

манипуляционных систем промышленных роботов / Petro Melnychuk, Valeriy Kyrylovych, Oleksandr Pysarchyk // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – №279. – Mechanika. – z. 83(nr. 1/2011). – S.103–112. 9. Monkman. G. J. Robot grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 452 p. 10. Siciliano Bruno. Springer Handbook of Robotics / Bruno Siciliano, Oussama Khatib. – Berlin: Springer, 2008. – 1631 p. 11. Xiong Chiahua. Fundamentals of robotic grasping and fixturing / Chiahua Xiong, Han Ding, Youlun Xiong – USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. – 229 p. 12. IFR International Federation of Robotics // <http://www.ifr.org/>. – 12.11.2012.

УДК 62-503,57:62-229,34

А.Ю. Сазонов, В.А. Кирилович

Житомирський державний технологічний університет,
кафедра автоматизації та комп'ютеризованих технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СХВАТА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА ВІД ВЕКТОРІВ ПІДХОДУ ДО ЗАДАНОЇ ТОЧКИ

© Сазонов А.Ю., Кирилович В.А., 2012

Визначено залежності величини похибки позиціонування схвата промислового робота в i -й точці робочої зони промислового робота від вектора підходу до цієї точки, підтверджено гіпотетичні твердження щодо взаємної компенсації та/або накладання похибок в зчленуваннях ланок промислового робота.

Defined dependence between industrial robots' pose errors in the i -th point of working space and Come up Vector to this point, previously specified hypothesis about intercompensation and/or intercomposition of errors in industrial robot links' joints is confirmed.

Вступ. Точність позиціонування промислових роботів (ПР) формує точність технологічного обслуговування (завантаження/розвантаження) технологічного обладнання і є однією із найважливіших під час проектування та синтезу роботизованих механоскладальних технологій та визначальною для оптимізації обраної технології [3]. Встановлення та зняття (завантаження/розвантаження) об'єкта маніпулювання (ОМ) в/з пристосування (Пр) робочої позиції (РП) визначається запропонованим та дослідженим авторами векторів підходу схвата (Сх) ПР до ОМ [1].

Постановка задачі. Аналіз множини векторів підходу від початкової ($i-1$)-ї до i -ї точки робочої зони (РЗ) ПР дає можливість визначати оптимальний за точністю позиціонування СхПР вектор підходу з найменшою похибкою позиціонування Сх ($\Delta_{Сх_i} \rightarrow \min$) у задачах автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) на етапі проектування механоскладальних гнучких виробничих комірок (ГВК) при виборі із множини можливих векторів, що можуть бути забезпечені ПР в конкретних виробничо-технологічних умовах. Тому доцільним є проведення досліджень щодо визначення множини можливих векторів підходу до конкретної i -ї точки робочої зони (РЗ) ПР.

Мета дослідження така: на підставі введеного поняття “вектор підходу” в контексті технологічного обслуговування промисловим роботом механоскладальних робочих позицій, що

сформовані технологічним обладнанням, дослідити залежність величини похибки позиціонування СхПР від вектора підходу в попередньо заданій точці робочого простору ПР.

Основна частина. Вектор підходу (*Vect*) СхПР від початкової (*i-1*)-ї точки до *i*-ї точки РЗ ПР при технологічному обслуговуванні ПР ПрПП_{*i*} є складним узагальненим поняттям і його напрям залежить від безлічі факторів, що в конкретний момент часу та за певних умов впливають на його (вектор) формування. До таких факторів належать: множина кінематично-динамічних характеристик руху МС ПР при переміщенні від (*i-1*)-ї точки до *i*-ї точки РЗ ПР, множина траєкторій, що формують вектор; множина узагальнених координат, що забезпечують формування *n*-го вектора підходу; множина геометрично-технологічних обмежень з боку технологічного обладнання та конструктивні особливості самої МС ПР, що впливають на формування *n*-го вектора підходу в *i*-ту точку РЗ ПР:

$$Vect_{n_i} = f(MCh_{n_i}, Tr_{n_i}, Q_{n_i}, PrSp_{n_i}, ROp_{n_i}), \quad (1)$$

де MCh_{n_i} – множина вказаних характеристик руху (*Movements' characteristics*) МС ПР при переміщенні СхПР в *i*-ту точку РЗ ПР, швидкості – $V = (v_1, v_2, \dots, v_{s-1}, v_s)$ та прискорення – $A = (a_1, a_2, \dots, a_{s-1}, a_s)$, тут *s* – порядковий номер активної ланки МС ПР, $s = \overline{1, S}$; Tr_{n_i} – множина траєкторій (*trajectories*), що забезпечують переміщення СхПР в *i*-ту точку РЗ ПР, $Tr_{n_i} = (tr_1, tr_2, \dots, tr_{s-1}, tr_s)$; Q_{n_i} – множина узагальнених координат в зчленуваннях ланок МС ПР, $Q = (q_1, q_2, \dots, q_{s-1}, q_s)$; $PrSp_{n_i}$ – множина геометрично-технологічних обмежень, тобто зон заборони (*Prohibited Spaces*) з боку технологічного обладнання та технологічного оснащення, що розміщується в обладнанні; ROp_{n_i} – конструктивні можливості (*Robot's opportunities*) МС ПР.

Графічно множину векторів підходу на прикладі абстрактної структури триланкової МС ПР наведено на рис. 1, а.

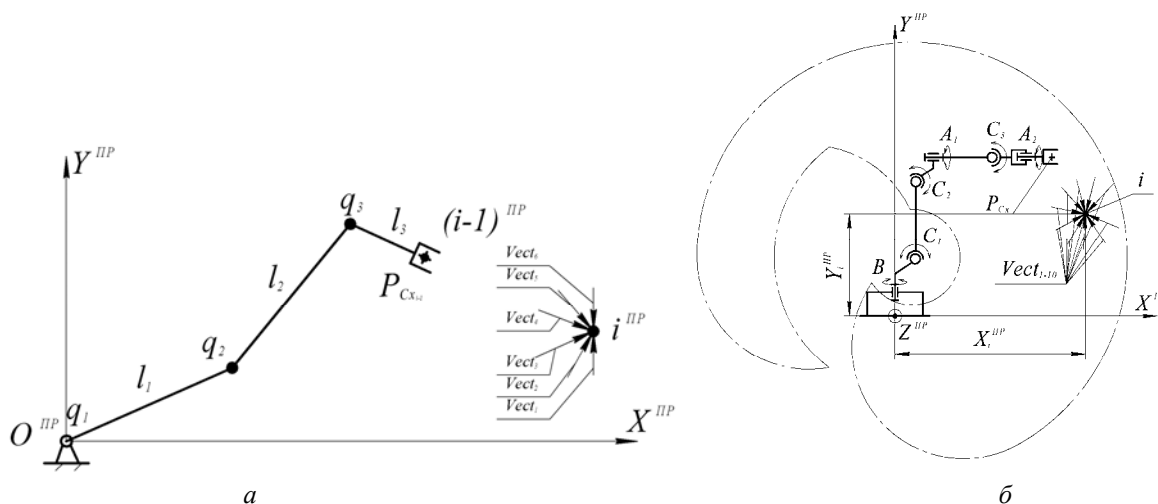


Рис. 1. Графічне представлення реалізації множини векторів підходу: а – на прикладі абстрактної структури триланкової МС ПР; б – на прикладі ПР мод. IRB 4600 – 20/2.05 для *i*-ї точки РЗ з координатами $X_i^{PP} = 1642,7$ мм, $Y_i^{PP} = 942,77$ мм, $Z_i^{PP} = 0$ мм

Множина векторів підходу СхПР до *i*-ї точки РЗ ПР формує векторний простір (*vector space – VectSp_i*):

$$VectSp_i = (Vect_{1_i}, Vect_{2_i}, \dots, Vect_{n_i}). \quad (2)$$

Останній, як правило, обмежений конструктивними можливостями ПР та так званими “зонами заборони” з боку технологічного обладнання, що обумовлені особливостями конструкції конкретного технологічного обладнання та/або його пристосувань (технологічного оснащення).

Досліджували залежність похибки позиціонування СхПР від векторів підходу до заданої точки шляхом моделювання в середовищі MATLAB. Для аналізу було обрано довільну точку, що належить РЗ ПР, наприклад, з координатами $X_i^{PP} = 1642,7$ мм, $Y_i^{PP} = 942,77$ мм, $Z_i^{PP} = 0$ мм. Переміщення в i -ту точку виконується із початкового положення, що визначається конфігураційним станом ланок (рис. 1, б). Так забезпечуються різні вектори підходу з різними величинами похибок позиціонування в i -й точці відповідно.

Отримані результати моделювання, що занесені до таблиці, вказують на те, що зміна вектора підходу, а отже і зміна орієнтації СхПР в i -й точці РЗ ПР, призводять до зміни похибки позиціонування. Зміна останньої обумовлена зміною узагальнених координат у зчленуваннях ланок МС ПР, що формують n -й вектор підходу до i -ї точки РЗ. Аналіз отриманих результатів підтверджує висловлені раніше гіпотетичні твердження [1] щодо взаємної компенсації та накладання похибок у зчленуваннях ланок.

Результати моделювання залежності величини похибки позиціонування від вектора підходу до наперед заданої точки РЗ ПР для ПР мод. IRB 4600 – 20/2.05 (за рис. 1, б)

Вектор підходу	Узагальнені координати в зчленуваннях ланок МС ПР				Похибка позиціонування СхПР ΔC_{X_i} , мм	Примітки
	B	C1	C2	C3		
$Vect_1$	0,00	-27,14	0,00	0,00	1,0624	Див. рис. 3, рис. 4
$Vect_2$	0,00	-30,70	23,09	-62,95	1,0189	
$Vect_3$	0,00	-33,60	20,87	-85,56	1,2409	
$Vect_4$	0,00	-38,98	17,48	-62,93	1,1021	
$Vect_5$	0,00	-32,01	20,30	-79,31	0,9756	
$Vect_6$	0,00	-31,99	-34,92	41,65	1,1675	
$Vect_7$	0,00	-108,99	32,16	70,55	1,3610	
$Vect_8$	0,00	-107,01	32,29	26,47	1,6181	
$Vect_9$	0,00	-108,99	47,93	-40,80	1,5359	
$Vect_{10}$	0,00	-114,26	33,92	67,67	1,5697	

Отримані дані є важливими для визначення обмежень множини векторів підходу та “звуження” векторного простору навколо попередньо заданої точки РЗ ПР при проектуванні технологічних маршрутів та траєкторій переміщень ПР, що обслуговує множини РП в ГВК. Цей аналіз є складовою задачі проектування та синтезу РМСТ і утворює так звану точнісну задачу проектування/синтезу.

Очевидно, що на вибір того чи іншого вектора підходу до i -ї точки РЗ ПР при обслуговуванні ПрРП_і впливають також конструктивні обмеження з боку технологічного обладнання, координати пристосувань якого відповідають координатам i -ї точки РЗ ПР, так звані “зони заборони” [0]. Залежно від особливостей конструкції конкретного технологічного обладнання та його пристосувань, що розміщуються в робочій зоні ПР, на вектор ОМ накладаються різні обмеження.

На рис. 2 наведено деякі приклади реалізації множин векторів підходу, що відповідають промодельованим, і вказано “зони заборони” та “зони доступу”, що, своєю чергою, накладають обмеження на вибір оптимального за точністю ($\Delta C_{X_i} \rightarrow \min$) вектора підходу.

Так, наприклад, найменшої точності із досліджених в i -й точці РЗ ПР досягають при реалізації векторів підходу: $Vect_1$, $Vect_2$, $Vect_3$, $Vect_4$, $Vect_5$ та $Vect_6$. Проте на одному і тому самому пристосуванні залежно від попередньо наданих рекомендацій щодо координат точки затиску ОМ в СхПР можливі два варіанти закріплення (рис. 2, б, в). Аналіз зон заборони та зон доступу до ОМ дає можливість обрати оптимальний вектор підходу. При встановленні/знятті ОМ з ПрРП (рис. 2, б)

зона доступу обмежена конструктивними елементами пристосування (призми), що перешкоджають безколізійному (без зіткнень) технологічному обслуговуванню. Із можливих векторів підходу, що забезпечують доволі малу похибку позиціонування, неможливо використовувати вектори $Vect_5$ та $Vect_6$, оскільки при їх реалізації виникає колізія (зіткнення СхПП з конструктивними елементами пристосування). У випадку, який наведено на рис. 2, в значно розширена множина можливих векторів підходу. Проте не всі вектори, що входять до неї, забезпечують достатню точність. Так, при реалізації вектора $Vect_{10}$ похибка позиціонування Δ_{Cx_i} може становити 1,5697 мм, що значно перевищує паспортні дані щодо точності моделі ПР і може перевищувати вимоги щодо точності при технологічному обслуговуванні ОМ на певному обладнанні.

При встановленні ОМ в ПрРП, що являє собою патрон металорізального верстата, виникають випадки з обмеженнями зони доступу (рис. 3, б), що, наприклад, спричинені рухомими конструктивними елементами обладнання, та без обмежень (рис. 3, а).

На основі аналізу отриманих даних щодо величин похибок позиціонування та їх залежності від векторів підходу побудовано відповідні графіки (рис. 4), що враховують вплив зон заборони (заштриховані ділянки) на величини похибок позиціонування при реалізації конкретного вектора підходу, та вектори підходу, що можуть бути реалізовані при технологічному обслуговуванні ПрРП в i -й точці РЗ ПР. Там же пунктиром визначено прийняті номери векторів підходу, що визначають мінімум та максимум похибки позиціонування.

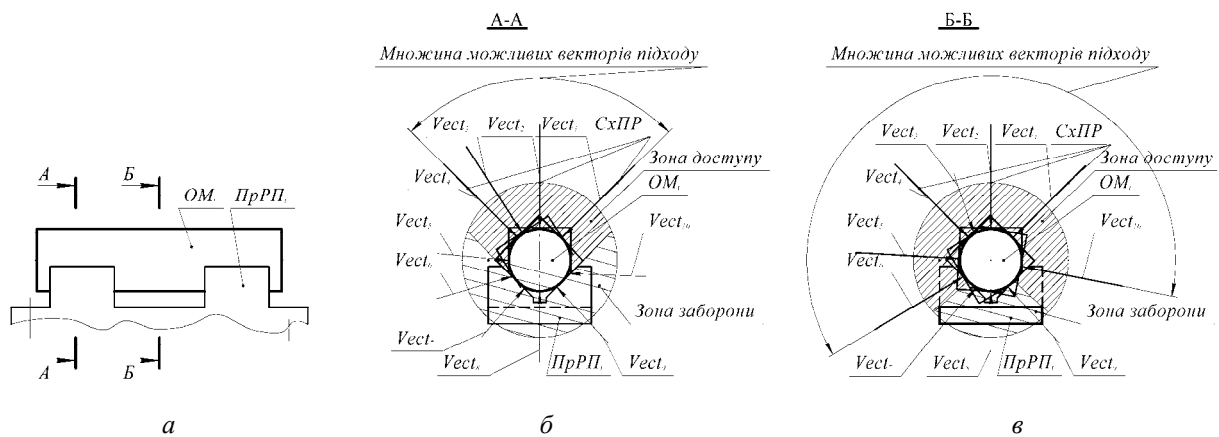


Рис. 2. Множини аналізованих векторів підходу при технологічному обслуговуванні ОМ, що знаходяться в пристосуванні типу “призма”

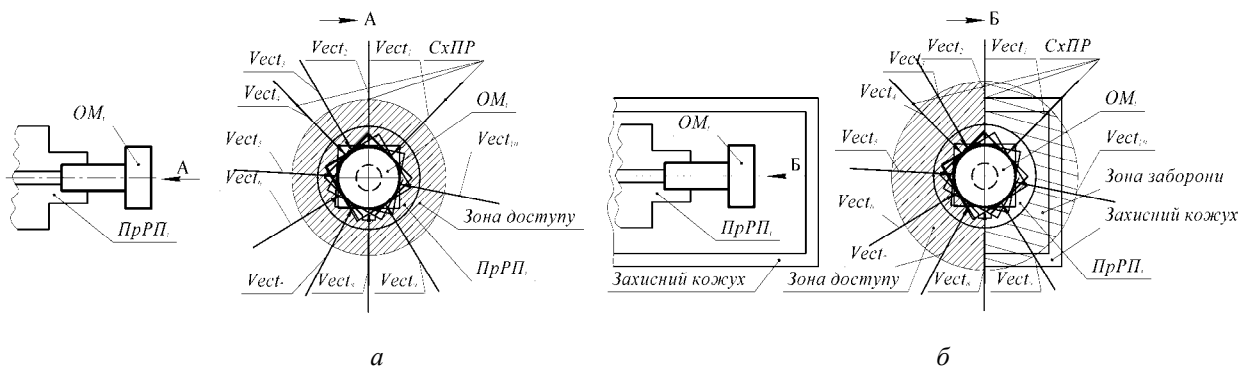


Рис. 3. Множини аналізованих векторів підходу при технологічному обслуговуванні ОМ, що закріплені в патроні металорізального верстата

Аналогічно проведені дослідження інших точок РЗ ПР. Проведений аналіз результатів досліджень дозволив виявити залежності, що також підтверджують висунуту раніше гіпотезу про взаємну компенсацію та взаємне накладання похибок у зчленуваннях ланок МС ПР [0].

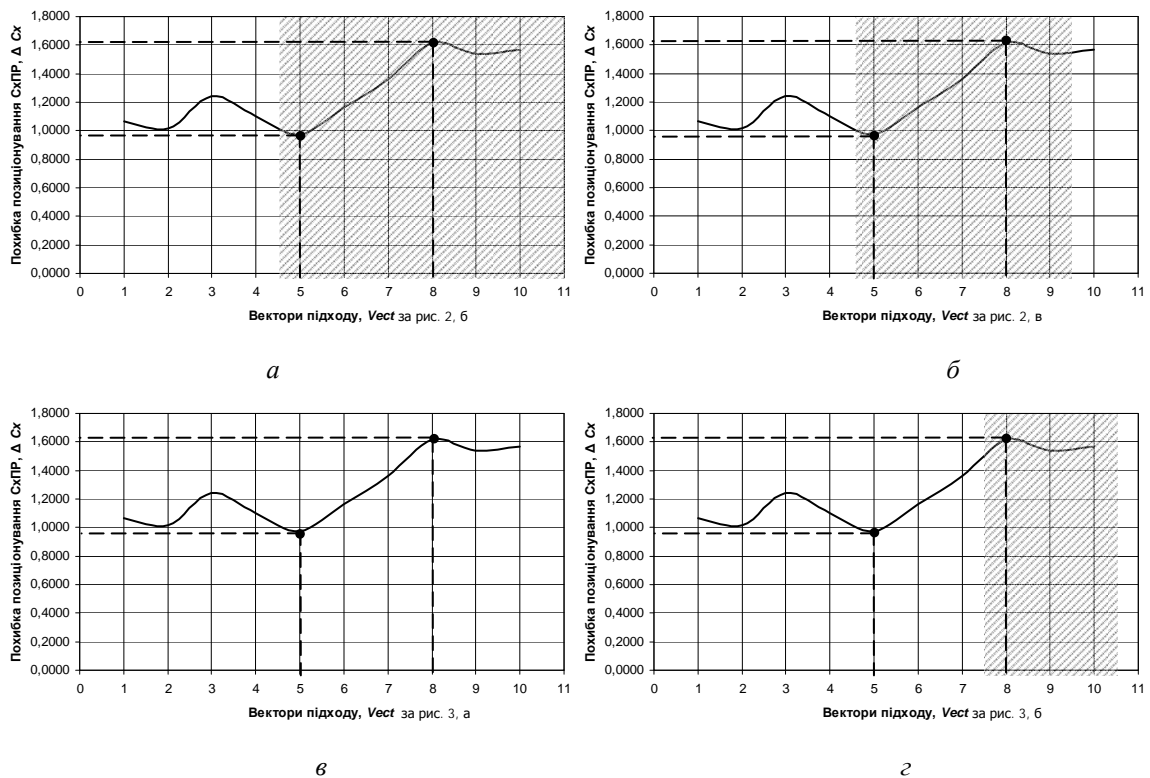


Рис. 4. Графік залежності величини похибки позиціонування СхПР від вектора підходу Сх в і-ту точку РЗ ПР

Висновок. Вказані дослідження є достатньо важливими і визначають напрямок подальших досліджень, що орієнтовані на використання інших конструкцій ПР і тому є необхідними для узагальнення даного підходу щодо точності з визначенням конкретних числових значень точнісних показників при позиціонуванні полюса Сх в різних точках РЗ ПР, що може бути локальним критерієм при автоматизованому синтезі РМСТ гнучких виробничих комірок.

1. Кирилович В.А. Модулювання точності позиціонування схватів промислових роботів / В.А. Кирилович, А.Ю. Сазонов // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 3 – 8 вер., 2012 р. – Севастополь, 2012. – С. 83 – 84. 2. Кирилович В.А. Автоматизированная классификация зон обслуживания технологического оборудования промышленными роботами / В.А. Кирилович, К.Г. Биденко, Н.В. Макаренко // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej – №261.– Mechanika z.76. Materiały III Międzynarodowej konferencji Naukowo-Technicznej. Modułowe technologie i konstrukcji w landzie maszyn. MTK-2009. – Poland, Rzeszow. – 2009. S. 89 – 95. 3. Siciliano B. Handbook of robotics. / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.