

В.А. Кирилович, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

### ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ МЕХАНООБРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМІРКАХ

*З єдиних системних позицій аналізу структурних елементів гнучких виробничих комірок механообробки визначено формалізовані вирази, що інтерпретують проектування роботизованих механообробних технологій, та їх складові.*

**Вступ. Постановка проблеми.** В реальній інженерній практиці при проектуванні роботизованих механообробних технологій (РМТ) виникають практичні задачі, розв'язок яких визначається постановкою завдань з урахуванням технічних, технологічних та інших обмежень. До таких належать задачі проектування РМТ для гнучких виробничих комірок (ГВК) механообробки (МО). При цьому приймається, що відомими є склад попередньо вибраного основного і допоміжного технологічного обладнання (відповідно ОТО та ДТО) та модель промислового робота (ПР), тобто визначено технічний базис, на якому необхідно реалізувати оптимальну в прийнятому розумінні проектовану (аналізовану) РМТ.

На сьогодні в Україні відсутні будь-які нормативні документи, наприклад, державні стандарти ДСТУ тощо, які б чітко та однозначно визначали поняття ГВК. Часто в наукових, технічних та навчальних інформаційних джерелах ГВК ототожнюється з різним ступенем наближеності з одно- або багатостатним роботизованим технологічним комплексом – РТК [2, 4, 13], гнучким виробничим модулем – ГВМ [4, 29] тощо. В даній роботі під ГВК розуміється одна з базових складових гнучких виробничих систем – ГВС [5] МО, при якій один ПР технологічно обслуговує (завантажує–розвантажує)

$T$  технологічних робочих позицій  $(RP_t | t = \overline{1, T})$ , порядок обслуговування РП визначається технологічним маршрутом – ТМ механообробки  $OM^d$  (тому ПР виконує міжагрегатні переміщення  $d$ -го об'єкта маніпулювання –  $OM^d$ ) і складається з відомих одиниць ОТО та ДТО. Таке тлумачення ГВК не суперечить відомому [5].

Очевидні переваги гнучкого виробництва щодо призначення, надійності, економного використання сировини, матеріалів, паливно-енергетичних та трудових ресурсів тощо вказують на перспективність, необхідність та доцільність наукових та практичних досліджень даного напрямку в будь-яких його проявах.

Нижче розглянуто ряд ключових положень щодо формалізації понять ГВК МО та РМТ і їх проектування, що відтворюють особливості реалізації РМТ одним ПР на визначеному технічному базисі.

**Аналіз інформаційних джерел** однозначно вказує на відсутність формалізованих інтерпретацій ГВК МО та РМТ, які з єдиних системних позицій з урахуванням особливостей саме роботизації дозволяли б у подальшому автоматизовано проектувати роботизовані технології МО та інтегруватися до автоматизованих систем технологічної підготовки гнучкого виробництва [21, 28, 29].

Науковим, методичним та практичним проблемам проектування ГВС та їх складових – ГВМ, ГВК і їх різновидів ГАЛ (гнучких автоматичних ліній), систем забезпечення функціонування ГВС та ГВК [5], а також проектуванню відповідних гнучких технологій присвячена достатньо велика кількість робіт [1, 2, 4, 9–12, 16–22, 26, 30–36]. При цьому формалізовано представлені вище складові на різних рівнях абстрагування, і тому в них відсутні акценти щодо функціонування однієї одиниці ПР у технологічно замкнутому маніпуляційному циклі ГВК, що складається з  $T$  робочих позицій. РП в даному контексті розглядаються саме як технологічні робочі позиції з урахуванням можливих пропусків, повторних установлень та перевстановлень на попередніх РП після технологічної дії на ОМ на наступних за технологією РП, і тому їх (РП) кількість у загальному випадку може не збігатися з кількістю фізичних РП, що за топологією певним чином розміщуються в робочій зоні ПР.

Найпростішим описом ГВС та їх різновидів є словесний [2, 6, 13–15, 23, 24]. Він є безумовно інформативним щодо сутності відповідного поняттєвого апарату. Але очевидно є неможливість безпосереднього використання словесного опису для досягнення поставленої в роботі мети (див. нижче).

Найбільш поширеним формалізованим описом ГВС є опис з використанням агрегатів та агрегатних систем [1, 16, 22, 29]. При цьому ГВС представляється як множина  $S$  агрегатів  $A \{A_s | s = \overline{1, S}\}$ , між

якими існують зв'язки  $R \{R_j | j = \overline{1, q}\}$ . Структура ГВС зображується направленим або ненаправленим графом, у якому вершини ідентифіковані технічним засобам множини  $A$ , а ребра – зв'язкам  $R$ , що пов'язують агрегати. Подібний опис є інформативним щодо структури ГВС, зв'язків між структурними

елементами, але деталізація зв'язків є недостатньою, що не дозволяє відтворювати особливості використання ПР, без якого неможлива реалізація РМТ.

Для холодної листової штамповки відомим є опис технологічної системи, яку можна інтерпретувати як ГВС, у вигляді логічного виразу [18]:

$$\hat{A}_{\mathcal{C}_{i,k}} \wedge \hat{A}_{i,k} \wedge \sum \hat{I}_{j,p} \wedge \sum \hat{E}_{l,m} \leftrightarrow D_i \vee \{D_{i,k}\},$$

де  $\hat{A}_{\mathcal{C}_{i,k}}$  – вид вихідної заготовки  $i$ -го виду  $k$ -го типорозміру;  $\hat{A}_{i,k}$  – обладнання  $i$ -го виду  $k$ -го типорозміру;  $\sum \hat{I}_{j,p}$  – функціональні вузли, що використовуються в комплекті обладнання;  $\sum \hat{E}_{l,m}$  – формуючий інструмент  $l$ -го виразу  $m$ -го типорозміру, що використовується в технологічній системі;  $D_i$  – одинична деталь, що обробляється в технологічній системі;  $\{D_{i,k}\}$  – номенклатура деталей, що обробляються технологічною системою. Очевидно, що в цьому випадку ПР належать до  $\sum \hat{I}_{j,p}$ . ПР ніяким чином в явному вигляді не фігурує в описі, і тому не акцентованими є особливості саме РМТ, що не дозволяє формалізувати технологічні функції, які виконує ПР, а отже, і формалізовано описувати РМТ, тим паче їх (технологій) проектування.

Відомим є також структуроване представлення автоматизованої верстатної системи (АВС) [25], що також можна розглядати як одну зі складових ГВС. При цьому АВС на теоретико-множинному рівні описується структурою:  $ABC = (A, O, P)$ , де  $A$  – множина структурних елементів;  $A = (T, U)$ ,  $T$  – технологічне обладнання (ОТО, ДТО);  $U$  – системи управління  $T$ ;  $O$  – множина операцій (формування, транспортування, контролю);  $P$  – множина зв'язків, що поєднують інформаційні, матеріальні та енергетичні потоки; розмірні зв'язки та властивості матеріалів. Очевидним в даному випадку є достатньо високий рівень абстрагування опису АВС, який, у свою чергу, не відтворює особливостей застосування ПР в АВС, хоча априорі таке застосування є можливим, а отже, даний опис не відтворює особливостей реалізації РМТ в АВС.

З урахуванням вказаного **мета** даної роботи така: на основі узагальнення існуючих формалізованих описів ГВС різної ієрархічної підпорядкованості запропонувати варіант формалізованого опису ГВК як складової ГВС, що відтворює технологічні особливості використання ПР, на підставі чого з урахуванням узагальнення існуючих причинно-наслідкових зв'язків у ГВК навести теоретико-множинний формалізований опис функції проектування РМТ та їх складових для подальшого використання при автоматизованому проектуванні оптимізованих роботизованих технологій для ГВК МО.

**Основна частина.** ГВК МО, що відрізняються одна від одної призначенням, рівнем автоматизації та іншими параметрами, мають такі загальні ознаки [8, 16, 17, 22, 36]:

1) структура будь-якої ГВК складається з кінцевої множини ОТО та ДТО, що формують  $T$  робочих позицій  $\{RP_t | t = \overline{1, T}\}$ , на яких виконуються необхідні технологічні дії на ОМ, одного ПР та загальної системи управління (СУ) ГВК (у разі потреби);

2) ГВК включає кінцеву множину структурних зв'язків: внутрішніх – для кожної з  $RP_t$ , та зовнішніх – між РП, між ПР та  $RP_t$ , а також між СУПР та СУ  $RP_t$ . Ці зв'язки мають різний характер та прояв, забезпечуючи передачу ОМ між РП та необхідне положення ОМ в кожній  $RP_t$ , а також довідкову та управляючу інформацію між  $RP_t \forall t = \overline{1, T}$ , забезпечуючи функціонування ГВК у цілому;

3) кожна  $RP_t$  має вхід і вихід, що призначені відповідно для прийому та видачі предметів виробництва (для роботизованого виробництва – ОМ);

4) робочі позиції ГВК функціонують не ізольовано одна від одної, а в узгодженій взаємодії, що зумовлена технологічною послідовністю виготовлення  $d$ -го виробу, при якій властивості однієї РП залежать від умов, які обумовлені функціонуванням інших РП;

5) всі технологічні дії (операції) є скінченними у часі і для  $OM^d$  утворюють множину тривалостей  $\{\tau_t^d | d = \overline{1, D}; t = \overline{1, T}\}$ ;

6) кожна  $RP_t$  функціонує у часі при технологічній дії на  $OM^d$  та взаємодіє з іншими РП та ПР на рівні інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків;

7) маршрути технологічної дії на  $OM^d$  у ГВК є множиною можливих маршрутів технологічної дії (ТМ) на множину  $\{OM^d | d = \overline{1, D}\}$ :  $TM = \{TM^d | d = \overline{1, D}\}$ ;

8) послідовність запуску заготовок у ГВК може бути детермінованою або стохастичною.

Очевидним є той факт, що в ГВК МО технологічний процес доцільно розглядати як упорядковану сукупність основних та допоміжних технологічних операцій. Основні операції виконуються при технологічній дії на  $OM^d$  на кожній  $RP_t$ . При цьому  $OM_0^d$  на вході ГВК трансформується в  $OM_T^d$  на

виході ГВК. Тобто  $OM^d$  виступає як елемент матеріального потоку, який підлягає перетворенню за ланцюжком дискретних станів  $OM_0^d \rightarrow \dots \rightarrow OM_t^d \rightarrow \dots \rightarrow OM_T^d$  у процесі виконання ТП [8]. При цьому на кожній  $RP_t | t = \overline{1, T}$   $OM_{t-1}^d$  (виріб завантажено на  $RP_t$  як  $OM_{t-1}^d$ , а розвантажено як  $OM_t^d$ ) піддається впливу (дії) певних інформаційних та енергетичних взаємокорельованих потоків, які можна розглядати для  $RP_t$  як внутрішні зв'язки. До них належить, наприклад, інформація щодо тексту управляючої програми (УП) на ЧПУ обладнанні  $RP_t$ , виконання якої супроводжується певними командами  $U_t$  виконавчим органам ТО для відпрацювання відповідних перемішень. Вказане виконується за час  $\tau_t$ , у результаті  $OM_{t-1}^d$  трансформується через відповідні зв'язки формоутворення  $F_{t-1,t}^d$  в  $OM_t^d$ . З іншого боку, на  $OM_t^d$  діють зв'язки, пов'язані з наявністю ПР, що виконує функції ДТО й також двояко діє на  $OM_t^d$ , а саме: переміщує (транспортує) ОМ між робочими позиціями відповідно до  $TM_t^d$  та технологічно обслуговує кожну  $RP_t$  об'єктами маніпулювання (завантажує  $OM_{t-1}^d$ , розвантажує  $OM_t^d$ ). Саме вказані взаємодії та відношення на рівні енергетичних, матеріальних та інформаційних взаємокорельованих потоків відтворюють змістовні особливості РМТ, що реалізуються в ГВК МО.

На рисунку 1 зображено запропоновану структурну граф-схему ГВК МО. Для ілюстративності та простоти пояснень робочі позиції розташовані за технологічним маршрутом і на  $RP_t \forall t = \overline{1, T}$   $OM_{t-1}^d$  встановлюється один раз, тобто в ГВК відсутні перевстановлення ОМ, пропуски РП тощо. Зміст рисунка 1 вказує на:

- структуру ГВК МО, що складається з множини  $\{RP_t | t = \overline{1, T}\}$ , СУ ГВК, а також ПР, складовими якого є схват (Сх), маніпуляційна система (МС) та система управління (СУ);
- внутрішні параметри функціонування кожної  $RP_t$ , що характеризуються певними законами управління  $U_t$  (інформаційна складова), формоутворенням або іншою технологічною операцією, наприклад, контролю,  $F_{t-1,t}^d$  (матеріальна та енергетична складові), що виконується за час  $\tau_t$ , який можна інтерпретувати, наприклад, як тривалість роботи  $RP_t$  за УП;
- зовнішні щодо  $RP_t$  параметри функціонування всієї ГВК, що являють собою:
  - = упорядковану множину змінних у часі  $\tau$  інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків вхідних (відповідно  $\{I(\tau)_{in}\}, \{M(\tau)_{in}\}, \{E(\tau)_{in}\}$ ) та вихідних ( $\{I(\tau)_{ou}\}, \{M(\tau)_{ou}\}, \{E(\tau)_{ou}\}$ ); кожен із цих потоків безпосередньо впливає на внутрішні і зовнішні параметри функціонування ГВК та на зв'язки і відношення між ними;

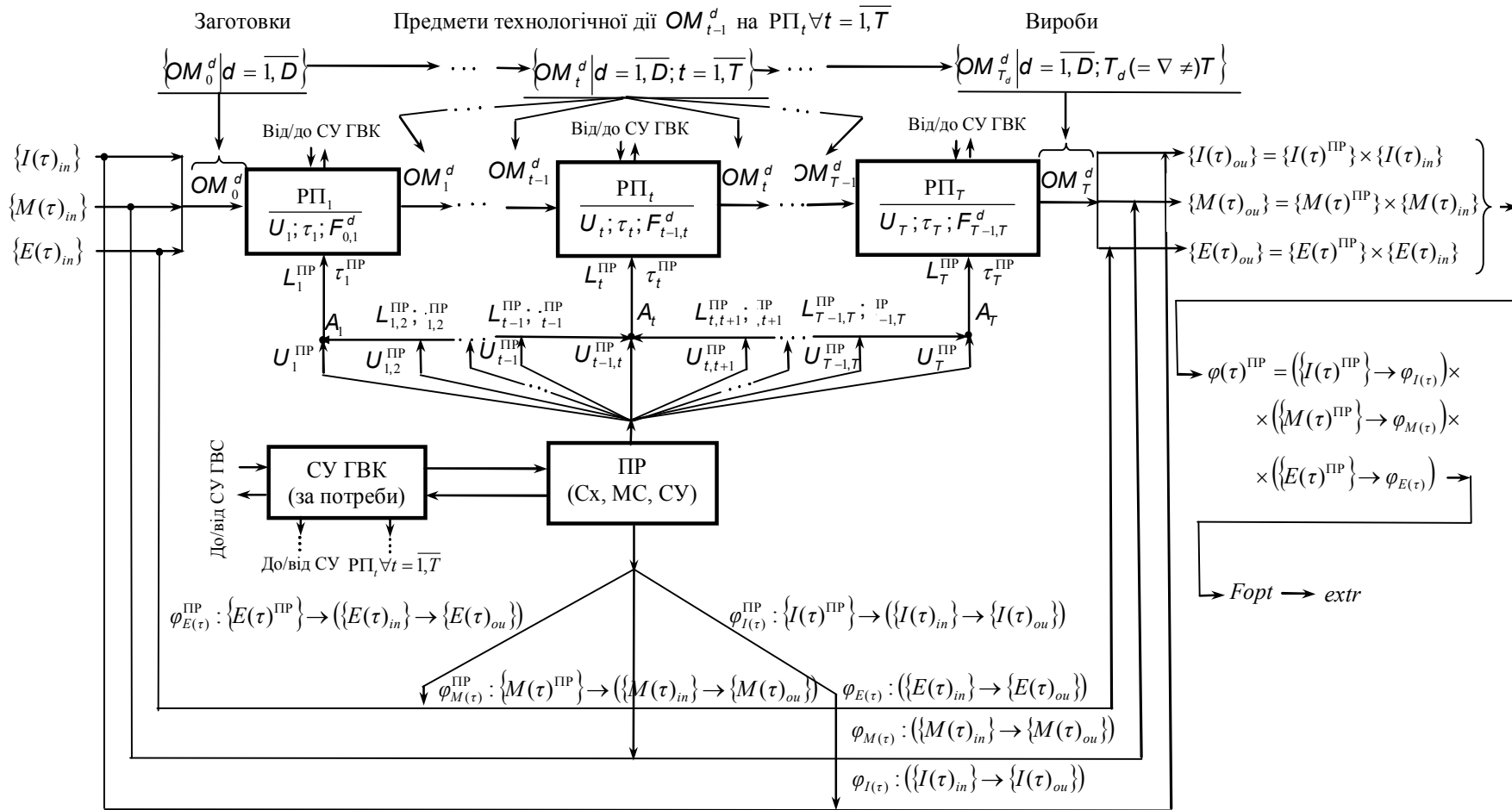


Рис. 1. Спрощена граф-схема структури та зв'язків ГВК МО

= функціонування ПР, що виконує:

- міжагрегатні переміщення СхПР з/без ОМ між РП ГВК з такими параметрами:
  - $L_{t,t+1}^{PP}$  та  $\tau_{t,t+1}^{PP}$  – довжина та час переміщення від РП<sub>t</sub> до РП<sub>t+1</sub> (відповідно між точками A<sub>i</sub> та A<sub>i+1</sub>);
  - $U_{t,t+1}^{PP}$  – закон управління вказаних переміщень;
- технологічне обслуговування кожної РП<sub>t</sub> за законом управління  $U_t^{PP}$ , переміщення Сх тривалістю  $\tau_t^{PP}$  з відпрацюванням відповідних переміщень  $L_t^{PP}$ .

Змістовну частину РМТ, що відтворює застосування ПР, формують указані вище параметри з верхнім індексом “PP” та відношення між ними. Саме вказані параметри є такими, що у своїй складнокорельованій сукупності визначають існування та оптимальність у прийнятому розумінні проєктованих (аналізованих) РМТ, коли  $F_{opt} \rightarrow extr$ .

З урахуванням змісту рисунка 1 зміна стану від заготовки  $OM_0^d$  шляхом технологічної дії на  $OM_0^d$  на кожній РП<sub>t</sub>  $\forall t = \overline{1, T}$  до готового виробу  $OM_T^d$  може бути інтерпретована виконанням так званої функції технологічного проєктування  $\varphi(\tau)$ , що певним чином корельована з відповідними функціями технологічної зміни інформаційних  $\varphi_{I(\tau)}$ , матеріальних  $\varphi_{M(\tau)}$  та енергетичних  $\varphi_{E(\tau)}$  потоків, що відбуваються в часі  $\tau$ :

$$\varphi(\tau) = \varphi_{I(\tau)} \times \varphi_{M(\tau)} \times \varphi_{E(\tau)}, \tag{1}$$

де співмножники правої частини є функціями відображення та на теоретико-множинному рівні представляються так:

$$\begin{aligned} I(\tau) &: \{I(\tau)_{in}\} \rightarrow \{I(\tau)_{ou}\}; \\ \varphi_{M(\tau)} &: \{M(\tau)_{in}\} \rightarrow \{M(\tau)_{ou}\}; \\ \varphi_{E(\tau)} &: \{E(\tau)_{in}\} \rightarrow \{E(\tau)_{ou}\}. \end{aligned}$$

З урахуванням технологічних переміщень СхПР з/без ОМ, виконуваних у ГВК промисловим роботом, останній певним чином впливає на зовнішні та внутрішні зв'язки в ГВК, виконуючи технологічні функції  $\varphi_{I(\tau)}^{PP}$ ,  $\varphi_{M(\tau)}^{PP}$  та  $\varphi_{E(\tau)}^{PP}$ , пов'язані з його (ПР) впливом на інформаційні, матеріальні та енергетичні потоки в ГВК:

$$\begin{aligned} I(\tau)^{PP} &: \{I(\tau)^{PP}\} \rightarrow (\{I(\tau)_{in}\} \rightarrow \{I(\tau)_{ou}\}); \\ \varphi_{M(\tau)}^{PP} &: \{M(\tau)^{PP}\} \rightarrow (\{M(\tau)_{in}\} \rightarrow \{M(\tau)_{ou}\}); \\ \varphi_{E(\tau)}^{PP} &: \{E(\tau)^{PP}\} \rightarrow (\{E(\tau)_{in}\} \rightarrow \{E(\tau)_{ou}\}), \end{aligned} \tag{2}$$

або

$$\begin{aligned} \varphi_{I(\tau)}^{PP} &: \{I(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{I(\tau)}; \\ \varphi_{M(\tau)}^{PP} &: \{M(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{M(\tau)}; \\ \varphi_{E(\tau)}^{PP} &: \{E(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{E(\tau)}. \end{aligned} \tag{3}$$

Викладене вище з урахуванням (1)–(3) дає можливість трактувати функцію проєктування РМТ, що враховує особливості роботизації,  $\varphi(\tau)^{PP}$ , так:

$$\varphi(\tau)^{PP} = (\{I(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{I(\tau)}) \times (\{M(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{M(\tau)}) \times (\{E(\tau)^{PP}\} \rightarrow \varphi_{E(\tau)}). \tag{4}$$

Тому оптимальна РМТ, що реалізується на проєктованій (аналізованій) ГВК МО, може бути описана виразами (2)–(4) при екстремальному значенні прийнятого критерію оптимальності  $F_{opt} \rightarrow extr$ .

–

Фактори, що визначають РМТ виготовлення d-го виробу в ГВК /вихідні дані/

Обчислювані складові РМТ в ГВК

Основні розрахункові показники спроектованої РМТ для  $OM^d$  /кінцеві дані/

- ПР: — Сх;  
 — МС;  
 — СК;  
 — СЧПУ.
- ТО : —  $OTO \in \{PP_t | t = \overline{1, T}\}$ :  
 = конструктивно-технологічні параметри;  
 = кількість;  
 —  $ДТО \in \{PP_t | t = \overline{1, T}\}$   
 :  
 = конструктивно-технологічні параметри;  
 = кількість.
- $PP, PP_t$  : — конструктивно-технологічні параметри;  
 — конструктивно-технологічні параметри;  
 = кількість.
- $OM^d$  : — кількість.  
 —  $IMOM^d$ ;  
 — матеріал  $\forall d = \overline{1, D}$ .
- Загальнотехнічна інформація:  
 — дані щодо випуску d-го виробу:  
 =  $TM^d$ ;  
 = продуктивність;  
 = собівартість;  
 = програма випуску;  
 = послідовність запуску.

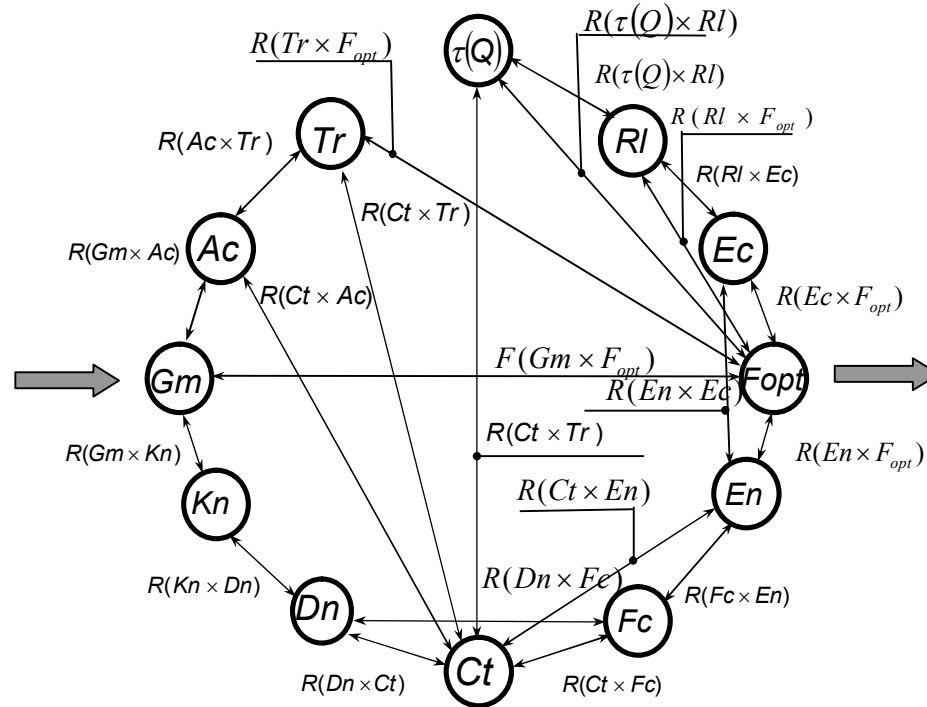


Рис. 2. Узагальнена схема складових РМТ для ГВК

- Продуктивність:  
 — циклова;  
 — середня партійна.
- Собівартість:  
 — загальна;  
 — ПР-технологічна.
- Коефіцієнти циклового використання/простоювання ТО.  
 Споживана потужність.  
 Ранжовані значення  $F_{opt}$ .

Очевидно, складними є зв'язок та відношення між описаними в (4) функціями, що априорі вказує на значні труднощі проектування оптимальних РМТ. Взаємно-однозначну відповідність відношень зв'язків (у випадку її існування) між указаними структурними елементами ГВК МО, особливо зовнішніх між ПР, ОМ та РП<sub>t</sub> за умови  $F_{opt} \rightarrow extr$ , можна розглядати як підтвердження існування оптимальної спроектованої (аналізованої) для ГВК роботизованої технології МО.

Таким чином, роботизовану механообробну технологію (РМТ) як один з видів загального поняття „технологія” [1] у контексті особливостей досліджуваної проблеми та предметної області можна визначити як систематизовану на науковій основі сукупність оптимальних в заданому розумінні маніпуляційних дій СхПР з/без ОМ при міжагрегатному переміщенні та технологічному обслуговуванні кожної робочої позиції заданого технологічного базису ГВК з метою отримання готової продукції заданої якості, необхідної кількості та прийнятої ефективності.

Аналіз інформаційних джерел, в яких у той чи інший спосіб описуються РМТ та їх проектування [2, 7, 9–12, 16–18, 20–22, 27, 29, 32, 34, 35], дозволив виділити їх (технологій) складові та представити у вигляді кінцевої множини вершин графа, що мають різний степінь інциденцій, та відношень між складовими, що певним чином з'єднують вершини графа (ребра графа).

На рисунку 2 наведено загальну схему складових РМТ для ГВК. Складові формуються на підставі вихідних даних, що представлені як фактори, які визначають РМТ на ГВК. Результатом визначення змісту складових та зв'язків між ними є основні розрахункові показники спроектованої (аналізованої) РМТ – продуктивність, собівартість тощо. Складові РМТ – вершини на рисунку 2 – позначено так:  $Gm$  – геометричні,  $Kn$  – кінематичні,  $Dn$  – динамічні,  $Ct$  – управлінські,  $En$  – енергетичні,  $Tr$  – траєкторні,  $\tau(Q)$  – часові, що визначають певні види продуктивності  $Q$ ,  $Rl$  – показники надійності,  $Ec$  – економічні,  $Ac$  – точнісні,  $Fc$  – силові та  $F_{opt}$  – складові, що визначені прийнятими видами критеріїв оптимальності (економічних, технічних тощо) при проектуванні (аналізі) РМТ.

Очевидно, що впорядковане визначення змісту та послідовність відношень, які на рисунку 2 представлені як двонаправлені орієнтовані ребра, змістовно являють собою процес проектування РМТ:

$$\langle R(S_i \times S_j) \rangle | (S_i, S_j) \in \{Gm, Kn, Dn, Ct, En, Tn, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fc, F_{opt}\}; \quad (5)$$

$$S_i \neq S_j.$$

Зв'язки між структурними елементами ГВК МО  $S_i$  та  $S_j$  у (5) сформовані на підставі розгляду тільки наявних безпосередніх (безпроміжних) зв'язків між вершинами за принципом „кожна (з вершин) із всіма іншими”. Наприклад, кількість точок позиціонування СхПР, що належить до геометричної складової  $Gm$ , очевидно впливає та визначає траєкторію переміщення СхПР (траєкторна складова  $Tr$ ). Фактично вказаний зв'язок на рисунку 2 представлено опосередковано через інші проміжні складові РМТ, а саме  $Gm \rightarrow Kn \rightarrow Dn \rightarrow Ct \rightarrow Tr$ . У такій послідовності розраховуються проміжні параметри від точок позиціонування до відпрацювання траєкторії переміщення СхПР між ними [2, 3, 7, 27, 29].

Доцільно наголосити, що (5) змістовно не суперечить (4). Їх сумісний аналіз та спільне використання передбачає можливість визначення складових (підфункцій) функції  $\varphi(\tau)^{PP}$  у відповідних змістовних проявах для визначення порядку та змісту формування (аналізу, синтезу) відношень  $R(S_i, S_j)$  у (5). Тому (4) та (5) розглядаються автором як перспективні й необхідні для подальших досліджень при розв'язку ряду задач технологічного змісту даної предметної області.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили сформулювати теоретико-множинні вирази (2)–(5), що змістовно відтворюють роботизований аспект процесу проектування РМТ для ГВК і передбачають їх використання в подальших дослідженнях як інформаційно-методичної основи автоматизованого проектування оптимальних РМТ для ГВК. При цьому першочерговим є вирішення таких завдань даного напрямку:

- розкриття сутності та прояву кожної складової РМТ (рис. 2);
- аналіз можливостей виділення на різній методологічній основі зв'язних підграфів, що можуть розглядатися як формалізоване представлення можливих етапів (математично – множин підфункцій) автоматизованого проектування оптимальних РМТ для ГВК;
- формування покрокової реалізації функції технологічного проектування на рівні впорядкованих підмножин відповідних підфункцій у межах виділених зв'язних підграфів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др. ; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1999. – 416 с.

2. *Бурдаков С.Ф.* Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / *С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев.* – М. : Высшая школа, 1986. – 264 с.
3. *Вукобратович М.* Управление манипуляционными роботами: теория и приложения / *М.Вукобратович, Д.Стокич.* – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 384 с.
4. *Гавриш А.П.* Гибкие робототехнические системы : учеб. / *А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский.* – К. : Вища школа, 1986. – 264 с.
5. ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей. – Взамен ГОСТ 26228-85, 26962-86, 4.368-85. Введ. 07.06.90. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.
6. *Довбня Н.М.* Роботизированные технологические комплексы в ГПС / *Н.М. Довбня, А.Н. Кондратьев, Е.И. Юревич.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1990. – 303 с.
7. *Зенкевич Л.С.* Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами : учеб. / *Л.С. Зенкевич, А.С. Ющенко.* – М. : Изд-во МГУ им. Э.Баумана, 2000. – 400 с.
8. *Кирилович В.А.* Інформаційна модель об'єктів маніпулювання для умов роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2009. – № 4(51). – С. 27–36.
9. *Кирилович В.А.* Автоматизоване формування маршрутів обслуговування робочих позицій промисловими роботами / *В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко* // Вісник ЖДТУ. – 2008. – Т. 13, № 4. – С. 152–157.
10. *Кирилович В.А.* Имитационное моделирование для определения производительности гибких производственных систем / *В.А. Кирилович, А.В. Подтыченко* // *Systemy informacyjne w kształceniu technicznym.* Red. Antoni Swic. – Lublin : Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 2005. – S. 51–56.
11. *Кирилович В.А.* Склад математичної моделі гнучких виробничих комірок для задачі автоматизованого планування обладнання / *В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко* // Оптимизация производственных процессов. – № 9. – Севастополь : СевНТУ, 2006. – С. 46–53.
12. *Кирилович В.А.* Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій / *В.А. Кирилович, І.В. Сачук* // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технологічного університету / *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.* – Вип. 12. – Кіровоград : КДТУ, 2003. – С. 210–216.
13. *Кирилович В.А.* Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 1. Практичні заняття : навч.-метод. посібн. / *В.А. Кирилович.* – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 156 с.
14. Роботизированные производственные комплексы / *Ю.Г. Козырев, А.А. Кудинов, В.Э. Булатов* и др. ; под. ред. *Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова.* – М. : Машиностроение, 1987. – 270 с.
15. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация / *В.И. Костюк, А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский, А.Г. Карпов.* – К. : Вища школа, Главное изд-во, 1985. – 359 с.
16. *Лицинский Л.Ю.* Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / *Л.Ю. Лицинский.* – М. : Машиностроение, 1987. – 270 с.
17. Технологические основы гибких производственных систем / *В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов* и др. ; под ред. *Ю.М. Соломенцева.* – М. : Машиностроение, 2000. – 255 с.
18. Гибкие технологические системы холодной штамповки / *С.П. Митрофанов, Л.Л. Григорьев, Ю.М. Клепиков* и др. ; под общ. ред. *С.П. Митрофанова.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1987. – 287 с.
19. *Пуховский Е.С.* Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / *Е.С. Пуховский, А.Б. Кукарин.* – К. : Техника, 1997. – 221 с.
20. *Пуховский Е.С.* Технологические основы гибкого автоматизированного производства / *Е.С. Пуховский.* – К. : Вища школа, Главное изд-во, 1989. – 240 с.
21. *Святыцкий Д.А.* Моделирование процессов сборки в робототехнических комплексах / *Д.А. Святыцкий.* – Мн. : Наука и техника, 1983. – 93 с.
22. *Сольнищев Р.И.* Автоматизация проектирования гибких производственных систем / *Р.И. Сольнищев, А.Е. Кононюк, Ф.М. Кулаков* ; под. ред. *Р.И. Сольнищевой.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1990. – 527 с.
23. Промислові роботи в машинобудуванні : навч. посібн. / *Г.О. Спину, В.М. Бернадський, О.В. Даниленко, В.С. Юмашев.* – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 128 с.



24. *Спину Г.О.* Робототехніка : моногр. / *Г.О. Спину, В.Є. Юмашев.* – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 332 с.
25. *Струтинський В.Б.* Технологія моделювання динамічних процесів і систем : моногр. / *В.Б. Струтинський, Н.Р. Веселовська.* – Вінниця : О.Власюк, 2007. – 466 с.
26. *Тимофеев А.В.* Адаптивные робототехнические комплексы / *А.В. Тимофеев.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1988. – 332 с.
27. *Шахингур М.* Курс робототехники : пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 527 с.
28. *Ямпольский Л.С.* Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / *Л.С. Ямпольский, О.М. Калинин, М.М. Ткач.* – К. : Вища школа, 1987. – 271 с.
29. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління : підр. / *Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самокіт* та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 680 с.
30. *Angeles J.* Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms / *J. Angeles.* – Second edition. – Springer. – Verlag New York Inc., 2003. – 522 p.
31. *Keramas James G.* Robot technology fundamentals / *James G. Keramas.* – New York : Delmar Publishers, 1999. – 408 p.
32. *Kurylovych V.* Computer-aided forming of working positions service route by industrial robots / *V. Kurylovych, O. Pidtychenko* // Acta Mechanica Slovakia. – № 2–A/2006. – Kosice, Jasna – Nizke Tatry, Technical University of Kosice, 2006. – Pp. 297–304 (8<sup>th</sup> International conference ROBTEP 2006. Automation / Robotics in Theory and Practice, May 31 – June 2, 2006, Rochnik 10, Jasna – Nizke Tatry, Slovak Republic).
33. *Selig J.M.* Geometric Fundamentals of Robotics / *J.M. Selig.* – Springer. – New York, 1996. – 398 p.
34. *Spong M.W.* Robot Modeling and Control / *M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar.* – New York : John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 408 p.
35. *Stadler W.* Analytical robotics and mechatronics / *W. Stadler.* – New York : San Francisco State University, McGraw-Hill, Inc., 1995. – 560 p.
36. The design of manufacturing systems / Computer-aided design Engineering and Manufacturing, Systems Techniques and Applications. – 2001 by CRC Press LLC. – 300 p.

КИРИЛОВИЧ Валерій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування.

E-mail: [kiril\\_v@mail.ru](mailto:kiril_v@mail.ru)

Подано 05.05.2010

**Кирилович В.А.** Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих механообробних технологій у гнучких виробничих комірках

**Кирилович В.А.** Теоретико-множественная интерпритация проектирования роботизированных механообрабатывающих технологий в гибких производственных ячейках

**Kyrylovych V.A.** Set-theoretical interpretation of robotized machining technologies design in flexible industrial cells

УДК 621. 865. 8

**Теоретико-множественная интерпритация проектирования роботизированных механообрабатывающих технологий в гибких производственных ячейках / В.А. Кирилович**

С единых системных позиций анализа структурных элементов гибких производственных ячеек механообработки определены формализованные выражения, интерпритирующие проектирование роботизированных механообрабатывающих технологий и их составляющие.

УДК 621. 865. 8

**Set-theoretical interpretation of robotized machining technologies design in flexible industrial cells / V.A. Kyrylovych**

Formalized expression was defined from the common system position of analysis the structure elements of the machining flexible industrial cells which interpreting design of robotized machining technologies and their components.