

## **ЗВ'ЯЗОК МІЖ СКЛАДОВИМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СХВАТІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ З ОБ'ЄКТАМИ МАНІПУЛЮВАННЯ**

***В. А. Кирилович, доктор технічних наук  
Житомирський державний технологічний університет,  
e-mail: kiril\_va@yahoo.com***

*Анотація. Розглянуто структуру та зміст технологічної взаємодії (ТВ) схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання як одну із складових системного підходу до автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій. Розкрито сутність векторно-проекційних, геометрично-силових та траєкторно-динамічних задач технологічної взаємодії. Графічно проілюстровано складні причинно-наслідкові відношення між складовими ТВ. Зміст складових ТВ та послідовність їх автоматизованого розрахунку представлені розробленими формалізмами, що і є зв'язком між складовими ТВ схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання.*

***Ключові слова: схват промислового робота, технологічна взаємодія, роботизована механоскладальна технологія, об'єкт маніпулювання***

За даними всесвітньої федерації робототехніки [28] кількість виготовлення та інсталяцій промислових роботів (ПР) в різних галузях сучасного виробництва невпинно зростає. Темпи вказаного значно перевищують відповідні показники докризових 2007-2008 рр. З огляду на очевидний факт того, що ПР є універсальними засобами автоматизації технологічних процесів в різних галузях виробництв, перш за все в серійному типі виробництва машино- та приладобудування, який є превалюючим в структурі сучасного виробництва, дослідження, пов'язані з роботизацією, є актуальними та такими, що можуть розглядатись як науково-практична основа майбутнього економічного зростання України.

Запропоноване поняття технологічної взаємодії (ТВ) схватів (Сх) ПР з об'єктами маніпулювання (ОМ) [18] комплексно включає в себе певні складові, які взаємопов'язані складними причинно-наслідковими відношеннями за змістом та нестрогого порядку за послідовністю реалізації [19], що передбачає розроблення та використання відповідних ітераційних-логічних процедур. Вони (складові ТВ) є складовими роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) і тому підлягають дослідженню і реалізації при автоматизованому синтезі (АС) РМСТ [11].

ТВ в контексті АС РМСТ розглядається як взаємодія СхПР з ОМ будь-якого фізичного походження (наприклад, механічний контакт) та виду (наприклад, підтримуючі, утримуючі Сх), а також процес реалізації цього контакту з врахуванням технологічно обумовлених переміщень технологічного роботизованого комплексу (ТРК) [14] певного складу та технологічного призначення (змісту).

У загальному випадку автоматизований синтез (АС) РМСТ – складний процес, в якому аналізуються і обробляються дані інформаційного, енергетичного та матеріального змісту щодо технічних та технологічних складових гнучких виробничих комірок ГВК, що отримані на попередньому етапі проектування механоскладальних ГВК [12]. При синтезі РМСТ розглядаються задачі знаходження кращих траєкторій переміщення СхПР, вибір поверхонь затиску ОМ тощо. При цьому перш за все розглядається технологічна взаємодія СхПР з ОМ із врахуванням умови  $P_{Gr}G_{O_t} \rightarrow \min$ , що в ідеалі повинно бути  $P_{Gr}G_{O_t} = 0$ , де  $P_{Gr}$  – полюс схвату ПР, а в контексті даної проблеми – його координати в системі координат (СК) ОМ  $O_t^{d_g}$ ;  $G_{O_t}$  – вага  $O_t^{d_g}$ , а в контексті даної проблеми – координати центра ваги  $O_t^{d_g}$  в СК  $O_t^{d_g}$  з методичним формуванням траєкторії переміщення ТРК та визначення його параметрів [4].

Таким чином, ТВ СхПР з ОМ є поняттям комплексним, інтегрованим і за принципом декомпозиції [9] та за змістом структурно складається з таких складових [18, 19]:

1. векторно-проекційні (технологічні параметри сервісу ТПС: лінійні ЛПС та кутові КПС);
2. геометрично-силові (відстань між точками  $P_{Gr}$  та  $G_{O_t}$ );
3. траєкторно-динамічні (траєкторії переміщення СхПР в зону / від зони обслуговування ПР кожної робочої позиції (РП) ГВК та траєкторії міжагрегатних переміщень ТРК між РП ГВК відповідно до маршруту технологічної дії на ОМ).

**Мета досліджень** – на основі змісту, складу та сутності технологічної взаємодії Сх ПР з ОМ формалізовано представити їх системний взаємозв'язок як складових системного підходу щодо автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій в гнучких виробничих комірках.

**Матеріали та методика досліджень.** Змістом векторно-проекційної складової ТВ є визначення поверхонь затиску (ПЗт) та координат точки затиску (КТЗ) ОМ в СхПР, а також визначення або вибір орієнтації Сх, напрямку підходу / відходу його при обслуговуванні кожної РП  $WP_t$ , тобто вибору технологічних параметрів сервісу (ТПС) даної  $WP_t$  (ТПС<sub>t</sub>).

Поняття ТПС<sub>t</sub>, де  $t=1, T^{d_g}, T^{d_g}$  – кількість робочих позицій ГВК при виготовленні  $d$ -го ОМ із їх  $g$ -ої групи, включає [19]:

- технологічний кут сервісу (ТКС<sub>t</sub>) підходу / відходу (ТКСП<sub>t</sub>/ ТКСВ<sub>t</sub>);
- лінійні параметри сервісу ОМ в СхПР;

– технологічні вектори підходу / відходу (ТВП<sub>t</sub>/ТВВ<sub>t</sub>) СхПР до / від пристосування  $Dv_t^{d_g}$  аналізованої РП.

Геометрично-силову складову ТВ формують: маса, форма, розміри поверхонь затиску  $O_t^{d_g}$ ; форма, розміри затискних елементів СхПР; сила затиску затискних елементів СхПР; координати положення центру мас  $O_t^{d_g}$  в СК ПР; координати положення полюса Сх в СК  $O_t^{d_g}$ ; орієнтація Сх щодо ОМ [2, 3, 4, 8].

Геометрично-силова складова ТВ найбільше описана в інформаційних джерелах [16, 20, 21, 24, 25], де значною мірою відображена у вигляді рекомендацій та частково аналітично. Системний підхід до АС РМСТ вказує на необхідність визначення її взаємозв'язку з векторно-проекційними та траєкторно-динамічними складовими ТВ на формальному та практичному рівнях.

Траєкторно-динамічна складова ТВ є комплексним поняттям, що за своїм змістом та в системному взаємозв'язку з іншими складовими ТВ дозволяє застосувати процедури логічного аналізу та формального синтезу для розв'язування практичних завдань АС РМСТ.

Траєкторно-динамічна складова ТВ включає в себе такі показники як: траєкторії міжагрегатних переміщень СхПР; моменти та сили, які діють на ланки в зчленуваннях МСПР, що виникають під час відпрацювання траєкторій; масо-інерційні характеристики кожної із ланок маніпуляційної системи (МС) ПР та їх енергоємність.

Необхідно зазначити, що в доступних інформаційних джерелах вказане системне представлення ТВ, як і саме поняття ТВ, а відтак і відповідні системні дослідження відсутні [1, 5, 7, 17, 23 – 27, 29, 30].

**Результати досліджень.** Зміст обчислювальних процедур визначення складових ТВ узагальнено і представлено системною семантичною моделлю ТВ у вигляді зваженого графа [18], ваги ребер якого послужили основою для формування обчислювальних процедур та функцій автоматизованого синтезу (ФАС) різних рівнів (функціонального  $f$ -рівня [14], параметричного  $p$ -рівня [13] та критеріального  $c$ -рівня [10]) та їх автоматизованої реалізації згідно трирівневої стратегії АС РМСТ [15].

Очевидно, що всі складові ТВ знаходяться в складних причино-наслідкових відношеннях, основну частину яких на рис. 1 проілюстровано графічно.

Тут розглядаються технологічні переходи розвантаження (лівий верхній індекс  $ul$ ) кожної  $t$ -ої РП  $WP_{t-1}$  із технологічними параметрами сервісу: лінійними  $\left( {}^{ul}L_{t-1}^{d_g} \right)$ , кутовими  $\left( {}^{ul}\alpha_{t-1}^{d_g} \right)$  та завантаження (лівий верхній індекс  $l$ )  $WP_t$  із відповідними множинами ЛПС  $\left( {}^lL_t^{d_g} \right)$ , КПС  $\left( {}^l\alpha_t^{d_g} \right)$ . При цьому будується траєкторний простір між множинами точок  $\left( C_{t-1} | C_{t-1} = \overline{1, n_{C_{t-1}}} \right) \subseteq \left( {}^{ul}L_{t-1}^{d_g} \right)$  та

$(C_{t_i} | i_{c_i} = \overline{1, n_{c_i}}) \subseteq ({}^l L_t^{d_z})$ , тобто для двох технологічно суміжних РП ГВК за попередньо розробленою методичною послідовністю [6], алгоритм якої подано рис. 2.

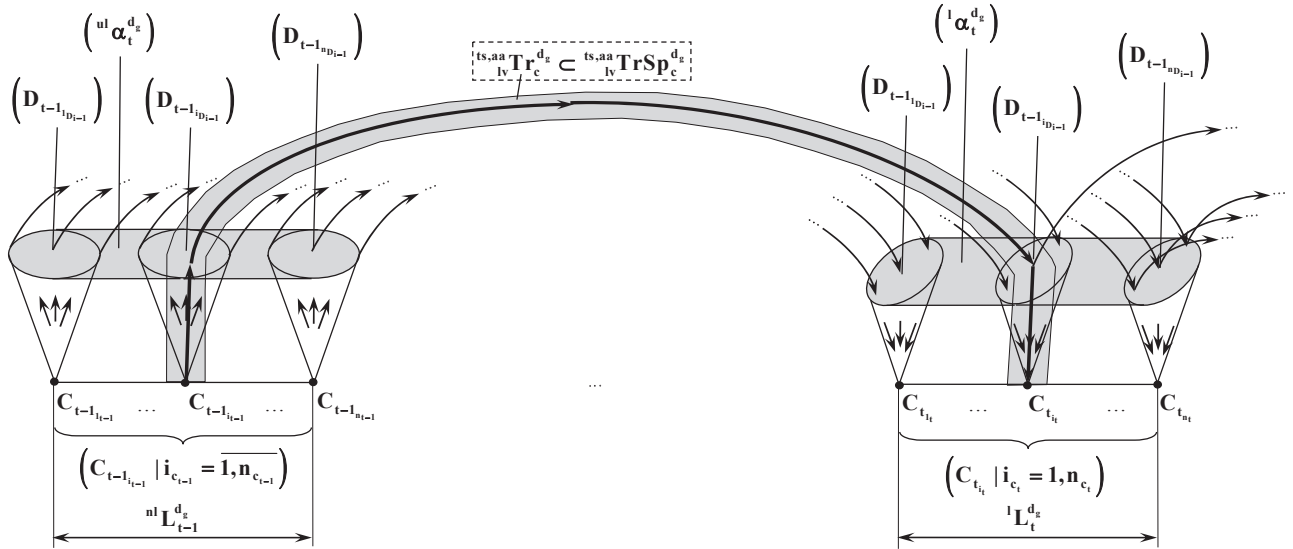


Рис.1. Графічна інтерпретація зав'язків між складовими ТВ при реалізації повністю згладженої траєкторії

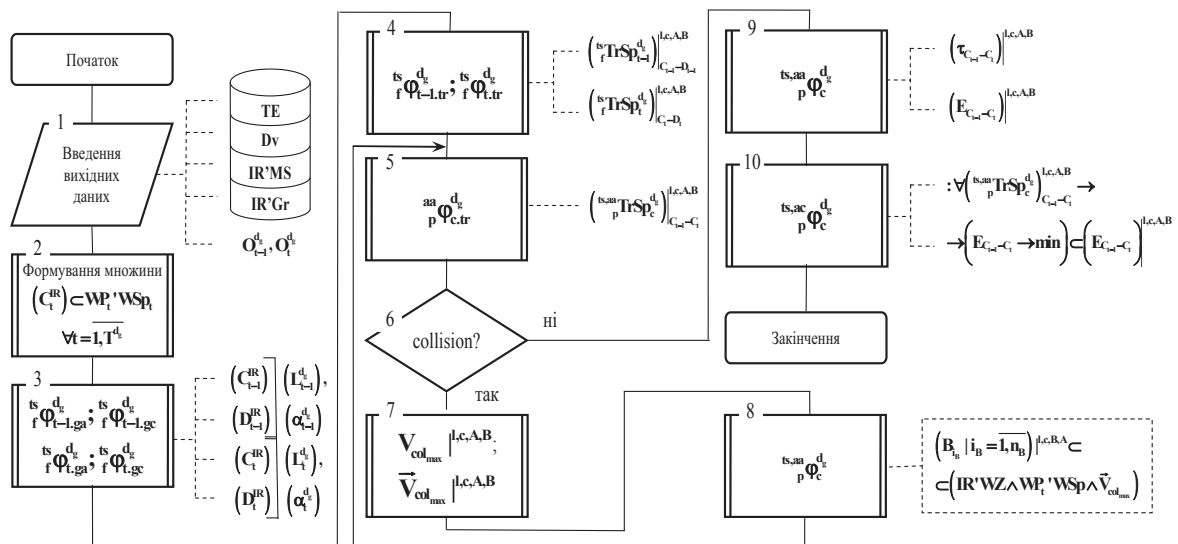


Рис. 2. Методична послідовність формування безколізійного траєкторного простору

Цей евристичний алгоритм дає можливість виконувати побудову безколізійного траєкторного простору, який є ефективним для кінематично-надлишкових структур маніпуляційних систем (МС) ПР при формуванні безаварійних траєкторних переміщень ТРК, тобто траєкторних просторів, що відображаються кінцевою множиною сплайнів  $spl = (l, c, A)$ , тобто лінійного ( $l$ ), кубічного ( $c$ ) та сплайну Акіми ( $A$ ), та обирати необхідну траєкторію за

критеріями швидкодії  $T_{ta}$ /або енергоємності  $E$ , що можуть бути прийняті як локальні або глобальні критерії оптимізації прийняття СТР при АС РМСТ.

Даний алгоритм визначення безколізійних траєкторій на кожній ітерації пошуку координат безколізійних точок полюса Сх з врахуванням геометрично-конструктивних параметрів ТРК нагадує метод покоординатного спуску на всій множині метричних відстаней [1, 7] без їх повного перебору.

Аналіз змісту вказаного визначає побудову відповідного траєкторного простору  ${}^{ts,aa}TrSp_c^{d_g} \supset {}^{ts,aa}Tr_c^{d_g}$ , який описує ТРК, що в свою чергу містить полюс Сх ПР.

При цьому зв'язки між складовими ТВ Сх ПР з ОМ описуються в термінах функцій автоматизованого синтезу (ФАС) [11, 14] поданими нижче наступними основними формалізмами:

– формування множини точок  $C_t^{IR}$ , що забезпечують розв'язування зворотної задачі кінематики (ЗЗК), тобто:

$${}^f\varphi_t^{d_g} |_{C_t} (((C_{t_j} | t_j = \overline{1, n_j}) \subset (IR'WZ \wedge WP_t)) \times (q_{i_c} | i_c = \overline{1, n_j})) \rightarrow ((C_t) \subset (P_{Gr} \subset (IR'WZ) \wedge WP_t));$$

(1)

де тут та далі:  $(C_t) = \overline{\mathbf{1}, T^{d_g}}$  -множина точок положення полюса СхПР в СК ПР при завантаженні / розвантаженні кожної  $t$ -ої  $WP_t$ ;  $(D_t) = \overline{\mathbf{1}, T^{d_g}}$  – множина проміжних точок позиціонування полюса СхПР;  $(A_t) = \overline{\mathbf{1}, T^{d_g}}$  – множина точок положення полюса СхПР при міжагрегатному транспортуванні ОМ;  $IR'WZ$  – робоча зона ПР;  $- \rightarrow$  знак логічного слідування;  $\subset$  – символ включення множин;  $\wedge$  – символ логічної операції “ТА”;  $q_{i_c} - i_c$ -та узагальнена координата (УК) із їх загальної кількості  $n_i$ .

При цьому для розв'язування ЗЗК, що є особливо важливим для ПР з кінематичною надлишковістю структури їх МС, модифіковано запропонований А. Aristidou та J. Lasenby алгоритм FABRIK [22] щодо розширення забезпечення його працездатності для потреб промислової робототехніки, а саме в частині врахування як кутових, так і лінійних УК);

– генерація траєкторних просторів за відомими  ${}^{ul}L_{t-1}^{d_g}$ ,  ${}^{ul}\alpha_{t-1}^{d_g}$ ,  ${}^{ul}L_t^{d_g}$ ,  ${}^{ul}\alpha_t^{d_g} ((C_{t-1}); (D_{t-1}); (C_t); (D_t))$  на множині сплайнів  $spl = (l, c, A)$ :

$$\left( {}^{L-a}p\varphi_c^{d_g} |_{TrSp}^{l,c,A} (({}^{l,ul}L_t), ({}^{l,ul}a_t^{d_g})) \rightarrow {}^{ts,aa}pTrSp_c^{d_g} |_{l,c,A} \right) \supset \left( {}^{ts,aa}pTrSp_c^{d_g} \right) \supset \left( C_{t-1} \sim D_{t-1} \sim D_{t_{i_{C-1}}} \sim C_{t_{i_{C-1}}} \right)$$

(2)

– перевірка траєкторного простору при технологічному обслуговуванні кожної  $t$ -ої РП та міжагрегатному переміщенні (верхні індекси відповідно  $ts$  та  $aa$ )

${}^{ts,aa}pTrSp_c^{d_g} |_{l,c,A}$  на колізію ( $col$ ):

$${}^{ts,aa}p\varphi_c^{d_g} |_{col}^{l,c,A} \cdot (p({}^{ts,aa}S_c^{d_g})) \subseteq ({}^{ts,aa}pTrSp_c^{d_g}) \cap ((p(WP_t) | t = \overline{1, T^{d_g}}) \wedge (p(Dv_t^{d_g}))) \Rightarrow \{0, -0\};$$

(3)

де тут та далі:  $p$  (лівий нижній індекс при ТРК) – параметричний рівень реалізації стратегії АС РМСТ [10, 13];  $p$  (від англ. *point*) – символ належності всіх матеріальних точок до відповідної множини: ТРК, РП та пристосувань РП;

$c$ - правий нижній індекс вказує на належність вказаних позначень відповідно ТРК та траєкторного простору до ГВК (англ. FMC);

– визначення координат корегувальних точок  $B_{i_B}$  загальною кількістю  $n_B$  (за потреби, тобто при наявності колізій) при відпрацюванні траєкторного простору  $TrSp$  на множині сплайнів  $spl = (l, c, A)$ :

$${}^{ts,aa}_p \varphi_c^{d_g} \Big|_{B_{i_B}}^{l,c,A} : ((\forall {}^{ts,aa}_p \varphi_c^{d_g} \Big|_{col}^{l,c,A}) = -0) \rightarrow (B_{i_B} \in (IR \setminus WZ \wedge {}^{ts,aa}_p Tr_c^{d_g}) \Big|_{i_B} = \overline{1, n_B}); \quad (4)$$

– визначення тривалості  $\tau_i$  та енергоємності  $E_i$  згенерованих та відкорегованих  $TrSp$  на множині  $spl = (l, c, A)$ :

$${}^{ts,aa}_p \varphi_c^{d_g} \Big|_{\tau}^{l,c,A} : \left( {}^{ts,aa}_p TrSp_{c,i}^{d_g} \Big|_{E}^{l,c,A} \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right) \supset \quad (5)$$

$$\supset (B_{i_B} \in (IR \setminus WZ \wedge {}^{ts,aa}_p Tr_c^{d_g}) \Big|_{i_B} = \overline{1, n_B}) \rightarrow \left( \tau_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right);$$

$${}^{ts,aa}_p \varphi_c^{d_g} \Big|_E^{l,c,A} : \left( {}^{ts,aa}_p TrSp_{c,i}^{d_g} \Big|_{E}^{l,c,A} \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right) \supset \quad (6)$$

$$\supset (B_{i_B} \in (IR \setminus WZ \wedge {}^{ts,aa}_p Tr_c^{d_g}) \Big|_{i_B} = \overline{1, n_B}) \rightarrow \left( E_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right);$$

– вибір одного траєкторного простору (в цьому випадку оптимального) із множини згенерованих  $(TrSp|^{l,c,A})$  за критерієм швидкодії та / або енергоємності:

$${}^{ts,aa}_p \varphi_c \Big|_{\tau}^{l,c,A} : \left( \tau_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right) \rightarrow \left\langle \tau_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right\rangle \supset \tau_i \min \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}}; \quad (7)$$

$${}^{ts,aa}_p \varphi_c \Big|_E^{l,c,A} : \left( E_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right) \rightarrow \left\langle E_i \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} \right\rangle \supset E_i \min \Big|_{i_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}} = \overline{1, n_{ts,aa}_p TrSp_c^{d_g}}. \quad (8)$$

**Висновки.** Системний взаємозв'язок між складовими технологічної взаємодії Сх ПР з ОМ, що є складовою РМСТ, представлений графічно рис. 1 та формалізовано виразами (1) – (8). Він є необхідним інформаційно-методичним базисом для розробки методичного забезпечення визначення параметрів вказаної технологічної взаємодії та її подальшої алгоритмічно-програмної реалізації.

Зазначене визначає напрями подальших досліджень, що направлені на автоматизоване визначення складових ТВ та їх взаємну інтеграцію в межах попередньо запропонованої багатоетапної стратегії вирішувальності АС РМСТ в ГВК [15].

### Список літератури

1. Богдановський М.В. Дискретизація конфігураційного простору маніпуляційних систем промислових роботів при плануванні програмних траєкторій / М.В. Богдановський, В.А. Кирилович, Б.Б. Самотокін // Науковий збірник “Технологічні комплекси”. – Луцьк. – 2012. – № 1, 2 (5, 6). – С. 68–73.
2. Кирилович В.А. Автоматизоване визначення технологічних параметрів сервісу для тіл обертання / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції “Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2013”. 28-30 травня 2013 р.: В 2 т. / Т.1. – Херсон. – С. 129-130.
3. Кирилович В.А. Алгоритмическое обеспечение автоматизированного расчета технологических параметров сервиса / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Information and communication Technologies in Education, Manufacturing and Research. Сборник трудов международной научной конференции “Информационно-коммуникационные технологии в производстве, науке и образовании ICIT-2014”, 27 - 29 января 2014 г. – Саратов, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. – 2014. – С. 13 – 14.
4. Кирилович В.А. Вплив координат точки затиску об’єкту маніпулювання в схваті промислового робота на енергетичні складові роботизованих траєкторій / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Тези VII Міжнародної науково– технічної конференції “Інформаційно–комп’ютерні технології 2014”. – Житомир, 29-30 травня 2014. – С. 85– 86.
5. 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.
6. Кирилович В.А. Иллюстрация метода определения корректирующих точек для формирования бесколлизонных траекторий промышленных роботов / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах / Сборник научных статей по материалам XI Международной научно-практической конференции 09-10 апреля 2015 г. – г. Саратов, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. – С. 222–226.
7. Кирилович В.А. Корегування програмних траєкторій руху робочих органів промислових роботів при обході перепон / В.А. Кирилович, М.В. Богдановський // Східно–Європейський журнал передових технологій. Науковий журнал.– 2011. – №5 (7) (53). – С.53–59.
8. Кирилович В.А. Методично-програмне забезпечення визначення технологічних параметрів сервісу для тіл обертання / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: Науковий журнал. – Херсон : видавництво ХДМА. – 2013. – №1(12) – С. 225–232.
9. 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.

10. Кирилович В.А. Система техніко-економічних критеріїв як основа умов критеріальної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Науковий журнал “Енергетика і автоматика” / Технічні науки. – К.: НУБіП України. – 2015. – №3(25). – С. 5–18.
11. 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.
12. 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.
13. Кирилович В.А. Умови параметричної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Науковий журнал “Енергетика і автоматика” / Технічні науки. – К.: НУБіП України. – 2015. – №3(25). – С. 121–130.
14. Кирилович В.А. Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / В.А. Кирилович // Технологічні комплекси – Луцьк. – 2010. – № 1. – С. 136–145.
15. Кирилович В. Формальна стратегія автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій // Технічні вісті. Науковий часопис. – Львів – 2015 / 1(41), 2(42) – С. 98–100.
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 (В. 2-х кн.).
17. Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Лищинский Л.Ю. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
18. Мельничук П.П. Семантична модель технологічної взаємодії сватів промислових роботів з об’єктами маніпулювання / П.П. Мельничук, В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – Житомир. – 2011. – №1 (56). – С. 24–31.
19. Мельничук П.П. Задачі технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об’єктами маніпулювання в механоскладальних гнучких виробничих комірках / П.П. Мельничук, В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов // Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”. – Житомир, 2011. – Вип. № 10. – С. 24–41.
20. Пуховский Е.С. Проектирование станочных систем многономенклатурного производства / Пуховский Е.С., Кукарин А.Б. – К.: Техника, 1997. – 221 с.
21. Своятыцкий Д.А. Моделирование процессов сборки в робототехнических комплексах / Своятыцкий Д. А. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 93 с.
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. Caihua Xiong. Fundamentals of Robotic Grasping and Fixturing / Caihua Xiong, Ham Ding, Youlung Xiong. – 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. International Federation of Robotics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ifr.org>.
29. Siciliano B. Handbook of robotics. / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.
30. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London: Springer, 2009. – 632 p.

## **СВЯЗЬ МЕЖДУ СОСТАВЛЯЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СХВАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С ОБЪЕКТАМИ МАНИПУЛИРОВАНИЯ**

***В.А. Кирилович***

*Аннотация. Рассмотрена структура и содержание технологического взаимодействия (ТВ) схватов промышленных роботов с объектами манипулирования как одну из составляющих системного подхода к автоматизированному синтезу роботизированных механосборочных технологий. Раскрыта сущность векторно-проекционных, геометрически-силовых и траекторно-динамических задач ТВ. Графически проиллюстрированы сложные причинно-следственные отношения между составляющими ТВ. Содержание составляющих ТВ и последовательность их автоматизированного расчета представлены в виде разработанных формализмов, что и есть связью между составляющими ТВ схватов промышленных роботов с объектами манипулирования.*

*Ключевые слова: схват промышленного робота, технологическое взаимодействие, роботизованная механосборочная технология, объект манипулирования*

## **INTERCONNECTIONSBETWEEN OF COMPONENTS OFTECHNOLOGICAL INTERACTION OFINDUSTRIAL ROBOTS' GRIPPERSWITH AN OBJECTSOFMANIPYLATION**

***V. Kyrylovych***

*Abstract. The structure and content of technological interaction (TI) of industrial robots' grippers and objects of manipulation as one of the components of a system a tic*

*approach to automated synthesis of robotic mechanical assembly technologies are reviewed. The essence of vector-projective, geometrically-power and trajectory-dynamic tasks of TI are described. There are graphically illustrated the complex of causal relationship between the components of TI. The content and sequence of automated calculation of formalize are presented constituents of TI are represented. The content and the sequence of automated calculation of TI are presented in the form of developed formalisms that there are the interconnections between of components of TI of industrial robots' grippers with an objects of manipulation.*

**Key words:** *industrial robot's gripper, technological interaction, robotic mechanical assembly technology, object of manipulation*

УДК 621.3: 636.5

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ ОЗОНИРОВАНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ СЫПУЧИХ КОРМОВ**

***А. В. Дубровин, доктор технических наук  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства» г. Москва, Россия  
e-mail: dubrovin1953@mail.ru***

*Аннотация. Разработано устройство для озонирования движущихся сыпучих кормов. Производство осуществляется в автоматизированном режиме по технологическому или экономическому критерию.*

***Ключевые слова: озонирование, сыпучий корм, информационные технологии, автоматизация технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр***

Экономический критерий управления является общепризнанным. По своему существу он является всеобъемлющим показателем эффективности производства продукции. Его правильное применение требует достаточно точного учёта хотя бы основных общеизвестных его составляющих, наиболее сильно влияющих на результативность конкретного технологического процесса. Однако в практике управления, например, процессом озонного обеззараживания, он до сих пор необоснованно не применяется.

Известны способ и устройство экономичной транспортировки птичьих яиц магистральным транспортом птицефабрики. Устанавливается такое