f(K_1, K_2, K_3, \mu_1, \mu_2)$  видно, що одним із найгірших компонентів триверстатної системи за критерієм мінімуму зведених витрат  $Z_L \rightarrow \min$  у ви-

значеному діапазоні зміни співвідношень продуктивності трьох агрегатів  $0.5 < \mu_j < 2.0$  буде її варіант, коли параметр  $\mu_2$  для другої пари машин дорівнює  $\mu_2 = 0.5$ , а значення параметра  $\mu_1$  для першої пари машин коливається в межах  $0.5 \leq \mu_1 \leq 1$  (рис. 1.1). Це відповідає структурі лінії, коли найпродуктивніший верстат розміщено в кінці технологічного потоку, а найменш продуктивна машина працює на його початку:  $P_1 < P_2 < P_3$ . Причому, продуктивність третього агрегату в 2 рази вища за продуктивність другого, а співвідношення  $P_2/P_1 \approx 1 \dots 2$ . У такому разі витрати на оброблення заготовок  $Z_L$  будуть максимальними, а друга та третя машини матимуть значні втрати робочого часу, оскільки перший верстат не зможе максимально завантажувати предметами оброблення дві останні машини. Вирівнювання значень  $P_1$  і  $P_2$  покращує ефективність роботи лінії, але в межах зміни  $\mu_1 = 0.5 \dots 1$ . Наступне зростання величини співвідношення до  $\mu_1 = P_1/P_2 = 2$  погіршує варіант лінії за критерієм  $Z_L \rightarrow \min$ , оскільки в цьому разі  $P_1 = P_3$ . Продуктивність другого верстата  $P_2$ , який знаходиться в середині потоку, порівняно з двома іншими машинами буде меншою в 2 рази:  $P_1 = P_3 > P_2$ .

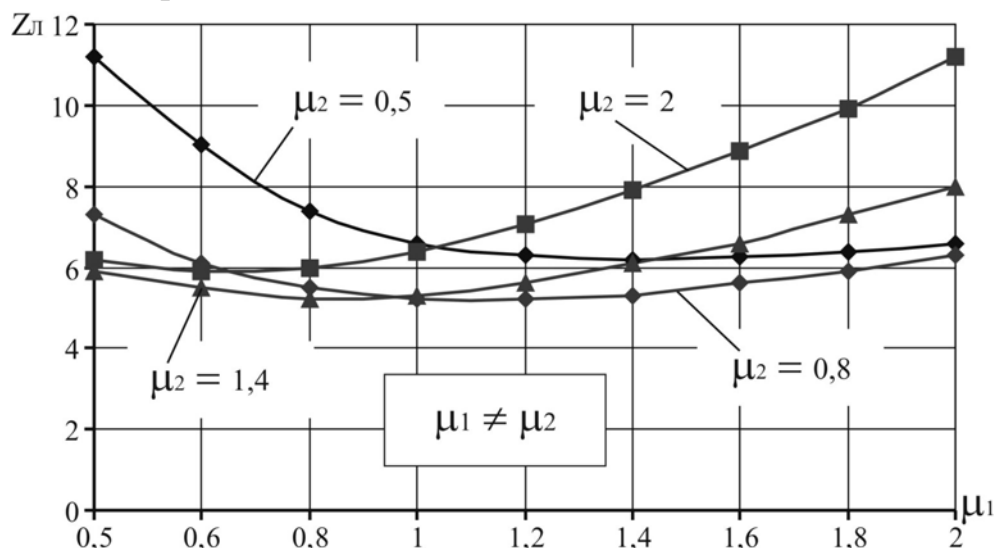


Рис. 1. Залежність питомих зведених витрат  $Z_L$  на оброблення заготовок від співвідношення  $\mu_j$  різнопродуктивних верстатів у лінії

Одним із ефективних агрегувань триверстатних виробничих систем за критерієм мінімуму зведених витрат  $Z_L \rightarrow \min$  на оброблення заготовок можна вважати варіант, коли співвідношення продуктивності  $\mu_j$  кожної пари верстатів відповідають інтервалам варіювання  $1.0 < \mu_1 \leq 1.4$  і  $0.5 \leq \mu_2 < 1$ . Практично аналогічним за ефективністю є варіант, коли  $1 \leq \mu_1 \leq 2$  і  $\mu_2 = 2$ . Це означає, що верстати в лінії розміщено в порядку спадання їх продуктивності:  $P_1 > P_2 > P_3$ , або  $P_1 = P_2 > P_3$ . У такому разі продуктивність третьої машини у два рази менша за продуктивність другої, а співвідношення продуктивності першої та третьої може бути в межах  $2 \leq P_1/P_3 \leq 4$ . Це веде до постійного простоювання першого верстата, оскільки він є найбільш продуктивним, і перевантаження третьої машини, внаслідок чого вона не встигатиме обробляти заготовки. Тому, під час компонування лінії для  $0.5 \leq \mu_1 < 1$  оптимальним буде співвідношення другої пари верстатів:  $1 < \mu_2 \leq 2$ , а структура машинної системи відповідає умовам:  $P_1 < P_2 > P_3$ , або  $P_1 = P_3 < P_2$ .

З рис. 2 видно, що ідеальною структурою лінії є її компонування рівнопродуктивним і високостабільним ( $K_i = 40$ ) обладнанням. У цьому разі значення функції відгуку  $Z_L$  буде мінімальним. Але на практиці такий варіант триверстатних виробничих систем реалізувати дуже важко, як з технологічних, так і з конструктивних міркувань.

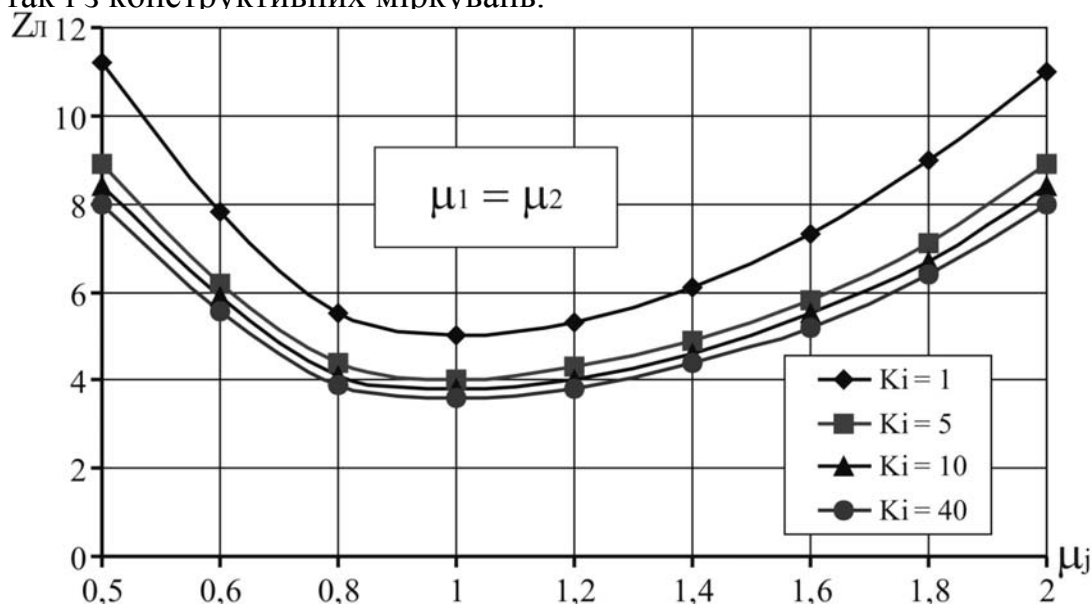


Рис. 2. Залежність питомих зведених витрат  $Z_L$  на оброблення заготовок від співвідношення  $\mu_j$  рівнопродуктивних верстатів у лінії

Наближенням до оптимуму може бути структура автоматизованої лінії, в якій співвідношення продуктивності обох пар верстатів перебуває в межах  $0,8 < \mu_{1,2} < 1,2$  (рис. 1).

**Висновки.** Найвищі витрати на оброблення заготовок має автоматизована лінія з жорстким агрегуванням різнопродуктивними та низькостабільними верстатами, незалежно від місця їх розташування в потоці. Найкращим варіантом такої лінії за критерієм мінімуму зведених витрат є структура системи машин, скомпонована рівнопродуктивними та високостабільними верстатами. Наближенням до оптимальної може бути структура триверстатної лінії, у якій співвідношення продуктивності кожної пари суміжних верстатів варіюються в межах  $0,8 < \mu_{1,2} < 1,2$ . Тобто різниця між продуктивністю всіх машин не повинна перевищувати 20 %.

Якщо під час проектування автоматизованої лінії технологія процесу та конструкція верстатів обмежують діапазон можливого вибору машин за їх продуктивністю, то в такому разі потрібно узгоджувати оптимальні межі зміни величини співвідношень продуктивності суміжних верстатів. Тобто, якщо значення параметра  $\mu_1$  першої пари машин у лінії змінюється в інтервалі  $1 < \mu_1 \leq 2$ , то співвідношення продуктивності  $\mu_2$  для другої пари машин повинно відповідати інтервалу  $0,5 \leq \mu_2 < 1$ . І навпаки, якщо для перших двох верстатів значення  $\mu_1$  міститься в межах  $0,5 \leq \mu_1 < 1$ , то величина параметра  $\mu_2$  повинна змінюватись у діапазоні  $1 < \mu_2 \leq 2$ .

## Література

1. 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.

2. **Елементи теорії** автоматичних ліній : навч. посібн. / Д.Л. Дудюк, Л.Д. Загвойська, В.М. Максимів, Л.М. Сорока. – Київ-Львів, 1998. – 190 с.

3. **Іванишин Т.В.** Оптимізаційна модель синхронних багатOVERстатних ліній з постійним ритмом роботи у виробництві віконних і дверних блоків / Т.В. Іванишин // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. -техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2002. – Вип. 12.8. – С. 314-319.

4. **Іванишин Т.В.** Формализация критерия оптимизации систем машин из стохастическими интервалами обработки заготовок / Т.В. Иванишин // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. труд. по итогам Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск : Изд-во БГИТА, 2008. – Вып. 21. – С. 240-242.

#### **Іванишин Т.В. Обоснование оптимальной величины соотношения производительности станков в автоматизированных линиях**

Методами имитационного и математического моделирования процесса обработки брусковых заготовок на деревообрабатывающих автоматизированных линиях с жестким агрегатированием оборудования исследовано влияние величины соотношения производительности станков на удельные приведенные затраты выпуска продукции в условиях стохастического изменения длительности технологических операций на участках машинных систем. Даны рекомендации относительно оптимального соотношения производительности станков при проектировании автоматизированных линий.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, математическое моделирование, станок, жесткое агрегатирование, стохастическое изменение, длительность технологической операции, автоматизированная линия, соотношение производительности, удельные приведенные затраты.

#### **Ivanyshyn T.V. Optimum size of correlation of productivities of machine-tools in the automated lines**

Using imitation and mathematical design the process of work of woodworking lines was investigated. The influence of machine-tools productivity of line on the cost of machining of squared beam purveyances in the conditions of stochastic change of the duration of technological operations was set. Recommendations are done in relation to optimum planning of automated lines taking into account the productivity of machine-tools.

**Keywords:** imitation design, mathematical design, machine-tool, hard connection of machine-tools, stochastic change, duration of technological operation, automated line, correlation of productivities, charges for making products.

УДК 630\*95

Здобувач Н.М. Собко;

доц. І.Ф. Солтис, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

### **СИНТЕЗ СИСТЕМИ МАШИН ДЛЯ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬ В ГІРСЬКИХ УМОВАХ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ**

Наведено аналіз роботи машин на лісозаготівлях у гірських умовах. Запропоновано схему багатокритеріального синтезу для вибору системи машин. Виведено аналітичні залежності для визначення коефіцієнта готовності системи машин та комплексного показника ефективності їх роботи, що виражає відношення вартості машин до їх фактичної продуктивності.

Лісові масиви Карпат становлять складну екосистему, яка є фундаментом для виникнення і функціонування окремих лісogосподарських та лісозаготівельних підсистем. У межах одного територіального регіону ці підсистеми пов'язані між собою певними процесами їх функціонування. Робота підсистем часто призводить до виникнення несприятливих процесів та явищ, які