

УДК 658.52.011:658.512.4

В.А. Кирилович, проф., д-р техн. наук

Житомирський державний технологічний університет, м.Житомир, Україна, kiril_va@yahoo.com

Особливості реалізації промисловими роботами механоскладальних технологій в гнучких виробничих комірках

На підставі змістовної сутності та технологічної спільності застосування промислових роботів (ПР) при механообробці та складанні обґрунтовується термін “роботизована механоскладальна технологія (РМСТ)”, дається її визначення. Розроблені формалізми структури РМСТ покладені в основу аналізу відношень між складовими РМСТ. Вказано на доцільність розглядати термін “траєкторія” щодо переміщення полюса схвата промислового робота, а термін “траєкторний простір” – щодо переміщення технологічного роботизованого комплексу.

промисловий робот, схват, механоскладальна технологія, прояви РМСТ, траєкторія, траєкторний простір

В. А. Кирилович, проф., д-р техн. наук

Житомирский государственный технологический университет, г. Житомир, Украина

Особенности реализации промышленными роботами механосборочных технологий в гибких производственных ячейках

На основании содержательной сущности и технологической общности применения промышленных роботов (ПР) при механообработке и сборке обосновывается термин "роботизированная механосборочная технология (РМСТ)", дается ее определение. Разработанные формализмы структуры РМСТ положены в основу анализа отношений между составляющими РМСТ. Указано на целесообразность рассматривать термин "траектория" для перемещения полюса схвата промышленного робота, а термин "траекторное пространство" – для перемещения технологического роботизированного комплекта.

промышленный робот, схват, механосборочная технология, проявления РМСТ, траектория, траекторное пространство

Постановка проблеми. Сучасне виробництво в різних його формах, видах та галузях характеризується його гнучким характером. Це відноситься до верстатобудування, сільськогосподарського машинобудування, приладобудування тощо. Обов’язковою та загальною їх складовою є механообробні та складальні технології. При цьому для забезпечення гнучкості виробництв широко використовуються промислові роботи (ПР).

Змістова сутність механообробних та складальних гнучких технологій з використанням ПР, тобто роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) характеризується [2, 6, 11, 16, 18, 19, 21, 26, 27]:

– спільністю виконуваних при цьому технологічних функцій допоміжного характеру, що полягають у виконанні маніпулювальних дій з виробами, що для

роботизованих виробництв є об'єктами маніпулювання (ОМ) для забезпечення наступного виконання на основних робочих позиціях (WP_t) основних технологічних операцій за відомим технологічним маршрутом технологічної дії на d_g -ий ОМ із g -ої групи виробів – M^{dg} ;

– спільністю фізично-механічних характеристик ОМ (заготовок, деталей, складальних компонентів, складальних одиниць, складальних виробів), що мають в більшості випадків геометричну та/ або міцнісну (після складання компонентів) цілісність;

– спільністю інтервалів робочих параметрів переміщення ОМ, що спів розмірні (переміщення) з розмірами ланок маніпуляційної системи (МС) ПР – величин переміщень, їх швидкостей та прискорень, що обумовлені конструктивно-геометричними параметрами ОМ, технологічного обладнання (ТО) та ПР;

– певною спільністю масо-габаритних параметрів ОМ на різних операціях цілеспрямованої технологічної дії на ОМ згідно M^{dg} тощо.

Поєднання технологічної спільності роботизованих технологій механообробки та складання із спільністю можливих варіантів роботизованих структур гнучких виробничих комірок (ГВК) та із спільністю інтервалів значень (величин) геометричних, кінематичних, динамічних, техніко-економічних та інших параметрів ПР та ОМ дає підставу для твердження щодо технологічної спільності використання ПР в механоскладальних ГВК машино- (включаючи виготовлення сільгосптехніки) та приладобудування. Технологічна спільність вказаних ГВК обумовлює аналогічність, а часто і ідентичність задач, які виконують ПР при цьому [3, 8, 10, 15, 20, 23, 29].

З врахуванням сказаного *РМСТ*, як одну із видів загального поняття “технологія” в контексті змістовної сутності розглядуваної проблеми та особливостей предметної області, можна визначити як систематизовану на науковій основі сукупність оптимальних в прийнятому розумінні маніпуляційних дій СхПР з/без ОМ при міжагрегатному переміщенні, технологічному обслуговуванні кожної робочої позиції в заданій технологічним маршрутом послідовності та технологічній взаємодії Сх з ОМ на відомому технічному базисі ГВК з метою отримання готової продукції заданої якості, необхідної кількості та прийнятої ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показує аналіз вказаних вище та інших інформаційних джерел [4, 9, 14, 18, 22, 24, 25, 28, 30-33] *РМСТ* в загальному випадку на певному рівні абстрагування можуть бути представлені графом G^{dg} , множиною вершин S^{dg} якого є окремі складові $S_{i_{SG}}^{dg}$, а ребра є зв'язками $R_{j,k}^{dg}$ між складовими $S_{i_{SG}}^{dg}$, що у випадку зважених орієнтованих ребер можна розглядати як послідовність визначення певних відношень, що в загальному випадку підлягають дослідженню, при визначенні складових *РМСТ*:

$$G^{dg} = ((S^{dg} = S_{i_{SG}}^{dg} | \overline{i_{SG} = 1, n_{SG}})); \quad (1)$$

$$R^{dg}(S_j^{dg}; S_k^{dg}) | S_{i_{SG}}^{dg} \in (Gm, Kn, Dn, Ct, En, Tr, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fc, F_{opt}); j \neq k; (S_j^{dg}; S_k^{dg}) \in S^{dg}$$

де $Gm, Kn, Dn, Ct, En, Tr, \tau(Q), Rl, Ec, Ac, Fc, F_{opt}$ – складові *РМСТ* (складові $S_{i_{SG}}^{dg}$ множини S^{dg}), відповідно геометричні, кінематичні, динамічні, управлінські, енергетичні, траєкторні, часові (продуктивністі), надійнісні, економічні, точнісні, силові та критеріальні (оптимізаційні) [10, 13];

$R_{j,k}^{dg} \in (\rightarrow, \leftrightarrow, \leftarrow, \dots)$ – відношення відповідно порядку, рівноцінності, передування тощо.

Фактично кожне ребро між двома складовими РМСТ S_j^{dg} та S_k^{dg} може бути формально представлене наступним чином:

$$R_{j,k}^{dg}(S_j^{dg}; S_k^{dg}) = (S_j^{dg} R_{j,k}^{dg} S_k^{dg}) R_{j,k}^{dg}(S_j^{dg}; S_k^{dg}). \quad (2)$$

Доцільно наголосити, що на сьогодні відсутня єдина комплексна методика впорядкованого проектування / синтезу та розрахунку параметрів складових РМСТ з інтегрованим врахуванням виразів (1) та (2).

Постановка завдання статті полягає у висвітленні змістовних особливостей реалізації РМСТ, що є інваріантним щодо видів та галузей виробництва, включаючи виробництво сільськогосподарських машин, в гнучких виробничих комірках.

Виклад основного матеріалу. Зміст будь-якої РМСТ на рівні матеріальних потоків може інтерпретуватись як трансформація заготовки (складальних компонентів) O_o^{dg} d_g -го OM g -ої групи виробів, що поступає (подаються) на вхід ГВК – WP_I , в готовий виріб (складальну одиницю, складальний виріб) O_T^{dg} , що змінюється (видаляється) з T -ої кінцевої робочої позиції WP_I – вихід ГВК [10, 11]. При цьому ПР переміщує O_T^{dg} між робочими позиціями, технологічно обслуговує кожну WP_t об'єктами маніпулювання (завантажує WP_t об'єктом O_{t-1}^{dg} , а розвантажує WP_t об'єктом O_t^{dg}). Саме вказані технологічно узгоджені взаємодії між ПР, O_t^{dg} , WP_t та їх пристосуванням Dv_t на рівні інформаційних, енергетичних та матеріальних взаємокорельованих потоків відтворюють фактор роботизації, що визначається використанням ПР, та змістовні особливості РМСТ, що реалізуються в ГВК [11, 13].

Таким чином, головною відмітною рисою РМСТ є набір рухів (переміщень) СхПР з/без O_{t-1}^{dg} / O_t^{dg} , що доцільно розглядати як траєкторний простір $TrSp^{dg}$ [10, 13], який виконується за певними законами управління, що мають певні параметри функціонування.

За межу подрібнення РМСТ (елемента, елементарної складової) доцільно прийняти технологічний перехід переміщення Сх між двома технологічно послідовними (сусідніми) опорними точками $TrSp^{dg}$, що названо елементарним роботизованим переміщенням (ЕРП). В основі любого ЕРП лежить переміщення (Tr) СхПР, що визначається взаємним розташуванням ланок маніпуляційної системи (МС) ПР із множини допустимих, що називається конфігураційним простором [3, 14 - 16], який в свою чергу визначається величинами значень та змін узагальнених координат (УК) $q_{iq}^{dg}(\tau)$, їх швидкостями $\dot{q}_{iq}^{dg}(\tau)$ та прискореннями $\ddot{q}_{iq}^{dg}(\tau)$, які в свою чергу є необхідними для визначення законів управління кожною i_N -ою УК – $u_{iq}^{dg}(\tau)$.

Очевидно, що упорядкована множина ЕРП формує відповідні траєкторії переміщень СхПР при обробці (складанні) певної партії ОМ (виробів) при наступних режимах функціонування ПР [5], що названі партійними:

– виході на встановлений режим (В на ВР); при цьому аналізуються склад рухів та їх тривалість від початку функціонування ГВК з першим O_o^{dg} до виходу на встановлений режим за складом дій (переміщень) та часом (тривалістю) їх виконання;

– встановлений режим (ВР) як такий, коли на кожній WP_t виконується технологічна дія на O_T^{dg} , тобто задіяні за M^{dg} всі одиниці технологічного обладнання, з повторюваною однаковою тривалістю та складом виконання маніпуляційних дій ПР, що називається тривалістю циклу роботи ГВК;

– виході із встановленого режиму (В із ВР), коли послідовність та тривалість технологічного обслуговування робочих позицій з моменту закінчення об'єктів O_o^{dg} на вході ГВК до отримання на виході, тобто на останній робочій позиції ГВК WP_T останнього виробу O_T^{dg} із партії запуску, параметри В із ВР формуються шляхом послідовного виключення із маршруту технологічної дії M^{dg} тих РП, на яких вже не виконується технологічна дія на O_i^{dg} .

Вказані режими функціонування ПР (В на ВР, ВР, В із ВР) виконуються (реалізуються) за рахунок:

– упорядкованої послідовності відпрацювань переміщень певної i_q^{dg} -ої УК, тоді $Tr^{dg} = \left\langle q_{iq}^{dg} \mid i_q^{dg} = \overline{1, n_q^{dg}} \right\rangle$, де n_q^{dg} – кількість активних УК за M^{dg} із числа активованих n , $n_q^{dg} \leq n$ [12], що є характерним і типовим для ПР з цикловою та позиційною (позначення у ПР виробництва країн СНД – Ц та П, Ф2) системами управління (СУ);

– одночасного узгодженого відпрацювання переміщення декількох УК із числа $n_q^{dg} \leq n$ з відпрацюванням складних, іноді “згладжених”, в тому числі з обходом перепон, траєкторій Tr^{dg} та $TrSp^{dg}$, що є характерним для ПР з контурною (К, Ф3) СУ.

Тому в загальному випадку Tr^{dg} ($TrSp^{dg}$) переміщення Сх (ТРК) з/без O_{t-1}^{dg} / O_t^{dg} є упорядкованою множиною ЕРП, кожне з яких реалізується або при одночасно активній одній q_{iq}^{dg} -ій УК, або при одночасно та узгоджено активних двох і більше УК: $(q_{iq}^{dg} \mid i_q^{dg} = (n_q^{dg} \leq n); |n_q^{dg}| \geq 2)$.

Окремої інтерпретації, пояснень та коментарів вимагає одна із основних технологічних особливостей використання ПР в механоскладанні, а саме – множина траєкторій переміщення ланок МСПР та Сх. Останній є особливо важливим, так як є елементом ПР, що безпосередньо технологічно взаємодіє з ОМ при переміщеннях технологічного змісту [4, 8, 10]. При цьому можливі траєкторії переміщення Сх (Tr^{dg}) та / або ТРК, що містить Сх, що розглядається як траєкторний простір $TrSp^{dg}$ при реалізації M^{dg} виготовлення d -го ОМ із g -ої групи виробів.

На підставі викладеного вище пропонується розглядати Tr^{dg} та / або $TrSp^{dg}$ наступних видів:

– за аналітично визначеними координатами множини опорних точок (A_t) , (C_t) , (D_t) , $t = \overline{1, T^{dg}}$;

– за повністю згладженими траєкторіями між кінцевими опорними точками (C_i) та $(C_j) \forall (i \neq j) = \overline{1, T^{dg}}$.

Тут (C_t) - множина точок положення полюса СхПР при завантаженні / розвантаженні кожної t -ої WP_t ;

(D_t) –множина проміжних точок позиціонування полюса СхПР;

(A_t) – множина точок положення полюса СхПР при міжагрегатному транспортуванні ОМ.

Вказані види переміщень (міжагрегатні, технологічного обслуговування, технологічної взаємодії) полюса P_{Gr} з/без ОМ в Сх за технологічним маршрутом M^{dg} відповідає траєкторії $Tr^{dg}(\tau)$, що реалізується за упорядкованими множинами опорних точок (A_i) , (D_i) та (C_i) , тобто:

$$Tr^{dg} = \left\langle C_{t-1} - D_{t-1} - A_{t-1} - A_t - D_t - C_t \mid t = \overline{1, T^{dg}} \right\rangle, \quad (3)$$

або з врахуванням геометричних форм та розмірів ланок МСПР, Сх та M^{dg} , тобто з врахуванням 3D-параметрів складових технологічного роботизованного комплексу (ТРК) [7, 12], маємо:

$$Trsp^{dg} = tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \left\langle \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \Big|_{C_i \dots C_j} \left((i \neq j) = \overline{1, T^{dg}} \right) \right\rangle. \quad (4)$$

При реалізації вказаних видів переміщень відповідні траєкторії можуть бути повністю “згладженими”, тобто виконуватись тільки за відомими координатами точок $(C_i | t = \overline{1, T^{dg}})$. В цьому випадку переміщення СхПР може бути представлене відповідною траєкторією наступним чином:

$$Tr^{dg} = \left\langle C_1 \dots \sim C_t \dots \sim C_{T^{dg}} \Big| t = \overline{1, T^{dg}} \right\rangle = \left\langle C_i - C_j \Big| (i \neq j) = \overline{1, T^{dg}} \right\rangle. \quad (5)$$

Вираз (5) з врахуванням 3D-параметрів всіх елементів ТРК можна подати (як і вираз (3)) як траєкторний простір, який формується як слід $tr \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right)$ певного складу ТРК, що переміщається за законом $u(\tau)$:

$$Trsp^{dg} = tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \left\langle \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \Big|_{C_i \dots C_j} \left((i \neq j) = \overline{1, T^{dg}} \right) \right\rangle. \quad (6)$$

Можливою є ситуація, коли чітко визначеними умовами синтезу РМСТ є координати опорних точок траєкторії (C_i) та $(D_i) \forall t = \overline{1, T^{dg}}$, що обумовлені конструктивними особливостями та геометричними параметрами елементів ТРК певного складу. В цьому випадку має місце “часткова згладжуваність” траєкторії, коли переміщення ТРК між точками C_i та D_i , а також між D_i та C_i виконується за попередньо розрахованими певним чином координатами точок C_i та D_i , а переміщення як такі, наприклад, між точками D_i та D_j , виконується за згладженими траєкторіями. Тому з врахуванням виразів (3) та (5) траєкторія полюса Сх Tr^{dg} може бути подана наступним чином:

$$Tr^{dg} = \left\langle C_t - D_t \sim (A_t \sim A_{t+1}) \sim D_{t+1} - D_{t+1} \Big| t = \overline{1, T^{dg}} \right\rangle = \left\langle C_i - D_i \dots \sim D_j - C_j \Big| (i \neq j) = \overline{1, T^{dg}} \right\rangle \quad (7)$$

В термінах ТРК по аналогії з виразом (4) та (6) маємо:

$$Trsp^{dg} = tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) = \left\langle \bigcup_{p \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \in T^{dg}} tr_{u(\tau)}^{dg} \left({}_{l_v}^{k_n} S_{cm}^{dg} \right) \Big|_{C_i - C_j \dots D_j - C_j} \left((i \neq j) = \overline{1, T^{dg}} \right) \right\rangle. \quad (8)$$

У виразах (3)–(8) символи “–” та “~” вказують на переміщення Сх відповідно між певними опорними точками та згладжені траєкторії.

Висновки. Таким чином, розроблені формалізми (3)–(8) є основою аналізу відношень між складовими РМСТ та ГВК. Альтернативна можливість відпрацювань траєкторій переміщень Сх ПР (Tr) та ТРК ($TrSp$) (за опорними точками, за повністю або частково згладженими траєкторіями, або за будь-якою їх комбінацією) визначає

необхідність розробки методики вибору оптимальної траєкторії Tr та / або траєкторного простору $TrSp$, що особливо важливо для ПР з кінематичною надлишковістю структур їх маніпуляційних систем. Вказане виконано та алгоритмічно реалізовано в розробленій в Житомирському державному технологічному університеті системі АС РМСТ.

Список літератури

1. Визначення метричної відстані між одиницями технологічного обладнання механообробних гнучких виробничих комірок при плануванні програмних траєкторій промислових роботів [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст]. / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 400 с.
4. Камильянов А.Р. Планирование траекторий движения многозвенного 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 [Текст] / 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. Автоматизований синтез компоновальних структур механообробних гнучких виробничих комірок [Текст] / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко, Б.Б.Самотокін// Науковий журнал “Технологічні комплекси”. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – №1,2(5,6). – С. 36–49.
7. Кирилович В.А. Аксиоматичний підхід до сутності роботизованих механоскладальних технологій та їх синтезу[Текст] / Кирилович В.А // Сучасні технології в машинобудуванні. – НТУ “ХП”. – 2013. – Вип. 8. – С. 263 – 271.
8. Кирилович В.А. Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій [Текст] / 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.
9. Кирилович В.А. Принципи автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок [Текст] / В.А. Кирилович // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2011. – №3(58). – С. 33 – 47.
10. 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.
11. Кирилович В.А. Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих технологій в гнучких виробничих комірках // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. –Житомир, 2010. – №2(53). – Т. 1. – С. 35 – 43.
12. Кирилович В.А. Узагальнена функціональна модель промислових роботів [Текст] / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Вісник національного університету “Львівська політехніка” “Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні”. – Львів. – 2012. – Вип. №746. – С. 66–70.
13. Кирилович В.А. Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках [Текст] / В.А. Кирилович // Технологічні комплекси – Луцьк. – 2010. – № 1. – С. 136 – 145.
14. Кобринский А.А. Манипуляционные системы роботов. Основы устройства. Элементы теории[Текст] / Кобринский А.А., Кобринский А.Е. – М.: Наука, 1985. – 344с.
15. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники [Текст] / 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. (В 2-х Кн.).
16. Лицинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем [Текст] / Лицинский Л.Ю. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
17. Манипуляционные системы роботов [Текст] / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др. ; Подобщ. ред. А.И. Корендясева. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.

18. Пуховский Е.С. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства [Текст] / Пуховский Е.С., Кукарин А.Б. – К.: Тэхника, 1997. – 221 с.
19. Своятыцкий Д.А. Моделирование процессов сборки в робототехнических комплексах [Текст] / Своятыцкий Д. А. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 93 с
20. Яглінський В.П. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва [Текст] / В. П. Яглінський, Д.В. Іоргачов. – Одеса: Астропринт, 2004. – 234 с.
21. 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.
22. Aristidou A. FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem / Andreas Aristidou, Joan Lasenby // Graphical Models 73(5) – 2011. – P. 243–260.
23. Automated research of trajectory problems in Industrial Robotics by the criterion of power consumption / [Valerii Kyrylovych, Petro Melnychuk, Lubomir Dimitrov, Roman Morgunov, Aleksandr Pidtychenko] // Recent. Industrial Engineering Journal. □ Transilvania University of Brasov, Romania. – Vol. 15 (2014). – №3 (43). – November, 2014. – P. 184–190
24. CaihuaXiong. Fundamentals of Robotic Grasping and Fixturing / CaihuaXiong, Ham Ding, YoulungXiong. – Word Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd., 2007. – 218 p.
25. 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.
26. Fahimi F. Autonomous Robots: Modeling, Path Planning, and Control / Fahimi F. – New York: Springer, 2009. – 348 p/
27. Gibilisco S. Concise Encyclopedia of Robotics / Stan Gibilisco – McGraw-Hill, 2003. – 383 p.
28. Kelly R. Control of Robot Manipulators in Joint Space / R. Kelly, V. Santibáñez, A. Loría. – Berlin : Springer-Verlag, 2005. – 429 p.
29. Kluz R. Algorytm wyznaczenia optymalnego miejsca w przestuzem roboczeizro botyzovanego / R. Kluz // Technologia I automatyzacja montazu. – 2008. – N2. – S.15–18.
30. Lenarcic J. Advances in Robot Kinematics: Analysis and Design. / J. Lenarcic, Wenger P. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 466 p.
31. McCarthy J. M. An Introduction to Theoretical Kinematics / J. M. McCarthy. - Cambridge, MA : MIT Press, 1990. – 145 p.
32. Siciliano B. Handbook of robotics. / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.
33. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London: Springer, 2009. – 632 p.

Valerii Kyrylovych, DSc., As. Prof.

Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine

Features of realization of industrial robots of mechanical assembly technologies in flexible manufacturing cells

Aim of the paper is to highlight the substantive features of robotized mechanical assembly technologies that are invariant relatively manufacturing types and industry kinds, for further automated implementation.

The main feature of robotized mechanical assembly technology is technologically ordered set of industry robot gripper movements. It is implemented on certain paths to certain parameters, such as the values of movements, velocities and accelerations of the each links of industrial robot's manipulation system. The said is the basis for the formation of trajectories that may be implemented by known reference points, by completely or partially smoothed trajectories.

Mentioned above is formalized and it as the staging plan which was the basis for the further development and implementation of automated methods of choosing of the optimal robotized mechanical assembly technology.

industrial robot, gripper, mechanical assembly technology, manifestations RMAT, trajectory, trajectory space

Одержано 06.11.15