

**ГОДУНКО МАКСИМ**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0003-2649-5040>  
e-mail: [maksimgodunko83@gmail.com](mailto:maksimgodunko83@gmail.com)

**ВІТАЛІЙ МАЖАРА**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-7451-3798>  
e-mail: [majara@ukr.net](mailto:majara@ukr.net)

**КИСЛУН ОЛЕГ**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-6059-3731>  
e-mail: [Kyslun@gmail.com](mailto:Kyslun@gmail.com)

**ЩЕРБИНА ВОЛОДИМИР**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
<https://orcid.org/0009-0004-0105-3216>  
e-mail: [Shcherbinavk@gmail.com](mailto:Shcherbinavk@gmail.com)

**ПИСАНКА СЕРГІЙ**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
<https://orcid.org/0009-0001-8821-450>  
e-mail: [sergii.pysanka@gmail.com](mailto:sergii.pysanka@gmail.com)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАХВАТНОГО ПРИБОРУ РОБОТА ЗА РАХУНОК КОМПЕНСУЮЧОЇ ЛАНКИ ЗАТИСКНОГО ВАЖЕЛЯ**

*Сучасне машинобудівне виробництво передбачає використання передових технологій, постійне вдосконалення обладнання та технологічних процесів виготовлення деталей. Значна увага в цьому питанні приділяється автоматизації виробничих процесів. У гнучкому виробництві одним із основних елементів є промислові роботи, які обслуговують основне технологічне обладнання. Одним із основних завдань якісного та ефективного виконання роботом операцій є точність його позиціонування, яка характеризується мінімально допустимою похибкою досягнення положення захватного пристрою. В роботі наведено результати досліджень точності важільних захватних пристроїв, а саме похибки позиціонування деталі у їх затискних елементах, та запропоновано методику зменшення величини похибки зміщення деталі за рахунок компенсуючої ланки. Виведено рівняння для визначення конструктивних та функціональних складових, які впливають на виникнення даної похибки. Досліджено вплив відповідних величин на похибку зміщення деталі в захватному пристрої робота, надано висновки і рекомендації вирішення поставленої задачі.*

*Ключові слова:* захватні пристрої, промислові роботи, компенсуюча ланка, похибка зміщення деталі.

HODUNKO MAKSYM, MAZHARA VITALII, KYSLUN OLEG, SHCHERBINA VOLODYMYR, PYSANKA SERHII  
Central Ukrainian National Technical University

## **STUDY OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE ACCURACY OF THE ROBOT GRIPPING DEVICE DUE TO THE COMPENSATING LINK OF THE CLAMPING LEVER**

*Modern machine-building production involves the use of advanced technologies, constant improvement of equipment and technological processes of manufacturing parts. Considerable attention in this matter is paid to the automation of production processes. In flexible production, one of the main elements is industrial robots that serve the main technological equipment. One of the main tasks of high-quality and efficient performance of operations by a robot is its positioning accuracy, which is characterized by the minimum permissible error of reaching the position of the gripping device. In addition, there is a problem of displacement of the axis of the part in the gripping device when capturing parts of different diameters. This can be manifested with a significant change in the diameter of the part before and after processing, or with a change in the standard size of products. Therefore, it is urgent to solve the issue of the accuracy of the clamping of parts by the robot through constructive improvements or theoretical calculations. Features of the work of industrial robots and their gripping devices require high requirements for executive mechanisms. When choosing or designing gripping devices, it is necessary to take into account their ability to work with different parts, as well as the fact that they are placed on the final link of the robot arm, which during its work performs multi-vector spatial movements with high speeds and accelerations. All these factors affect the accuracy of the grip. Therefore, research is being conducted with the aim of finding ways to reduce the errors of capturing parts and improve the functionality of the robot locally, by changing the length of the clamping levers. Therefore, the error of displacement of the part in the gripping device occurs when the part is clamped with a diameter different from the nominal one. In some cases, such an error can be more than 10 mm, which is not acceptable when the robot is servicing the main technological equipment, or when performing assembly operations. But the amount of error can be reduced to an acceptable value, and even reduced to "0", using the proposed method, or by reprogramming the trajectory of the movement of the industrial robot to compensate for the positioning accuracy by the amount of error that occurs when the part is clamped.*

*Key words:* gripping devices, industrial works, compensating link, part displacement error.

### **Постановка проблеми**

Сучасне машинобудівне виробництво передбачає використання передових технологій, постійного вдосконалення обладнання та технологічних процесів виготовлення деталей. Значна увага в даному питанні приділяється автоматизації виробничих процесів. В гнучкому виробництві одним з основних елементів є промислові роботи, які обслуговують основне технологічне обладнання. Однією з основних задач якісного

та ефективного виконання операцій роботом є його точність позиціонування, яка характеризується мінімально допустимою похибкою виходу на позицію захватного пристрою. Крім того існує проблема зміщення вісі деталі в захватному пристрої при захопленні деталей різних діаметрів. Це може проявлятися при значній зміні діаметра деталі до і після обробки, як це показано на рис.1, або при зміні типорозміру продукції. Тому актуальним є вирішення питання точності затиску роботом деталей шляхом конструктивних вдосконалень, або теоретичних розрахунків.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

За весь період існування та розвитку промислової робототехніки питання точності їх захватних пристроїв був завжди актуальним у зв'язку з тим, що це робочий орган, який постійно контактує з об'єктами виробництва різної форми, матеріалу та властивостей. У процесі маніпулювання об'єктами виробництва, вони не мають бути пошкоджені, при цьому цикл роботи робота також має бути точно відпрацьований за певний проміжок часу згідно такту виробництва. Найбільш ґрунтовно всі ці питання розглядалися в дослідженнях І.І. Павленка, М.О. Годунка [1], G.J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk [2], Я.І. Проць [3], S. Hesse [4] та ін. Особливу увагу точності захватних пристроїв приділено саме в працях І.І.Павленка та Stefan Hesse. Саме їх дослідження взято за основу ідеї зменшення похибки зміщення деталі за рахунок зміни довжини затискних важелів.

#### Постановка завдання

Особливості роботи промислових роботів та їх захватних пристроїв потребують високих вимог до виконавчих механізмів. При виборі або проектуванні захватних пристроїв потрібно враховувати їх можливість працювати з різними деталями, а також те, що вони розміщені на кінцевій ланці руки робота, яка в процесі його роботи здійснює різновекторні просторові рухи з великими швидкостями та прискореннями. Всі ці чинники впливають на точність роботи захвату. Тому дослідження проводяться з метою знаходження способів зменшити похибки захоплення деталей та покращити функціональні можливості робота локально, за допомогою зміни довжини затискних важелів

#### Викладення основного матеріалу

Захватні пристрої роботів з обертовими затискними важелями та призматичними затискними елементами забезпечують надійне утримування деталей різних розмірів. Таке виконання захватів призводить до того, що утримування деталей різних діаметрів здійснюється при різному положенні їх центрів (рис. 1). Це створює проблеми при завантаженні та розвантаженні роботом верстатів з ЧПУ. Тобто робот встановлює на верстат заготовку одного діаметра, а після її обробки знімає деталь іншого діаметра. Подібні ситуації можуть виникати при виконанні роботом складальних операцій. Зміна положення центра деталей відбувається за рахунок того, що деталі контактують з бічними поверхнями затискних призм у різних точках, що забезпечується обертотворним рухом затискних важелів. Для більш зручного відображення процесу зміщення деталі, вводиться поняття номінального діаметра [2]. Таким чином можливо узагальнити положення деталі до трьох варіантів: 1 – утримування деталі номінального діаметра  $D_{ном}$ , коли похибка зміщення дорівнює нулю, 2 – утримування деталі меншого за номінальний діаметру  $D_m$ , 3 – утримування деталі більшого за номінальний діаметру  $D_b$  (див. рис. 1).

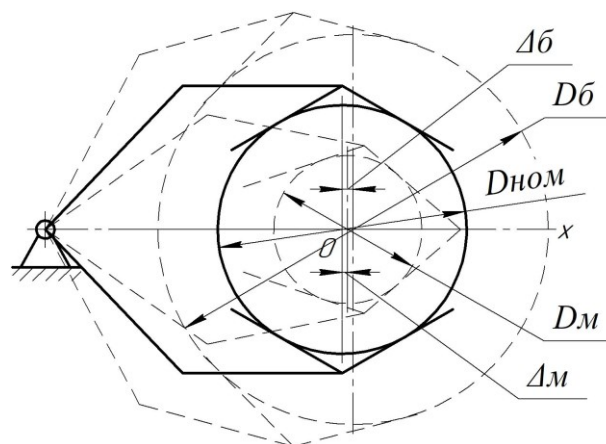


Рис. 1. Положення деталей різних розмірів в захватному пристрої  
Джерело: розроблено авторами [4]

Одним із способів компенсації похибки при затиску захватом деталі діаметром відмінним від номінального, є програмне корегування траєкторії руху ланок робота. Але в сучасних 5-осьових промислових роботах подібний перерахунок траєкторії руху торкнеться перепрограмування кожного приводу рухомих ланок робота, що призведе до деяких ускладнень за умови швидкого і якісного виконання роботом поставлених задач. Враховуючи вище сказане, пропонуємо вирішувати проблему локально, а саме введенням компенсуючих ланок в кінематику захватного пристрою. Такими ланками можуть бути, наприклад, затискні важелі, або частини затискних важелів, які можуть змінювати свою довжину. У зв'язку з появою та широким використанням лінійних серво-приводів у робототехніці, конструктивно дану ідею легко реалізувати.

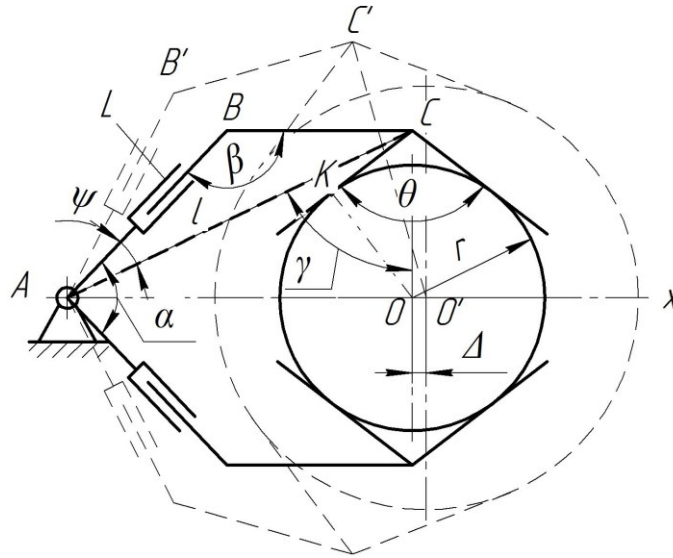


Рис. 2. Розрахункова схема визначення похибки зміщення деталі  $\Delta$   
 Джерело: розроблено авторами [1]

Отже, в даній статті пропонуємо вирішити проблему точності базування деталі типу тіло обертання в призмах захватного пристрою за рахунок зміни довжини частини затискного важеля L (рис. 2), яку будемо називати компенсуючою ланкою. Тобто при розкритті затискних важелів на кут  $\alpha$  (рис. 2) для затиску деталі діаметром відмінним від номінального, необхідно збільшити або зменшити довжину компенсуючої ланки L, тим самим зменшуючи похибку зміщення деталі  $\Delta$  до нуля. Компенсація зміщення деталі за рахунок таких ланок може відбуватися у процесі виходу руки робота на позицію захоплення деталі, тобто одночасно з рухом ланок руки робота, що не потребує додаткового часу на переналадження.

Для вирішення поставленої задачі складемо розрахункову схему (рис. 2) з відповідним позначенням та введемо рівняння для визначення довжини компенсуючої ланки L та величини зміщення деталі  $\Delta$ , яка створює похибку базування деталей у захватному пристрої, а відповідно і похибку позиціонування промислового робота. У якості компенсуючої ланки приймаємо частину затискного важеля AB, для зручності позначимо її літерою L.

Отже, на рис. 2 наведено відповідні позначення: L – довжина компенсуючої ланки, BC – довжина не змінної частини важеля, l – плече від точки качання важеля до вершини призми,  $\beta$  – кут між компенсуючою ланкою L та не змінною ланкою BC,  $\theta$  – кут затискних призм, r – радіус деталі,  $\alpha$  – кут розкриття важелів,  $\gamma$  – кут між плечем l та віссю деталі,  $\psi$  – кут між компенсуючою ланкою L та плечем l.

Провівши ряд обчислень, було виведено рівняння для визначення довжини компенсуючої ланки важеля L, що дорівнює відстані AB:

$$L = |AB| = \frac{|OC|}{\sin \beta} = \frac{r}{\sin(\theta/2) \cdot \sin(\beta)} \quad (1)$$

Визначивши відповідні складові, було виведено рівняння для розрахунку величини зміщення центру деталі відносно його номінального значення, враховуючи кути розкриття затискних важелів, затискної призми та кута повороту затискної призми:

$$\Delta x = l \cdot \sin \gamma \cdot \left( \frac{1}{\sin(\frac{\alpha}{2} - \psi + \gamma)} - 1 \right), \quad (2)$$

де довжину плеча від точки качання важеля до вершини затискної призми l визначаємо за формулою:

$$l = |AC| = \sqrt{\frac{r^2}{\sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot \sin^2 \beta} + |BC|^2 - 2|BC| \cdot \frac{r \cdot \cos \beta}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \beta}}, \quad (3)$$

а кут між плечем та віссю деталі  $\gamma$  за формулою:

$$\gamma = \arccos \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta} + \frac{|BC|^2}{r^2} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2} - 2 \frac{|BC| \cdot \cos \beta \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{r \cdot \sin \beta}}}, \quad (4)$$

і відповідно кут між компенсуючою ланкою L та плечем l визначаємо за формулою:

$$\psi = \arcsin \left( \frac{|BC| \cdot \sin \beta}{\sqrt{\frac{r^2}{\sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot \sin^2 \beta} + |BC|^2 - \frac{2r|BC| \cdot \cos \beta}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \beta}}} \right). \quad (5)$$

Для того, щоб показати величину та вагомість впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  на похибку зміщення деталі  $\Delta$  при різних значеннях діаметра деталі (у розрахунках позначено через радіус  $r$ ), побудуємо відповідні залежності:

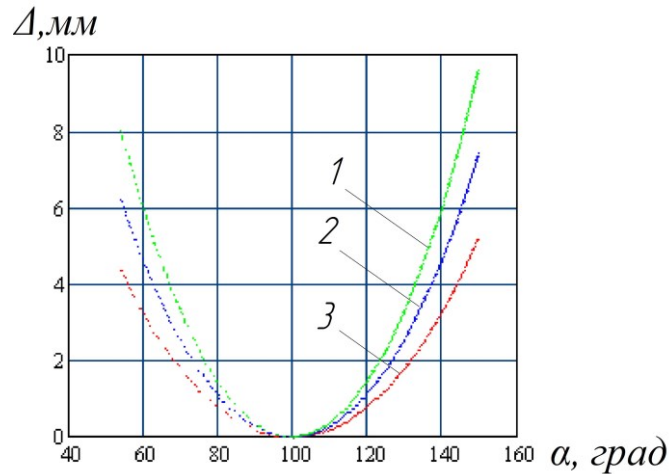


Рис. 3. Розрахункова схема визначення похибки зміщення деталі  $\Delta$ :  
 1 –  $\Delta(\alpha)$  при  $r = 60$ ,  $BC = 35$ ,  $\theta = 120^\circ$ ,  $\beta = 130^\circ$ ; 2 –  $\Delta(\alpha)$  при  $r = 38$ ,  $BC = 35$ ,  $\theta = 120^\circ$ ,  $\beta = 130^\circ$ ;  
 3 –  $\Delta(\alpha)$  при  $r = 16$ ,  $BC = 35$ ,  $\theta = 120^\circ$ ,  $\beta = 130^\circ$   
 Джерело: розроблено авторами [1]

Враховуючи можливість змінювати довжину компенсуючої ланки, побудуємо поверхню відгуку, де буде відображено одночасний вплив кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на похибку зміщення деталі  $\Delta$ :

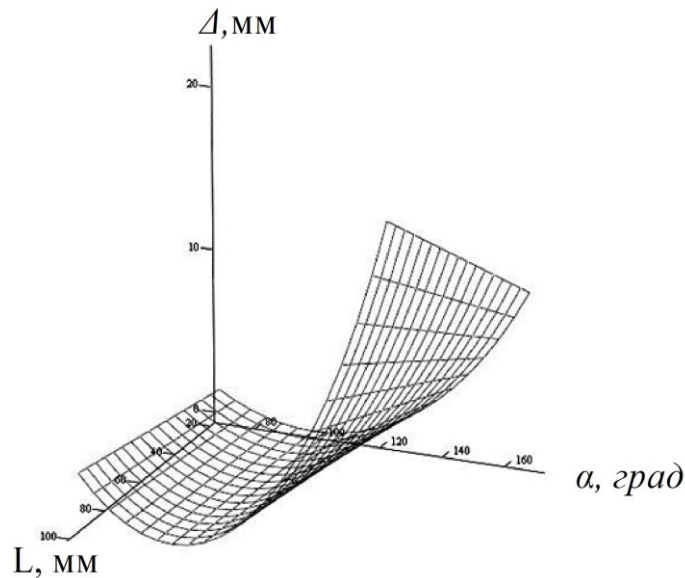


Рис. 4. Поверхня відгуку впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на зміщення деталі  $\Delta$   
 Джерело: розроблено авторами [1]

Виходячи з конструктивних особливостей важільних захватних пристроїв видно, що найбільш зручно контролювати зміщення деталі відстанню  $AO'$ . Також в конструкцію захватного пристрою можливо встановлювати датчик для вимірювання даної відстані, що є достатньо практичним рішенням. Тому було виведено рівняння для знаходження відстані  $AO'$  із врахуванням кута розкриття важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$ :

$$AO' = \frac{L \cdot \cos \beta - |BC|}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)} \quad (6)$$

За приведеним рівнянням також було побудовано поверхню відгуку впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на відстань  $AO'$ , яка характеризує величину зміщення вісі деталі відносно точки качання затискних важелів.

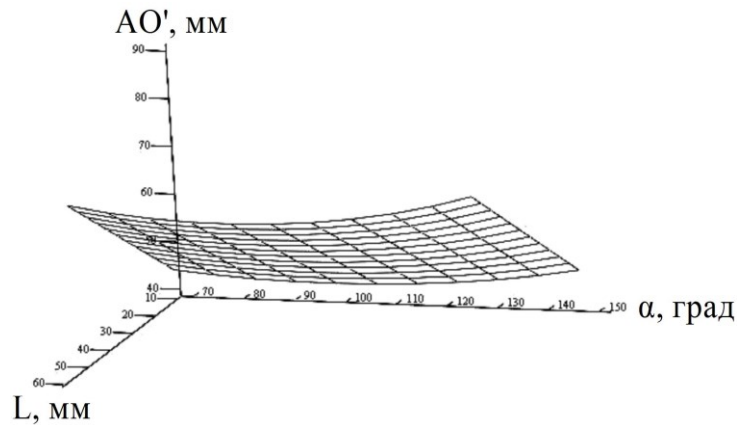


Рис. 5. Поверхня відгуку впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на відстань  $AO'$   
Джерело: розроблено авторами [1]

### Висновки

Згідно отриманих залежностей видно, що у процесі затиску захватним пристроєм робота деталей різних діаметрів затискні важелі розкриваються на певний кут  $\alpha$ , який має значний вплив на похибку зміщення деталі  $\Delta$  (рис.3). При розкритті затискних важелів на кут  $\alpha$  від  $100^\circ$  до  $160^\circ$ , захватний пристрій затискає деталі діаметрами в інтервалі від номінального значення до максимального, при цьому похибка зміщення деталі  $\Delta$  зростає від 0 до 10 мм. При зменшенні кута  $\alpha$  зі  $100^\circ$  до  $60^\circ$  затискні важелі закриваються для утримання деталі діаметром меншим за номінальний, де похибка також має місце в залежності від особливостей кінематики пристрою. Затиск деталі діаметром меншим за номінальний у деяких випадках можливий завдяки підрізанням передніх затискних елементів, коли вони заходять один в одного.

Отже, кут розкриття затискних важелів  $\alpha$  є функціональною характеристикою і залежить він від діаметра деталі, що затискає пристрій робота. Тому нами і було введено змінну конструктивну величину, а саме компенсуючу ланку  $L$ , для можливості впливу на процес затиску деталі. На рис.4 показано поверхню відгуку одночасного впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на похибку зміщення деталі  $\Delta$ . За поверхнею відгуку можна побачити, що зменшуючи довжину компенсуючої ланки, при затиску деталі діаметром більшим за номінальний, можливо звести похибку зміщення деталі в «0», тобто привести до показників, які відповідають значенню «номінального» діаметра.

Також при проведенні досліджень знайдено практичне рішення контролю величини зміщення деталі, а саме за рахунок відстані від точки качання важелів до центру деталі, що затискається, - відстань  $AO'$ . На рис.5 відображено поверхню відгуку впливу кута розкриття затискних важелів  $\alpha$  та довжини компенсуючої ланки  $L$  на відстань  $AO'$ . Дана поверхня відгуку подібна до попередньої, різниця тільки у масштабі, так як сама відстань  $AO'$  значно більша за довжину зміщення деталі  $\Delta$ .

Тобто з усього вище сказаного видно, що похибка зміщення деталі в захватному пристрої має місце при затиску деталі діаметром відмінним від номінального. У деяких випадках така похибка може бути більше за 10 мм, що не прийнятно при обслуговуванні роботом основного технологічного обладнання, або при виконанні складальних операцій. Але величину похибки можливо зменшити до допустимого значення, і навіть звести до «0», використавши запропоновану вище методику, або шляхом перепрограмування траєкторії руху промислового робота для компенсації точності позиціонування на величину похибки, що виникає при затиску деталі.

### Література

1. Павленко І.І., Годунко М.О. Захватні пристрої роботів : монографія. Кропивницький : Видавництво ТОВ «КОД», 2020. 386 с.
2. Monkman G., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. Robot grippers. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. 452 p.
3. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. 232 с.
4. Hesse S. Greifertechnik: effektoren für roboter und automaten. Carl Hanser Verlag München, unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2011. 280 p.

### References

1. Pavlenko I.I., Hodunko M.O. Grippers of robots: monograph. Kropyvnytskyi: "CODE" LLC Publishing House. 2020. 386 p.
2. Monkman G., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. Robot grippers. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. 452 p.
3. Procy Y. I. Grippers of robots: a study guide. Ternopil : Ternopil State Technical University named after I. Pulyuya, 2008. 232 p.
4. Hesse S. Greifertechnik: effektoren für roboter und automaten. Carl Hanser Verlag München, unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2011. 280 p.