

8. Голубов И.А. Методы неразрушающего контроля древесных плит. – М.: "Лесн. пром-сть". 1982. – 152 с.
9. Болдырев Г.И., Рукмане Я.Я., Штакельберг Д.И. Изменение физико-механического состояния керамических изделий в процессе сушки. – Рига.: Рижский политехнический институт, 1980. – 9-19 с.
10. Берзиньш Г.В., Зудов И.А., Эглайс И.Я. Определение динамических модулей сдвига пластифицированной древесины березы ультразвуковым методом. – М.: Труды института леса и древесины. Строение и физические свойства древесины. – 1962. – 36-39 с.
11. Берзон А.В. О механизме распространения продольных ультразвуковых волн во влажной древесине: Неразрушающие методы испытания строительных материалов и конструкций. – Рига.: Политехнический институт. – 1974, вып. 1. – 85-99 с.
12. Кошкин Н.И., Горбунов М.А., Дмитриева Н.А. Исследование акустических свойств полимеров импульсным методом: Применение ультраакустики к исследованию вещества. – М.: Наука. – 1964, вып. 20. – 47-52 с.
13. Дзенис В.В., Кадлечек В., Галан А., Догналек И. Вопросы геометрической дисперсии ультразвуковых волн в бетоне. – Рига.: Рижский политехнический институт, 1980. – 61-65 с.
14. Татаринцов А.М. Влияние толщины образца на скорость распространения изгибных волн ультразвука. – Рига.: Рижский политехнический институт, 1980. – 108-113 с.
15. Соколов П.В. Сушка Древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 354 с.
16. Уголев Б.Н. Испытание древесины и древесных материалов. – М.: Лесн. пром-сть. 1966. – 250 с.
17. Сергиенко Ю.К. Исследование ультразвукового метода обнаружения гнили в круглых лесоматериалах/ Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 1968. – 179 с.
18. Царев С.П. Факторизация линейных дифференциальных операторов с частными производными и метод Дарбу интегрирования нелинейных уравнений с частными производными// Теор. и матем. физика. 2000. Т. 122, № 1. С. 144-160.
19. Білей П.В. Теоретичні основи теплового оброблення і сушіння деревини. – К: Вік, 2005. – 362 с.
20. Латищенко В.А. Діагностика жёсткости и прочности материалов. – Р.: Из-во "Зинатне". – 1998. – 205 с.
21. Леонтьев Н.Л. Влияние влажности на физико-механические свойства древесины. – М.: Гослесбумиздат. 1962. – 117 с.
22. Леонтьев Н.Л. Упругие деформации древесины. – М.: Гослесбумиздат. 1957. – 111 с.

УДК 330.133.7

*Проф. Д.Л. Дудюк, д-р техн. наук;
доц. Л.Д. Загвойська, канд. екон. наук – НЛТУ УКРАЇНИ*

ВІРТУАЛЬНІ ПАРИ – РЕАЛЬНЕ НАКЛАДАННЯ ВТРАТ РОБОЧОГО ЧАСУ

Розвивається новий метод оцінки накладання втрат робочого часу в системах послідовного агрегування. Метод віртуальних пар відображає реальну картину процесу накладання втрат робочого часу і дає змогу достовірно оцінити їх у складних системах різноманітного призначення.

Prof. D.L. Dudyuk; doc. L.D. Zahvoyska – NUFWT of Ukraine

Virtual pairs – realistic Estimation of Superposition of Working Time Losses

The new method of superposition of working time losses in tandem production systems is developed. Virtual pairs method represents real picture of superposition of working time losses process and gives the opportunity to estimate them in complex systems of various purpose.

Для достовірної оцінки ефективності виробничих систем необхідно визначити не тільки їх потенціальні можливості, але і неминучі втрати, що

супроводять процес функціонування цих систем. Серед таких показників важливе місце займають додаткові або накладені втрати робочого часу (ВРЧ) [1, 2]. Їх величина визначається, в першу чергу, параметрами і кількістю робочих ділянок у виробничій системі, способом їх компонування, стабільністю роботи тощо. Існуюча практика послідовного попарного аналізу багатofазних систем за традиційними залежностями для двох ділянок дає значно завищену оцінку втрат [2, 3]. Метод віртуальних пар (МВП) вигідно відрізняється від традиційного своєю гнучкістю стосовно кількості фаз – послідовних виробничих ділянок у системі. Зміна показника степеня n у виразах для обчислення ВРЧ на першій віртуальній ділянці [3]:

$$H_1 = \mu^n \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}}; \quad (1)$$

і на другій:

$$H_2 = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}}, \quad (2)$$

залежно від загальної кількості ділянок a у реальній системі дає змогу достовірно оцінити величину ВРЧ у всій аналізованій виробничій системі та на кожній ділянці, виходячи з відношення пропускних здатностей цих ділянок ($\mu = \mu_i / \mu_{i+1}$). Проаналізована проста залежність показника $n = \sqrt[3]{4a}$ дає задовільні результати у діапазоні $2 \leq a \leq 30$ [3]. Наш детальний аналіз показав, що цей діапазон можна значно розширити з одночасним підвищенням точності розрахунків.

На підставі проведених тут обчислень за різними методами, імітаційних проб численних варіантів виробничих систем ми пропонуємо обчислювати змінний показник n для МВП за такими залежностями:

$$n = \begin{cases} \sqrt[3]{4a}, & 2 \leq a \leq 15; \\ \left(\sqrt[3]{4a} + 1,375 \ln a \right) : 2, & 16 \leq a \leq 21; \\ 1,375 \ln a, & a \leq 22. \end{cases} \quad (3)$$

Пересвідчитись у достовірності наведених залежностей можна через величину коефіцієнта додаткових ВРЧ (H), який зв'язаний з показником n наступним виразом [3, 4]:

$$H_n = 1 - \left(\frac{n}{n+1} \right)^{\log_2 a} = 1 - (n^{-1} + 1)^{-1,443 \ln a}, \quad (4)$$

де $\log_2 a \approx 1,443 \ln a$.

Порівняння результатів обчислень за виразом (4) та вже добре апробованим співвідношенням

$$H_a = 0,6(3) - \frac{0,6}{a} \quad (5)$$

для ділянок з однаковими параметрами [2,3] дає змогу стверджувати наступне. Зі збільшенням кількості послідовних фаз оброблення a (кількості

дільниць чи технологічних операцій) від 2 до 2000 змінний показник степеня n зростає від 2 до 10,451 (табл. 1, с. 4-5). Найбільша відповідність для систем з однаковими дільницями, жорсткими зв'язками між ними ($M=0$) та параметром стабільності $K=1$ досягається, якщо змінний показник степеня апроксимувати трьома окремими відрізками (3): у системах до 15 дільниць, від 16 до 21 і понад 21 дільницю (рис. 1). У логарифмічній системі координат на всьому діапазоні кількості дільниць від 2 до 1000 зберігається майже лінійна залежність показника n (рис. 1). Тут на осі абсцис суміщені три діапазони шкали кількості дільниць a – від 2 до 10, від 10 до 100 і від 100 до 1000, з яких перша належить до нижньої лінії значень показника n , друга – до середньої і третя – до верхньої. У діапазоні $16 \leq a \leq 21$ змінюється кут нахилу значень показника n , тому тут необхідно використовувати його усереднені значення.

Табл. 1. Порівняльна оцінка показника степеня n і коефіцієнта втрат робочого часу H

Кількість послідовних фаз a	Додаткові ВРЧ		Показники степеня n		Розрахунок ВРЧ	
	ІМ	$0,6(3)-0,6/a$	$\sqrt[3]{4a}$	$1,375 \ln a$	$H=1-(n^{-1}+1)^{-1,433 \ln a}$	
2	0,333	0,333	2		0,333	
3	0,434	0,433	2,289		0,437	
5	0,513	0,513	2,714		0,517	
10	0,572	0,573	3,420		0,574	
15	0,589	0,593	3,915		0,589	
16	0,591	0,595	3,906		0,598	
18	-	0,600	4,067		0,600	
21	0,598	0,604	4,283		0,600	
22	-	0,606		4,250		0,608
25	0,609	0,609		4,426		0,612
30	0,612	0,613		4,667		0,614
50	0,616	0,621		5,379		0,618
75	-	0,625		5,937		0,621
100	0,624	0,627		6,332		0,623
200	-	0,630		7,285		0,626
400	0,6265	0,6315		8,238		0,629
500	0,627	0,632		8,545		0,629
1000	-	0,632		9,499		0,631
2000	-	0,6325		10,451		0,633

Наші міркування переконливо підтверджуються результатами обчислень коефіцієнта накладання ВРЧ через показник степеня n за виразом (4) (табл. 1, с. ст. 6 і 7) та зіставлення їх із даними імітаційного моделювання (ст.2), розрахунками за виразом (5) (табл. 1, с. 3) і окремими даними зарубіжних досліджень [5]. Досить близький збіг спостерігається в діапазоні до 10-15 послідовних дільниць ($2 \leq a \leq 15$) для першого способу апроксимації (3) показника n (рис. 2, крива 3) та в діапазоні $a \geq 22$ – для другого способу (рис. 2, лінія 1). У невеликому проміжку $16 \leq a \leq 21$ необхідно користуватися середніми значеннями показника n , обчисленими за першим і другим способами апроксимації.

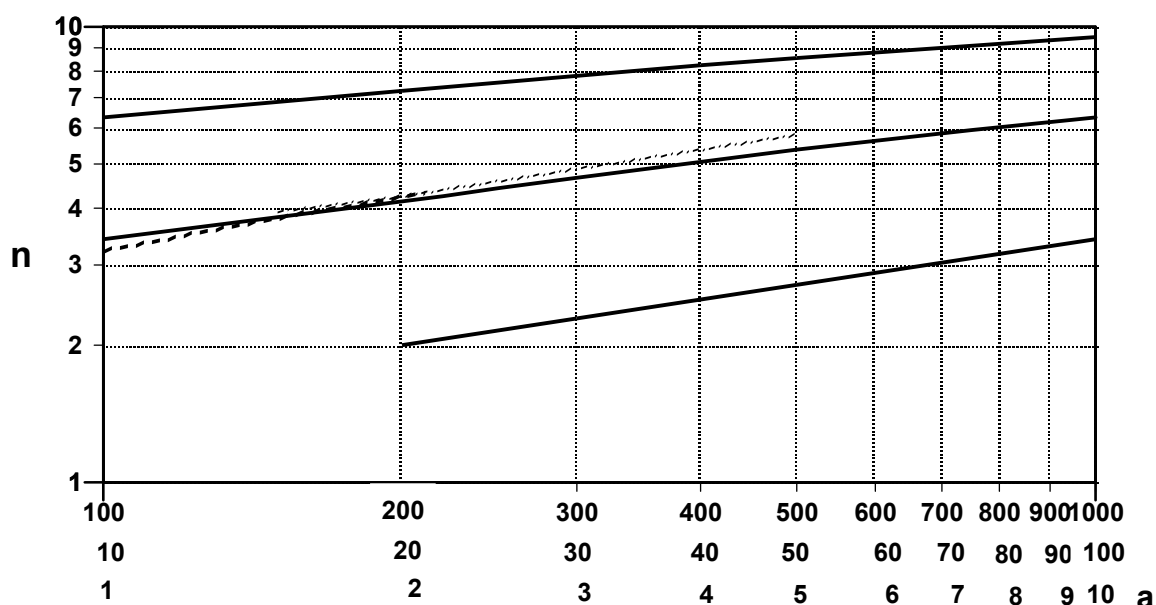


Рис. 1. Залежність змінного показника степеня n від кількості послідовних фаз (дільниць)

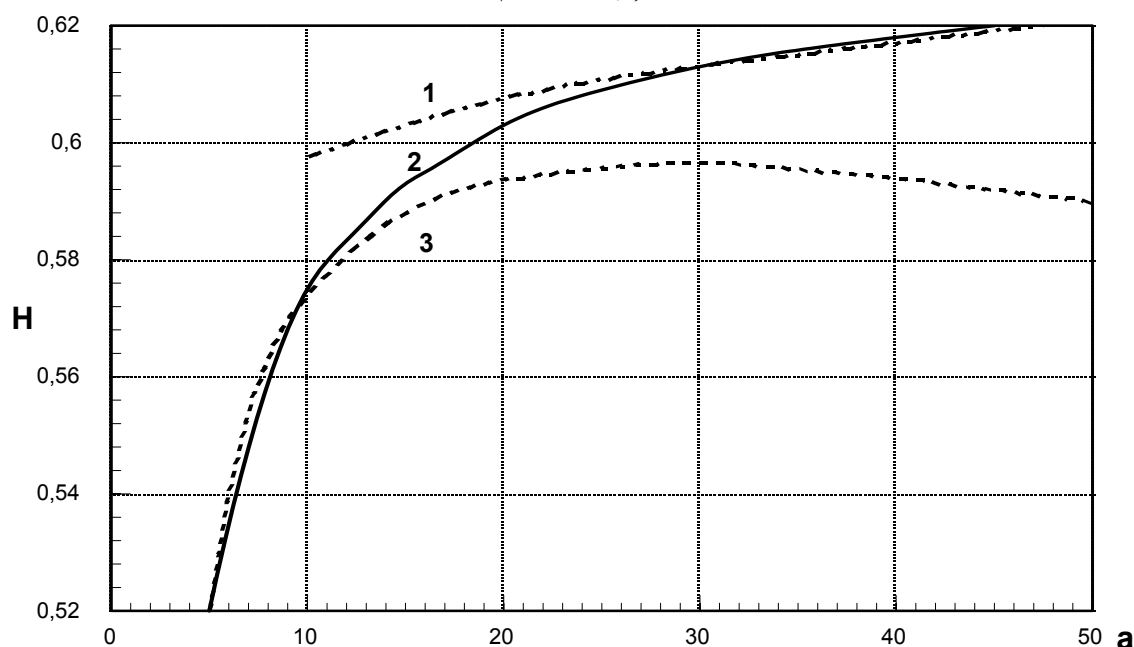


Рис. 2. Коефіцієнт накладання ВРЧ, обчислений за різними способами апроксимації показника n : 1 – $n = 1,375 \ln a$; 2 – фактичні значення коефіцієнта H ; 3 – $n = \sqrt[3]{4a}$

Суміщення трьох різних діапазонів кількості послідовних дільниць у системі (від 2 до 10, від 10 до 100 і від 100 до 1000) на одному відрізку осі абсцис наочно демонструє закономірність зміни коефіцієнта накладання ВРЧ (H) в досить широких межах (рис. 3). Вельми інтенсивне зростання цього коефіцієнта в системах невеликої довжини поступово зменшується зі збільшенням параметра a , переходячи майже в лінійну залежність після $a = 40-50$.

Таким чином, числове і графічне порівняння отриманих даних підтверджує достовірність апроксимації змінного показника степеня n для оцінки додаткових ВРЧ у системах різного призначення практично з довільною кількістю жорстко з'єднаних послідовних дільниць однакової пропускну здатності та з експоненціальним розподілом тривалості оброблення. Щоб пе-

ренести пропонуваній тут підхід на системи з підвищеною стабільністю тривалостей оброблення та з гнучкими зв'язками між дільницями ми провели подібний аналіз і для цього класу систем, виходячи з таких міркувань.

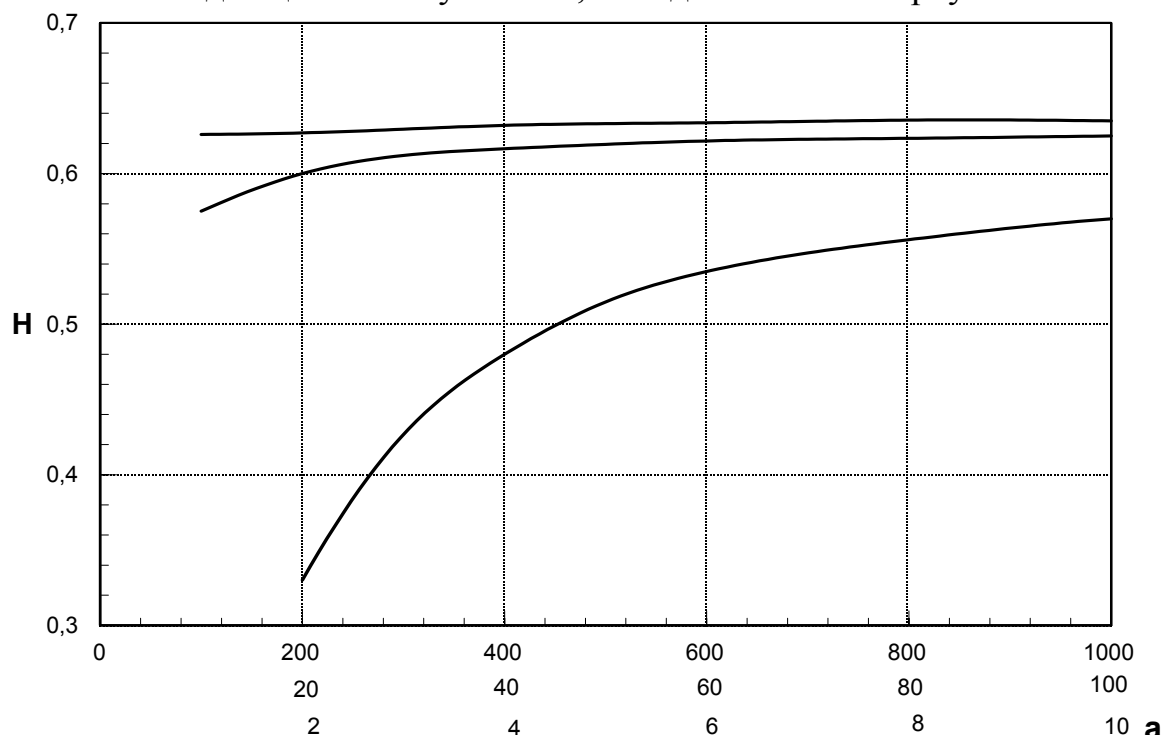


Рис. 3. Загальний характер зміни коефіцієнта ВРЧ зі збільшенням кількості дільниць. Розташування шкали і ліній відповідне

Коефіцієнт накладання ВРЧ для простої виробничої системи з двох дільниць ($a=2$) з однаковою пропускною здатністю ($\mu_1=\mu_2$), з довільним параметром стабільності тривалості операції оброблення ($K \geq 1$) та з буферними пристроями довільної місткості ($M \geq 0$) між дільницями, як відомо [2,3], визначається залежністю

$$H_{a=2} = (KM + \Pi + 1)^{-1} \approx \left[KM + \sqrt{\pi K} \left(1 + \frac{1}{8K} \right) + 1 \right]^{-1}, \quad (6)$$

де: K – параметр стабільності оброблення на дільницях; M – місткість буферного пристрою між ними;

$$\Pi = \prod_{i=1}^K \frac{2i}{2i-1} \approx \sqrt{\pi K} \left(1 + \frac{1}{8K} \right).$$

Водночас вираз (4) для випадку двох дільниць ($a=2$) у системі набирає вигляду:

$$H_{n(a=2)} = (n_2 + 1)^{-1}. \quad (7)$$

Тому на підставі (6) і (7) можемо визначити показник степеня n_2 для гнучких виробничих систем із двох дільниць і довільним параметром стабільності:

$$n_2 = KM + \Pi \approx KM + \sqrt{\pi K} \left(1 + \frac{1}{8K} \right). \quad (8)$$

Величина показника n_2 тут залежить лише від параметра стабільності тривалості операцій K на виробничих ділянках і від місткості буферного пристрою між ними M . Для найпростішого випадку $K=1$ і $M=0$ показник $n_2=2$. Тому відношення $n_2/2$ можна розглядати як показник масштабу показника степеня n залежно від параметрів K і M . Тепер на підставі (3) і поданих міркувань можна записати загальний вираз показника степеня для систем з довільними параметрами a , K , M :

$$n_{aKM} = \frac{KM + \Pi}{2} \begin{cases} \sqrt[3]{4a}, & 2 \leq a \leq 15; \\ (\sqrt[3]{4a} + 1,375 \ln a) : 2, & 16 \leq a \leq 21; \\ 1,375 \ln a, & a \geq 22, \end{cases} \quad (9)$$

$$K \geq 1; \quad M \geq 0.$$

Виходячи з (4) і (9) отримуємо вираз для обчислення коефіцієнта накладання ВРЧ у гнучких виробничих системах:

$$H_{aKM} = \begin{cases} 1 - \left[\frac{1,260}{(KM + \Pi) \sqrt[3]{a}} + 1 \right]^{-1,433 \ln a}, & 2 \leq a \leq 15, \\ 1 - \left[\frac{1,455}{(KM + \Pi) \ln a} + 1 \right]^{-1,433 \ln a}, & a \geq 22. \end{cases} \quad (10)$$

Для випадків $16 \leq a \leq 21$ коефіцієнт H_{aKM} обчислюється за середніми значеннями. Порівняння результатів обчислень за співвідношеннями (10) та вже добре апробованими раніше [3]

$$H_{aKM} = \frac{1,9 - 1,8a^{-1}}{KM + \Pi + 1} \quad (11)$$

показує їх добру збіжність. Про це свідчать і фрагменти обчислень, наведених у табл. 2. Тут наведено значення коефіцієнта накладання ВРЧ за даними імітаційного моделювання (ІМ) у стовпцях 3 і 5, обчислень за виразом (11) (табл. 2, с. ст. 7,9,11) та обчислень за показником степеня n (ВП) (табл. 2, с. ст. 4,6,8,10,12) для виробничих систем з 5, 10, 20, 50 і 100 ділянок з буферними пристроями між ними на 0, 1, 2, 5 і 10 предметів праці і параметрами стабільності операцій $K=1,5,10$ і 100, які відповідають коефіцієнтам розсіювання тривалості операцій відповідно $v = 1; 0,45; 0,22$ і 0,1.

Підтверджена таким чином достовірність апроксимації залежності змінного показника степеня n від основних параметрів виробничих систем з однаковими ділянками дає нам підстави пропонувати ці залежності (9) для систем із різними ділянками (з різною пропускною здатністю (μ_i), різною стабільністю тривалостей операцій (K_i , v_i), різними місткостями буферних пристроїв (M_i). У такому випадку проводиться попарний аналіз взаємодії виробничих ділянок і окремих механізмів за допомогою поданих на початку статті співвідношень (1) і (2). Лише в такому випадку ми зможемо достовірно оцінити реальну картину накладання ВРЧ. Тому такий метод попарного аналізу виробничих систем ми і назвали методом віртуальних пар (МВП).

Табл. 2. Коефіцієнт робочого часу (Н), визначений за методом віртуальних пар (ВП), основного розрахунку (ОР) та імітаційного моделювання (ІМ)

Стабільність	Місткість	Кількість послідовних фаз, а									
		5		10		20		50		100	
К	М	ІМ	ВП	ІМ	ВП	ОР	ВП	ОР	ВП	ОР	ВП
1	0	0,516	0,516	0,572	0,572	0,599	0,600	0,623	0,617	0,629	0,621
	1	0,406	0,398	0,455	0,445	0,453	0,468	0,467	0,481	0,471	0,484
	2	0,322	0,322	0,350	0,363	0,362	0,382	0,373	0,393	0,377	0,395
	5	0,198	0,206	0,230	0,233	0,226	0,245	0,233	0,252	0,235	0,253
	10	0,143	0,128	0,165	0,145	0,139	0,153	0,143	0,157	0,145	0,158
5	0	0,318	0,319	0,358	0,358	0,358	0,378	0,368	0,388	0,372	0,390
	1	0,182	0,165	0,200	0,186	0,180	0,197	0,185	0,202	0,187	0,202
	2	0,120	0,111	0,130	0,126	0,120	0,133	0,124	0,136	0,125	0,136
	5	0,059	0,056	0,070	0,064	0,060	0,067	0,062	0,069	0,063	0,069
	10	0,025	0,031	0,041	0,035	0,033	0,037	0,034	0,038	0,034	0,038
20	0	0,185	0,184	0,213	0,208	0,202	0,220	0,208	0,225	0,210	0,226
	1	0,062	0,058	0,077	0,066	0,062	0,070	0,064	0,071	0,065	0,071
	2	0,036	0,035	0,046	0,039	0,037	0,041	0,038	0,042	0,038	0,042
	5	0,020	0,016	0,020	0,018	0,017	0,019	0,017	0,019	0,017	0,019
	10	0,010	0,010	0,007	0,010	0,009	0,010	0,009	0,010	0,009	0,010
100	0	0,090	0,090	0,105	0,101	0,097	0,107	0,099	0,110	0,100	0,110
	1	0,016	0,014	0,020	0,016	0,015	0,017	0,016	0,018	0,016	0,018
	2	0,009	0,008	0,010	0,009	0,008	0,010	0,009	0,010	0,009	0,010
	5	0,004	0,003	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	10	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Література

1. Автоматические линии в машиностроении: Справочник. В 3-х т./ А.И. Дашенко (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Елементи теорії автоматичних ліній/ Д.Л. Дудюк, Л.Д. Загвойська, В.М. Максимів, Л.Я. Сорока. – Київ-Львів: ІЗМН, 1998. – 192 с.
3. Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д. Оцінка й елімінування втрат робочого часу в автоматизованих системах деревообробного виробництва. – Львів: "Панорама", 2003. – 140 с.
4. Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д. Оцінка накладених втрат робочого часу в послідовних системах методом віртуальних пар/ Лісівнича академія наук України: Наукові праці. – Львів: УкрДІТУ. – 2005, вип. 3. – С. 35-40.
5. Дудюк Д.Л., Загвойская Л.Д., Мысык М.М. Оценка наложения потерь рабочего времени в последовательных системах методом виртуальных пар/ Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. научн. трудов. – Брянск, 2003.
6. Gershwin S.B. Manufacturing systems engineering/ – Prentice Hall, 1994. – 501 p.

УДК 674.09

Доц. Ю.І. Грицюк, канд. техн. наук;
магістрант С.І. Яцишин – НЛТУ України

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СХЕМ РОЗКРОЮ КОЛОД НА ТАНГЕНТАЛЬНІ ПИЛОМАТЕРІАЛИ

Запропоновано методику визначення оптимальних схем розкрою сектора колоди на тангентальні пиломатеріали. Розроблено математичну модель і відповідне програмне забезпечення, які дають змогу автоматизувати процес розрахунку оптимальних товщин тангентальних пиломатеріалів, що уможливило створення системи автоматизованого регулювання (САР) процесом розкрою колод на спеціальні пиломатеріали з використанням стрічкопилкового обладнання.