УДК 007.52 https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).22-31

М. О. Годунко, доц., канд. техн. наук, **В. А. Мажара,** доц., канд. техн. наук,
В. К. Щербина, Р. А. Кравченко
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: maksimgodunko83@gmail.com, majara@ukr.net, shcherbinavk@gmail.com, roman.kravchenko.84@ukr.net

Дослідження залежності сил затиску в захватному пристрої робота від його конструктивних параметрів та межі міцності деталі

У статті запропоновано удосконалений підхід до визначення сумарних сил затиску призматичних захватних пристроїв роботів. Акцент зроблено на врахуванні конструктивних особливостей (кут призми, ексцентриситет вершини, напрям дії сили інерції) та міцності тонкостінних виробів. Подано основні розрахункові співвідношення, їх аналітичне обґрунтування та відповідні графічні матеріали.
захватні пристрої, сили затиску, промислові роботи, тонкостінні деталі, допустимі напруження

Постановка проблеми. У сучасних автоматизованих виробничих комплексах забезпечення точності й надійності утримування заготовок (деталей) є визначальним чинником стабільності технологічних процесів. Промислові роботи дедалі частіше інтегруються в гнучкі виробничі системи, колаборативні середовища та високошвидкісні лінії, де захватний пристрій повинен не лише надійно фіксувати деталь під час транспортування й обробки, а й гарантувати збереження її геометричної точності та поверхневих характеристик. Особливої актуальності це набуває при роботі з тонкостінними, легкосплавними, композитними або прецизійними деталями, чутливими до локальних контактних напружень. Надмірне підвищення сили затиску може спричинити перевищення допустимих еквівалентних напружень, виникнення пластичних деформацій, мікротріщин, залишкових напружень або втрату точності позиціювання. У високоточних галузях, таких як авіабудування, медицина, мікромеханіка, навіть незначні деформації можуть призвести до браку або зниження ресурсу виробу. У зв’язку з цим постає необхідність науково обґрунтованого визначення оптимальної сили затиску, яка забезпечує баланс між надійністю фіксації та збереженням цілісності деталі. Такий розрахунок має враховувати конструктивні параметри захватного пристрою, умови контакту, коефіцієнти тертя, динамічні навантаження, інерційні сили під час руху робота, а також фізико-механічні властивості матеріалу заготовки. Використання аналітичних моделей у поєднанні з цифровим моделюванням і сенсорними системами контролю сил затиску дозволяє підвищити точність прогнозування та адаптивність роботизованих систем у реальному часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом усього періоду розвитку промислової робототехніки проблема визначення, прогнозування та оптимізації сил затиску захватних пристроїв залишається однією з ключових, оскільки саме захват є ланкою безпосередньої взаємодії робота з деталлю. Надійність утримання об’єкта, точність позиціювання, відсутність проковзування та недопущення пошкодження поверхні чи деформації деталі значною мірою залежать від правильно обраної сили

© М. О. Годунко, В. А. Мажара, В. К. Щербина, Р. А. Кравченко, 2026

затиску, конструкції губок, геометрії контактних елементів і характеру керування приводом. У вітчизняній науковій школі вагомий внесок у розроблення методів силового розрахунку захватних пристроїв та дослідження впливу їх конструктивних параметрів на умови утримання деталей зроблено у працях М. О. Годунка [1] та І. І. Павленка [2, 3, 4], де розглянуто особливості роботи призматичних захватів, розрахунок сил затиску для різних схем навантаження, а також вплив кута призм, сил інерції та умов контакту на сумарні сили затиску.

Серед іноземних дослідників фундаментальне значення мають роботи Gareth J. Monkman, Stefan Hesse, Ralf Steinmann і Henrik Schunk [5, 6], у яких систематизовано теоретичні та прикладні основи техніки захоплення, наведено класифікацію механічних, вакуумних та інших типів захватів, розглянуто принципи побудови губок, кінематики та силової взаємодії захвату з об'єктом. Їхня праця «*Robot Grippers*» є однією з базових у сфері промислових захватних систем і заклала важливе підґрунтя для подальших досліджень у напрямі силового аналізу та проєктування роботизованих захватів. Важливий теоретичний внесок у розвиток наукових уявлень про захоплення та маніпулювання об'єктами зробили Antonio Bicchi та Vijay Kumar [7]. У своїх роботах вони узагальнили підходи до аналізу контактної взаємодії, стабільності захоплення, розподілу сил у точках контакту та проблем поєднання точного, делікатного й водночас надійного маніпулювання. Ці положення мають особливе значення для силового аналізу захватних пристроїв, оскільки дозволяють розглядати захоплення не лише як кінематичну, а і як контактно-силову задачу. У подальших дослідженнях істотну увагу приділено питанням узагальнення конструкцій захватів і вибору їх типу залежно від властивостей об'єкта. Зокрема, K. Таі [8] та співавтори у своєму огляді показали, що сучасні роботизовані захвати розвиваються у напрямі підвищення адаптивності, повторюваності, швидкодії та здатності працювати з об'єктами різної форми, жорсткості й чутливості до пошкодження. У цій роботі також наголошено на важливості інтеграції датчиків, зокрема силових, тактильних і візуальних, для підвищення якості захоплення та зниження ризику пошкодження крихких або делікатних об'єктів. Окремий напрям становлять дослідження, присвячені методам вибору та проєктування захватних пристроїв під конкретні виробничі умови. Gualtiero Fantoni [9] та співавтори запропонували підхід до підтримки вибору захватів на основі аналізу принципів захоплення, стратегій звільнення об'єкта та умов автоматизованого складання, що є важливим для інженерного обґрунтування раціональної конструкції захвату ще на етапі проєктування. Такі підходи безпосередньо пов'язані з вибором параметрів, що визначають величину необхідної сили затиску та допустимі контактні напруження. У сучасній робототехніці дедалі більшого поширення набувають адаптивні та м'які захвати, орієнтовані на безпечне маніпулювання крихкими, тонкостінними або неоднорідними об'єктами. У роботі Josie Hughes [10] та співавторів показано, що soft-robotics (м'які робототехнічні системи) підхід базується на використанні податливих матеріалів і структур, які дають змогу зменшити локальні контактні напруження та підвищити адаптивність захвату до геометрії об'єкта. Подібні рішення особливо актуальні в тих випадках, коли традиційний жорсткий захват може призвести до локального перевантаження поверхні деталі. Важливий внесок у розвиток сучасних підходів до проєктування захватних пристроїв зроблено у роботі Zhang B., Xie Y., Zhou J., Wang K., Zhang Z. [11], де представлено комплексний огляд сучасних роботизованих захватів, стратегій захоплення та керування, а також їх застосування в сільськогосподарських роботах. У дослідженні систематизовано основні типи захватних пристроїв (механічні, вакуумні, магнітні, м'які), проаналізовано їх переваги та обмеження залежно від фізико-механічних властивостей об'єктів. Особливу увагу приділено проблемі маніпулювання об'єктами складної форми, змінної жорсткості та підвищеної чутливості до пошкодження, що є характерним, зокрема, для аграрної

продукції. Подальший розвиток цієї тематики відображено в оглядовій праці Yahia A. AboZaid, Mahmoud T. Aboelrayat, Irene S. Fahim та Ahmed G. Radwan [12], де soft robotic grippers (м'які захватні пристрої) розглядаються як перспективний клас захватних систем для роботи з делікатними об'єктами в медицині, промисловості, сільському господарстві та підводних застосуваннях. Автори підкреслюють, що саме здатність таких систем зменшувати жорсткість контакту, адаптуватися до форми об'єкта та поєднувати захоплення з сенсорикою робить їх важливими для задач, у яких критичним є обмеження контактного тиску. Водночас для деталей із малою жорсткістю та тонкими стінками важливими є не лише конструкція губок, а й питання деформації заготовки під дією контактних сил. У цьому контексті заслуговують на увагу дослідження Andreas Schütz [13] та співавторів, у яких зазначено, що для тонкостінних деталей метод скінченних елементів широко застосовується для оптимізації положення опорних і контактних елементів, а також контактних сил з метою мінімізації деформацій і підвищення точності обробки. Такий підхід є особливо цінним для подальшого розвитку методик розрахунку сил затиску в роботизованих системах, орієнтованих на роботу з маложорсткими деталями.

Аналіз літературних джерел показує, що сучасні дослідження у сфері захватних пристроїв роботів розвиваються за кількома взаємопов'язаними напрямами: удосконалення аналітичних моделей силового розрахунку; розвиток контактно-силових теорій захоплення; використання сенсорів сили, тактильних і візуальних систем для адаптивного керування; створення м'яких і комбінованих захватів для делікатних об'єктів; а також застосування числового моделювання для прогнозування деформацій та обґрунтування безпечних режимів затиску. Проте, незважаючи на значну кількість наукових праць, питання визначення раціональних сил затиску з одночасним урахуванням конструктивних параметрів призматичних захватів, напрямку інерційних навантажень і допустимої міцності тонкостінних деталей потребує подальшого дослідження, що й зумовлює актуальність цієї роботи. Особливо це стосується випадків маніпулювання тонкостінними та маложорсткими деталями, для яких характерна підвищена чутливість до локальних контактних навантажень і деформацій. Існуючі підходи здебільшого або орієнтовані на спрощені моделі контактної взаємодії, або не враховують комплексного впливу геометричних параметрів захватного пристрою (довжини важелів, відстані між осями обертання, кута призм, їх просторового розміщення), напрямку дії сил інерції, а також умов взаємодії між поверхнями контакту.

Постановка завдання. Метою даної роботи є встановлення аналітичних залежностей, що описують вплив основних конструктивних і кінематичних параметрів призматичних захватних пристроїв на величину сумарних сил затиску, а також визначення умов забезпечення надійного утримання деталі без перевищення допустимих контактних напружень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: 1) проаналізувати конструктивні схеми захватних пристроїв із призматичними губками та визначити основні параметри, що впливають на формування сил затиску; 2) розробити розрахункову модель визначення сумарних сил затиску з урахуванням геометрії захвату та напрямку дії зовнішніх сил (зокрема сили інерції); 3) дослідити вплив кута призм, кута їх розміщення та інших геометричних параметрів на величину сил затиску; 4) встановити залежності між параметрами захватного пристрою та умовами надійного утримання деталей; 5) визначити раціональні області значень конструктивних параметрів, які забезпечують мінімізацію сил затиску при збереженні стійкості захоплення; 6) сформулювати рекомендації щодо проєктування захватних пристроїв для роботи з маложорсткими та тонкостінними деталями.

Викладення основного матеріалу. Розв'язання поставленої задачі базується на припущенні, що результуючі сили, прикладені до кожної затискної призми, проходять

одночасно через геометричний центр призми та центр мас (або центр симетрії) захоплюваної деталі [1, 2]. Таке припущення дозволяє мінімізувати виникнення додаткових згинальних моментів і перекосів у системі «захват–деталь», забезпечуючи більш рівномірний розподіл контактних напружень. Обраний підхід є раціональним з інженерної точки зору, оскільки сили, визначені у зазначених характерних точках, зручно трансформуються та передаються до привідного двигуна захватного механізму через проміжні ланки - важільні системи, гвинтові пари, зубчасті або клинові передачі. Це спрощує кінематичний та силовий аналіз, підвищує точність розрахунку навантажень на елементи приводу та дозволяє коректно оцінити втрати в механічних передачах. Відповідно до прийнятих допущень формується розрахункова схема для вертикально орієнтованої конструкції захватного пристрою (рис. 1), у якій враховано напрям дії сили тяжіння (ваги), інерційних складових та реакцій у контактних зонах. Така схема є базовою для подальшого аналітичного визначення сил затиску, умов рівноваги та перевірки міцності деталі й елементів механізму.

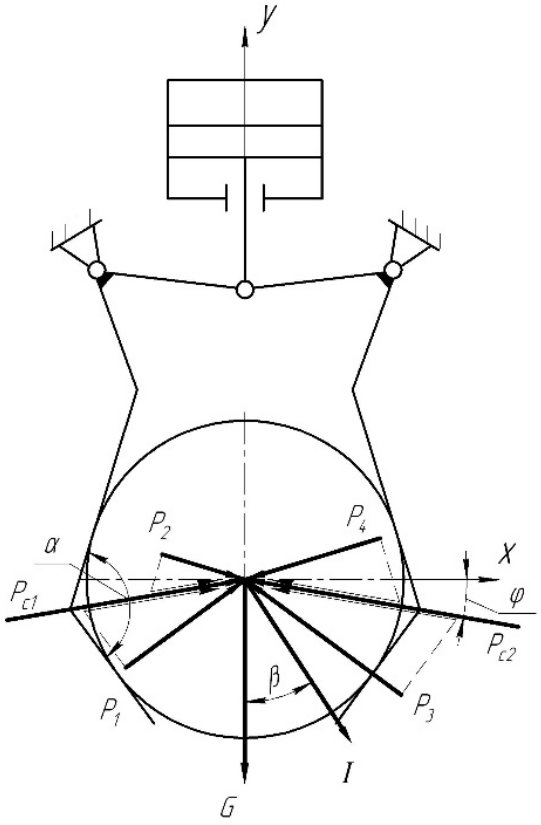


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення сумарних сил затиску (φ < 0)
Джерело: розроблено авторами на основі [1]

Для спрощення подальшого аналізу сили затиску (P_1, P_2, P_3, P_4) приводяться до центра утримуваної деталі [4]. Після цього виконують векторне проєктування кожної з цих сил на вісь симетрії відповідної затискної призми. За прийнятих умов сумарну силу затиску, що діє на ліву призму, визначають як:

$$P_{c1} = P_1 / \sin \alpha/2 + P_2 / \sin \alpha/2 = (P_1 + P_2)/\sin \alpha/2, \quad (1)$$

де P_{c1} - сумарна сила затиску, створена лівою призмою; P_1, P_2 - складові сили від важелів (або штовхачів); α - кут між гранями призми. Аналогічно визначимо сумарну силу затиску для правої призми:

$$P_{c2} = (P_3 + P_4)/\sin \alpha/2 , \quad (2)$$

де P_{c2} - сумарна сила, створена лівою призмою; P_3, P_4 - окремі сили від важелів або штовхачів; α - кут між гранями призми.

Загальна сумарна сила затиску системи:

$$P_c = P_{c1} + P_{c2} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)/\sin \alpha/2. \quad (3)$$

Це базове рівняння, яке показує, що при фіксованих значеннях сил зменшення кута α (звуження призми) приводить до зростання сумарної сили P_c.

Підставивши у наведені вище рівняння значення сили затиску, визначені в попередніх публікаціях і такі, що відповідають прийнятій розрахунковій схемі [2], отримаємо:

$$P_{c1} = \frac{G + I\cos\beta}{2[\cos(\alpha/2 - \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 - \varphi)] \cdot \sin\alpha/2}; \quad (4)$$

$$P_{c2} = \frac{G + I\cos\beta}{2[\cos(\alpha/2 - \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 - \varphi)] \cdot \sin\alpha/2} + \frac{I\sin\beta \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi)}{\sin\alpha \cdot \sin\alpha/2} + \frac{I\sin\beta \cdot \cos(\alpha/2 - \varphi)}{\sin\alpha \cdot \sin\alpha/2}$$

При співпадінні сили інерції I з вагою деталі G (при β = 0) сумарні сили затиску визначаються:

$$P_{c1} = \frac{G + I}{2(\cos\alpha/2 + f \cdot \sin\alpha/2) \cdot \sin\alpha/2}; \quad (5)$$

$$P_{c2} = \frac{G + I}{2(\cos\alpha/2 + f \cdot \sin\alpha/2) \cdot \sin\alpha/2}. \quad (6)$$

Загальна сумарна сила затиску за цих умов буде:

$$P_c = P_{c1} + P_{c2} = \frac{G + I}{(\cos\alpha/2 + f \cdot \sin\alpha/2) \cdot \sin\alpha/2}. \quad (7)$$

Під час роботи промислового робота із захватним пристроєм деталь утримується завдяки силам затиску, які створюються за допомогою механічних або пневматичних елементів. Однак ці сили мають подвійне призначення. З одного боку, вони повинні бути достатніми для надійного утримання деталі без проковзування, з іншого - не перевищувати допустимого рівня, щоб не пошкодити поверхню або не викликати пластичну деформацію. Тому головне завдання конструктора - знайти оптимальний баланс між силою утримання та допустимими контактними напруженнями.

У випадку затиску тонкостінних або гнучких деталей, останні мають малу жорсткість і низьку здатність протистояти локальним напруженням. Якщо тиск перевищує межу міцності матеріалу. Відповідно можуть з'явитися: вм'ятини; залишкові деформації; тріщини або мікроруйнування на поверхні. Якщо площа контакту між губкою і деталлю $A_{конт}$ мала, тиск ($p = P_c / A_{конт}$) різко зростає навіть при відносно невеликій силі (P_c).

При захватуванні деталей із «м'яких» матеріалів (алюміній, полімери), які мають низьке допустиме напруження, перевищення відповідних показників навіть у межах 10–20% може призвести до постійних деформацій. Особливо це потрібно враховувати при динамічних навантаженнях, коли при русі маніпулятора виникають інерційні сили (I), які додаються до основної сили затиску, тим самим перевищуючи безпечний рівень тиску у місці контакту.

Безпечний режим визначається нерівністю:

$$\rho = \frac{P_c}{A_{конт}} \leq \frac{\sigma_{доп}}{k}, \quad (8)$$

де ρ - фактичний контактний тиск; $\sigma_{доп}$ - допустиме напруження для матеріалу деталі; k - коефіцієнт запасу міцності (рекомендовано 1,5–2,0 для тонкостінних деталей).

Якщо умова не виконується, то необхідно: збільшити площу контакту (ширші губки або еластичні накладки); зменшити силу затиску; змінити кут α призми для рівномірнішого розподілу тиску. Передбачаючи різні ситуації наперед, можливо використати деякі методи зниження ризику пошкодження. Перший метод, це використання м'яких або гнучких губок. Матеріали губок можуть бути такі: гума, поліуретан, фторопласт. Вони рівномірно розподіляють тиск і компенсують мікронерівності поверхні. Другим методом є збільшення контактної площі. За рахунок цього зменшуються локальні напруження, особливо для деталей із малими товщинами стінок. Також можливо регулювати сили затиску. Регулювання здійснюється застосуванням сервоприводів із контролем моменту або пневмосистем із редукційними клапанами для точного налаштування сили. Якщо захватні пристрої мають датчики сили у губках, то це дає змогу в режимі реального часу контролювати силу затиску й уникати перевищення критичного тиску. Крім контролю сил і напружень у реальному часі, можливо також виконувати прогнозовані розрахунки на етапі проєктування за рахунок моделювання (CAE-аналіз). Використання такого типу аналізу дозволяє ще на етапі проєктування визначити, де саме виникають пікові напруження при контакті губки й деталі.

На основі отриманих рівнянь виконано дослідження впливу конструктивних параметрів захватного пристрою, умов затискання та напрямків переміщення утримуваних деталей на величину необхідних зусиль затиску [4]. Як приклад наведено результати для вертикально орієнтованого захватного пристрою за умови зміщення вершин призм відносно його осі (φ > 0). Вплив кута затискних призм (α) проілюстровано відповідними кривими на рис. 2, а вплив кута напрямку сили інерції (β) - на рис. 3. Вихідні дані для побудови зазначених кривих подано в табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні параметри для побудови графічних залежностей сили затиску (P) від кута призми (α) та напрямку прикладення сили інерції (β).

№ кривої	Сили затиску	Умови затиску							
		для P(α)				для P(β)			
		φ	I	β	*f*	φ	I	α	*f*
1	P_{c1}	10°	G	90°	0,1	10°	G	120°	0,1
2	P_{c2}								
3	P_c								
4	P_{c1}	10°	G	0°	0,1	10°	0.5G	120°	0,1
5	P_{c2}								
6	P_c								

Джерело: розроблено авторами

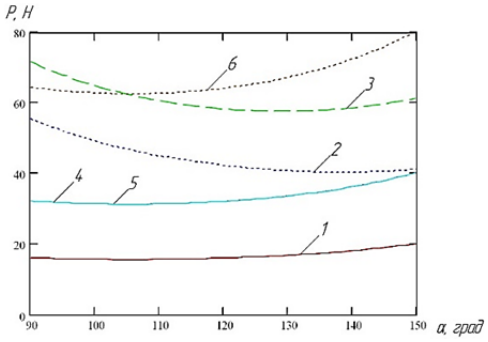


Рисунок 2 – Графіки впливу кута затискних призм (α) на сили затиску (Р)

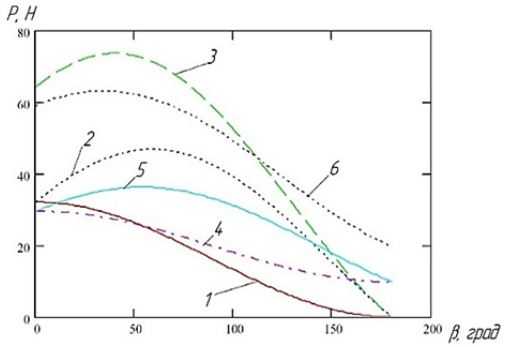


Рисунок 3 – Графіки впливу напрямку сили інерції (β) на сили затиску (Р)

Джерело: розроблено авторами

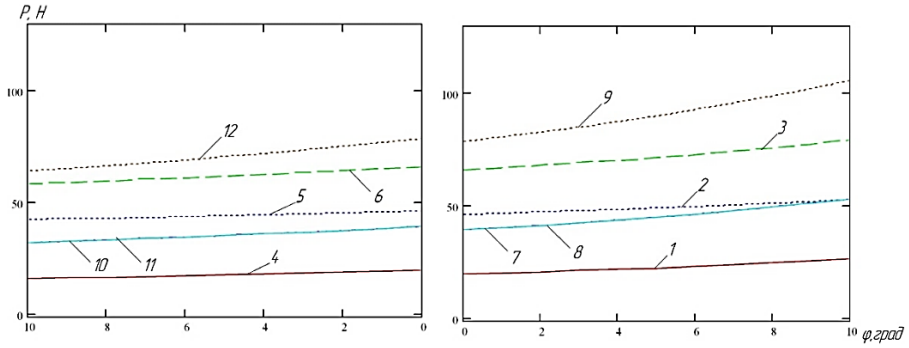
Як видно з рис. 2, зі збільшенням кута затискних призм спостерігається зростання сумарних сил затиску. Це пояснюється зміною умов контакту між губками захвату та деталлю, що призводить до збільшення нормальних реакцій у точках контакту. Отримана залежність свідчить про доцільність обмеження кута призм у певному діапазоні для забезпечення раціонального режиму затиску. Дослідження впливу кута зміщення вершин призм (φ) на величину сумарних сил затиску (рис.4) проведено на основі вихідних даних, наведених у табл. 2.

Таблиця 2 - Вихідні параметри, використані для побудови графічних залежностей сили затиску від кута розміщення затискних призм (φ).

№ крив. на графіку	Зміщення вершин затискних призм	Сили затиску	Умови затиску для Р(φ)			
			β	I	α	*f*
1	в сторону захватного пристрою	P_{c1}	90°	G	120°	0,1
2		P_{c2}				
3		P_c				
4	в сторону від захватного пристрою	P_{c1}				
5		P_{c2}				
6		P_c				
7	в сторону захватного пристрою	P_{c1}	0°	G	120°	0,1
8		P_{c2}				
9		P_c				
10	в сторону від захватного пристрою	P_{c1}				
11		P_{c2}				
12		P_c				

Джерело: розроблено авторами

Згідно з рис. 4, зміна кута розміщення вершин призм істотно впливає на величину сумарних сил затиску. Зокрема, при зміщенні вершин призм у бік захватного пристрою (φ > 0) спостерігається зростання сумарних сил затиску, що пояснюється збільшенням складових нормальних реакцій у точках контакту та відповідним підвищенням сил тертя. У разі зміщення вершин призм у протилежний бік (φ < 0) відбувається зменшення сил затиску, що може призвести до погіршення умов утримання деталі та підвищення ймовірності її проковзування.



а) б)

а) - вершина призми зміщена в сторону від захватного пристрою; б) - вершина призми зміщена в сторону захватного пристрою.

Рисунок 4 – Графіки впливу зміщення вершини призми (φ) на сили затиску (Р)

Джерело: розроблено авторами

Отримана залежність свідчить про те, що кут розміщення призм є важливим параметром, який необхідно враховувати при проєктуванні захватних пристроїв. Раціональний вибір цього параметра дозволяє забезпечити баланс між достатньою силою затиску та недопущенням перевантаження деталі, що є особливо важливим при роботі з тонкостінними та маложорсткими заготовками.

Проведений аналіз впливу конструктивних параметрів захватного пристрою показав, що геометрія затискних елементів, їх просторове розміщення та напрямок дії сили інерції суттєво впливають на величину сумарних сил затиску. Встановлено характер залежностей між основними параметрами та умовами утримання деталі, що дозволяє обґрунтувати раціональні значення конструктивних характеристик захвату.

Отримані результати підтверджують необхідність комплексного врахування як геометричних, так і динамічних факторів при розрахунку сил затиску, особливо для тонкостінних і маложорстких деталей. Це створює передумови для підвищення надійності захоплення та зменшення ризику пошкодження об’єктів у процесі роботизованого маніпулювання.

Висновки:

1. На основі аналізу конструктивних схем захватних пристроїв із призматичними губками встановлено, що визначальними параметрами, які впливають на формування сил затиску, є довжина затискних важелів, відстань між осями обертання, кут розкриття призм, а також кут їх просторового розміщення відносно деталі.

2. Розроблено розрахункову модель визначення сумарних сил затиску, яка враховує геометричні параметри захватного пристрою, схему прикладання сил та напрямок дії інерційних навантажень, що дозволяє більш точно оцінювати умови утримання деталі у порівнянні з існуючими спрощеними підходами.

3. Встановлено, що зі збільшенням кута затискних призм у межах приблизно 100°–120° досягається найбільш раціональне співвідношення між величиною сили затиску та стабільністю утримання деталі, що підтверджує доцільність використання таких значень у практиці проєктування.

4. Досліджено вплив просторового розміщення призм і показано, що зміщення вершин призм у бік захватного пристрою призводить до зростання сумарних сил затиску, тоді як зміщення у протилежний бік зменшує їх, що необхідно враховувати при оптимізації конструкції.

5. Встановлено залежність сумарних сил затиску від напрямку дії інерційних сил: у діапазоні кутів 30°–60° їх вплив є найбільш суттєвим, що обумовлює необхідність урахування динамічних факторів при роботі роботизованих систем.

6. Визначено умови надійного утримання деталей, за яких забезпечується баланс між достатньою силою затиску та недопущенням перевищення допустимих контактних напружень, що є критичним для тонкостінних і маложорстких заготовок.

7. Встановлено раціональні області значень конструктивних параметрів захватного пристрою, які дозволяють мінімізувати сили затиску при збереженні стійкості захоплення, що сприяє підвищенню енергоефективності та зменшенню ризику пошкодження деталей.

8. Сформульовано практичні рекомендації щодо проєктування захватних пристроїв промислових роботів, які можуть бути використані при створенні нових конструкцій або модернізації існуючих систем, зокрема для роботи з деталями складної форми та зниженої жорсткості.

Список літератури

1. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М. О. Годунко та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр.* 2023. Вип. 7 (38), ч.II. С. 27-33.
2. Павленко І. І., Годунко М. О**.** Розрахунок не зрівноважено утримуваних деталей захватними пристроями роботів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр.* 2019. Вип.1 (32). С. 202-210.
3. Павленко І. І., Годунко М. О. Визначення розрахункових сил затиску в захватних пристроях промислових роботів: *Міжнародний науково-технічний журнал Mechanics and Advanced Technologies*. 2019. Том 85, №1. С. 85-92.
4. Павленко І. І., Годунко М. О. Аналіз впливу конструктивних параметрів захватних пристроїв роботів на сумарні сили затиску деталей: Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.* 2008. Вип. 21. С. 168-172.
5. Hesse S. Greifertechnik: effektoren fur roboter und automaten. Carl Hanser Verland Munchen, unveranderter Nachdruck der 1. Auflage von 2011. P. 280.
6. Monkman G. J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. *Robot Grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. 463 p.
7. Bicchi A., Kumar V. Robotic grasping and manipulation. In: *Control Problems in Robotics and Automation*. Berlin: Springer, 2002. P. 55–74.
8. Tai K., El-Sayed A.-R., Shahriari M., Biglarbegian M., Mahmud S. State of the art robotic grippers and applications. *Robotics*. 2016. Vol. 5, No. 2. Article 11.
9. Fantoni G., Capiferri S., Tilli J. Method for supporting the selection of robot grippers. *Procedia CIRP*. 2014. Vol. 21. P. 330–335.
10. Hughes J., Culha U., Giardina F., Guenther F., Rosendo A., Iida F. Soft manipulators and grippers: A review. *Frontiers in Robotics and AI*. 2016. Vol. 3. Article 69.
11. Zhang B., Xie Y., Zhou J., Wang K., Zhang Z. State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, and their applications in agricultural robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 177. Article 105694.
12. AboZaid Y. A., Aboelrayat M. T., Fahim I. S., Radwan A. G. Soft robotic grippers: Technologies, materials, and applications. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2024. Vol. 372. Article 115380.
13. Schütz A., et al. Robot machining of thin-walled workpieces with automatically reconfigurable fixturing systems. *Procedia CIRP*. 2023. Vol. 120. P. 1065–1070.

References

1. Hodunko, M.O., Kyslun, O.A., Mazhara, V.A. et.al. (2023). Development of a Methodology for Force Calculation of a Vertically Oriented Gripping Device. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*: *Collection of Scientific Papers,* 7 (38) , 27-33 [in Ukrainian].
2. Pavlenko, I.I. & Hodunko, M.O. (2019). Calculation of Unbalanced Parts Held by Robot Gripping Devices. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1 (32) , 202–210 [in Ukrainian].
3. Pavlenko, I.I. & Hodunko, M.O. (2019). Determination of Calculated Clamping Forces in Gripping Devices of Industrial Robots. *Mechanics and Advanced Technologies*, International Scientific and Technical Journal. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Vol. 85, No. 1, pp. 85–92 [in Ukrainian].
4. Pavlenko I.I. & Hodunko M.O. (2008). Analysis of the Influence of Structural Parameters of Robot Gripping Devices on the Total Clamping Forces of Parts. *Collection of Scientific Papers of Kirovohrad National Technical University. Engineering in Agricultural Production, Industrial Engineering, Automation*, 21, 168–172 [in Ukrainian].

5. Hesse, S. Greifertechnik: effektoren fur roboter und automaten. Carl Hanser Verland Munchen, unveranderter Nachdruck der 1. Auflage von 2011. 280.
6. Monkman, G.J., Hesse, S., Steinmann, R., Schunk, H. (2007). *Robot Grippers*. Weinheim: Wiley-VCH.
7. Bicchi, A., & Kumar, V. (2002). Robotic grasping and manipulation. In: *Control Problems in Robotics and Automation* (pp. 55–74). Springer, Berlin.
8. Tai, K., El-Sayed, A.-R., Shahriari, M., Biglarbegian, M., & Mahmud, S. (2016). State of the art robotic grippers and applications. *Robotics*, 5(2), 11.
9. Fantoni, G., Capiferri, S., & Tilli, J. (2014). Method for supporting the selection of robot grippers. *Procedia CIRP*, 21, 330–335.
10. Hughes, J., Culha, U., Giardina, F., Guenther, F., Rosendo, A., & Iida, F. (2016). Soft manipulators and grippers: A review. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 69.
11. Zhang, B., Xie, Y., Zhou, J., Wang, K., Zhang, Z. (2020). State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, and their applications in agricultural robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105694.
12. AboZaid, Y.A., Aboelrayat, M.T., Fahim, I.S., & Radwan, A.G. (2024). Soft robotic grippers: Technologies, materials, and applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 372, 115380.
13. Schütz, A., et al. (2023). Robot machining of thin-walled workpieces with automatically reconfigurable fixturing systems. *Procedia CIRP*, 120, 1065–1070.

Maksym Hodunko, PhD tech. sci., **Vitalii Mazhara**, PhD tech. sci., **Volodymyr Shcherbyna**, **Roman Kravchenko**
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Study of the Influence of Structural Parameters of Robot Gripping Devices on the Total Clamping Forces of Parts Considering the Ultimate Strength of the Part

The increasing integration of industrial robots into modern automated and flexible manufacturing systems requires highly reliable and precise gripping mechanisms capable of handling parts without causing damage. This is particularly critical for thin-walled, lightweight, and precision components, which are highly sensitive to local contact stresses. The present study focuses on improving the methodology for determining total clamping forces in prismatic robot grippers, taking into account both structural parameters of the gripping device and the ultimate strength of the handled part .

The paper proposes an enhanced analytical approach based on a rational force transmission model, where resultant forces are assumed to pass through both the geometric center of the gripping prism and the center of mass of the workpiece. This assumption minimizes additional bending moments and ensures a more uniform distribution of contact stresses. The developed mathematical model incorporates key influencing factors such as the prism angle (α), displacement of prism vertices (φ), direction of inertial forces (β), friction conditions, and dynamic loads arising during robot motion.

Analytical expressions for determining the total clamping force are derived, demonstrating that a decrease in the prism angle leads to a significant increase in the resultant clamping force. Additionally, it is shown that shifting the prism vertices toward the gripper increases the clamping force, while the direction and magnitude of inertial forces substantially affect gripping conditions, especially during dynamic operations. The study also highlights the critical importance of maintaining contact pressure below allowable material stress limits, particularly for thin-walled components, where even minor overloads can result in plastic deformation, microcracks, or loss of dimensional accuracy.

The research includes parametric analysis supported by graphical dependencies illustrating the influence of structural and operational parameters on clamping forces. Based on the obtained results, recommended ranges of design parameters for vertically oriented grippers operating under combined motion conditions are established. It is shown that optimal performance can be achieved by selecting appropriate prism geometry, controlling clamping force, increasing contact area, and implementing compliant gripping surfaces.

Furthermore, the study emphasizes the role of modern technologies such as force sensors, adaptive control systems, and CAE-based simulation tools in ensuring real-time monitoring and adjustment of gripping forces. These approaches enable enhanced reliability, reduced defect rates, and improved safety in robotic manufacturing processes.

Overall, the proposed methodology contributes to achieving a balanced compromise between secure part fixation and prevention of structural damage, thereby improving the efficiency, stability, and adaptability of industrial robotic systems in advanced manufacturing environments.

robot grippers, clamping force, industrial robots, allowable stresses, contact pressure, adaptive control

Одержано (Received) 27.02.2026 *Прорецензовано (Reviewed) 27.03.2026*
Прийнято до друку (Approved) 01.04.2026