

Визначення розрахункових сил затиску в захватних пристроях промислових роботів

М.О. Годунко • І.І. Павленко

Центральноукраїнський національний технічний університет м. Кропивницький, Україна

Received: 04 March 2019 / Accepted: 18 March 2019

***Анотація.** Статтю присвячено проблемі створення методики визначення реальних розрахункових сил затиску в захватних пристроях роботів і виконання дослідження впливу силового навантаження на конструктивні елементи виконавчих механізмів роботів, що дозволить отримувати конструкції захватних пристроїв з мінімальними масо-габаритними характеристиками. Обґрунтовано необхідність проведення силового розрахунку захватних пристроїв і їх конструктивних характеристик. Наведено основні етапи визначення реальних сил затиску при різних варіантах орієнтації захватного пристрою в просторі з урахуванням напрямків руху руки робота. Виведено рівняння по визначенню величини мінімально необхідних сил затиску і додаткових сил, які в сумі дадуть величину розрахункових реальних сил затиску. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів захватних пристроїв і режимів їх функціонування на величину розрахункових сил затиску.*

***Ключові слова:** захватний пристрій робота, промисловий робот, мінімальні, додаткові і розрахункові реальні сили затиску*

Постановка проблеми

Сучасний етап інтенсивного науково-технічного розвитку створює необхідну базу для прискореного вдосконалення виробництва. Разом з ринковими умовами все це вимагає постійного оновлення виготовлюваної продукції. Для цього інтенсивно впроваджується гнучке виробництво, основною базою якого є обладнання з програмним керуванням, комп'ютерна техніка та промислові роботи. Від якості такої техніки в значній мірі залежить ефективність її використання, а відповідно і загальна ефективність виробництва. В цьому плані важливе місце відводиться промисловим роботам, які вважаються головними засобами автоматизації. Відповідно, в наш час багато уваги приділяється створенню більш якісних конструкцій промислових роботів, що є актуальним питанням.

Аналіз попередніх досліджень

За час існування та розвитку промислової робототехніки питання розробки та вдосконалення 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. Враховуючи особливості роботи РТК, захватний пристрій робота повинен мати ряд характеристик, таких як швидке спрацювання, точність, відповідні функціональні та силові можливості при мінімальних масо-габаритних характеристиках та ін.

Найбільш ґрунтовно всі ці питання розглядалися в дослідженнях І.Б. Челпанова та С.Н. Колпашнікова, К.В. Фролова та Є.І. Воробйова, С.Ф. Бурдакова, І.І. Павленка [1, 6], Ю.Г. Козирева [2], Shimon Y. Nof, G.J. Monkman [3], Я.І. Проць [4] та ін.

Сучасні тенденції науково технічного прогресу диктують свої умови розвитку робототехніки, тому більшість останніх наукових досліджень направлені на поєднання конструктивних елементів захватних пристроїв з інтелектуальними особливостями їх функціонування. Так у роботі prof. Kari Koskinen [7] наведені дослідження по створенню конструкції інтелектуального і гнучкого захватного пристрою. Дана конструкція має чутливі елементи, завдяки яким має змогу відчувати навколишнє середовище та визначати необхідні характеристики об'єкта маніпулювання. При цьому обґрунтована масо-габаритна характеристика і затрати на виготовлення захвату.

З появою нових технічних розробок в машинобудуванні, вдосконалюються деякі елементи захватних пристроїв, а також базові їх конструкції. Тому з'являються літературні джерела [9], де проводиться опис різних типів захватних пристроїв з урахуванням сучасного напрямку їх розвитку у різних сферах.

Одним із напрямків досліджень захватних пристроїв є розширення їх силових та функціональних можливостей. Так у роботі Causey G.C. та Quinn R.D. [8] описується дослідження та створення захватного пристрою зі змінними затискними елементами для використання їх на виробництві при маніпулюванні деталями різних конструкцій та форм. Таким чином, питання вдосконалення конструкцій захватних пристроїв роботів є досить актуальним у наш час. Вони вивчаються та досліджуються у багатьох країнах світу та мають велику кількість сфер застосування, таких як машинобудівне виробництво, космос, медицина, обслуговування соціальних проектів та ін.

Мета роботи

Створення обґрунтованої методики розрахунку сил затиску в захватних пристроях роботів та виконання дослідження впливу силового навантаження на конструктивні їх елементи, що дасть можливість отримувати конструкції таких захватних пристроїв з мінімальними масо-габаритними характеристиками, а відповідно сприятиме підвищенню ефективності експлуатації роботів.

Результати проведених досліджень

Розрахунок величини сил затиску необхідно розділити на такі складові: 1. Розрахунок мінімально необхідних сил затиску (P_{\min}) для забезпечення теоретично можливого утримування транспортованої деталі захватним пристроєм робота. 2. Розрахунок практично необхідних (максимальних) сил затиску (P_p) для забезпечення гарантованого утримування транспортованої деталі з урахуванням всіх можливих відхилень в роботі системи захват-транспортована деталь.

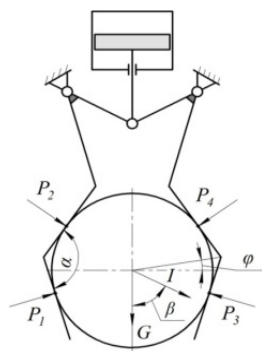


Рис. 1. Схема для визначення мінімальних сил затиску деталі

Спочатку визначаємо мінімально необхідні сили затиску. З урахуванням особливостей затиску захватом деталі [1], складаємо узагальнену розрахункову схему (рис.1), де вказані такі позначення: G – сила ваги деталі; I – сила інерції; α – кут призми; β – кут напрямку сили інерції; φ – кут розміщення вершини призми; P_1, P_2, P_3, P_4 – мінімально необхідні сили затиску деталі.

За даною схемою складемо рівняння рівноваги утримуваної деталі. При цьому визначення мінімальних сил затиску деталі здійснюється за умови забезпечення мінімальної рівноваги утримуваної деталі від суми мінімальних сил затиску P_i , сили ваги деталі (G), сили інерції деталі (I) та сил тертя (F):

$$\sum P_x = I \sin \beta - P_3' \sin(\alpha/2 + \varphi) - P_4' \sin(\alpha/2 - \varphi) = 0; \quad (1)$$

$$\sum P_y = -G - I \cos \beta + P_1'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + P_3'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + F_1 \sin(\alpha/2 + \varphi) + F_3 \sin(\alpha/2 + \varphi) = 0. \quad (2)$$

Підсумкові значення мінімальних сил затиску для досліджуваного варіанта дорівнюють:

$$P_1 = \frac{G + I \cos \beta}{2[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]}; \quad (3)$$

$$P_2 = 0; \quad (4)$$

$$P_3 = \frac{I \sin \beta \cdot \cos(\alpha/2 - \varphi)}{\sin \alpha} + \frac{G + I \cos \beta}{2[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]}; \quad (5)$$

$$P_4 = \frac{I \sin \beta \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi)}{\sin \alpha}. \quad (6)$$

Виконання такої умови визначення сил затиску не забезпечить гарантованого утримування деталі, оскільки в процесі функціонування робота можуть мати місце деякі відхилення, які впливають на надійність затиску деталі. На основі аналізу роботи захватних пристроїв роботів всі ці відхилення можна врахувати відповідним коефіцієнтом гарантованого затиску деталі ($K_{гз}$):

$$K_{гз} = K_G \cdot K_I \cdot K_P \cdot K_T \cdot K_{\beta} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\varphi}, \quad (7)$$

де K_G – коефіцієнт, який враховує можливе перевищення дійсної ваги деталі від розрахункової. Такий коефіцієнт може бути в межах $K_G = 1,01 \dots 1,02$; K_I – коефіцієнт, який враховує можливе перевищення дійсної сили інерції від розрахункової ($K_I = 1,02 \dots 1,05$); K_p – коефіцієнт, який враховує можливе зменшення тиску в системі приводу затискного пристрою ($K_p = 1,02 \dots 1,05$); K_r – коефіцієнт, який враховує можливе зменшення сил тертя між поверхнями затискних губок захвату і поверхнею утримуваної деталі ($K_r = 1,02 \dots 1,05$); K_{α} – коефіцієнт, який враховує можливе відхилення розмірів утримуваної деталі, що вплине на величину сил затиску ($K_{\alpha} = 1,01 \dots 1,02$); K_{β} – коефіцієнт, який враховує правильність розміщення захоплюваної роботою деталі у відповідній позиції подавального пристрою, що може вплинути на правильність затиску деталі ($K_{\beta} = 1,02 \dots 1,05$); K_{γ} – коефіцієнт додаткового гарантування надійності затиску деталі ($K_{\gamma} = 1,02 \dots 1,05$).

За наявності інших умов, які впливають на гарантованість затиску деталі, можна подібним чином врахувати їх у розрахунках. Таким чином, загальний коефіцієнт гарантованості затиску буде:

$$K_{\gamma} = (1,01 \dots 1,02) \cdot (1,02 \dots 1,05) \cdot (1,02 \dots 1,05) \cdot (1,02 \dots 1,05) \cdot (1,01 \dots 1,02) \cdot (1,02 \dots 1,05) \cdot (1,02 \dots 1,05) = 1,12 \dots 1,35. \quad (8)$$

Округляючи коефіцієнт запасу, приймемо: $K_{\gamma} = 1,1 \dots 1,5$.

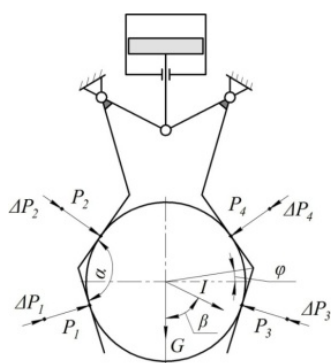


Рис. 2. Схема для визначення розрахункових сил затиску

За необхідності, вказаний коефіцієнт можна приймати дещо в інших межах, навівши необхідні обґрунтування особливостей роботи захватного пристрою. Таким чином для забезпечення гарантованого утримування транспортованої деталі, необхідно до мінімально необхідних сил затиску (P_1, P_2, P_3, P_4) прикладати додаткові сили затиску (ΔP). Розрахункова схема такого варіанту наведена на рис.2.

Цей варіант схеми враховує повний комплекс мінімальних і додаткових сил, які діють на деталь. При цьому обов'язково повинна витримуватися умова рівноваги утримуваної деталі. Виходячи з того, що таку особливість окремо розглянуто для мінімальних сил затиску, то відповідно така ж вимога повинна бути і до додаткових сил.

Згідно наведеної схеми умову рівноваги утримуваної деталі від додаткових сил затиску можна записати:

$$\sum \Delta P_x = \Delta P_1' \sin(\alpha/2 + \varphi) + \Delta P_2' \sin(\alpha/2 - \varphi) - \Delta P_3' \sin(\alpha/2 + \varphi) - \Delta P_4' \sin(\alpha/2 - \varphi) = 0; \quad (9)$$

$$\sum \Delta P_y = \Delta P_1'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + \Delta P_3'' \cos(\alpha/2 + \varphi) - \Delta P_2'' \cos(\alpha/2 - \varphi) - \Delta P_4'' \cos(\alpha/2 - \varphi) = 0. \quad (10)$$

Рівновага деталі в напрямку (x) буде за умови:

$$\Delta P_1' \sin(\alpha/2 + \varphi) + \Delta P_2' \sin(\alpha/2 - \varphi) = \Delta P_3' \sin(\alpha/2 + \varphi) + \Delta P_4' \sin(\alpha/2 - \varphi). \quad (11)$$

Тобто сили затиску лівим важелем дорівнюють силам правого важеля.

Приймаючи додаткову умову, що вертикальні складові сил $\Delta P_1'$ та $\Delta P_2'$, як відповідно і $\Delta P_3'$ та $\Delta P_4'$ між собою рівні, зрівноважуючи систему через затиснуту деталь.

Тоді:

$$\Delta P_1' \cos(\alpha/2 + \varphi) = \Delta P_2' \cos(\alpha/2 - \varphi); \quad (12)$$

$$\Delta P_3' \cos(\alpha/2 + \varphi) = \Delta P_4' \cos(\alpha/2 - \varphi). \quad (13)$$

Відповідно кожна із сил дорівнює:

$$\Delta P_1' = \Delta P_2' \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad \Delta P_2' = \Delta P_1' \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}; \quad (14)$$

$$\Delta P_3' = \Delta P_4' \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad \Delta P_4' = \Delta P_3' \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}. \quad (15)$$

Підставляючи у вихідне рівняння, отримаємо:

$$\Delta P_1' \left[\sin(\alpha/2 + \varphi) + \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} \sin(\alpha/2 - \varphi) \right] = \Delta P_3' \left[\sin(\alpha/2 + \varphi) + \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} \sin(\alpha/2 - \varphi) \right]. \quad (16)$$

Із отриманого рівняння можна зробити висновок, що $\Delta P_1' = \Delta P_3'$ і відповідно $\Delta P_2' = \Delta P_4'$.

Тому:

$$\Delta P_1' = \Delta P_3' = \Delta P_2' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)} = \Delta P_4' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad (17)$$

або

$$\Delta P_2' = \Delta P_4' = \Delta P_1' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} = \Delta P_3' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}. \quad (18)$$

В загальному виді можна зробити висновок, що «дальні» складові сил затиску ($\Delta_{\text{д}}$), від приводу захватного пристрою, рівні між собою:

$$\Delta P_1' = \Delta P_3' = \Delta P_5'; \quad (19)$$

і відповідно «ближні» складові ($\Delta_{\text{б}}$):

$$\Delta P_2' = \Delta P_4' = \Delta P_6'; \quad (20)$$

а «ближні» і «дальні» складові між собою знаходяться у співвідношенні:

$$\Delta P_{\text{б}}' = \Delta P_{\text{д}}' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)} \quad \text{або} \quad \Delta P_{\text{д}}' = \Delta P_{\text{б}}' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}. \quad (21)$$

Якщо кут (φ) буде відхилений від горизонтальної вісі вниз, тоді наведені співвідношення будуть навпаки:

$$\Delta P_{\text{б}}' = \Delta P_{\text{д}}' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} \quad \text{або} \quad \Delta P_{\text{д}}' = \Delta P_{\text{б}}' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}. \quad (22)$$

При куті $\varphi=0$ відзначені сили будуть рівні між собою:

$$\Delta P_{\text{б}}' = \Delta P_{\text{д}}'. \quad (23)$$

Рівняння рівноваги в напрямку (y) можна представити:

$$\Delta P_1'' \cos(\alpha/2 + \varphi) + \Delta P_3'' \cos(\alpha/2 + \varphi) = \Delta P_2'' \cos(\alpha/2 - \varphi) + \Delta P_4'' \cos(\alpha/2 - \varphi). \quad (24)$$

З наведеного рівняння видно, що сума проєкцій «дальніх» складових у досліджуваному напрямку дорівнює сумі проєкцій «ближніх» складових. Так як наведена на рис.2 система затиску деталі симетрична відносно вертикальної вісі, то сили $\Delta P_1''$ і $\Delta P_3''$, рівні між собою, як і сили $\Delta P_2''$ і $\Delta P_4''$. Одночасно сили $\Delta P_1''$ і $\Delta P_2''$, як і подібно сили $\Delta P_3''$ і $\Delta P_4''$, у вертикальному напрямку, будуть зрівноважені між собою.

В підсумку після подібних перетворень можна зробити висновок, що «дальні» складові сил затиску в цьому напрямку також рівні між собою:

$$\Delta P_1'' = \Delta P_3'' = \Delta P_5''; \quad (25)$$

і відповідно

$$\Delta P_2'' = \Delta P_4'' = \Delta P_6''; \quad (26)$$

а «ближні» і «дальні» складові сил затиску між собою знаходяться у співвідношенні:

$$\Delta P_{\text{б}}'' = \Delta P_{\text{д}}'' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)} \quad \text{або} \quad \Delta P_{\text{д}}'' = \Delta P_{\text{б}}'' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}. \quad (27)$$

Якщо кут (φ) буде відхилений від горизонтальної вісі вниз, тоді наведені співвідношення будуть навпаки:

$$\Delta P_{\text{б}}'' = \Delta P_{\text{д}}'' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} \quad \text{або} \quad \Delta P_{\text{д}}'' = \Delta P_{\text{б}}'' \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}. \quad (28)$$

При куті $\varphi = 0$ відзначені сили будуть рівні між собою:

$$\Delta P_{\text{б}}'' = \Delta P_{\text{д}}''. \quad (29)$$

В підсумку, співвідношення між складовими сил затиску знаходяться в одній і тій же залежності:

$$\Delta P_1 = \Delta P_3; \quad \Delta P_2 = \Delta P_4; \quad (30)$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad \Delta P_3 = \Delta P_4 \cdot \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}. \quad (31)$$

Для визначення розрахункових реальних величин сил затиску ($P_{p1}, P_{p2}, P_{p3}, P_{p4}$) необхідно знати дійсну величину додаткових сил затиску ($\Delta P_1; \Delta P_2; \Delta P_3; \Delta P_4$). Виходячи із попередньо прийнятої умови, що реальні сили затиску повинні бути більше мінімально визначених ($P_1; P_2; P_3; P_4$) на коефіцієнт запасу (k), то можна прийняти умову, що:

$$\sum_{i=1}^n P_{pi} = P_{pc} = (P_1 + \Delta P_1) + (P_2 + \Delta P_2) + (P_3 + \Delta P_3) + (P_4 + \Delta P_4). \quad (32)$$

Так як арифметична сума мінімальних сил затиску:

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 + P_4; \quad (33)$$

то

$$P_{pc} = P_c + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4. \quad (34)$$

Для спрощення розрахунків приймемо за основу розрахунок коли кут $\varphi = 0$, тоді таку додаткову силу розглядаємо як номінальну (ΔP_n):

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 = \Delta P_4 = \Delta P_n. \quad (35)$$

Сумарно ці сили можна позначити:

$$P_{pc} = P_c + \Delta P_c. \quad (36)$$

З іншого боку реальні сили затиску будуть:

$$P_{pc} = P_c \cdot k, \quad (37)$$

або

$$P_c + \Delta P_c = P_c \cdot k. \quad (38)$$

Звідки:

$$\Delta P_c = P_c (k - 1). \quad (39)$$

Відповідно, для умови коли кут $\varphi = 0$:

$$\Delta P_c = 4\Delta P_n = P_c (k - 1). \quad (40)$$

Таким чином додаткові сили рівні між собою і дорівнюють:

$$\Delta P_n = P_c \frac{(k - 1)}{4}. \quad (41)$$

Із вищенаведених рівнянь маємо:

$$\Delta P_1 = \Delta P_3 = \Delta P_\delta; \quad \Delta P_2 = \Delta P_4 = \Delta P_\theta. \quad (42)$$

Тоді, для умови коли кут φ відхилений вище горизонтальної вісі, рівняння додаткових сил будуть:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad \Delta P_2 = \Delta P_1 \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}; \quad (43)$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_4 \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)}; \quad \Delta P_4 = \Delta P_3 \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)}; \quad (44)$$

а рівняння суми реальних сил:

$$P_{pc} = P_c + 2\Delta P_\delta + 2\Delta P_\theta = P_c \cdot k. \quad (45)$$

Знаючи величину мінімальних сил затиску, відповідно їх суму (P_c) та необхідний коефіцієнт запасу (k) рівняння можна переписати:

$$2\Delta P_\delta + 2\Delta P_\theta = P_c \cdot (k - 1). \quad (46)$$

Через співвідношення між додатковими ΔP_n і ΔP_θ силами можна визначити їх дійсну величину. Так, «дальні» додаткові складові сил затиску будуть:

$$2\Delta P_\delta + 2\Delta P_\theta \frac{\cos(\alpha/2 + \varphi)}{\cos(\alpha/2 - \varphi)} = P_c \cdot (k - 1). \quad (47)$$

Звідки

$$\Delta P_\delta = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k - 1}{1 + [\cos(\alpha/2 + \varphi) / \cos(\alpha/2 - \varphi)]}. \quad (48)$$

Подібно визначаємо «ближні» складові додаткових сил затиску:

$$2\Delta P_\theta + 2\Delta P_\delta \frac{\cos(\alpha/2 - \varphi)}{\cos(\alpha/2 + \varphi)} = P_c \cdot (k - 1). \quad (49)$$

Тоді

$$\Delta P_\theta = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k - 1}{1 + [\cos(\alpha/2 - \varphi) / \cos(\alpha/2 + \varphi)]}. \quad (50)$$

При відхиленні вершини затискних призм нижче горизонтальної вісі, значення додаткових сил затиску відповідно буде:

$$\Delta P_{\delta} = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k-1}{1 + [\cos(\alpha/2 - \varphi) / \cos(\alpha/2 + \varphi)]}; \quad (51)$$

$$\Delta P_{\theta} = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k-1}{1 + [\cos(\alpha/2 + \varphi) / \cos(\alpha/2 - \varphi)]}; \quad (52)$$

при $\varphi = 0$

$$\Delta P_{\delta} = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k-1}{1 + [\cos(\alpha/2) / \cos(\alpha/2)]} = \frac{P_c}{2} \cdot \frac{k-1}{2} = P_c \cdot \frac{k-1}{4}; \quad (53)$$

$$\Delta P_{\theta} = P_c \cdot \frac{k-1}{4}. \quad (54)$$

Визначивши значення додаткових сил затиску і додали їх відповідно до мінімальних сил затиску, отримаємо необхідні величини розрахункових сил затиску. Для досліджуваного варіанту (рис.2) графічні залежності мінімальних, додаткових і розрахункових сил затиску від конструктивних параметрів захвату і умов затиску деталі наведені на рис.3, 4 та 5.

Вплив кута затискних призм α на мінімально необхідні сили затиску P_i , додаткові сили затиску ΔP_i та розрахункові сили затиску P_{pi} представлено на рис.3.

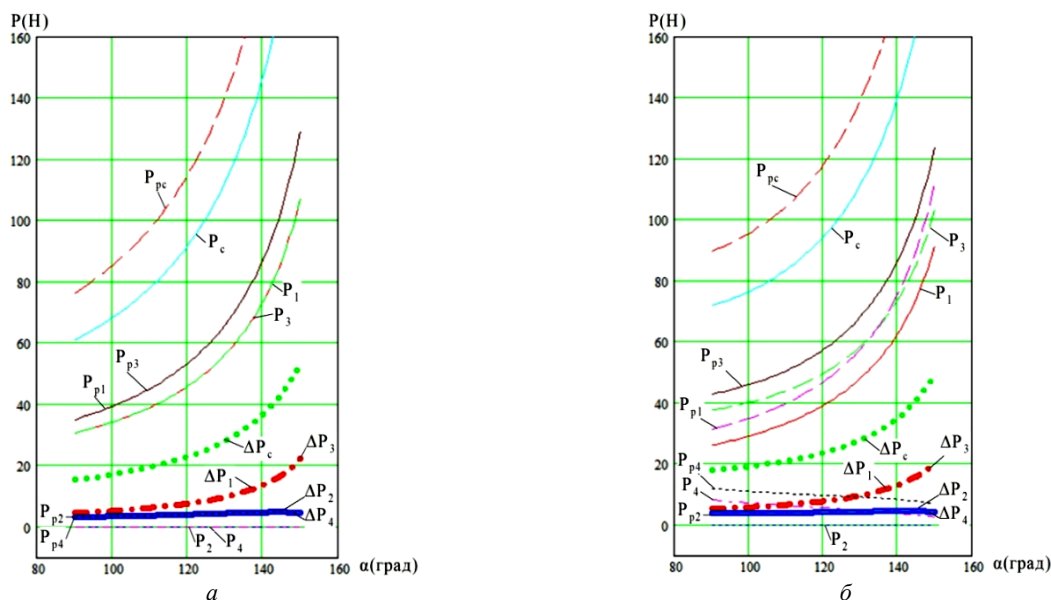


Рис. 3. Графічні залежності сил затиску від кута α : а - $\beta = 0^\circ$, $G = 20$, $I = G$, $f = 0.1$, $k = 1.25$, $\varphi = +10$; б - $\beta = 45^\circ$, $G = 20$, $I = G$, $f = 0.1$, $k = 1.25$, $\varphi = +10$

Із наведених залежностей видно, що при вертикальному розміщенні захватного пристрою та руху руки робота вгору, коли кут дії сили інерції $\beta = 0^\circ$ (а), при збільшенні кута затискних призм α в діапазоні $90^\circ \div 150^\circ$ додаткові сили затиску збільшуються. В такому випадку значне навантаження припадає на нижні елементи затискних призм ΔP_1 та ΔP_3 . Також рука робота може виконувати сумішений рух, коли $\beta = 45^\circ$ (б), тоді значне навантаження припадає на три складові сил затиску - ΔP_1 , ΔP_3 та ΔP_4 . Коли кут напрямку дії сили інерції прийме значення $\beta = 90^\circ$, то рука робота буде виконувати горизонтальний рух, тоді отримаємо не значну зміну додаткових сил затиску завдяки тому, що навантаження припаде на одну з призм ліву або праву [6]. Мінімум необхідні та розрахункові сили мають схожу тенденцію залежностей за даних умов. Більш детально вплив конструктивних параметрів захватних пристроїв та функціональних особливостей затиску деталі на мінімально необхідні P_i та сумарні сили P_{ci} розглянуто в роботі [1].

Вплив кута напрямку дії сили інерції β на відзначені сили затиску представлено на рис.4.

Із отриманих залежностей видно, що кут напрямку дії сили інерції β має неоднозначний вплив на додаткові сили затиску, так як в залежності від його значення захватний пристрій рухається у певному напрямку в просторі. Так на рис.4, а захватний пристрій робота тримає деталь діаметром номінального значення (коли вершини затискних призм співпадають з віссю деталі), а напрямок руху руки робота змінюється в різних квадрантах. В даному випадку видно, що додаткові сили збільшуються коли значення кута напрямку дії сили інерції знаходиться в діапазоні $\beta = 0^\circ \dots 90^\circ$, що відповідає руху руки робота вгору і вбік. При інших

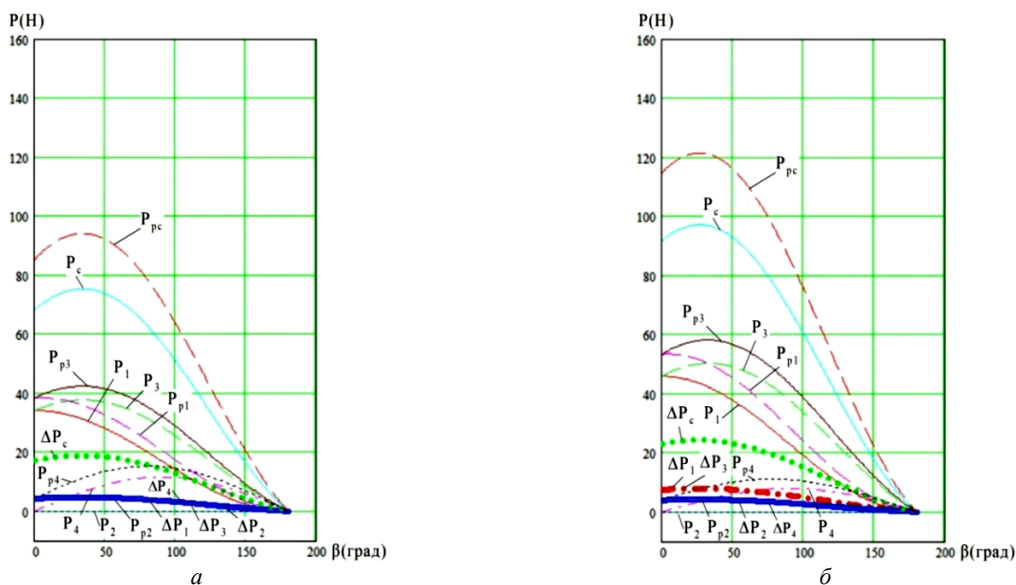


Рис. 4. Графічні залежності сил затиску від кута β : а - $\alpha = 120^\circ, \beta = 0^\circ \dots 180^\circ, G = 20, I = G, f = 0.1, k = 1.25, \varphi = 0$; б - $\alpha = 120^\circ, \beta = 0^\circ \dots 180^\circ, G = 20, I = G, f = 0.1, k = 1.25, \varphi = +10$

напрямок руху додаткові сили затиску зменшуються. На рисунку 4, б розглянуто варіант затиску деталі діаметром більшим за номінальний (коли вершини затискних призм зміщені до захватного пристрою). Тенденція поведінки додаткових сил затиску залишається незмінною, але їх значення збільшуються прямо пропорційно куту зміщення вершин призм (φ). Це пояснюється тим, що для утримання деталі більшого діаметра за номінальний потребує більших мінімально необхідних сил затиску P_i , а відповідно додаткових ΔP_i та розрахункових сил P_{pi} .

Вплив кута зміщення вершин затискних призм φ на досліджувані сили представлено на рис.5.

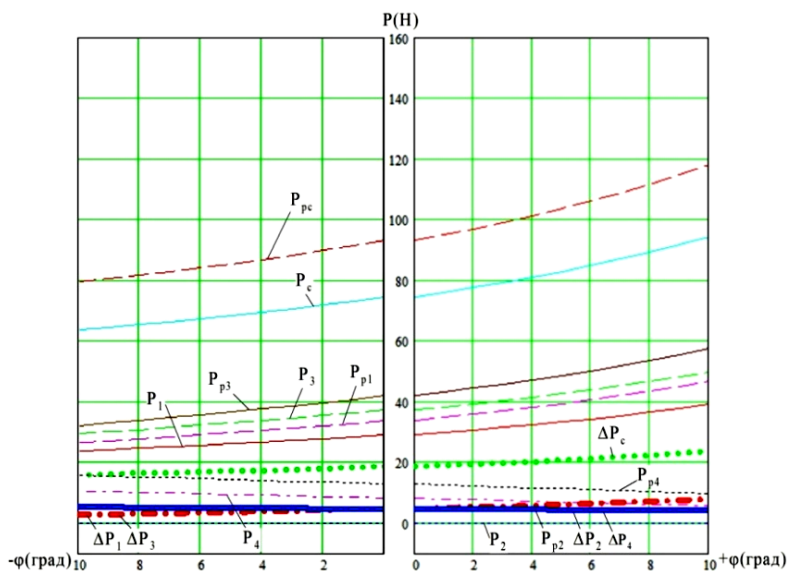


Рис. 5. Графічні залежності сил затиску від кута φ , при $\alpha = 120^\circ, \beta = 45^\circ, G = 20, I = G, f = 0.1, k = 1.25, \varphi = -10 \dots 0$ та $0 \dots +10$

Із отриманих залежностей видно, що додаткові сили затиску ΔP_i поступово збільшуються із збільшенням кута φ , коли захватний пристрій утримує деталі діаметром більшим за номінальний, і поступово зменшуються із зменшенням кута φ , коли захватний пристрій утримує деталь діаметром меншим за номінальний. Зворотній вплив помітно тільки у сил $P_4, \Delta P_4$ та P_{p4} . Це пояснюється тим, що затискні елементи призм захвату, на які діють дані сили, розташовані ближче до приводу пристрою і за даних умов функціонування приймають більші зусилля при зменшенні діаметра утримуваної деталі.

Висновки

Розроблено методику силового розрахунку захватного пристрою при виконанні типових рухів та просторового розміщення. В роботі запропоновано методику аналітичного визначення додаткових сил затиску деталі в захватному пристрої для отримання гарантованого затиску деталі з урахуванням заданих умов функціонування пристрою. Основною перевагою даної методики є точний розрахунок сил затиску в захватному пристрої з переходом від мінімально необхідних до розрахункових сил, за рахунок прикладання додаткових їх величин із урахуванням конструктивних параметрів захвату і умов затиску деталі. Практичне використання представлених розрахунків дасть можливість зменшити масо-габаритні характеристики захватного пристрою, що приведе до підвищення продуктивності і точності його функціонування, а також покращення динамічних та енергетичних характеристик самого робота. Точний розрахунок захватного пристрою також має велике значення при роботі робота з тонкостінними деталями, або такими, де виконуються фінішні операції. Всі ці переваги сприятимуть отриманню економічного ефекту.

Определение расчетных сил зажима в захватных устройствах промышленных роботов

М.О. Годунко, И.И. Павленко

Аннотация. Статья посвящена проблеме создания методики определения реальных расчетных сил зажима в захватных устройствах роботов и выполнения исследования влияния силовой нагрузки на конструктивные элементы исполнительных механизмов роботов, что позволит получать конструкции захватных устройств с минимальными массо-габаритными характеристиками. Обоснована необходимость проведения силового расчета захватного устройства и его конструктивных характеристик. Приведены основные этапы определения реальных сил зажима при различных вариантах ориентации захватного устройства в пространстве с учетом направлений движения руки робота. Выведены уравнения по определению величины минимально необходимых сил зажима и дополнительных сил, которые в сумме дадут величину расчетных реальных сил зажима. Проанализировано влияние конструктивных параметров захватных устройств и режимов их функционирования на величину расчетных сил зажима.

Ключевые слова: захватное устройство робота, промышленный робот, минимальные, дополнительные и расчетные реальные силы зажима.

Determination of the calculated clamping forces in gripping devices of industrial robots

M.O. Hodunko, I.I. Pavlenko

Abstract. The article is devoted to the problem of creating a method for determining the actual calculated clamping forces in robots' exciting devices and performing a study of the influence of power load on the structural elements of the robots actuators, which will make it possible to obtain designs of gripping devices with minimal mass-dimensional characteristics. The necessity of the power design of the gripping device and its design characteristics is substantiated. The main stages of determining the real clamping forces are given for different variants of the orientation of the gripping device in space, taking into account the directions of movement of the robot arm. Equations are derived for determining the magnitude of the minimum required clamping forces and additional forces, which in sum will give the value of the calculated real clamping forces. The influence of design parameters of exciting devices and their operation modes on the magnitude of the calculated clamping forces is analyzed.

Keywords: robot gripping device, industrial robot, minimum, additional and calculated actual clamping forces.

References

1. Павленко І.І., Годунко М.О. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2014.–367с.
2. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов: учебное пособие/ Ю.Г. Козырев. – М.: КНОРУС, 2011. – с.: ил.
3. Robot Grippers. G.J. Monkman, S.Hesse, R.Steinmann, H.Schunk. Copyright 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
4. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник.-Тернопільський державний технічний університет ім.І.Пулюя, 2008. – 232 с.
5. Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов: учебное пособие/ Ю.Г.Козырев.- М.: КНОРУС, 2011.–488с.
6. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК. Монографія – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф. 2016. – 492с.
7. Design of a smart gripper for industrial applications. Prof.KariKoskinen, 8th June 2016.
8. Caucey G.C. and 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 2016.
9. Industrial grippers: History and new innovation. Machinedesign.com.N.p., 2016. Web. 6 June 2016