

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 658.527.011.56

Д.Л. ДУДЮК¹

ДО ПРОБЛЕМ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Йдеться про основні проблеми розвитку теорії автоматичних ліній, визначення їх ефективності. Аналізуються їх стан і показуються основні шляхи розвитку за останні п'ятдесят років. Вказуються обмеження на застосування розроблених методів аналізу й синтезу автоматичних ліній та шляхи їх подолання.

Рівень розвитку теорії автоматичних ліній (АЛ) обумовлює досконалість розв'язування практичних завдань їх аналізу й синтезу та побудови ефективних виробничих систем. Проблеми аналізу й синтезу можна умовно поділити на три групи. Перші дві – проблеми розробки математичних моделей і оцінки ефективності функціонування АЛ дають змогу проводити детальний аналіз закономірностей їх функціонування залежно від структури, параметрів складових елементів і компонування. Третя група проблем пов'язана безпосередньо з оптимізацією структури, параметрів і компонування АЛ.

У процесі функціонування АЛ, технологічних потоків і гнучких виробничих систем (ГВС) постійно проявляються збурювальні впливи цілого ряду стохастичних факторів. Цей вплив розпочинається ще задовго до запуску у роботу самої лінії чи потоку. Він уже діє у процесі підготовки і виховання майбутніх спеціалістів, розробки, проектування і виготовлення основного й допоміжного обладнання, інструменту. У результаті формується певна множина початкових параметрів і характеристик АЛ. З плином часу під дією операторів та обслуговуючого персоналу вони невпинно змінюються. Необхідно наголосити, що зміст і характер дій персоналу обслуговування, а особливо їх наслідки теж мають стохастичні властивості.

Третій компонент виробництва – предмети праці – теж характеризуються мінливістю своїх властивостей і параметрів. Це особливо стосується предметів праці у гнучкому автоматизованому виробництві та таких, що формуються під безпосереднім впливом стохастичної дії природних факторів (наприклад, предмети рослинного походження). Тому процес функціонування АЛ не може бути стабільним. Часто трапляються відхилення технологічних параметрів від заданих значень, відмовляють або зупиняються окремі еле-

менти обладнання, зростає тривалість інтервалів випуску обладнання. З цієї причини в АЛ виникають додаткові, так звані накладені втрати робочого часу, втрати продуктивності ліній. Ці втрати можуть сягати 25-30 %, а іноді й до 50 % від номінальної продуктивності.

Тому виникає гостра потреба оцінки ефективності АЛ і ГВС ще на стадії їх проектування та розробки методики розрахунку й вибору їх найефективніших варіантів. Розв'язуються ці проблеми у різних галузях виробництва у багатьох країнах світу вже більше як півстоліття [1,2]. Найбільш вагомими досягненнями у цій області маємо у машинобудуванні [1,3,4] та у лісовиробничому комплексі [5, 6]. Як основну проблему у оцінці очікуваної продуктивності АЛ Г.А. Шаумян [4], Л.І. Волчкевич [3], А.І. Дашенко [1], К. Окамура і Г. Ямашина [7] та інші називають визначення очікуваного коефіцієнта міждільничного та міжверстатного накладання втрат робочого часу. Цю ж проблему розглядає В.А. Шульгін [8] для розв'язання оптимізації структури й організації функціонування ГВС.

Першими значний внесок у розбудову методів моделювання АЛ внесли К. Палм і П. Фінч (1947 р), розглядаючи тривалість технологічних операцій як випадкову величину і описуючи її у першому наближенні експоненціальним розподілом ймовірностей. З того часу завдання моделювання й оцінки ефективності АЛ розв'язувалися, в основному, на підставі моделей ланцюгових процесів А. Маркова. У розвиток цих положень Р. Джексон (1954), Дж. Гант (1956), Е. Кенігсберг (1958) запропонували нову модель АЛ на базі теорії масового обслуговування (ТМО). Однак цей метод не знайшов тоді належного застосування, на нашу думку, з двох причин. По-перше, прикладні методи ТМО на той час мали обмежене застосування, а по-

¹ Дмитро Лук'янович ДУДЮК – дійсний член ЛАН України, доктор технічних наук, професор, Український державний лісотехнічний університет, Україна, м. Львів. Тел. (380-322) 35-32-13. E-mail: lanu/forest.lviv.ua

друге, вони дають у багатьох випадках лише наближені результати оцінки ефективності реальних АЛ.

З поширенням засобів обчислювальної техніки загального застосування для вивчення процесу функціонування АЛ у машинобудуванні набувають методи імітаційного моделювання на ЕЦОМ [1]. За їх допомогою проводять попередню перевірку проектів АЛ, аналіз та оцінку різних варіантів їх реалізації у багатьох країнах світу. Методи ТМО знову привертають до себе увагу багатьох дослідників із середини вісімдесятих років як засоби вивчення ГВС [8]. Однак можливості цих методів обмежені й тому стримується їх самостійне використання.

З початку сімдесятих років успішно розвиваються дослідження основних закономірностей функціонування АЛ у лівому комплексі як стохастичних систем на кафедрі автоматизації виробничих процесів Українського державного лісотехнічного університету. Тут на базі методів ТМО та імітаційного моделювання (ІМ) були розв'язані завдання математичного моделювання й оцінки ефективності різноманітних варіантів АЛ з різним ступенем стабільності їх функ-

ціонування, а також завдання оптимізації структури, параметрів та компоновання АЛ [6].

Кількісні показники якості функціонування АЛ – додаткові (накладені) втрати робочого часу, продуктивність лінії, питомі еквівалентні витрати на виготовлену продукцію визначаються характеристиками параметрів, структурою і компонованням лінії. З-поміж цих параметрів у першу чергу слід виділити кількість основного і допоміжного обладнання (табл.1), їх основні характеристики (продуктивність – μ , λ , стабільність роботи K , питомі еквівалентні витрати Z , місткість M , N), компоновання (послідовне, паралельне, змішане, жорстке, гнучке) та організацію роботи за стабільним, вільним чи вимушеним синхронним ритмом та інші. Комбінації поєднання лише названих тут показників і характеристик дають змогу створити велику множину варіантів моделей АЛ. Кожний з них має свою специфіку і вимагає відповідного аналітичного опису для аналізу, бо ще, на жаль, нема такої всеосяжної моделі, яка б відповідала всім варіантам АЛ.

Таблиця 1

Обмеженість моделей оцінки ефективності й оптимізації АЛ

№ з/п	Основні параметри АЛ	Оцінка ефективності й оптимізації		
		аналітична	числова	емпірична
1	Кількість верстатів $a = 2$ $2 < a \leq 10$ $a > 10$	$K = 1$ – –	$1 \leq K \leq 100; K_1 = K_2$ $1 \leq K \leq 100; K_1 = ; \mu =$ –	$1 \leq K \leq 100; K_1 = K_2$ $1 \leq K \leq 100; K_1 = ; \mu =$ –
2	Параметри верстатів K, μ, z - однакові "- - різні "- - еквівалентні	$a = 2; K = 1$ $a = 2; K = 1$ –	$2 < a \leq 10$ $a = 2; 1 \leq K \leq 70$ $\mu = ;$ послідовне $a = 2; 1 \leq K \leq 70$ $\mu = ;$ послідовне	$2 < a \leq 10$ $1 \leq K \leq 100$ $a = 2; 1 \leq K \leq 70$ $\mu = ;$ послідовне $a = 2; 1 \leq K \leq 70$ $\mu = ;$ послідовне
3	Параметри допоміжних механізмів нагромаджувачів			
3.1	однакові M, z_{\neq}	$a = 2; K = 1$	$M = ; \mu = ; K =$	$K, M, \mu =$
3.2	різні "- живильників однакові M, z_c	– $a = 2; K = 1$	$M_i(z_i, z_{\neq i})$ $N_i, \lambda_i(z_i, z_{c_i})$	$M_i(z_i, z_{\neq i})$ $N_i, \lambda_i(z_i, z_{c_i})$
	різні "-	$a = 2; K = 1$	Окремо для кожного верстата	
4	Компоновання			
4.1	послідовне	$a = 2; K = 1$	$2 \leq a \leq 10; K, \mu =$	$2 \leq a \leq 10; K, \mu =$
4.2	паралельне	$a = 1; s \geq 1; K = 1$	$a = 1; 1 \leq s \leq 5; 1 \leq K \leq 10; K = ; \mu =$	
4.3	змішане	–	$2 \leq a \leq 10; 1 \leq K \leq 10; 0 \leq M \leq 15; 1 \leq s \leq 8$	
4.4	еквівалентні K, μ	–	–	–
4.5	жорстке	$a = 2; K = 1$	$2 \leq a \leq 10; 1 \leq K \leq 100; K = ; \mu =$	
4.6	гнучке	$a = 2; K = 1;$ $M \geq 0$	$2 \leq a \leq 10; 1 \leq K \leq 100; K = ; \mu = ;$ $0 \leq M \leq 100$	
5	Організація роботи			
5.1	стабільний ритм		Традиційні детерміновані підходи	
5.2	вільний ритм	$a = 2; K = 1$	$a \leq 10; K \leq 100;$	$M \leq 100; K, \mu, M =$
5.3	вимушений синхронний	$a \geq 2; K \geq 1; \mu =$ (через біноміальні коефіцієнти)	$2 \leq a \leq 5; \mu =$ $1 \leq K \leq 100$	–

Аналітичні та емпіричні співвідношення для оцінки ефективності АЛ

Кількість верстатів		Стабільність інтервалів випуску	
послідовно	паралельно	$K = 1$	$K \geq 2$
	1	$L = \frac{\rho}{1-\rho}; L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho};$ $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \left(1 + \frac{1}{K_\mu} \right); K_\lambda = 1;$ $L_q \approx \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \left(\frac{1}{K_\lambda} + \frac{1}{K_\mu} \right)$
1	2=	$L = \frac{2\rho}{1-\rho^2}; L_q = \frac{2\rho^3}{1-\rho^2}; \rho = \frac{\lambda}{2\mu}$	-
	2≠	-	-
	S	$L_q = \frac{S^S \rho^{S+1} P_0}{S!(1-\rho)^2}; P_0 = \left[\sum_{i=0}^{S-1} \frac{\rho^i S^i}{i!} + \frac{\rho^S S^S}{S!(1-\rho)} \right]^{-1}; \rho = \frac{\lambda}{S\mu};$ $L_q \approx \frac{\rho}{1-\rho} [1 + 5/9(1-\rho)]^{S-1} - \rho S; 1 \leq S \leq 5$	-
2 Обмежені запаси M i N	1	$\rho_1 = \frac{1-\mu^{M+1}}{1-\mu^{M+2}};$ $\rho_2 = \mu \rho_1$	$\rho_1 = \frac{1-\mu^{n-2}}{1-\mu^{n-1}}; C = KM + 3\sqrt[3]{K};$ $\mu = \mu_1/\mu_2; M \geq 0.$
	2	-	-
	S	-	-

Серед існуючих методів аналізу ефективності та оптимізації АЛ найслабше розвинуті аналітичні методи. Пояснюється це тим, що, з одного боку, процеси функціонування АЛ, характер взаємодії між їх елементами досить складні, характеризуються великою кількістю факторів і параметрів, а з іншого – методи прикладної математики, ТМО, теорії графів та інші ще недостатньо розвинуті, мало орієнтовані на практичне розв'язування проблем теорії АЛ. За допомогою аналітичних методів можна проводити визначення та аналіз показників ефективності, оптимізувати параметри основного та допоміжного обладнання окремо працюючих верстатів і дільниць (одного чи декількох паралельно), а також найпростіших варіантів ліній з двох послідовно з'єднаних верстатів чи дільниць ($a=2$), що практично мають найнижчу стабільність роботи (табл. 1 і 2).

Дисперсія миттєвої продуктивності D таких верстатів і дільниць дорівнює або близька її математичному сподіванню μ ($K = \mu/D = 1$). В АЛ з таких верстатів найбільші додаткові (накладені) втрати робочого часу, найнижча продуктивність. Тому такі моделі АЛ дають змогу визначити верхню границю втрат робочого часу. Але слід наголосити, що ці моделі та розв'язки обмежуються лише двома верстатами або дільницями (табл. 2).

Для випадку більш стабільної роботи верстатів і дільниць, коли дисперсія миттєвої продуктивності D у два і більше разів менша від її математичного сподівання μ (середнього значення) ($K = \mu/D \geq 2$), а також, коли кількість верстатів у АЛ більша двох ($a \geq 3$), використовують потужний метод імітаційного моделювання (ІМ), за допомогою якого отримують числові розв'язки [1] та емпіричні залежності [2]. Такі розв'язки характеризуються обмеженнями для кількості вер-

статів $2 \leq a \leq 10$, параметра стабільності $1 \leq K \leq 100$ (іноді $1 \leq K \leq 10$), місткості нагромаджувачів $1 \leq M \leq 100$ та іншими (табл. 1).

Крім цього, всі ці аналітичні, числові та емпіричні розв'язки, за винятком моделей АЛ з параметрами $a=2$, $K=1$ вимагають таких важливих припущень:

- всі верстати в АЛ мають однакову середню продуктивність ($\mu = \text{const}$), однаковий параметр стабільності ($K = \text{const}$);
- всі нагромаджувачі перед кожним верстатом мають однакову місткість нагромаджувачів ($M = \text{const}$);
- все основне і допоміжне обладнання в АЛ має лінійне послідовне з'єднання.

Тільки моделі для найкоротших АЛ, що складаються лише з двох верстатів, дають змогу враховувати різні продуктивності останніх ($\mu_1 \neq \mu_2$), але не різні параметри стабільності ($K_1 = K_2$).

Реальні ж АЛ і гнучкі виробничі системи (ГВС) значно відрізняються від розглянутих тут спрощень і обмежень. І, як показують дослідження [9], обійтися спрощеними моделями з усередненими величинами параметрів не можна, бо це призводить до значних помилок. А динамізм епохи, виробничих ситуацій вимагає мобільного аналізу й точної оцінки ефективності різноманітних варіантів АЛ і ГВС. Тому так гостро відчувається потреба нових розробок у теорії та інженерних методах розрахунку АЛ і ГВС, а саме:

1. Розроблення, аналізу й вибору ефективних технічних і програмних засобів ІМ різноманітних варіантів АЛ.

2. Розроблення алгоритмів і програм ІМ, здатних, виходячи з поставленої мети й обмежень зміни параметрів, задавати набори початкових даних, ініціювати прогони моделі, обробляти здобуті результати й при-

ймати рішення про дальший хід експериментів, тобто такого програмного забезпечення, щоб воно могло знаходити екстремальні значення показників ефективності, і, отже, розв'язувати завдання оптимізації, і створення на цій основі систем автоматизованого ІМ АЛ, які здатні працювати у реальній схемі оперативного керування виробництвом.

3. Створення методики спрощення різноманітних реальних структур АЛ і переходу до еквівалентних типових моделей шляхом розрахунку і вибору відповідних параметрів і схем.

4. Розширення границь застосування, узагальнення та підвищення точності розроблених емпіричних моделей АЛ, границь їх адекватного застосування для різноманітних варіантів АЛ і ГВС.

5. Цілеспрямований розвиток і пристосування найновіших прикладних розділів математики, механіки, економіки для розв'язування назрілих проблем теорії АЛ.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Автоматические** линии у машиностроении: Справочник. В 3-х т. / Ред. совет: А.И. Дашенко / пред./, Л.И. Волчеквич, И.А. Клусов и др. / М.: Машиностроение, 1984. – 1985.

2. **Владзиевский А.П.** Автоматические линии у машиностроении. В 2-х кн. – М.: Машиностроение, 1958. – 430 и 340 с.

3. **Волчеквич Л.И., Ковалев М.П., Кузнецов М.М.** Комплексная автоматизация производства. – М.: Машиностроение, 1983. – 269 с.

4. **Шаумян Г.А.** Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.

5. **Батин И.В., Дудюк Д.Л.** Основы теории расчета автоматических линий лесопромышленных предприятий. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 176 с.

6. **Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д., Максимів В.М., Сорока Л.Я.** Елементи теорії автоматичних ліній. – Київ-Львів: ІЗМН. – 192 с.

7. **Okamura K, Yamashina H.** Analysis of inprocess buffers for multistage transfer line systems // Int. J. Prod. Rez., 1983. – v.21, N2. – P. 183-195.

8. **Шульгин В.А.** Планирование и управление процессом создания гибких автоматизированных производств. – Л.: ЛДНТП, 1985. – 29 с.

9. **Загвойська Л.Д.** Визначення параметрів операційних тактів // Науковий вісник. – Львів: УкрДЛТУ, 1997. – Вип. 6. – С. 57- 64.

D. Dudyuk

SOME PROBLEMS OF THE AUTOMATED PRODUCTION LINES THEORY

The paper deals with the problems of the automated productions flow line efficiency estimations. There are the main problems named and some ways and the results of their solutions in last fifty years are shown. The restrictions for worked out methods of automated production lines analysis and synthesis and the methods of solving them are discussed.