В.Кирилович. Розрахунок геометричних параметрів вузла адаптації схвата промислових роботів / В.Кирилович, А.Сазонов // Вісник ТНТУ. — 2013. — Том 70. — № 2. — С.150-156. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 62-503,57:62-229,34

В. Кирилович, канд. техн. наук; А. Сазонов

Житомирський державний технологічний університет

РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВУЗЛА АДАПТАЦІЇ СХВАТА ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Резюме. *Виконано аналіз конструктивних особливостей вузла адаптації схвата промислового робота. У результаті аналізу виявлено ряд залежностей геометричних параметрів конструктивних елементів компенсаторів кутових похибок від величин похибок позиціонування схватів промислових роботів. Наведено аналітичні вирази для розрахунку вказаних конструктивних параметрів.*

Ключові слова: *промисловий робот, точність позиціонування, похибка позиціонування, адаптивність, схват промислового робота, вузол адаптації.*

V. Kyrylovych, A. Sazonov

GEOMETRICAL PARAMETRES OF THE ADAPTIVE UNIT FOR INDUSTRIAL ROBOTS' GRIPPER CALCULATION

Summary. *The need to carry out investigations on the raise of accuracy and decrease of negative after-effect of pose error for the principal and auxiliary technical equipment is caused by the availability of errors in the robotized installation. One of the possible methods for negative influence decrease arising in the robotized technological service of facilities, which is industrial robots gripper adaptation, is considered in the article.*

Industrial robots' gripper adaptation expects to apply additional facilities, so-called "Industrial Robots' Adaptive Unit". Compliance of the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers compensative element is achieved due to using of compensative spring elements, which are included into the compliant mechanisms construction.

Using of the linear and angular errors compensator in the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers allows to overcome negative force-torque influence which arises at the moment of handling object fixing in the working position device. In the article the analysis of the constructive peculiarities of the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers has been carried out. As the analysis result dependencies of the angular error compensator constructive elements geometrical parameters on the industrial robots pose errors have been found. The analytical expressions for calculation of the mentioned construction parameters of the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers have been presented. Analytical dependences, which are connected with the geometric parameters of the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers constructive elements and take into account the length of handling object and distance of industrial robots' grippers pole from the left end face of the handling object in its coordinate system, have been found. The obtained results make possible to calculate and choose the Adaptive Unit for Industrial Robots' Grippers, which is necessary for certain conditions of mechanical assembly manufacturing.

Key words: *industrial robot, pose accuracy, pose error, adaptiveness, industrial robot's gripper, adaptive unit.*

Вступ. Необхідною умовою вдалого виконання технологічних операцій в металообробних виробництвах та досягнення заданих точнісних і якісних показників обробки поверхонь об'єктів маніпулювання (ОМ) є точність виконання технологічних переходів роботизованого встановлення ОМ у пристосування (Пр) робочих позицій (РП) металорізального обладнання.

Постановка проблеми. Наявність очевидних похибок роботизованого встановлення породжує необхідність проведення досліджень щодо підвищення точності або зменшення негативних наслідків наявної похибки для основного та допоміжного технологічного обладнання. Одним із можливих методів зниження

негативних впливів, що виникають при роботизованому технологічному обслуговуванні пристосувань (Пр), якими можуть бути патрони металорізальних верстатів, робочих позицій (РП) є адаптація схватів (Сх) [1, 2, 3] промислових роботів (ПР) до негативних збурень, що виникають унаслідок наявності похибок позиціонування СхПР при технологічному обслуговуванні ПрРП. При технологічному обслуговуванні t-ої РП ГВК $\left(РП_t \middle| t=\overline{1,T}\right)$ завантаження відбувається об'єктом $ОМ_{t-1}$, а розвантаження – $ОМ_t$. Для реалізації даного методу запропоновано застосовувати так званий вузол адаптації (ВА) [4, 5] СхПР.

ВА СхПР [4, 5] складається зі збірного корпуса, в якому розміщений механізм податливості та механізм фіксації положення (МФП). Вплив збурюючих компонентів сил і моментів, що діють на так званий технологічний роботизований комплект (ТРК), проявом якого є об'єкт маніпулювання, закріплений у СхПР ($ОМ_{t-1}$+СхПР). Унаслідок наявних похибок позиціонування ПР у момент закріплення $ОМ_{t-1}$ у $ПрРП_t$ компенсуються за рахунок податливості конструктивних елементів ВА СхПР, а саме, компенсатора лінійних похибок, у корпусі якого розміщений компенсатор кутових похибок. Податливість компенсаторів ВА досягається за рахунок використання компенсувальних пружинних елементів, що входять до конструкції механізму податливості.

Схема встановлення $ОМ_{t-1}$ у $ПрРП_t$ за умови відсутності кутових та лінійних похибок позиціонування ТРК ($ОМ_{t-1}$+СхПР) у пристосування t-ої РП – $ПрРП_t$ зображена на рис. 1.

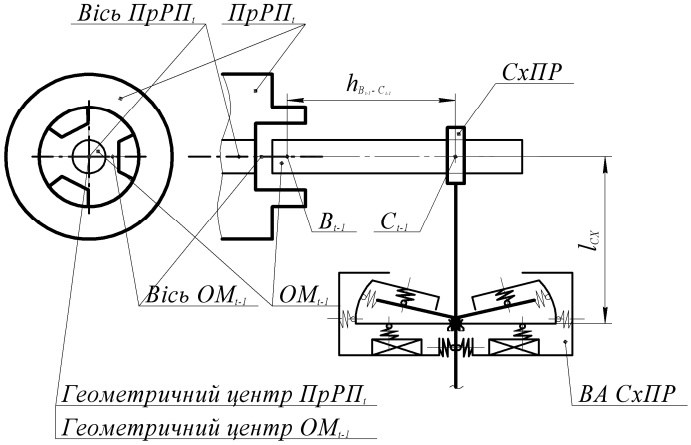

Рисунок 1. Спрощене представлення ідеального варіанта встановлення $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$

Figure 1. Simplified presentation of the handling object ideal installation into working position device

Використання в конструкції ВА СхПР компенсатора лінійних похибок дозволяє подолати негативний силомоментний вплив, що виникає в момент закріплення $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ при наявній лінійній похибці позиціонування. Причому, величини деформацій стиснення/розтягування пружинних елементів компенсатора лінійних похибок дорівнює величині лінійної похибки позиціонування, що вказує на простоту визначення величин деформації пружинних елементів компенсатора лінійних похибок.

Метою роботи є проведення аналізу конструкції запропонованого ВА СхПР, виявлення залежностей геометричних параметрів компенсаторів ВА кутових похибок від величин кутових похибок позиціонування СхПР при роботизованому встановленні ТРК ($ОМ_{t-1}$+СхПР) у $ПрРП_t$ та визначення аналітичних виразів для розрахунку

необхідних параметрів конструктивних елементів кутових компенсаторів ВА СхПР і його функціональних можливостей.

Основна частина. Для розрахунку величин переміщень конструктивних елементів ВА СхПР необхідно попередньо володіти інформацією щодо геометричних розмірів $ОМ_{t-1}$, а саме, його осьового розміру (довжини – h_{OM}) та координат точки затиску $ОМ_{t-1}$ в СхПР (т. $С_{t-1}$). На рис. 2а зображено спрощену розрахункову схему основних конструктивних елементів ВА, що відображає можливі переміщення компенсаторів ВА СхПР.

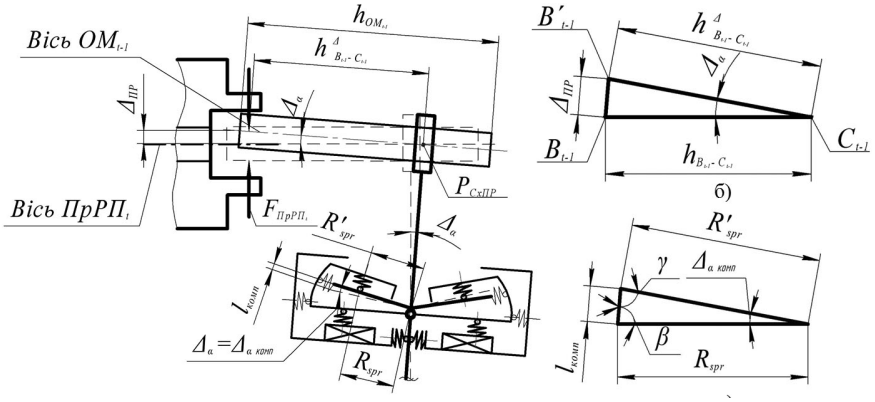

Рисунок 2. Розрахункова схема основних конструктивних елементів ВА СхПР

Figure 2. Calculation scheme of the basic adaptive unit constructive elements

Сукупність наявних похибок закріплення при встановленні в $ОМ_{t-1}$ СхПР породжує відхилення осі $ОМ_{t-1}$ від осі його встановлення в $ПрРП_t$ на кут Δ_α, що називається компенсувальним. При цьому доцільно аналізувати утворений таким чином рівнобедрений трикутник $С_{t-1}В_{t-1}В'_{t-1}$ (див. рис. 2б), довжинами сторін якого є відстані $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ та $h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ між точками затиску $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ відповідно т.$В_{t-1}$ та т.$В'_{t-1}$ і точкою затиску $ОМ_{t-1}$ в СхПР т. $С_{t-1}$, або відстань від т. $С_{t-1}$ до лівого торця $ОМ_{t-1}$, що породжені лінійною відстанню координат положення полюса СхПР, у системі координат $ОМ_{t-1}$, від лівого торця $ОМ_{t-1}$ при співвісному встановленні $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ та при наявній похибці позиціонування СхПР. У момент закріплення $ОМ_{t-1}$ у $ПрРП_t$ величина похибки $\Delta_{ПР}$ компенсується за рахунок пружинних елементів, що входять до конструкції компенсаторів ВА СхПР. У такому випадку залежність величини деформації пружинних елементів компенсаторів кутових та лінійних похибок ВА під час встановлення та фіксації лівого торця $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ до моменту співпадання осі $ОМ_{t-1}$ з віссю $ПрРП_t$ (особливо при використанні самоцентруючих пристосувань в МРВ) від величини $\Delta_{ПР}$ є очевидною.

Зв'язок між величинами похибок позиціонування СхПР $\Delta_{ПР}$ та компенсувальним кутом Δ_α можна виразити таким чином:

$$\Delta_{ПР} = \left(h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)^2 + \left(h_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)^2 - 2\cdot\left(h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)\cdot\left(h_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)\cdot cos\,\Delta_\alpha, \qquad ((1)$$

де $h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ – відстань між точками затиску $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ ($В'_{t-1}$) та точкою затиску $ОМ_{t-1}$ в СхПР ($С_{t-1}$), або відстань від точки $С_{t-1}$ до лівого торця $ОМ_{t-1}$ при наявній похибці позиціонування СхПР, мм;

$h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ – відстань між точками затиску $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ ($В_{t-1}$) та точкою затиску $ОМ_{t-1}$ в СхПР ($С_{t-1}$), або відстань від точки $С_{t-1}$ до лівого торця $ОМ_{t-1}$ при співвісному встановленні $ОМ_{t-1}$ в $ПрРП_t$ (наявна похибка позиціонування СхПР) мм;

Δ_α – компенсувальний кут, град.

Із (1) випливає вираз для визначення компенсувального кута Δ_α ВА СхПР

$$\Delta_\alpha = arccos \frac{\left(h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)^2 + \left(h_{B_{t-1}-C_{t-1}}\right)^2 - \Delta_{ПР}}{2 \cdot h^{\Delta}_{B_{t-1}-C_{t-1}} \cdot h_{B_{t-1}-C_{t-1}}}. \qquad ((2)$$

Із рис. 2 бачимо, що величина компенсувального кута Δ_α дорівнює величині переміщень компенсатора кутових похибок ВА СхПР, що визначається за виразом (2).

Інформація про величини переміщень компенсаторів кутових похибок ВА СхПР, у свою чергу, дозволяє визначити лінійне значення $l_{комп}$ величини деформації (стиснення/розтягу) пружинних елементів компенсаторів кутових похибок та їх радіус розташування відносно осі ВА СхПР за виразом

$$l_{комп} = R'^{\,2}_{Spr} + R^{\,2}_{Spr} - 2 \cdot R'_{Spr} \cdot R_{Spr} \cdot cos\, \Delta_{\alpha комп}, \qquad ((3)$$

де $\Delta_{\alpha\ комп}$ – величина кутових переміщень компенсатора кутових похибок встановлення, град;

$l_{комп}$ – величина лінійного переміщення компенсувальних елементів (чисельно дорівнює величині деформації (стиснення/розтягування) пружинних елементів компенсаторів кутових похибок ВА СхПР), мм;

R_{spr} – радіальний розмір відносно осі качання компенсатора кутових похибок, на якому розташовані пружинні елементи компенсаторів кутових похибок у вільному стані за відсутності силомоментного навантаження з боку $ПрРП_t$ унаслідок наявної похибки позиціонування СхПР – $\Delta_{ПР}$, мм;

R'_{spr} – радіальний розмір, на якому розташовані пружинні елементи компенсаторів кутових похибок у робочому стані (при компенсації похибки позиціонування СхПР – $\Delta_{ПР}$), мм.

Відповідно до поставленої мети проведено аналіз впливу відстані $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ та компенсувального кута Δ_α на величину кутового відхилення $\Delta_{ПР}$ лівого торця $ОМ_{t-1}$ від осі встановлення в $ПрРП_t$, результати якого наведено на рис. 3 ($\Delta_{ПР}$ на рис. 3 відсутнє, але є віссю ординат) у вигляді графіка, що дозволяє графічно визначати необхідний компенсувальний кут Δ_α для подолання наявних похибок позиціонування СхПР та встановлення в $ПрРП_t$ для подальшого аналітичного розрахунку параметрів компенсаторів кутових похибок ВА СхПР.

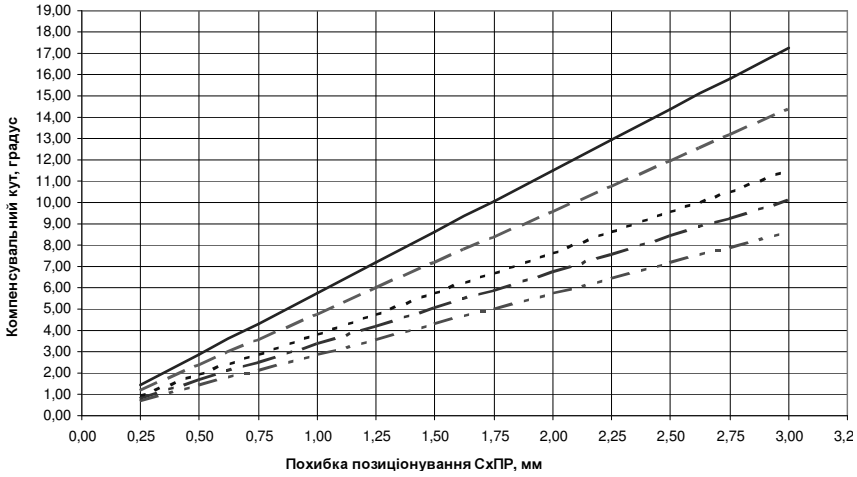

Рисунок 3. Графік залежності величини компенсувального кута Δ_α від похибки позиціонування СхПР $\Delta_{ПР}$ та різних величин відстані $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$:

—— $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=20 мм; - - - - $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=17 мм; ····· $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=15 мм;

- · - · - $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=12 мм; — · · — $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=10 мм

Figure 3. Plot of the compliance angle dependence on the pose error of the industrial robots grippers and different $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$ distances:

—— $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=20mm; - - - - $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=17 mm; ····· $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=15 mm;

- · - · - $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=12mm; — · · — $h_{B_{t-1}-C_{t-1}}$=10 mm

Приймаючи, що проекції компенсатора кутових похибок ВА СхПР у вільному та робочому станах є відповідно сторонами одного трикутника (див. рис. 2в), тоді можна розглядати величину переміщень $l_{комп}$ компенсатора кутових похибок при відпрацюванні компенсувального кута Δ_α як сторону трикутника, протилежну до нього (компенсувального кута Δ_α). Таким чином, очевидна залежність між сторонами та протилежними їм кутами трикутника, що виражається на підставі теореми синусів

$$\frac{l_{комп}}{sin\Delta_{\alpha комп}} = \frac{R_{spr}}{sin\beta} = \frac{R'_{spr}}{sin\gamma}\ , \qquad (4)$$

де $\Delta_{\alpha комп}$ – величина кутового переміщень компенсатора кутових похибок встановлення, град;

$l_{комп}$ – величина лінійного переміщення компенсувальних елементів, мм;

β – кут між сторонами $l_{комп}$ та R'_{spr}, град;

γ – кут між сторонами $l_{комп}$ та R_{spr}, град;

R_{spr} та R'_{spr} – див. вираз (3).

Оскільки значення R_{spr} та R'_{spr} чисельно рівні, то й величини кутів β і γ також рівні. Отже, вказаний трикутник є рівнобедреним. Таким чином, не складно визначити радіальний розмір R_{spr}, на якому розташовані пружинні елементи. Виразивши величину R_{spr} із (4), отримаємо вираз (5) для визначення радіального розміру, на якому розташовані пружинні елементи компенсаторів кутових похибок залежно від величин необхідного компенсувального кута Δ_α та лінійного переміщення компенсувальних елементів $l_{комп}$. Останнє приймається конструктором з урахуванням пружних властивостей матеріалу, що обирається для пружинних елементів та необхідних умов функціонування.

$$R_{spr} = \frac{l_{комп} \cdot sin\left(\frac{180 - \Delta_{\alpha комп}}{2}\right)}{sin\Delta_{\alpha комп}}, \quad (5)$$

де $\Delta_{\alpha комп}$ – величина переміщень компенсатора кутових похибок встановлення, град;

$l_{комп}$ – величина лінійного переміщення компенсувальних елементів, мм.

Результати розрахунків радіальних розмірів розміщення пружинних елементів компенсаторів R_{spr} для різних величин компенсувального кута, наприклад, $\Delta_{\alpha комп} = 5°$, $\Delta_{\alpha комп} = 7°$, $\Delta_{\alpha комп} = 9°$, $\Delta_{\alpha комп} = 11°$, що відповідають певним значенням похибки позиціонування СхПР $\Delta_{ПР}$ (за рис. 3) при відстані точки C_t від лівого торця OM_{t-1} $h_{B_t - C_t} = 17$ мм наведено на графіку (рис. 4).

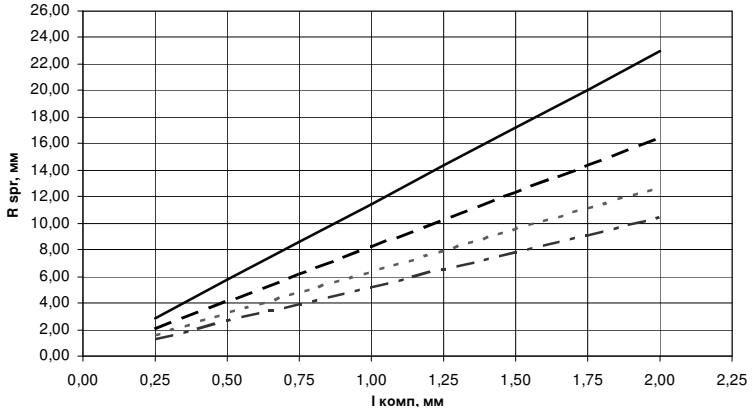

Рисунок 4. Графік залежності радіального розміру R_{spr} від величини лінійного переміщення компенсувальних елементів $l_{комп}$ для різних величин компенсувального кута:

— $\Delta_{\alpha комп} = 5°$; - - - $\Delta_{\alpha комп} = 7°$; ····· $\Delta_{\alpha комп} = 9°$; - · - · - $\Delta_{\alpha комп} = 11°$

Figure 4. Plot of the radial size R_{spr} dependence on the compliance elements $l_{комп}$ linear moving size for different size of the compliance angle:

— $\Delta_{\alpha комп} = 5°$; - - - $\Delta_{\alpha комп} = 7°$; ····· $\Delta_{\alpha комп} = 9°$; - · - · - $\Delta_{\alpha комп} = 11°$

Висновки. Виявлено ряд аналітичних залежностей, що пов'язані з геометричними параметрами конструктивних елементів ВА СхПР, які враховують довжину OM_{t-1} та відстані полюса СхПР від лівого торця OM_{t-1} у системі координат OM_{t-1}. З рис. 5 можна зробити висновок, що збільшення похибки позиціонування призводить до зменшення радіуса розміщення пружинних елементів ВА СхПР, що, в свою чергу, впливає на конструктивні параметри ВА СхПР.

Conclusion. As a result of provided investigations some dependences are revealed, which are related to geometrical parameters of The Adaptive Unit constructive elements including handling object's length and the distance between industrial gripper's pole point and left end face of handling object in the handling object coordinate system. From Fig. 5 it can be concluded that the pose error increasing reduces the radius of The Adaptive Unit spring elements placement, which in turn impacts on constructive parameters of The Adaptive Unit of Industrial Robots'.

Список використаної літератури

1. Кирилович, В.А. Адаптивність схватів промислових роботів як напрям підвищення ефективності роботизованих механоскладальних технологій [Текст] / В.А. Кирилович, І.Ю. Черепанська, А.Ю. Сазонов // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 1 (52). – С. 17 – 23.
2. Кирилович, В.А. Адаптивність схватів промислових роботів механообробних ГВК [Текст] / В.А. Кирилович, І.Ю. Черепанська, А.Ю. Сазонов // Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла: збірник наукових праць / Дніпропетровський національний університет. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2010. – Випуск 11. – С. 119 – 125.
3. Адаптивність елементів технологічної роботизованої системи металообробки в умовах конфлікту сили [Текст]: матеріали міжнародної науково-технічної конференції / В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – Т. 2. – С. 86 – 88.
4. Пат. на корисну модель № 58988 Україна, МПК B 25 J 15/00. Очутливлений кистьовий суглоб маніпулятора промислового робота [Текст] / Кирилович В.А., Сазонов А.Ю.; заявник та патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – № u201013982; заявл. 23.11.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
5. Kyrylovych, V. Unit of adaptation grippers of industrial robots / V. Kyrylovych, A. Sazonov // Mechanika z. 81. – Poland, Rzeszow, 2010. – P. 15 – 17.

Отримано 22.02.2013