

РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

УДК 007.52

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1\(32\).202-210](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.1(32).202-210)

І. І. Павленко, проф., д-р техн. наук, **М.О. Годунко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: pavlenkoi@ukr.net

Розрахунок не зрівноважено утримуваних деталей захватними пристроями роботів

Виконано обґрунтування розрахунку сил затиску в захватному пристрої робота при утриманні деталей зі зміщеним центром мас. Виведено формули для розрахунку даних сил. Встановлено залежності між основними конструктивними характеристиками захватного пристрою та силами затиску.
захватні пристрої, сили затиску, промисловий робот

И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, **М.О. Годунко**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина
Расчет неуравновешенно удерживаемых деталей схватами роботом

Выполнено обоснование расчета сил зажима в захватном устройстве робота при содержании деталей со смещенным центром тяжести. Выведены формулы для расчета данных сил. Установлены зависимости между основными конструктивными характеристиками захватного устройства и силами зажима.

захватные устройства, силы зажима, промышленный робот

Постановка проблеми. Захватні пристрої є одним із відповідальних виконавчим (робочим) органом промислових роботів. Головною їх особливістю є те, що вони представляють собою кінцеву частину просторово незамкненої руки робота, яка повинна здійснювати високошвидкісні зворотно-поступальні (оберткові) рухи з необхідною точністю. При цьому захват повинен надійно утримувати транспортовані деталі маючи мінімальну свою масу. Все це можливе при виконанні точних їх розрахунків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В значній кількості виконуваних роботом операцій захвату приходиться утримувати не зрівноважено затиснуті ним деталі. Це може мати місце, як при початковому їх захопленні, так і в процесі циклу функціонування робота з деталлю коли він установлює її на верстат де вона оброблюється і отримує іншу форму та розміри. Всі ці особливості призводять до зміни силового навантаження на захватний пристрій, а, відповідно, до зміни працездатної його якості.

Першим кроком у дослідженні цих питань є визначення необхідних сил затиску утримуваних деталей. Для цього з урахуванням всіх вихідних умов складаємо розрахункову схему (рис. 1), де деталь затиснута захватом при несиметричному (не зрівноваженому) її розміщенні. В раніше виконаних дослідженнях [1] встановлено, що при визначенні сил затиску деталей, по таким розрахунковим схемам, може мати місце умова де кількість складених рівнянь рівноваги утримуваної деталі менше кількості невідомих сил затиску. Тому для вирішення поставленого завдання приймалась

додаткова умова коли визначаються мінімально необхідні сили затиску, які потім збільшуються на потрібний коефіцієнт запасу. Таку ж умову приймаємо і в даних розрахунках.

Постановка завдання. Таким чином, метою даних досліджень є розробка методики визначення сил затиску при утриманні роботом деталей зі зміщеним центром мас, з урахуванням конструктивних особливостей захватного пристрою, умов затиску та виконуваних рухів промисловим роботом.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до наведеної схеми на затиснуту деталь вертикально розміщеним захватним пристроєм діють ексцентрично прикладені сила ваги деталі G і сила інерції I з плечем h . Таким чином, на захватний пристрій окрім зовнішніх сил G та I діє момент від цих сил, які повинні зрівноважуватись силами затиску.

Спочатку визначаємо загальний розподіл необхідних сил затиску між окремими частинами затискних призм, так як умовою рівноваги затиснутої деталі є сили затиску, які розміщуються по протилежним (крайнім) площинам затискних призм.

Відповідно до наведеної схеми (рис. 1, а) рівняння рівноваги будуть:

$$\sum M_A = (G + I)h - R_{2B}b = 0, \quad (1)$$

звідки

$$R_{2B} = (G + I)\frac{h}{b} \quad (2)$$

при $h = 0$; $R_{2B} = 0$

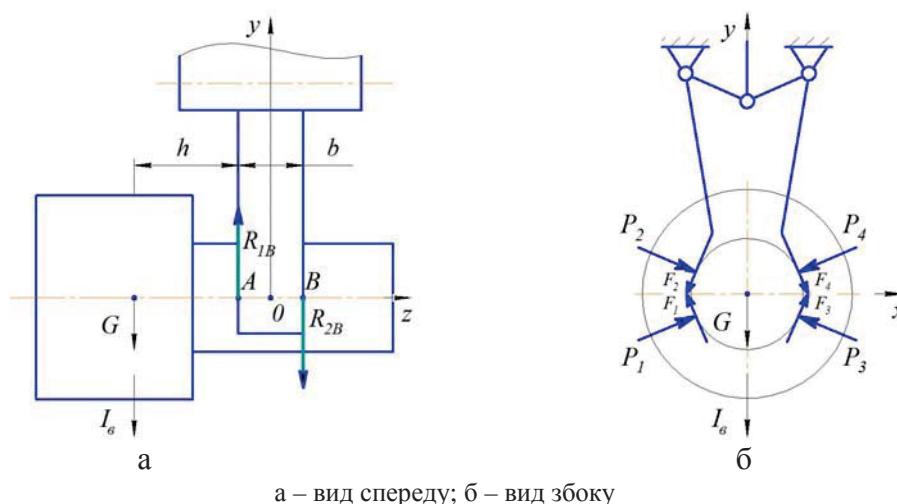
$$\sum M_B = (G + I)(h + b) - R_{1B}b = 0, \quad (3)$$

звідки

$$R_{1B} = (G + I)\frac{h + b}{b} \quad (4)$$

при $h = 0$; $R_{1B} = G + I$

Для визначення конкретного розподілу сил по окремих точках затиску деталі (сили – P_1 ; P_2 ; P_3 ; P_4) розглянемо схему представлену на рис. 1, б.



а – вид спереду; б – вид збоку

Рисунок 1 – Розрахункова схема для вертикально навантаженого захватного пристрою
Джерело: розроблено авторами

В даній схемі нижні складові сил затиску (ліва частина затискних призм) P_1 та P_3 формують своїми вертикальними проекціями силу R_{1B} :

$$R_{1B} = P_1 \cos \frac{\alpha}{2} + F_1 \sin \frac{\alpha}{2} + P_3 \cos \frac{\alpha}{2} + F_3 \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (5)$$

де F_1 і F_3 – сили тертя в точках контакту затискних призм з деталлю.

$$F_1 = fP_1; F_3 = fP_3, \quad (6)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Так як схема симетрична відносно вертикальної вісі то $P_1 = P_3 = P$, а відповідно:

$$F = F_1 = F_3 = fP. \quad (7)$$

Підставляючи у вихідне рівняння отримаємо:

$$R_{1B} = P_1 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right) + P_3 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right). \quad (8)$$

Враховуючи те, що наведена розрахункова схема симетрична відносно вертикальної вісі, то

$$P_1 = P_3 = \frac{R_{1B}}{2 \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (9)$$

або підставляючи раніше визначену величину сили R_{1B} отримаємо:

$$P_1 = P_3 = (G + I) \frac{h + b}{2b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (10)$$

Подібно верхні складові сил затиску (права частина затискних призм) P_2 та P_4 формують вертикальними складовими силу R_{2B} :

$$R_{2B} = P_2 \cos \frac{\alpha}{2} + F_2 \sin \frac{\alpha}{2} + P_4 \cos \frac{\alpha}{2} + F_4 \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (11)$$

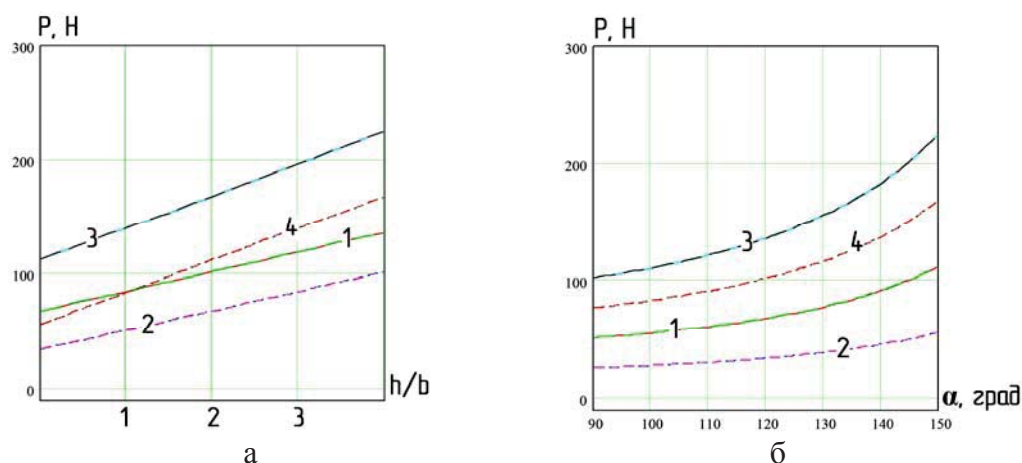
Повторюючи перетворення як у попередньому варіанті кінцево отримаємо:

$$P_2 = P_4 = (G + I) \frac{h}{2b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (12)$$

Із отриманих формул видно, що сили P_1 та P_3 більші за сили P_2 та P_4 і чим більше плече, тим більша різниця між силами R_1 та R_2 . Детально вплив параметрів затискної схеми на величину сил затиску (P_i) представлено на графіках (рис. 2).

Із отриманих залежностей видно, що збільшення плеча (h) прикладання зовнішніх сил G і I призводить до лінійного інтенсивного зростання необхідних сил затиску, та появи згинаючого моменту, який додатково навантажує конструкцію захватного пристрою. При цьому важливо враховувати, що «дальні» сили затиску P_1 і P_3 мають більше плече їх прикладання до важелів захватного пристрою, а тому це також потрібно враховувати на загальне навантаження захватного пристрою.

Не зрівноваженість затискної системи має місце також тоді коли зовнішні сили G і I прикладені в межах ширини (b) затискних губок пристрою але не по його середині. Для даного випадку зовнішні сили розміщуються між точками А і О. Відповідно максимальні сили R_1 і R_2 будуть при $h = 0$, величина яких при цій умові наведена вище, а при зменшенні плеча до точки «О» сили реакцій також будуть зменшувати переходячи в зрівноважений затиск деталі.



а – залежності сил затиску від плеча прикладання зовнішніх сил (1 – P1 та P3 при $h = 10..30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $\alpha = 120$; 2 – P2 та P4: $h = 10..30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $\alpha = 120$; 3 – P1 та P3: $h = 10..30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $\alpha = 150$; 4 – P2 та P4: $h = 10..30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $\alpha = 150$);
 б – залежності сил затиску від кута затискних призм (1 – P1 та P3 при $\alpha = 90..150$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $b=10$, $h=10$; 2 – P2 та P4 при $\alpha = 90..150$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $b=10$, $h=10$;
 3 – P1 та P3 при $\alpha = 90..150$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $b=10$, $h=30$; 4 – P2 та P4 при $\alpha = 90..150$, $G=20$, $I=20$, $\varphi=0$, $f=0.1$, $b=10$, $h=30$)

Рисунок 2 – Залежності сил затиску від плеча прикладання (h/b) зовнішніх сил та кута (α) затискних призм

Джерело: розроблено авторами

Розглянутий розрахунок виконано для умови затиску захватним пристроєм деталі номінального діаметра коли вершини затискних призм співпадають з віссю симетрії – X. Це є поодиноким прикладом утримання захватом деталей тому, що вони є універсальними пристроями які передбачають роботу з різними розмірами деталей. Один із таких прикладів представлено на рис.3.

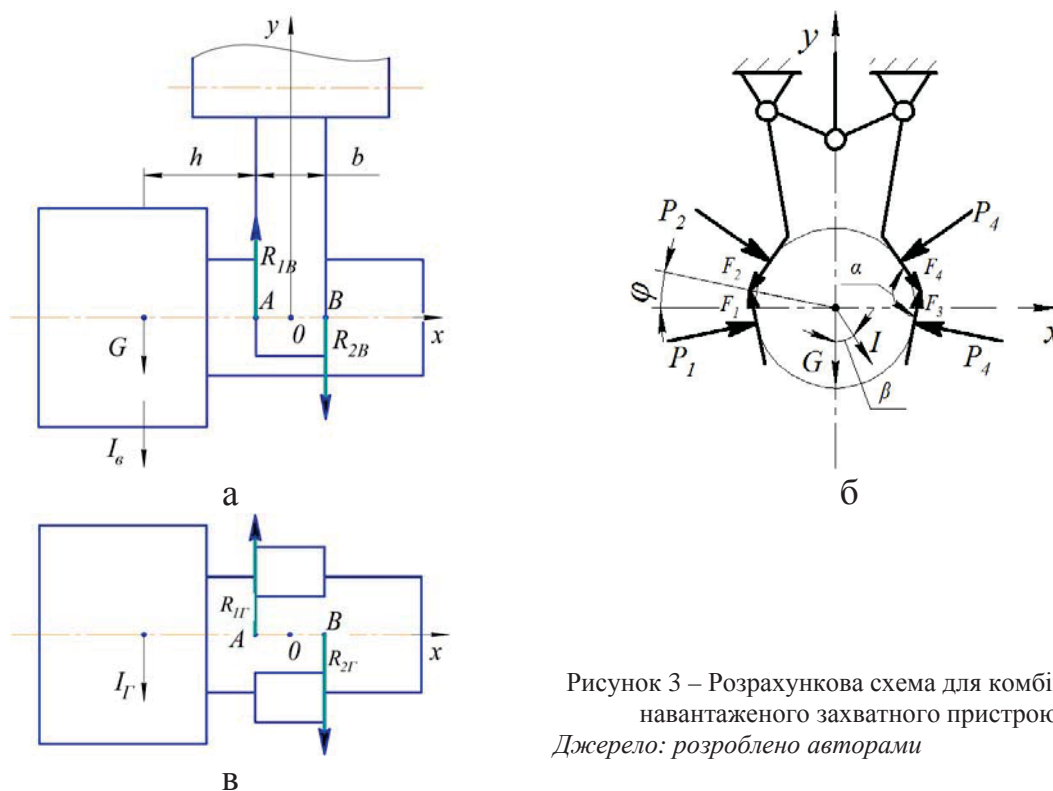


Рисунок 3 – Розрахункова схема для комбіновано навантаженого захватного пристрою
 Джерело: розроблено авторами

Додатковою особливістю розрахунку зазначених пристроїв є врахування того факту, що робот здійснює різні просторові переміщення деталі із значними прискореннями, а тому в розрахунковій схемі показано різний напрямок дії сили ваги деталі і сили її інерції. Таким чином, в розрахункову схему додатково включено: β - кут напрямку сили інерції; φ - кут розміщення вершин призм залежно від діаметра утримуваної деталі.

Визначення загальних сил R_1 та R_2 виконується подібно до вищеведеного прикладу. Першою відмінністю є те, що зовнішні сили G та I діють в різних площинах. Тому спочатку визначаємо загальні сили R_1 та R_2 в цих площинах.

Так у вертикальній площині (рис. 3, а) рівняння рівноваги будуть:

$$\sum M_A = (G + I \cos \beta)h - R_{2B}b = 0, \quad (13)$$

звідки

$$R_{2B} = (G + I \cos \beta) \frac{h}{b}, \quad (14)$$

$$\sum M_B = (G + I \cos \beta)(h + b) - R_{1B}b = 0. \quad (15)$$

Тоді

$$R_{1B} = (G + I \cos \beta) \frac{h + b}{b}. \quad (16)$$

Подібно визначаємо загальні сили в горизонтальній площині:

$$\sum M_A = I \sin \beta \cdot h - R_{2\Gamma}b = 0, \quad (17)$$

звідки

$$R_{2\Gamma} = I \sin \beta \frac{h}{b}, \quad (18)$$

$$\sum M_B = I \sin \beta (h + b) - R_{1\Gamma}b = 0. \quad (19)$$

Тоді

$$R_{1\Gamma} = I \sin \beta \frac{h + b}{b}. \quad (20)$$

Після цього переходимо до розподілу визначених сил між окремими силами затиску – P_1 . Для цього складаємо рівняння рівноваги утримуваної деталі в різних площинах. Для вертикальної площини таке рівняння має вид (рис. 3, а, в):

$$R_{1B} = P_{1B} \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) + F_{1B} \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) + P_{3B} \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) + F_{3B} \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right). \quad (21)$$

Враховуючи симетричність схеми отримаємо:

$$P_{1B} = P_{3B} = \frac{R_{1B}}{2\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) + f \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right)\right)}; \quad (22)$$

або

$$P_{1B} = P_{3B} = (G + I \cos \beta) \frac{h + b}{2b\left(\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) + f \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right)\right)}. \quad (23)$$

Відповідно визначаємо сили R_{2B} , де в підсумку отримаємо:

$$R_{2B} = P_{2B} \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) + F_{2B} \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) + P_{4B} \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) + F_{4B} \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right). \quad (24)$$

Після подібних перетворень

$$P_{2B} = P_{4B} = (G + I \cos \beta) \frac{h}{2b \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) + f \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) \right)}. \quad (25)$$

Розподіл сил в горизонтальній площині розглядаємо в тій же послідовності. Такі рівняння мають вид (рис. 3, б, в):

$$R_{1r} = P_{3r} \sin \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) + P_{4r} \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right). \quad (26)$$

Так як сили тертя в даному напрямку відсутні, то:

$$R_{3r} = \frac{I \sin \beta \frac{h+b}{b} - P_{4r} \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b}. \quad (27)$$

Для вирішення цього рівняння приймаємо додаткову умову [6], що вертикальні складові сил P_{3r} та P_{4r} між собою зрівноважені через затиснуту деталь, а тому в підсумку отримуємо:

$$R_{3r} = I \sin \beta \frac{(h+b) \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b \sin \alpha}; \quad (28)$$

$$R_{4r} = I \sin \beta \frac{(h+b) \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}{b \sin \alpha}. \quad (29)$$

Подібно визначаємо розподіл сили P_{2r} :

$$R_{2r} = P_{1r} \sin \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) + P_{2r} \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right), \quad (30)$$

де
$$P_{1r} = I \sin \beta \frac{h}{b}. \quad (31)$$

Зрівноваженість сил у вертикальному напрямку $P_{1rB} = P_{2rB}$ отримаємо

$$P_{1B} \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) = P_{2B} \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right), \quad (32)$$

тоді

$$P_{1B} = P_{2B} \frac{\cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}; \quad P_{2B} = P_{1B} \frac{\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}{\cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}. \quad (33)$$

Підставляючи у попереднє рівняння отримаємо в кінцевому виді:

$$P_{1r} = I \sin \beta \frac{h \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b \sin \alpha}; \quad P_{2r} = I \sin \beta \frac{h \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}{b \sin \alpha}. \quad (34)$$

Розрахувавши складові сил затиску в різних площинах переходимо до визначення їх сумарних величин:

$$P_1 = P_{1B} + P_{1r} = (G + I \cos \beta) \frac{h+b}{2 \cdot b \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) + f \sin \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) \right)} + I \sin \beta \frac{h \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b \sin \alpha}; \quad (35)$$

$$P_2 = P_{2B} + P_{2\Gamma} = (G + I \cos \beta) \frac{h}{2 \cdot b \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) + f \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) \right)} + I \sin \beta \frac{h \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b \sin \alpha}; \quad (36)$$

$$P_3 = P_{3B} + P_{3\Gamma} = (G + I \cos \beta) \frac{h+b}{2 \cdot b \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) + f \sin \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right) \right)} + I \sin \beta \frac{(h+b) \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right)}{b \sin \alpha}; \quad (37)$$

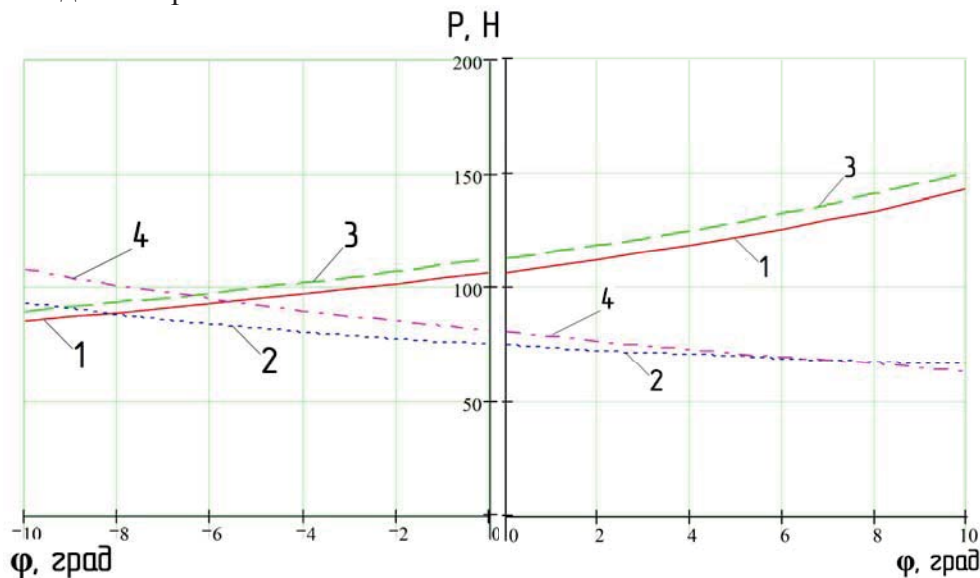
$$P_4 = P_{4B} + P_{4\Gamma} = (G + I \cos \beta) \frac{h}{2 \cdot b \left(\cos \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) + f \sin \left(\frac{\alpha}{2} - \varphi \right) \right)} + I \sin \beta \frac{(h+b) \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \varphi \right)}{b \sin \alpha}. \quad (38)$$

При умові коли кути $\varphi = 0$, $\beta = 0$ сили затиску будуть:

$$P_1 = (G + I) \frac{h+b}{2 \cdot b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}; \quad P_2 = (G + I) \frac{h}{2 \cdot b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}; \quad (39)$$

$$P_3 = (G + I) \frac{h+b}{2 \cdot b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}; \quad P_4 = (G + I) \frac{h}{2 \cdot b \left(\cos \frac{\alpha}{2} + f \sin \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (40)$$

Тобто їх значення дорівнюють силам для попереднього варіанту (рис. 1), що підтверджує правильність їх визначення. В узагальненому виді вплив параметрів розрахункової схеми (рис. 3) подібний до варіанту – рис. 1, а вплив кута φ на сили затиску наведено на рис. 4.



а

б

а – залежності сил затиску від кута зміщення затискних призм нижче вісі деталі (1 – P1, 2 – P2, 3 – P3, 4 – P4 при $\varphi = -10 \dots 0$, $\beta=30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $h=20$, $f=0.1$, $\alpha=120$);

б – залежності сил затиску від кута зміщення затискних призм вище вісі деталі (1 – P1, 2 – P2, 3 – P3, 4 – P4 при $\varphi = 0 \dots 10$, $\beta=30$, $b=10$, $G=20$, $I=20$, $h=20$, $f=0.1$, $\alpha=120$)

Рисунок 4 – Залежності сил затиску від кута зміщення затискних призм (φ)

Джерело: розроблено авторами

Висновки. В результаті дослідження сил затиску в захватному пристрої при утриманні деталі зі зміщеним центром мас отримано такі результати:

1. Виконані дослідження дозволяють точно визначати діючі силові навантаження на захватний пристрій та обґрунтовано визначати його конструктивні параметри.

2. Використання такого варіанту не зрівноваженого затиску деталей можливий при не значному зміщенні центру прикладання зовнішніх сил відносно вісі симетрії захватного пристрою та достатній жорсткості його конструкції і максимально можливій ширині затискних важелів.

3. При наявності значних не зрівноважених навантажень на захватний пристрій, може бути доцільним заміна захвата з одною парою затискних важелів на захват з двома парами затискних важелів, де силове їх навантаження визначається за такими ж формулами, але конструкція при цьому може бути більш жорсткою.

Список літератури

1. Павленко І.І., Годунко М.О. Захватні пристрої роботів: навч. посібник. Кіровоград: КНТУ. 2014. 367с.
2. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учеб. пособие. Москва: КНОРУС. 2011. 465с.
3. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann & H.Schunk. (2007) Robot Grippers. G.J. Copyright WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
4. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навч. посібник. Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім.І.Пулюя. 2008. 232с.
5. Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов: учебное пособие. Москва: КНОРУС. 2011, 488с.
6. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК: монографія. Кропивницький: Лисенко В.Ф. 2016. 492с.
7. K.Koskinen. (2016). Design of a smart gripper for industrial applications., 8th June.
8. Causey G.C. & R.D. Quinn. Gripper design guidelines for modular manufacturing. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat.No.98CH36146) n. pag. Web.8 June.
9. Raymond R. Ma & Aaron M. Dollar. (2016) Yale Openhand Project - Model T. Eng.yale.edu. N.p.. Web. 21 June.

Referencis

1. Pavlenko, I.I. & Ghodunko, M.O. (2014). *Zakhvatni prystroji robotiv [Robot grippers]*. Kirovograd: KNTU [in Ukrainian].
2. Kozыrev, Yu.G. (2011). *Zakhvatnye ustroystva i instrumenty promyshlennykh robotov [Gripping devices and tools of industrial robots]*. Moscow: KNORUS [in Russian].
3. Monkman, S.Hesse, Steinmann, R. & Schunk, H. (2007). Robot Grippers. G.J. Copyright WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
4. Procyj, Ja.I. (2008). *Zakhopljuvaljni prystroji promyslovykh robotiv [Gripping devices for industrial robots]*. Ternopil: Ternopil'skyj derzhavnyj tekhnichnyj universytet im.I.Puljuja [in Ukrainian].
5. Kozыrev, Yu.G. (2011). *Primenenie promyshlennykh robotov [The use of industrial robots]*. Moscow: KNORUS [in Russian].
6. Pavlenko, I.I. (2016). *Promyslovi roboty ta RTK [Industrial robots and RTC]*. Kropyvnyckyj: Vydavecj Lysenko V.F. [in Ukrainian]
7. Koskinen, K. (2016). Design of a smart gripper for industrial applications., 8th June.
8. Causey, G.C. & Quinn, R.D. (2016). Gripper design guidelines for modular manufacturing. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat.No.98CH36146) n. pag. Web.8 June.
9. Raymond, R. Ma & Aaron, M. Dollar. (2016). Yale Openhand Project - Model T. Eng.yale.edu. N.p.. Web. 21 June.

Ivan Pavlenko, Prof., DSc., **Maxym Hodunko**, Assos. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
Calculation of Unbalanced Parts Grippers by Robots

The substantiation of the calculation of the clamping forces in the gripping device of the robot with the maintenance of parts with an offset center of gravity. The formulas for calculating these forces are derived. Dependencies between the main design characteristics of the gripping device and the clamping forces are established.

Grippers are one of the responsible executive bodies of industrial robots. Their main feature is that they represent a finite part of the spatially unlocked hand of the robot, which must perform high-speed reciprocating (rotating) movements with the required accuracy. In this case, the grip must reliably hold the transported parts with a minimum of their mass. All this is possible when performing their exact calculations. In a large number of robots of capture operations, it is necessary to keep parts that are not evenly squeezed into it. This may take place, both during initial capture and during the cycle of the operation of work with the detail when it sets it on a machine where it is processed and gets a different shape and size. All these features lead to a change in the power load on the gripper, and, accordingly, to change the working capacity of its quality.

The first step in the study of these issues is to determine the required clamping forces of the retained parts. To do this, taking into account all baseline conditions, we compile a calculation scheme, where the detail is clamped with the capture with an asymmetric (not balanced) its placement. In earlier studies, it was found that in determining the forces of clamping of parts, according to such calculation schemes, there may be a condition where the number of complicated equations of equilibrium of the held part is less than the number of unknown clamping forces. Therefore, an additional condition was adopted for solving the task, when the minimum required clamping forces were determined, which then increased to the required stock factor. The same condition we accept in these calculations.

gripping devices, clamping forces, industrial robot

Одержано (Received) 22.05.2019

Прорецензовано (Reviewed) 28.05.2019
Прийнято до друку (Approved) 04.06.2019