

УДК 621.865.8

В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, Р.С. Моргунов

(ЖДТУ, м. Житомир, Україна)

Тел./Факс: +38 093 77 030 77; E-mail: kiril_va@yahoo.com

ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ СХВАТІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Представлено послідовність формування функціональних моделей схватів промислових роботів з використанням теорії кватерніонів в контексті пропонованих методологічних кроків.

Ключові слова: промисловий робот, схват, функціональна модель, теорія кватерніонів.

1. Вступ. Постановка проблеми. Однією з основних задач автоматизованого синтезу (АС) роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) є визначення параметрів технологічного взаємодії схватів (Сх) промислових роботів (ПР) з об'єктами маніпулювання (ОМ) при технологічному обслуговуванні робочих позицій (РП) гнучких виробничих комірок (ГВК). Технологічна взаємодія (ТВ) являє собою комплексне поняття, що включає скінчену множину параметрів таких складових, як векторно-проекційні, геометрично-силові та траєкторно-динамічні, що виникають між ОМ і СхПР в процесі технологічних операцій завантаження та/або розвантаження РП [1, 2]. При визначенні параметрів складових ТВ необхідно та обов'язковою є інформація про конструктивно-технологічні параметри Сх, оскільки потрібно визначати доступні поверхні затиску ОМ, моделювати можливі варіанти розташування Сх в системі координат (СК) ПР з різною орієнтацією для t -ої РП ($РП_t \mid t = \overline{1, T}$; T – загальна кількість РП), розраховувати силові показники, що виникають при взаємодії затискних елементів СхПР з поверхнями ОМ тощо. Для такого роду задач має використовуватись так звана функціональна модель (ФМ) Сх, що разом із ФМ маніпуляційної системи (МС) ПР [3] формують інтегровану ФМ ПР.

Стан проблеми. У різних інформаційних джерелах описані рекомендації щодо конструкцій і вибору Сх для технологічного обслуговування РП [4, 5, 6, 7, 8]. Також відомими є представлення конструктивних елементів Сх у вигляді окремих ланок та використання кутів Ейлера, матриць обертання для представлення обертальних можливостей окремих складових Сх, що в свою чергу для вирішення задач ТВ Сх з ОМ не є достатнім та прийнятним через значну кількість недоліків вище згаданих математичних апаратів, що не дозволяють повноцінно проводити моделювання при розв'язуванні задач ТВ.

Метою роботи є висвітлення запропонованої авторами покрокової методики формування ФМ СхПР, яка є складовою інформаційного базису для розв'язку ряду задач геометричного та динамічного змісту при визначенні складових ТВ Сх з ОМ при АС РМСТ.

2. Основна частина та результати роботи. ФМ Сх слід сприймати як поєднання інформації про місця кріплення Сх до МС ПР, полюс Сх (P_{cx}), окремі елементів Сх, їх розміри, та, якщо конструктивно реалізовано, лінійні та/або обертові переміщення цих елементів. Тобто ФМ Сх може бути представлена у вигляді

упорядкованої послідовності інформації щодо окремих його (Сх) складових – структурних конструктивних-функціональних елементів.

Доцільно наголосити, що у якості математичного апарату ФМ Сх для опису поступальних та обертальних переміщень окремих складових Сх є елементи теорії кватерніонів [9], доцільність використання яких обґрунтована в [3, 10]

Запропонована методика формування ФМ Сх складається з такої послідовності п'яти кроків (К):

К1. Аналіз конструкції Сх. На даному кроці проводиться детальний розгляд всіх елементів Сх, що можуть бути представлені як окремі компоненти, визначається їх кількість, геометричні розміри, орієнтація (якщо це є необхідним, для більш детальної схожості Сх з конструктивним оригіналом), рухомість, визначаються координати P_{cx} та координати кріплення Сх до кінцевої ланки МС ПР, що в свою чергу є початком СК Сх (CFP, від англ. *Coordinates of Fixing Point* – координати точки кріплення). Структура CFP має наступний вигляд:

$$CFP = \left[(x_{CFP}; y_{CFP}; z_{CFP}), Q_{CFP}(s_{Q_{CFP}}; x_{Q_{CFP}}; y_{Q_{CFP}}; z_{Q_{CFP}}) \right], \quad (1)$$

де CFP – ідентифікатор координат точки кріплення СхПР до МСПР; $(x_{CFP}; y_{CFP}; z_{CFP})$ – координати точки кріплення СхПР до МСПР в СК ПР; $Q_{CFP}(s_{Q_{CFP}}; x_{Q_{CFP}}; y_{Q_{CFP}}; z_{Q_{CFP}})$ – кватерніон орієнтації СК СхПР, що впливає на зміну положення/орієнтації всіх елементів, описаних в СК СхПР.

К2. Формування базової кінематичної структури (БКС) Сх. Під формуванням БКС слід розуміти зображення виділених за результатами К1 конструктивних складових Сх у вигляді прямих, що ідентифікують початкове положення окремих складових Сх та є необхідними при подальшому описі їх обертальних та/або лінійних переміщень в межах заданого конструкцією інтервалу, а також для їх подальшого опису геометричними примітивами.

При цьому описуються складові (компоненти) Сх так, щоб його опис не був інформаційно збитковим, тобто з виділенням лише тих елементів, які безпосередньо визначають його (Сх) функціональність, беруть участь у ТВ Сх з ОМ та необхідні для розрахунків на можливість зіткнень (колізій) між елементами ГВК та самозіткнень між елементами МСПР із ОМ.

К3. Групування елементів Сх. Зміст цього кроку зводиться до формування груп елементів конструкції Сх – нерухомих (група С) та рухомих (група V). Якщо конструктивний елемент Сх при його (Сх) функціонуванні не може змінювати своє положення в СК Сх, тобто є нерухомим, він відноситься до групи С і в подальшому описується відповідним геометричним примітивом (див. К4). Структура групи С має наступний вигляд:

$$C = \langle Gr_{i_c} \mid i_c = \overline{1, I_C} \rangle, \quad (2)$$

де С – ідентифікатор групи С (скорочення від англ. *Constant* – постійна); I_C – кількість елементів групи С; Gr_{i_c} – (скорочення від англ. *Geometric primitive* – геометричний примітив), опис кожного і-го елемента Сх, що може бути віднесений до одного із трьох примітивів, має наступну структуру:

$$Gp_{i_c} \in \{ Pd_{i_c}; Cr_{i_c}; Se_{i_c} \}, \quad (3)$$

де Se_{i_c} – опис геометричного примітиву “куля”; Pd_{i_c} – опис геометричного примітиву “паралелепіпед”; Cr_{i_c} – опис геометричного примітиву “циліндр”.

Якщо j -ий конструктивний елемент Sx може змінювати своє положення в СК Sx , тобто є рухомим, то він відноситься до групи V , що містить описи j -го елемента з його обмеженнями (лінійними або обертальними) або нову групу V , якщо зміна положення/орієнтації елемента відбувається в СК попередньої групи V . Структура групи V має наступний вигляд:

$$V_{i_v} = \left\langle L_{i_v}, \left\langle Gp_{j_{v_i}} \nabla V_{j_{v_i}} \mid j_{v_i} = \overline{1, J_{v_i}} \right\rangle \mid i_v = \overline{1, I_v} \right\rangle, \quad (4)$$

де V_{i_v} – ідентифікатор групи V (від англ. *Variable* – змінна); I_v – кількість груп V в описі Sx ПР; $Gp_{j_{v_i}}$ – геометричний примітив (аналогічний до виразу (3)); $V_{j_{v_i}}$ – опис нової j_v -ої групи V , яка описується в СК групи V_{i_v} , тобто має власну СК, інтервальні обмеження щодо можливих переміщень та відповідний склад елементів; J_{v_i} – кількість компонентів групи V_{i_v} ; ∇ – математичний знак логічної операції “виключного або”; L_{i_v} – ідентифікатор обмеження (від англ. *Limitation* – обмеження), має наступну структуру:

$$L_{i_v} = \left[Q_{i_v}^{Lb}(s_{i_v}^{Lb}; x_{i_v}^{Lb}; y_{i_v}^{Lb}; z_{i_v}^{Lb}), Q_{i_v}^{Le}(s_{i_v}^{Le}; x_{i_v}^{Le}; y_{i_v}^{Le}; z_{i_v}^{Le}), Q_{i_v}^{Rb}(s_{i_v}^{Rb}; x_{i_v}^{Rb}; y_{i_v}^{Rb}; z_{i_v}^{Rb}), Q_{i_v}^{Re}(s_{i_v}^{Re}; x_{i_v}^{Re}; y_{i_v}^{Re}; z_{i_v}^{Re}) \right], \quad (5)$$

де $Q_{i_v}^{Lb}(s_{i_v}^{Lb}; x_{i_v}^{Lb}; y_{i_v}^{Lb}; z_{i_v}^{Lb})$ – кватерніон (Q) початкової позиції ($Q_{i_v}^{Lb}$) початку СК поточної групи V_{i_v} відносно СК Sx ПР, або СК попередньої групи $V_{(i-1)_v}$ (якщо поточна група V_{i_v} є елементом попередньої групи $V_{(i-1)_v}$); $Q_{i_v}^{Le}(s_{i_v}^{Le}; x_{i_v}^{Le}; y_{i_v}^{Le}; z_{i_v}^{Le})$ – кватерніон кінцевої позиції ($Q_{i_v}^{Le}$) початку СК поточної групи V_{i_v} відносно СК Sx ПР, або СК попередньої групи $V_{(i-1)_v}$ (якщо поточна група V_{i_v} є елементом попередньої групи $V_{(i-1)_v}$); $Q_{i_v}^{Rb}(s_{i_v}^{Rb}; x_{i_v}^{Rb}; y_{i_v}^{Rb}; z_{i_v}^{Rb})$ – кватерніон початкової орієнтації ($Q_{i_v}^{Rb}$) СК поточної групи V_{i_v} відносно СК Sx ПР, або СК попередньої групи $V_{(i-1)_v}$ (якщо поточна група V_{i_v} є елементом попередньої групи $V_{(i-1)_v}$); $Q_{i_v}^{Re}(s_{i_v}^{Re}; x_{i_v}^{Re}; y_{i_v}^{Re}; z_{i_v}^{Re})$ – кватерніон кінцевої орієнтації ($Q_{i_v}^{Re}$) СК поточної групи V_{i_v} відносно СК Sx ПР, або СК попередньої групи $V_{(i-1)_v}$ (якщо поточна група V_{i_v} є елементом попередньої групи $V_{(i-1)_v}$).

К4. Опис елементів Sx геометричними примітивами. Запропоновано описувати визначений кожен i -ий та j -ий елемент Sx за допомогою наступних геометричних примітивів: Pd – паралелепіпед, Se – циліндр, Se – сфера. Центр примітиву повинен бути розташований посередині осової лінії окремого елемента Sx . Орієнтація кожного із примітивів за замовчуванням в СК ПР має бути такою, як показано на рис.1, при

необхідності може бути змінена відносно СК ПР за допомогою відповідного кватерніонного виразу.

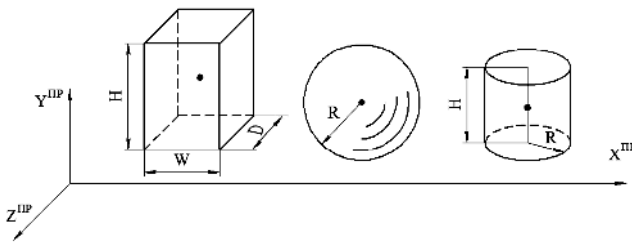


Рис.1. Орієнтація геометричних примітивів Сх в СК ПР

Опис геометричного примітиву “куля” має вигляд:

$$Se = [R_{Se}, (X_{Se}; Y_{Se}; Z_{Se})], \quad (6)$$

де Se – ідентифікатор примітиву “куля” (від англ. *Sphere* – куля); R_{Se} – радіус кулі, мм; $(X_{Se}; Y_{Se}; Z_{Se})$ – координати геометричного центру кулі відносно початку СК групи, до якої даний примітив належить, мм.

Опис геометричного примітиву “паралелепіпед” має вигляд:

$$Pd = [(W_{Pd}; H_{Pd}; D_{Pd}), (X_{Pd}; Y_{Pd}; Z_{Pd}), Q_{Pd}(s_{Q_{Pd}}; x_{Q_{Pd}}; y_{Q_{Pd}}; z_{Q_{Pd}})], \quad (7)$$

де Pd – ідентифікатор примітиву “паралелепіпед” (від англ. *Parallelepiped* – паралелепіпед); W_{Pd} – ширина паралелепіпеда (від англ. *Width* – ширина), розмір по осі X^{PP} в СК ПР, мм; H_{Pd} – висота паралелепіпеда (від англ. *Height* – висота), розмір по осі Y^{PP} в СК ПР, мм; D_{Pd} – глибина паралелепіпеда (від англ. *Depth* – глибина), розмір по осі Z^{PP} в СК ПР, мм; $(X_{Pd}; Y_{Pd}; Z_{Pd})$ – координати геометричного центру паралелепіпеда відносно початку СК групи, до якої даний примітив належить, мм; $Q_{Pd}(s_{Q_{Pd}}; x_{Q_{Pd}}; y_{Q_{Pd}}; z_{Q_{Pd}})$ – кватерніон, що описує можливу функціональну зміну орієнтації примітиву Pd . Початок вектора кватерніону збігається з координатами геометричного центру примітиву. Інформація про координати кінця вектора та кут обертання навколо вектора міститься в значеннях $(s_{Q_{Pd}}; x_{Q_{Pd}}; y_{Q_{Pd}}; z_{Q_{Pd}})$.

Геометричний примітив “циліндр” описується наступним чином:

$$Cr = [(R_{Cr}; L_{Cr}), (X_{Cr}; Y_{Cr}; Z_{Cr}), Q_{Cr}(s_{Q_{Cr}}; x_{Q_{Cr}}; y_{Q_{Cr}}; z_{Q_{Cr}})], \quad (8)$$

де Cr – ідентифікатор примітиву “циліндр” (від англ. *Cylinder* – циліндр); R_{Cr} – радіус циліндра, мм; L_{Cr} – довжина циліндра (від англ. *Length* – довжина), за замовчуванням – розмір по осі Y^{PP} в СК ПР, мм; $(X_{Cr}; Y_{Cr}; Z_{Cr})$ – координати геометричного центру циліндра відносно початку СК групи, до якої даний примітив належить, мм; $Q_{Cr}(s_{Q_{Cr}}; x_{Q_{Cr}}; y_{Q_{Cr}}; z_{Q_{Cr}})$ – кватерніон, за допомогою якого можлива зміна орієнтації примітиву. Початок вектора кватерніону збігається з координатами геометричного центру примітиву. Інформація про координати кінця вектора та кут обертання навколо вектора міститься в значеннях $(s_{Q_{Cr}}; x_{Q_{Cr}}; y_{Q_{Cr}}; z_{Q_{Cr}})$.

К5. Формування ФМ СхПР як такої. ФМ СхПР запропоновано виражати у вигляді впорядкованої послідовності геометричних примітивів, який може належати до групи рухомих або нерухомих елементів. В загальному випадку з врахуванням прийнятих позначень та змістом символу $\vee$ (логічна операція “або”) універсальний вираз ФМ СхПР відповідно до вище наведеного є наступним:

$$\begin{aligned} \text{ФМСх(модель)} = & \left\langle P_{C_x}, CFP, \left(C \in \left\langle Gp_{i_c} \mid i_c = \overline{1, I_C} \right\rangle \right) \vee \right. \\ & \left. \vee \left(V_{i_v} \in \left\langle L_{i_v}, \left\langle Gp_{j_{v_i}} \nabla V_{j_{v_i}} \mid j_{v_i} = \overline{1, J_{V_i}} \right\rangle \right\rangle \mid i_v = \overline{1, I_v} \right) \right\rangle. \end{aligned} \quad (9)$$

Для прикладу на рис.2 представлено ФМ пневматичного Сх моделі “LGR 32” з 2-ма обертальними затискними елементами (виробник – фірма Schunk, Німеччина), що є цілком придатною для використання її (ФМ) для розв’язання задачі, пов’язаних із ТВ Сх з ОМ.

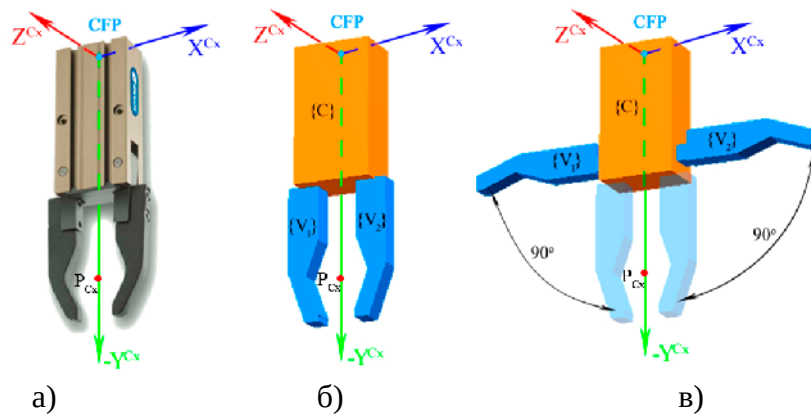


Рис.2. Зображення обертального пневматичного Сх моделі “LGR 32” з 2-ма затискними елементами, виробника фірми Schunk (Німеччина):

а) конструктивний оригінал; б) 3D-еквівалент (твердотільна модель) – повний затиск; в) 3D-еквівалент (твердотільна модель) – повний розтиск

$$\begin{aligned} \Phi O \text{ СхПР (LGR 32)} = & \left\langle P_{C_x}, CFP, \left(C \in \left\langle Gp_{i_c} \mid i_c = \overline{1, I_C} \right\rangle \right) \vee \left(V_{i_v} \in \left\langle L_{i_v}, \left\langle Gp_{j_{v_i}} \nabla V_{j_{v_i}} \mid j_{v_i} = \overline{1, J_{V_i}} \right\rangle \right\rangle \mid i_v = \overline{1, I_v} \right) \right\rangle = \\ = & \left[P_{C_x}, CFP, C \left\{ Pd \left[(60; 106,5; 37), (0; -53,25; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right], V \left\{ L \left[Q^{Lb}(0; 22; -89,7; 0), Q^{Le}(0; 22; -89,7; 0), \right. \right. \right. \right. \\ & Q^{Rb}(1; 0; 0; 0), Q^{Re}(0,70; 0; 0; 0,70) \left. \left. \left. \right] Pd \left[(12,5; 30; 16), (0; -15; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right], Pd \left[(24; 42; 16), (5; -37; 0), \right. \right. \right. \\ & Q(1; 0; 0; 0) \left. \left. \left. \right] Pd \left[(12,5; 27; 16), (10,7; -68; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right], Pd \left[(15; 30; 16), (5; -69; 0), \right. \right. \right. \\ & Q(0,98; 0; 0; 0,17) \left. \left. \left. \right] Pd \left[(12,5; 40; 16), (4,4; -98; 0), Q(-0,98; 0; 0; 0,17) \right], Pd \left[(10,5; 6; 16), (-2,5; -116; 0), \right. \right. \right. \\ & Q(1; 0; 0; 0) \left. \left. \left. \right] \right\}, V \left\{ L \left[Q^{Lb}(0; -22; -89,7; 0), Q^{Le}(0; -22; -89,7; 0), Q^{Rb}(-1; 0; 0; 0), Q^{Re}(-0,70; 0; 0; 0,70) \right] \right. \right. \\ & Pd \left[(12,5; 30; 16) (0; -15; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right], Pd \left[(24; 42; 16), (-5; -37; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right], Pd \left[(12,5; 27; 16), \right. \\ & (-10,7; -68; 0), Q(1; 0; 0; 0) \left. \right], Pd \left[(15; 30; 16), (-5; -69; 0), Q(-0,98; 0; 0; 0,17) \right], Pd \left[(12,5; 40; 16), (-4,4; -98; 0), \right. \\ & \left. \left. \left. Q(0,98; 0; 0; 0,17) \right], Pd \left[(10,5; 6; 16), (2,5; -116; 0), Q(1; 0; 0; 0) \right] \right\} \right]. \end{aligned}$$

3. Висновок. Представлено новий підхід щодо формування ФМ Сх як таких із використанням теорії кватерніонів. Запропонований опис Сх справедливий для інших конструкцій Сх (багатопальцевих, вакуумних, електромагнітних тощо), що підтверджує його універсальність. Інтеграція даного ФМ Сх з ФМ МС дозволяє отримати повну ФМ ПР і вирішувати задачі геометричного та динамічного змісту при АС РМСТ.

Напрямки подальших досліджень направлені на розв'язування наступних задач: формування повної ФМ ПР за допомогою інтеграції запропонованої ФМ із розробленою раніше ФМ МС ПР [3]; розробка програмного забезпечення для опису ФМ ПР; розробка ФМ ПР як одного із факторів, що впливають на визначення складових ТВ; формування програмного комплексу автоматизованого визначення складових та параметрів ТВ СхПР з ОМ.

Список літератури:

1. 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.
2. Корендясев А.И. Теоретические основы робототехники: В 2 кн. под ред. С.М. Каплунова. – М.: Наука, 2006.
3. Melnychuk P. Использование теории кватернионов для формирования функциональных моделей манипуляционных систем промышленных роботов / Petro Melnychuk, Valeriy Kyrylovych, Oleksandr Pysarchyk // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – №279. – Mechanika. – z. 83(nr. 1/2011). – S.103–112.
4. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І.Пулюя, 2008. – 232 с.
5. Челпанов И.Б. Схваты промышленных роботов / И.Б. Челпанов, С.Н. Колпашников – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1989. – 287 с.: ил.
6. Monkman. G. J. Robot grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p.
7. Siciliano Bruno. Springer Handbook of Robotics / Bruno Siciliano, Oussama Khatib. – Berlin: Springer, 2008. – 1631 p.
8. Xiong Chiahua. Fundamentals of robotic grasping and fixturing / Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong – USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 229 p.
9. Kuipers J. B. Quaternions and Rotation Sequences: A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality. – Princeton University Press (August 19, 2002). – 400p.
10. Melnychuk P. The use of the theory of quaternions for forming the functional models of industrial robots' grippers / Melnychuk P., Kyrylovych V., Morhunov R. // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – Mechanika. – z.84(nr 1/2012). – S.35–41.

Надійшла до редколегії 14.06.2012 р.

**V. Kyrylovych, P. Melnychuk,
R. Morgunov**
**FUNCTIONAL MODELS OF
INDUSTRIAL ROBOTS GRIPPERS'
FORMATION**

The main sequence of functional models of industrial robots grippers' formation with the use of the theory of quaternions is presented by means of proposed methodological steps.

Ключові слова: industrial robot, grippers, functional model, the theory of quaternions.

**В.А. Кирилович, П.П. Мельничук,
Р.С. Моргунов**
**ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
МОДЕЛЕЙ СХВАТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ
РОБОТОВ**

Представлено последовательность формирования функциональных моделей схватов промышленных роботов с использованием теории кватернионов в контексте предлагаемых методологических шагов.

Ключевые слова: промышленный робот, схват, функциональная модель, теория кватернионов.