

Формальна стратегія автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій

В. Кирилович, д.т.н., доцент

Житомирський державний технологічний університет, 10005, м. Житомир, вул. Черняхівського, 103

Abstract. We consider the content of the formal foundations of synthesis of robotic mechanical assembly technologies engineering and instrumentation, which provides for the implementation of appropriate automated synthesis functions on three levels: functional, parametric and criteria.

Key words: strategy, conditions solving, robotized mechanical assembly technology.

Постановка завдання. Априорі складний та неоднорідний кореляційний зв'язок між складовими роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) вказує на необхідність мати формальний апарат для принципового визначення реалізації конкретних технологічних роботизованих переходів, операцій та РМСТ взагалі. Подібні задачі, як показує практика [2, 10, 18, 27, 29, 31], розв'язуються на інженерному рівні в нечіткій (фактично будь-якій) послідовності, що обумовлено наразі відсутністю єдиної науково-обґрунтованої методичної основи проектування оптимальних РМСТ. Тому проєктянти та дослідники можуть розв'язувати будь-яку із технологічних задач-складових РМСТ в залежності від конкретної проєктної ситуації і при цьому необхідними є дослідження умов розв'язку як кожної із задач окремо, так і їх сукупності взагалі з прийняттям відповідних системних технологічних рішень (СТР) [12, 13].

Огляд літератури.

Подібний підхід описано при моделюванні технологічного процесу складання виробів в робототехнічних комплексах [21]. Незважаючи на очевидну позитивність ідеї такого підходу, при автоматизованому синтезі РМСТ він не може бути використаний, так як саме „роботизована” складова досліджень виконана недосконало, без акцентованих нюансів щодо технологічного аспекту особливостей застосування промислових роботів (ПР) в механоскладальних гнучких виробничих комірках (ГВК). Відомий також підхід при виборі моделі ПР для багатонаменклатурних верстатних систем, при якому формулюються відповідні технологічні умови сумісності та взаємодії [20]. При їх виконанні робиться висновок, що елементи трійки „деталь-робот-верстат” взаємодіють в технологічному процесі механообробки, виконуючи функції транспортування об'єктів маніпулювання (ОМ) та безпосередньо їх обробки. Вказані умови та наведена схема аналізу властивостей згаданої трійки є досить абстрактними і фактично значною мірою підкреслюють необхідність розгляду певних умов при розв'язанні технологічних задач, що пов'язані з роботизацією. Неналежний ступінь деталізації, фрагментарність, достатньо високий рівень абстрагованості сформульованих умов та причини, що вказані вище, не

можуть повною мірою відтворювати особливості синтезу РМСТ в ГВК механоскладання. Аналогічні висновки можна зробити з аналізу змісту інших робіт [4, 8, 22, 23, 28, 33, 35, 36]. Тому формальна основа синтезу РМСТ є вкрай важливою та необхідною для подальших досліджень щодо автоматизованого синтезу оптимальних РМСТ в рамках технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв машино- та приладобудування.

Мета. Мета роботи полягає у розкритті формальних залежностей високого рівня абстрагування, що відтворюють зміст та особливості роботизованих технологій, які в подальшому можуть бути використані в якості базису теорії формального синтезу РМСТ.

Основний матеріал.

Загальні положення змісту пропонованої стратегії зводяться до наступного. “Зовнішнім” проявом РМСТ є траєкторія переміщень схвата (Сх) ПР з/без ОМ при технологічному обслуговуванні робочих позицій роботизованих ГВК [24], міжагрегатному переміщенні Сх між робочими позиціями [5, 7, 8] та технологічній взаємодії Сх з ОМ [1, 25, 26]. За умови екстремального значення попередньо прийнятого критерію оптимальності одна із синтезованих РМСТ є оптимальною в заданому сенсі. При цьому пропонується розв'язувати множину локальних задач АС РМСТ різного складу, змісту, складності, послідовності та ієрархічної підпорядкованості, що в своїй сукупності формують РМСТ. Це так звані *умови вирішувальності* (УВ) [14]. Визначення УВ РМСТ на відомому технічному базисі (ВТБ) передбачає синтез РМСТ та їх аналіз щодо визначеної проєктними умовами множини реалізованості, параметризації та оптимальності. Тому визначення УВ виконується шляхом генерування множини РМСТ та визначення параметрів РМСТ, що є оптимальними в заданому сенсі.

РМСТ в ГВК повинні відповідати своєму функціональному призначенню, тобто бути здатним функціонально реалізувати технологічну взаємодію між складовими відомого технічного базису (ВТБ) (технологічне обладнання попередньо обране) та ОМ у відповідності до заданих вимог проектування ГВК. Умови, що визначають можливість реалізації РМСТ складовими ГВК на ВТБ щодо принципових можливостей відпрацювань СхПР з/без ОМ відповідних технологічних переміщень при функціонуванні ПР, названо *умовами функціональної реалізованості* (УФР) РМСТ [14].

Функціональність в даному випадку визначається сукупною множиною конструктивних особливостей та кінематичних можливостей положень та

переміщення Сх та ланок МС в РЗ ПР, що базується на таких власних властивостях МС ПР як досяжність та маніпулятивність [15-17, 19]. Очевидно, що саме функціональність, як інтегрований показник властивостей МС ПР, що наразі не має узагальненої кількісної оцінки та математичного (формалізованого) опису, визначає принципову реалізованість РМСТ і відтворює особливості використання ПР в механоскладальних ГВК.

Очевидна необхідність задовольняти згенерованою множиною частини РМСТ, що відповідають умовам функціональної реалізованості, певним параметрам, наприклад, щодо швидкодії (а значить продуктивності), щодо параметрів законів управління переміщення ланок МС та СхПР (виконавчий рівень) [3, 34] тощо дозволяє виділити та відсіяти варіанти РМСТ, які є непридатними для подальшого розгляду. Умови, що описують подібні вимоги, називаються умовами параметричної реалізованості (УПР).

Згенерована множина РМСТ, що відповідає УПР, підлягає подальшому аналізу для визначення умов відповідності певним техніко-економічним вимогам. За результатами аналізу формуються умови, що названі умовами критеріальної реалізованості (УКР), для яких визначається величина прийнятого критерію оптимальності та визначені умовами синтезу обмеження [12].

Схема складових (умов), що визначають запропоновані умови вирішуваності РМСТ в ГВК, та графічна інтерпретація складових УВ подана на рис. 1.

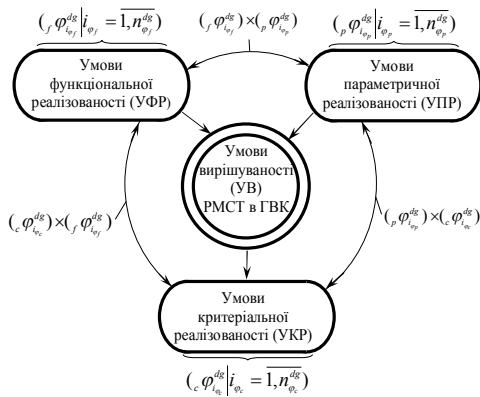


Рис. 1. Умовна схема умов вирішуваності як стратегії АС РМСТ

Прийнята в [14] функція автоматизованого синтезу (ФАС) РМСТ φ^{dg} в даній постановці на певному рівні абстрагування з врахуванням складових системного підходу до АС РМСТ [12] та рис. 1 в загальному випадку може бути інтерпретована як зміна (відображення) інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків, що визначені використанням ПР, на множині (множину) визначення УФР, УПР та УКР:

$$\varphi^{dg} : (\varphi_{I(\tau)}^{IR} \times \varphi_{M(\tau)}^{IR} \times \varphi_{E(\tau)}^{IR}) \rightarrow \left(\left(\varphi_{i_{\varphi_f}}^{dg} \middle| i_{\varphi_f} = \overline{1, n_{\varphi_f}^{dg}} \right) \times \left(\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg} \middle| i_{\varphi_p} = \overline{1, n_{\varphi_p}^{dg}} \right) \times \left(\varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg} \middle| i_{\varphi_c} = \overline{1, n_{\varphi_c}^{dg}} \right) \right), \quad (1)$$

де $\varphi_{I(\tau)}^{IR}, \varphi_{M(\tau)}^{IR}, \varphi_{E(\tau)}^{IR}$ – функції, що визначають технологічну зміну відповідно інформаційних, матеріальних та енергетичних потоків, що відбуваються в часі τ за участі ПР;

$$\varphi_{i_{\varphi_f}}^{dg}, \varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg}, \varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg} - i_{\varphi_f} - \text{та, } i_{\varphi_p} - \text{та, } i_{\varphi_c} - \text{та ФАС,}$$

що визначають відповідно умови функціональної (f), параметричної (p) та критеріальної (c) реалізованості при АС РМСТ на ГВК, які реалізуються на одноіменних рівнях і є структурними складовими визначення умов вирішуваності (УВ) [12];

f, p, c – позначення рівнів УВ відповідно функціонального, параметричного, критеріального.

Очевидно, що множина ФАС $\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg}$ визначається

на множині $\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg}$, а $\varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg}$ на множині $\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg}$ з врахуванням відповідних параметрів, що розглядаються не в даній роботі на відповідних рівнях.

Умовою існування УВ, що визначають непусті кінцеві рішення, є ієрархічна підпорядкованість складових УВ, які розглядаються за наступним ланцюгом: УФР \rightarrow УПР \rightarrow УКР. З врахуванням рис. 1, що в тому числі відображає зв'язки між рівнями можливими ітераційно-рекурентними обчисленнями, умови існування УВ формально виглядають так:

$$\begin{aligned} & \left(\varphi_{i_{\varphi_f}}^{dg} \middle| i_{\varphi_f} = \overline{1, n_{\varphi_f}^{dg}} \right) \xrightarrow{P_{i_{\varphi_f}} \middle| i_{\varphi_f} = \overline{1, n_{\varphi_f}^{dg}}} \left(\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg} \middle| i_{\varphi_p} = \overline{1, n_{\varphi_p}^{dg}} \right); \\ & \left(\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg} \middle| i_{\varphi_p} = \overline{1, n_{\varphi_p}^{dg}} \right) \times \left(\varphi_{i_{\varphi_f}}^{dg} \middle| i_{\varphi_f} = \overline{1, n_{\varphi_f}^{dg}} \right) \xrightarrow{P_{i_{\varphi_p}} \middle| i_{\varphi_p} = \overline{1, n_{\varphi_p}^{dg}}} \left(\varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg} \middle| i_{\varphi_c} = \overline{1, n_{\varphi_c}^{dg}} \right); \\ & \left(\varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg} \middle| i_{\varphi_c} = \overline{1, n_{\varphi_c}^{dg}} \right) \times \left(\varphi_{i_{\varphi_p}}^{dg} \middle| i_{\varphi_p} = \overline{1, n_{\varphi_p}^{dg}} \right) \times \left(\varphi_{i_{\varphi_f}}^{dg} \middle| i_{\varphi_f} = \overline{1, n_{\varphi_f}^{dg}} \right) \xrightarrow{P_{i_{\varphi_c}} \middle| i_{\varphi_c} = \overline{1, n_{\varphi_c}^{dg}}} \left(\varphi_{i_{\varphi_c}}^{dg} \middle| i_{\varphi_c} = \overline{1, n_{\varphi_c}^{dg}} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

За умови відсутності задовільних кінцевих результатів та необхідності отримати кінцеві СТР виконуються відповідні коригування певних даних як всередині розглядуваних рівнів, так і міжрівнево (вказане являє собою предмет окремих досліджень).

Висновки.

Формально визначено залежності (1) та (2), що покладені в основу запропонованої так званої стратегії вирішуваності АС РМСТ. Її зміст полягає у розв'язуванні низки задач функціонального, параметричного та критеріального рівнів з подальшим врахуванням таких складових системного підходу до АС РМСТ як принципи [11], аксіоматика [9] та парадигма РМСТ [6], що в своїй сукупності системно розглядаються як теоретико-множинна складова теорії формального синтезу РМСТ, що в свою чергу є складовою концепції підвищення ефективності технологічної

підготовки роботизованих механоскладальних виробництв машино- та приладобудування [6].

[1]. Визначення метричної відстані між одиницями технологічного обладнання механообробних гнучких виробничих комірок при плануванні програмних траєкторій промислових роботів / М.В. Богдановський, А.В. Євгенєв, В.А. Кирилович, В.В. Чухов // Технологічні комплекси. – Луцьк. – 2011. – № 1(3). – С. 23 – 31..

[2]. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, керування / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 786 с.

[3]. Зенкевич С.Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. для вузов. / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 400 с.

[4]. Камильянов А.Р. Планирование траекторий движения многозвеного манипулятора в сложном трехмерном рабочем пространстве на основе эволюционных методов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.13.01 / Камильянов А.Р.; Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. – 2007. – 16 с.

[5]. Кирилович В. Имитационное моделирование для определения производительности гибких производственных систем / Кирилович В., Пидтыченко А. // Systemy informacyjne w kształceniu technicznym. Red. Antoni Świć. – Lublin: Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 2005. – S. 51–56.

[6]. Кирилович В.А. Автоматизованний синтез роботизованих механоскладальних технологій: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / В.А. Кирилович. – Київ, 2015. – 48 с.

[7]. Кирилович В.А. Автоматизованний синтез композитивних структур механообробних гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко, Б.Б.Самотокін// Науковий журнал “Технологічні комплекси”. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – №1,2(5,6). – С. 36–49.

[8]. Кирилович В.А. Імітаційне моделювання в задачах планування обладнання ГВС / В.А. Кирилович, Н.В. Легенька, О.В. Підтиченко // Вісник ЖДТУ. – 2005. – №2(33) / Технічні науки. – С. 116–124.

[9]. Кирилович В.А. Аксиоматичний підхід до сутності роботизованих механоскладальних технологій та їх синтезу / Кирилович В.А // Сучасні технології в машинобудуванні. – НТУ “ХПР”. – 2013. – Вип. 8. – С. 263 – 271.

[10]. 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. 210–214.

[11]. Кирилович В.А. Принципи автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2011. – №3(58). – С. 33 – 47.

[12]. Кирилович В.А. Системний підхід до роботизованих механоскладальних технологій як об'єкта синтеза / В.А. Кирилович // Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”. – 2012. – Донецк. – Т.2. – С. 38 – 39.

производственных процессов. – Севастополь. – 2006. – №9. – С.46 – 53.

[13]. Кирилович В.А. Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих технологій в гнучких виробничих комітках // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. - Житомир, 2010. – №2(53). – Т. 1. – С. 35 – 43.

[14]. Кирилович В.А. Умови функціональної реалізованості

роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комітках / В.А. Кирилович // Технологічні комплекси – Луцьк. – 2010. – № 1. – С. 136 – 145.

[15]. Кобринский А.А. Манипуляционные системы роботов. Основы устройства. Элементы теории / Кобринский А.А., Кобринский А.Е. – М.: Наука, 1985. – 344с.

[16]. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники / Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес С.М.; отв.ред. Каплунов С.М.; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, 2006. – 376 с. (Кн. 2).

[17]. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники / Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес С.М.; отв.ред. Каплунов С.М.; Ин-т машиноведения им.А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, 2006. – 383 с. (Кн. 1).

[18]. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Лищинский Л.Ю. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.

[19]. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др. ; Подобщ. ред. А.И. Корендясева. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.

[20]. Пуховский Е.С. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / Пуховский Е.С., Кукарин А.Б. – К.: Тэхника, 1997. – 221 с.

[21]. Святыцкий Д.А. Моделирование процессов сборки в робототехнических комплексах / Святыцкий Д. А. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 93 с

[22]. Яглінський В.П. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва / В. П. Яглінський, Д.В. Іорганов. – Одеса: Астропринт, 2004. – 234 с.

[23]. Angeles J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms. Mechanical Engineering Series / Angeles J.; ed. Frederick F. Ling. – 2nd ed. – New York, Berlin, Heidelberg, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo: Springer, 2003. – 521 p.

[24]. Aristidou A. FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem / Andreas Aristidou, Joan Lasenby // Graphical Models 73(5) – 2011. – P. 243–260.

[25]. CaihuaXiong. Fundamentals of Robotic Grasping and Fixturing / CaihuaXiong, Ham Ding, YoulungXiong. – Word Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd., 2007. – 218 p.

[26]. Cutkosky M.R. On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks / M. R. Cutkosky // Robotics and Automation, IEEE Transactions №5(3) – 1989 – P. 269 – 279.

[27]. Fahimi F. Autonomous Robots: Modeling, Path Planning, and Control / Fahimi F. – New York: Springer, 2009. – 348 p/

[28]. Gibilisco S. Concise Encyclopedia of Robotics / Stan Gibilisco – McGraw-Hill, 2003. – 383 p.

[29]. Modern robotics: building versatile machines / Harry Henderson. – New York: Chelsea House, 2006. – 208 p.

[30]. Kelly R. Control of Robot Manipulators in Joint Space / R. Kelly, V. Santibáñez, A. Loria. – Berlin : Springer-Verlag, 2005. – 429 p.

[31]. Kluz R. Algorytm wyznaczenia optymalnego miejsca w przestuzem roboczeizro botyzovanego / R. Kluz // Technologia I automatyzacja montazu. – 2008. – N2. – S.15–18.

[32]. Lenarcic J. Advances in Robot Kinematics: Analysis and Design. / J. Lenarcic, Wenger P. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 466 p.

[33]. Siciliano B. Handbook of robotics. / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.

[34]. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London: Springer, 2009. – 632 p.