



Розділ V

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 658.527.011.56

Проф. Д.Л. Дудюк, д-р техн. наук – УкрДЛТУ

УЗАГАЛЬНЕНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОПТИМАЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Узагальнено багаторічні зусилля і висліди дослідження показників ефективності й оптимальності автоматизованих виробничих систем залежно від їх структури, компонування, організації функціонування, а також параметрів складових підсистем та елементів. Для двадцяти однієї групи автоматизованих систем з нестабільним ритмом роботи пропонується лише чотири базових моделі оцінки ефективності та дві моделі оптимізації параметрів.

Prof. D.L. Dudyuk – USUFWT

General estimation of automated production systems efficiency and optimum parameters

Long-term efforts and investigation results of automated production systems efficiency and optimum indices depending on their structure, arranging, way of functioning and component parameters are summarized. Only four main models for twenty one groups of automated systems with non-stable working rhythm to estimate efficiency and two models to optimize parameters are proposed.

Широке впровадження автоматизованих виробничих комплексів і гнучких виробничих систем у різних галузях промислового виробництва вимагає старанного обґрунтування їх економічної ефективності та доцільності. Відомо, що з удосконаленням сучасних виробничих систем зростає їх вартість, а також видатки на обслуговування. Разом з тим значно збільшуються втрати від неповного використання виробничого потенціалу таких систем [1]. Головною складовою цих втрат в автоматизованих виробничих системах (АВС) є так звані накладені втрати робочого часу [1, 2]. Загальним методом оцінки цих втрат у всьому світі стало тепер імітаційне моделювання процесу функціонування АВС засобами обчислювальної техніки [3-5]. А воно (моделювання) вимагає достатньо потужних комп'ютерних засобів, відповідного математичного і програмного забезпечення, кваліфікованого персоналу та значної кількості машинного часу. Крім цього, кожного разу можна отримати розв'язок лише для

певного набору характеристик і параметрів АВС у числовому вигляді. За таким розв'язком важко порівнювати між собою різні варіанти АВС і неможливо знайти серед них оптимальний. Такий пошук ведуть методом перебору за тим чи іншим алгоритмом і порівнянням різних варіантів [1, 5, 6].

Тому нашим завданням буде знайти такі математичні моделі, які б дали однозначні залежності основних показників якості функціонування АВС від їх структури, характеристик і параметрів складових елементів. За основу математичних моделей ми взяли відповідні аналітичні залежності з теорії масового обслуговування, отриманих для найпростіших систем масового обслуговування [3, 4]. Провели імітаційне моделювання широкого класу реальних виробничих систем і порівняли отримані дані з вислідами такого моделювання вітчизняних і зарубіжних дослідників, а також з даними натурних спостережень за роботою різних типів АВС у різних виробничих умовах. У підсумку й були отримані єдині узагальнені аналітичні моделі для оцінки ефективності функціонування АВС залежно від їх структури, компонування та параметрів складових елементів, а також вибору їх оптимальних варіантів.

Ефективність функціонування АВС поряд з іншими прийнято оцінювати за такими кількісними показниками як пропускна здатність системи, собівартість випущеної продукції, питомі приведені витрати на одиницю продукції тощо. Ці та інші показники однозначно залежать від повноти використання робочого часу АВС. Тому ми прийняли за основний показник ефективності функціонування АВС коефіцієнт накладання втрат робочого часу (ВРЧ) обладнання в цих системах. Величина коефіцієнта ВРЧ однозначно оцінює пропускну здатність АВС, собівартість продукції та інші показники ефективності функціонування.

Основними факторами, що визначають величину ВРЧ є параметри обладнання, що входять до складу АВС (пропускна здатність μ , стабільність інтервалів випуску продукції K), кількість одиниць обладнання a , спосіб його компонування (за допомогою буферних пристроїв з місткістю $M \geq 0$, чи жорстко, $M=0$), а також ритм роботи обладнання – вимушений єдиний ритм (ϵ), як у системах з єдиним транспортним пристроєм (конвеєром) чи незалежний індивідуальний (I) ритм, як у лініях з гнучкими зв'язками між окремими одиницями технологічного обладнання (табл. 1). Існуючу різноманітність АВС ми згрупували у 46 різних груп (табл. 1) – з них 23 з послідовним агрегуванням обладнання і стільки ж з паралельним. Лише їх перша половина майже повністю забезпечена кількісними співвідношеннями для обчислення величини коефіцієнта ВРЧ (HA , HE), а також оптимізації відповідних параметрів (μA , ME). Відсутні такі співвідношення лише для багатofазних АВС з різними пропускними здатностями обладнання ($\mu_i = var$), що працює у вимушеному єдиному ритмі (ϵ).

Для оцінки величини коефіцієнта накладання ВРЧ у двадцять одній групі АВС послідовного агрегування пропонуємо дев'ять основних аналітичних співвідношень, отриманих як аналітичним, так і експериментальним шляхом (табл. 2). Серед них тільки чотири класичні моделі (заштриховані в табл. 1), отримані методами теорії масового обслуговування [3, 4].

Табл. 1. Забезпеченість АВС методами оцінки ефективності та оптимізації

Кількість і параметри верстатів			Компонування і ритм роботи					
			Послідовне			Паралельне		
			0		М	0		М
а	К	μ	Є	І		Є	І	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1		L _A				H _A , E, s≤5	
	>1		L _E H _E					
2	1	=	H _A M _A					
		≠	H _A μ A M _A					
	>1	=	H _E M _E					
		≠	H _E μ E M _E					
≥3	1	=	H _A	H _E μ E M _E			H _E	
			H _A	a≤500			H _E	
	≥1	≠		МВП, a≤30				

Табл. 2. Накладання втрат (H) в АВС послідовного агрегування

Кількість і параметри верстатів			Вид зв'язку і ритм роботи		
			0		М
а	К	μ	Є	І	
1	2	3	4	5	6
1	1		$L_1 = B^{-1} - 1, B = (L + I)^{-1}, L_{q1} = B + B^{-1} - 2, B = 1 - \lambda : \mu$		
	≥1		$L_{qK} = L_{q1} (1 + K_{\mu}^{-1}) : 2, K_{\lambda} = 1; L_{qK} \approx L_{q1} (K_{\lambda}^{-1} + K_{\mu}^{-1}) : 2 \approx L_{q1} : K$		
2	1	=	$H = (M + 3)^{-1}, M = M_2, M_1 \rightarrow \infty; M = M_2 - 1, M_1 = M_2$		
		≠	$H_1 = \mu^{M+2} (1 - \mu) / (1 - \mu^{M+3}); H_2 = (1 - \mu) / (1 - \mu^{M+3}); \mu = \mu_1 : \mu_2$		
	≥1	=	$H = (KM + \Pi + 1)^{-1}, \Pi = 2^{2K} : \binom{2K}{K} = \prod_{i,K} \frac{2i}{2i-1} \approx \sqrt{\pi K} = \frac{\sqrt{\pi}}{v},$ $K = 2 : (K_1^{-1} + K_2^{-1}), v^2 = (v_1^2 + v_2^2) : 2$		
		≠	$H_1 = \mu^{1/H-1} H_2, H_2 = (1 - \mu) / (1 - \mu^{1/H}),$ $K = (1 + \mu)^2 / 2 (K_1^{-1} + \mu^2 K_2^{-1})$		
≥3	1		$H_{\epsilon} = 1 - \left(\sum_{1,a} j^{-1} \right)^{-1}$	$H_i = (1,900 - 1,800 a^{-1}) : (M + 3), a \leq 500,$	
	≥1	=	$H_{\epsilon K} \approx \left(\sqrt{K} : \sum_{2,a} j^{-1} + 1 \right)^{-1}$	$H_{iK} \approx \frac{1,900 - 1,800 a^{-1}}{KM + \Pi + 1}, K = a : \sum K_i^{-1}$ $v^2 = a^{-1} \sum v_i^2$	
	≥1	≠	—	$МВП, a \leq 30$ $nc = \sqrt[3]{a : 2 (H^{-1} - 1)}, K = \left[a \sum_{1,a} (t_{ei}^2 K_i^{-1}) \right]^{-1}$	

Детальний аналіз показує, що в основі цих співвідношень знаходяться чотири узагальнені моделі – по одній на кожен об'єднану групу АВС: для окремо працюючої ділянки з нестабільним ритмом функціонування, для АВС з

вимушеним єдиним ритмом роботи (Є), а також для АВС вільного індивідуального ритму роботи (І) з однаковою ($\mu_i = \text{const}$) та різною пропускною здатністю ($\mu_1 \neq \mu_2$) (табл. 1).

Для окремо працюючої ділянки (чи одиниці обладнання) з пропускною здатністю μ і стабільністю інтервалу випуску K_μ та інтенсивністю надходження предметів праці λ за стабільності K_λ середня величина черги предметів праці на оброблення обчислюється [2, 3]

$$L_{qK} = \frac{2 - \rho^2}{1 - \rho} \frac{K_\lambda^{-1} + K_\mu^{-1}}{2}, \quad (1)$$

де: $\rho = \lambda : \mu$, $\lambda < \mu$, $K_\lambda \geq 1$; $K_\mu \geq 1$.

В АВС послідовного агрегування, **a** однакових за пропускною здатністю ділянок чи одиниць обладнання з вимушеним єдиним ритмом (Є) роботи (табл. 2 і табл. 3, а) коефіцієнт накладання ВРЧ становить [2, 7]:

$$H_{CK} \approx \left(\sqrt{K} : \sum_{2,a} j^{-1} + 1 \right)^{-1} = \left(\left(v \sum_{2,a} j^{-1} \right)^{-1} + 1 \right)^{-1}, \quad (2)$$

де: $v = 1 : \sqrt{K}$ - коефіцієнт варіації інтервалу випуску продукції; $a \geq 2$, $K \geq 1$.

У випадку вільного індивідуального ритму роботи **a** послідовних ділянок чи одиниць обладнання з однаковою пропускною здатністю ($\mu_i = \text{const}$) в АВС з гнучким ($M \geq 1$) чи жорсткими ($M = 0$) зв'язками між ними (табл. 2 і табл. 3, б) коефіцієнт накладання ВРЧ [7]:

$$H_i \approx \frac{1,900 - 1,800a^{-1}}{KM + \Pi + 1}, \quad (3)$$

$$2 \leq a < 500; K \geq 1; M \geq 0.$$

Для двох послідовно працюючих ділянок ($a=2$) з різною пропускною здатністю ($\mu_1 \neq \mu_2$), (табл. 2, табл. 3, б) накладання ВРЧ обчислюється [7]:

для першої ділянки $H_1 = H_2 \mu^{KM+\Pi}$

і для другої $H_2 = (1 - \mu) : (1 - \mu^{KM+\Pi+1}), \quad (4)$

де $\mu = \mu_1 : \mu_2$ - відношення номінальних продуктивностей.

Якщо ж кількість послідовних ділянок (чи одиниць обладнання) з різною номінальною продуктивністю ($\mu_i = \text{var}$) більша двох ($a \geq 3$), то розрахунки накладання ВРЧ необхідно проводити за співвідношенням (4) поступово для кожної пари обладнання методом віртуальних пар [2,7]. АВС подібного класу з вимушеним єдиним ритмом роботи вимагають ще дальшого дослідження.

Значно гірше виглядає стан з математичним описом АВС із паралельним агрегуванням. Тут лише декілька типів систем (табл. 1) мають розрізнені математичні співвідношення для оцінки накладання ВРЧ. Тому дослідникам слід посилити увагу і зусилля для побудови необхідних узагальнених моделей.

Табл. 3. Накладені втрати робочого часу в параметричному просторі ABC

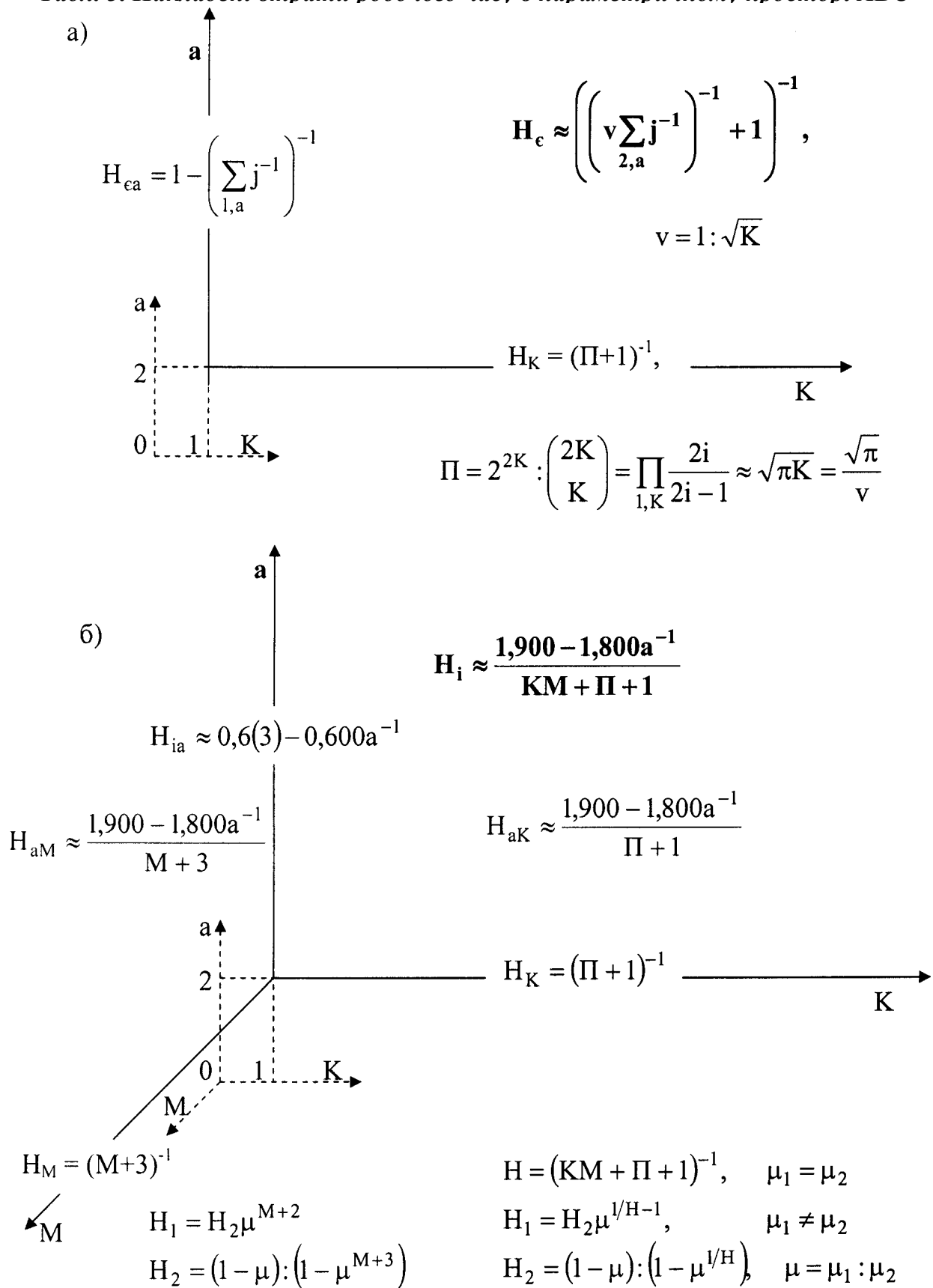


Табл. 4. Оптимальні параметри елементів АВС

Кількість і параметри верстатів		Співвідношення продуктивностей	Місткість нагромаджувачів
а	К	$\mu = \mu_1 / \mu_2$	М
Верстати і дільниці			
2	≥ 1	$\sqrt{\frac{1-V}{2} \pm \frac{1:Z-1:2}{\sqrt{1+2V}}} \pm \frac{\sqrt{1+2V}}{2} - \frac{1}{2} \approx Z^{-1:e}$ $V = \sqrt[3]{(1-Z)/2Z^2}, Z = Z_1:Z_2; M = 0$ $+ \text{для } 0 < Z < 2, - \text{для } Z > 2; K = 1$	$M_o = (\sqrt{2KZ_{\text{еб}}} - \Pi - \Pi):K, \mu = 1,$ $Z_{\text{еб}} = (Z_1 + Z_2):2Z_6,$ $\Pi = 2^K : \left(\frac{2K}{K}\right) = \prod_{1,K} \frac{2i}{2i-1} \approx \sqrt{\pi K}$
		$\mu_0 = \mu_1 : \mu_2 \approx (Z_2 : Z_1)^{1:m},$ $m = 1,32Z_{\text{еб}}^{0,40} + 3,77 \ln K$	$M \approx \left[\sqrt{K \frac{Z_M}{Z_6}} \left(2 + \frac{Z_B - Z_M}{\sqrt{Z_B Z_M}} \right) - \Pi - \Pi \right] : K$
		$Z_{\text{opt}} = Z_{\Pi}^{1-1:m}, K \leq 10$	$H_{\text{opt}} = (\sqrt{2KZ_{\text{еб}}} - \Pi + 1)^{-1}$
≥ 3		$\mu_{is} = \mu_i : \mu_{i+1} \approx (Z_{i+1} : Z_i)^{1:m},$ $Z_{\text{еб},i} = (Z_i + Z_{i+1})/2Z_{6i+1},$ $K = 2 : (K_{i-1}^{-1} + K_i^{-1})$	$M_i = (\sqrt{2KZ_{\text{еб},i}} + A(A - \Pi - 1) + A - \Pi - 1):K,$ $A = 1,900 - 1,800a^{-1}; Z_{\text{еб},i} = \sum_{1,a} Z_j : aZ_{6i},$

Оптимізація основних параметрів і структури АВС за критерієм питомих витрат на одиницю виготовлюваної продукції досягається шляхом перерозподілу цих витрат як між окремими одиницями технологічного обладнання (чи ділянками), так і між основним технологічним обладнанням і допоміжними механізмами. Для цієї мети пропонуються дві основні моделі (табл. 4): оптимальне співвідношення номінальних продуктивностей послідовних технологічних ділянок (чи ділянок обладнання) [7]:

$$\mu_0 = \mu_i : \mu_{i+1} \approx (z_{i+1} : z_i)^{1:m}, \quad (5)$$

де: $m = 1,32Z_{\bar{\sigma}i}^{0,40} + 3,77 \ln K$, $Z_{\bar{\sigma}i} = (Z_i + Z_{i+1}) : 2Z_{\bar{\sigma}i+1}$ – відношення середньої величини питомих витрат на реалізацію i -ої та $(i+1)$ -ої технологічних операцій до витрат на буферний пристрій одиничної місткості між цими двома операціями; $K = 2 : (K_i^{-1} + K_{i+1}^{-1})$ – еквівалентна величина стабільності інтервалів випуску продукції на i -ій та $(i+1)$ -ій операціях; та місткість буферних пристроїв для накопичення міжопераційних запасів [9]:

$$M_i = (\sqrt{2KZ_{\bar{\sigma}i}} + A(A - \Pi - 1) + A - \Pi - 1) : K, \quad (6)$$

де $A = 1,900 - 1,800a^{-1}$.

$Z_{\bar{\sigma}i} = \sum_{j,a} Z_j : aZ_{\bar{\sigma}i}$ – відношення середніх питомих витрат на одну операцію в АВС до витрат на i -ий буферний пристрій одиничної місткості.

Для випадку базової моделі АВС із двох послідовних ділянок (технологічного обладнання) ці вирази зводяться до найпростіших [2]

$$\mu_0 = \mu_1 : \mu_2 = (Z_2 : Z_1)^{1:e}, \quad (7)$$

де: e – основа натурального логарифму;

$$M = (\sqrt{2KZ_{\bar{\sigma}}} - \Pi - \Pi) : K, \quad (8)$$

де: $Z_{\bar{\sigma}} = (Z_1 + Z_2) : (2Z_{\bar{\sigma}})$; $K = 2 : (K_1^{-1} + K_2^{-1})$.

Отримані для оптимізації співвідношення продуктивностей вирази (табл. 4) досить різні за формою і зовнішнім виглядом. Аналітичний розв'язок навіть для найпростіших варіантів АВС ще досить складний. Тому над цими оптимізаційними моделями ще необхідно працювати. Тут основне завдання – досягти більш тісного зв'язку між моделями для різного типу АВС та підвищити їх точність. Крім цього, необхідно створити подібні оптимізаційні моделі для АВС із паралельним агрегуванням обладнання і виробничих ділянок.

Література

1. Автоматические линии в машиностроении: Справочник в 3-х т. Ред.совет: А.И. Дашенко (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Елементи теорії автоматичних ліній: Навч. посібник/ Д.Л. Дудюк, Л.Д. Загвойська, В.М. Максимів, Л.Я. Сорока. – К.: ІЗМН, 1998. – 192 с.
3. Таха А.Х. Введение в исследование операций. – М.,С.-П.,К.: Вильямс, 2001. – 912 с.

4. Budnick F.S., McLeavey D., Mojena R. Principles of Operations Research for Management. – Homewood, Illinois: Irwin 1988. – 988 p.
5. Buzacott J.A., Shanthikumar J.G. Stochastic Models of Manufacturing Systems, Prentice Hall, New Jersey, 1993.
6. Gershwin S.B. Manufacturing Systems Engineering. Prentice Hall, New Jersey, 1994.
7. Дудюк Д.Л., Максимів В.М., Соколовський Я.І. Основні висліди моделювання й оптимізації автоматизованих ліній// Наук. вісник.: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2002, вип.12.3. – С. 221-223.
8. Дудюк Д.Л. Місткість нагромаджувача між двома верстатами або дільницями// Наук. вісник. Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип.12.3. – С. 232-236.
9. Дудюк Д.Л. Оптимізаційні моделі автоматизованих ліній// Наук. вісник. Зб.наук.-техн.праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2000, вип.10.1. – С. 236-244.

УДК 621.313.3:621.314.5

Доц. Т.В. Рудий, канд. техн. наук – УкрДЛТУ;
С.А. Гаранджа¹; І.П. Піщора²

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ЛІСОПИЛЬНОЇ РАМИ ТА АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ НА ЕОМ

Розглядається підхід до формування математичної моделі керованої електромеханічної системи приводу лісопильної рами на основі теорії моделювання електромашинно-вентильних систем. Подається алгоритм розв'язання задачі на ЕОМ.

T.V. Roudyj, S.A. Harandzha, I.P. Piciura

The mathematical model of the saw-mil frame system and the algorithm of its outcome with PC

The article deals with the procedure of forming a mathematical model of a managed electromechanical system of the saw-mil frame, based on the theory of modifying electro-machine-ventilate system. The algorithm of solving this tats with PC is given.

1. Загальна характеристика математичної моделі

Квазіусталеними режимами роботи приводу лісопильної рами будемо називати такі, які відповідають постійній швидкості обертання валу асинхронної машини, а перехідні процеси, пов'язані зі збуренням у системі, можна вважати закінченими. Таким чином, момент лісопильної рами може бути представленим однією з залежностей $M = f(M(\omega))$. Математична модель електромеханічної системи, включаючи систему автоматичного керування, формується на основі теорії моделювання електромашинно-вентильних систем [1].

Згідно з даною теорією у квазіусталених режимах відбуваються швидкоплинні процеси, пов'язані з комутацією вентилів перетворювача частоти. Тому, на основі досвіду моделювання процесів у керованих електромеханічних системах з напівпровідниковими перетворювачами впливає, що дослідження квазіусталених режимів роботи частотно-керованого приводу лісопильної рами доцільно проводити у фазних координатах.

¹ головний інж. – ТЗОВ "ЛАС-Автохім"

² зав. денним відділенням – Технологічний коледж УкрДЛТУ