

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
_____ проф. В.С. Ловейкін
«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА З
ЗАХВАТНИМ ПРИСТРОЄМ МЕХАНІЧНОГО ТИПУ

Спеціальність 133-Галузеве машинобудування_____

Гарант освітньої програми

д.т.н., проф. _____

Булгаков В.М.

Керівники бакалаврської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф. _____

Ловейкін В.С.

к.т.н., ст. викладач _____

Кадикало І.О.

Виконав _____

Юр'єв Ігор Юрійович

Київ – 2026

Додаток Д
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання

д.т.н., проф. Ловейкін В.С.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ _____ ” _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Юр'єв Ігор Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи _____
Розробка конструкції робота-маніпулятора з захватним пристроєм
механічного типу

затверджена наказом ректора НУБіП України від “15” квітня 2026р. № 1044“С”

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 29.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

Перелік графічних документів (за потреби)

Дата видачі завдання “16” квітня 2026р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

(підпис) Ловейкін В.С.
(прізвище та ініціали)

(підпис) Кадикало І.О.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Юр'єв І.Ю.

Зміст

Реферат.....	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Відомості про маніпуляційні системи.....	7
1.1 Види та класифікація роботів-маніпуляторів	7
1.2 Захватні пристрої, види, характеристики та класифікація.....	16
1.3 Види приводів роботів-маніпуляторів.....	24
Розділ 2. Розрахунок конструкції робота-маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу.....	29
Розділ 3. Охорона праці.....	42
Розділ 4. Техніко-економічні розрахунки.....	50
Висновки.....	56
Список літературних джерел.....	57
Додатки.....	64

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Юр’єв І.Ю.			ЗМІСТ			Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Кадикало І.О.								4	64
Реценз.								НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.									
Утверд.											

Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему «Розробка конструкції робота-маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу» містить в собі чотири розділа, висновок, список літературних джерел і додатки. Записка складається із 64-х сторінок, 32-х рисунків, 4-х таблиць, 54-х літературних джерел.

У першому розділі наведено загальні відомості про маніпуляційні системи, класифікацію роботів та типи з'єднань, види приводів та захватних пристроїв. Всі теми ,які наданні в першому розділі розділення на підрозділи, де можна дізнатися про всі теми зв'язані з першим розділом.

У другому розділі виконано конструкторський розрахунок захватного пристрою. Обґрунтовано необхідне зусилля затискання об'єкта, визначено параметри пневмоциліндра приводу захвата, розраховано міцність шарнірів на зріз та деформацію, а також здійснено перевірочний розрахунок клино-важільного механізму при зусиллі приводу та знайдені контактні напруження.

Третій розділ присвячений питанням охорони праці при роботі з роботами-маніпуляторами, техніці їх безпечного використання та експлуатації та надання домедичної допомоги.

У четвертому розділі проведено техніко-економічні розрахунки проєкту.

Ключові слова: робот-маніпулятор, захватний пристрій, механічний механізм, привід, зусилля затискання, сила, шарнір, охорона праці, галузеве машинобудування.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Юр’єв І.Ю.			РЕФЕРАТ			Лім.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Кадикало І.О.								5	64
Реценз.								НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.									
Затверд.											

Вступ

У сучасному світі розвиток та підвищення рівня робототехніки, роботизації, автоматизації є поширеним в багатьох сферах. Використання роботів-маніпуляторів полегшує монотонну роботу та робить її більш точною та стабільною. Головною частиною маніпулятора є захватний пристрій за допомогою якого маніпулятор взаємодіє з об'єктами маніпулювання. Конструювання надійних, ефективних, не дорогих, компактних захватних пристроїв механічного типу, здатних стабільно фіксувати деталі під час динамічних навантажень без пошкодження їхньої поверхні, є важливою задачею, що зумовлює актуальність даної кваліфікаційної роботи.

Під час використання роботів-маніпуляторів виникають проблеми, пов'язані з вибором підходящого типу приводу, точними розрахунками сил інерції, які впливають на об'єкт під час його переміщення, а також із виникненням високих контактних напружень у місцях дотику губок до деталі, що може спровокувати деформацію виробу.

Всі вище перелічені проблеми можна вирішити за допомогою шляхом розробки та математичного обґрунтування кінематичної схеми механізму, проведення перевірочних розрахунків ланок на міцність та аналізу контактних напружень за впливом статичного та динамічного навантаження.

Метою дипломної роботи є розробка та розрахунок конструкції робота-маніпулятора з механічним захватним пристроєм. Цього можна добитися при вирішенні декількох проблем: проаналізувати класифікацію та сфери застосування промислових роботів і їхніх компонентів, обґрунтувати вибір кінематичної схеми маніпулятора та захватного пристрою, виконати силові та конструктивні розрахунки елементів приводу і шарнірних з'єднань, розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки, провести техніко-економічний аналіз доцільності впровадження розробки.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Юр'єв І.Ю.					
Перевір.		Кадикало І.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	64
					НУБіП України		

Розділ 1

ВІДОМОСТІ ПРО МАНІПУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ

1.1. Види та класифікація роботів-маніпуляторів

Маніпулятори - це складні технічні пристрої, які за функціоналом нагадують людську руку і призначені для переміщення об'єктів або виконання певної роботи у просторі.

Руки роботів-маніпуляторів зазвичай мають від трьох до шести ступенів свободи, що забезпечуються низкою з'єднань (аналогічних плечовому, ліктьовому або зап'ястному), які з'єднують різні ланки пристрою (аналогічні плечу, передпліччю або долоні). У робототехнічних маніпуляторах з'єднання зазвичай класифікуються як обертові (обертові) або лінійні (призматичні). Тип руки визначає кількість ступенів свободи, а також її робочий простір (наскільки далеко вона може досягти).

Типи з'єднань можуть бути обертові або призматичні.

Обертові (R) з'єднання: Це з'єднання функціонує як шарнір, забезпечуючи обертальний рух між двома ланками. Воно дозволяє одній ланці обертатися відносно іншої навколо фіксованої осі, забезпечуючи кутовий рух. Обертові з'єднання поширені в застосуваннях, що вимагають поворотних або хитних рухів.

Призматичне (P) з'єднання: Це з'єднання дозволяє лінійний рух між двома ланками, дозволяючи одній ланці ковзати по прямій траєкторії відносно іншої. Призматичні з'єднання необхідні для завдань, що вимагають прямолінійного висування або втягування.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВІДОМОСТІ ПРО МАНІПУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ		
Розроб.		Юр'єв І.Ю.					
Перевір.		Кадикало І.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						7	64
					НУБіП України		

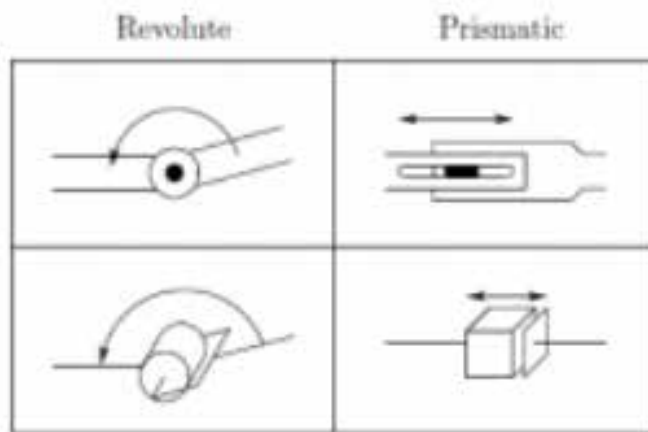


Рис 1.1. Обертові та призматичні з'єднання

Ці два основні типи з'єднань можна комбінувати для створення складнішого руху. Наприклад, сферичне з'єднання можна представити, як серію з трьох обертових з'єднань, кожне з яких дозволяє обертання навколо іншої осі з нульовою довжиною з'єднань між ними. Це дозволяє сферичним з'єднанням досягати свободи обертання в кількох напрямках, що цінно для складних рухів маніпулятора, що потребують 3D-керування орієнтацією. Поєднуючи ці основні типи з'єднань, роботизовані маніпулятори досягають широкого діапазону можливостей руху, адаптованих до різних промислових завдань та застосувань.

Таблиця 1.1. З'єднання ланок

Назва з'єднання	Позначення	Опис
Обертальне		Дозволяє відносне обертання навколо однієї осі.
Циліндричне		Дозволяє відносне обертання та переміщення вздовж однієї осі.
Призматичне		Дозволяє відносне переміщення вздовж однієї осі.
Сферичне		Дозволяє обертання на три ступені свободи навколо центру з'єднання. Також відоме як кульове шарнірне з'єднання.
Плоске		Дозволяє відносне переміщення в площині та відносне обертання навколо осі, перпендикулярної до цієї площини.

Особливості з'єднань. Обертові з'єднання (ротаційні з'єднання): обертання навколо однієї осі, тобто виконують скручувальний рух. Призматичні з'єднання (лінійні з'єднання): поступальний рух навколо однієї осі, тобто виконується рух розгинання. Циліндричні з'єднання: виконують обертання та поступальний рух навколо однієї осі. Сферичні з'єднання (кульовий шарнір): мають три ступені обертання.

Мільйони промислових роботів активно працюють на заводах Індустрії 4.0 по всьому світу. Вони використовуються для збільшення обсягів виробництва, покращення якості, зниження витрат та підтримки більш гнучких та сталих операцій. Через важливість промислових роботів Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила стандарт 8373:2021 «Словник робототехніки», щоб визначити терміни, що використовуються в робототехніці, та забезпечити спільну мову для обговорення багатьох типів роботів та їх застосування.

Міжнародна федерація робототехніки (IFR) використала ключові терміни, визначені в ISO 8373:2021, для визначення шести класифікацій роботів на основі їхньої механічної структури, включаючи: Типи та кількість з'єднанняів, які має робот-маніпулятор, визначають ступінь його руху, форму робочої зони та потенційні застосування. Ось огляд найпоширеніших типів роботів-маніпуляторів, що використовуються на даний час.

Портальні або декартові, також відомі, як козлові роботи роботи-маніпулятори встановлюються над головою та мають три призматичні шарніри, що забезпечують лінійні ковзні рухи. Вони класифікуються як 3-осьові роботи та мають великі прямокутні або кубічні робочі зони. Однією з головних переваг декартових роботів-маніпуляторів є їхня висока точність та повторюваність. Завдяки своїй лінійній конструкції ці роботи можуть досягати точності позиціонування до 0,001 мм. Крім того, декартові роботи відомі своєю масштабованістю, оскільки їх можна легко налаштувати для різних розмірів робочого простору та місткості корисного навантаження. Однак, роботи-маніпулятори за декартовою системою мають деякі обмеження. Їхній

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рух обмежений лінійними траєкторіями, що може не підходити для застосувань, що вимагають складних або криволінійних траєкторій. Крім того, розмір і вага роботів-маніпуляторів за декартовою системою можуть бути значними, особливо для великомасштабних застосувань, що може призвести до збільшення споживання енергії та зниження загальної ефективності. Роботи-маніпулятори за декартовою системою зазвичай використовуються в таких галузях, як виробництво та автоматизація. Їхні можливості точного позиціонування роблять їх ідеальними для таких завдань, як операції з переміщення, складання та інспекція. Наприклад, роботи-маніпулятори за декартовою системою часто використовуються в електронній промисловості для складання друкованих плат (РСВ), де висока точність і повторюваність є вирішальними для точного розміщення дрібних компонентів.

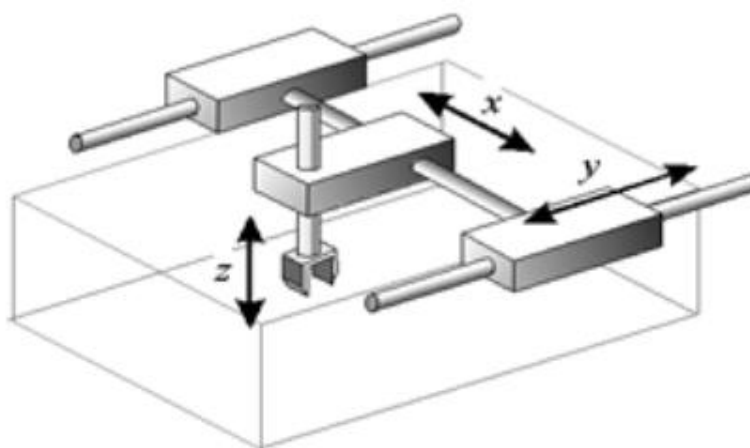


Рис. 1.2. Декартові роботи

Циліндричні роботи-маніпулятори отримали свою назву від форми своєї робочої зони. Вони включають лінійні шарніри, з'єднані з поворотною основою, що полегшує рух вздовж вертикальної осі. Така конфігурація дозволяє маніпулятору видовжуватися та втягуватися будь-де в межах 360 градусів. Однією з головних переваг циліндричних роботів-маніпуляторів є їхня здатність обходити перешкоди в межах їхнього циліндричного робочого простору. Це робить їх придатними для застосувань, де доступ до цільового об'єкта може бути обмежений. Крім того, циліндричні роботи можуть

забезпечити компактний розмір, оскільки їхня вертикальна колона та радіальна конструкція важеля дозволяють їм займати менше місця на підлозі порівняно з іншими типами роботів. Однак циліндричні роботи-маніпулятори також мають деякі обмеження. Їхня робоча область обмежена циліндричною формою, що може не підходити для застосувань, що вимагають більшого або іншої форми робочого простору. Крім того, точність та повторюваність циліндричних роботів можуть бути нижчими, ніж у декартових роботів, оскільки поєднання лінійних та обертальних рухів може призвести до додаткових джерел помилок. Циліндричні роботи-маніпулятори зазвичай використовуються в таких галузях, як складання та пакування. Їхня здатність обходити перешкоди робить їх добре придатними для таких завдань, як завантаження та розвантаження машин, де доступ до цільового об'єкта може бути обмежений. Наприклад, циліндричні роботи можуть використовуватися у фармацевтичній промисловості для складання медичних виробів або упаковки ліків, де їх компактний розмір та здатність маневрувати навколо перешкод є цінними перевагами.[1]



Рис 1.3. Циліндричний робот



Рис 1.4. Цей циліндричний робот має один обертний призматичний шарнір.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роботи-маніпулятори з вибірковою сумісною збіркою (SCARA)

мають поворотні шарніри та рухаються вздовж осі X/Y, залишаючись жорсткими вздовж осі Z. Результатом є широка напівкругла робоча зона. Роботи-маніпулятори SCARA класифікуються як 4-осьові роботи. Аббревіатура SCARA розшифровується як «роботована рука вибіркової відповідності збірки» або «зчленована робота вибіркової відповідності». Роботи SCARA мають рухи, подібні до рухів людської руки. Ці машини мають плечовий та ліктьовий з'єднання, а також вісь зап'ястя та вертикальний рух. Роботи SCARA мають 2 обертові з'єднання та 1 призматичний з'єднання. Роботи SCARA мають обмежену кількість рухів, але це також є їхньою перевагою, оскільки вони можуть рухатися швидше, ніж інші 6-осьові роботи. Вони також дуже жорсткі та довговічні. Вони здебільшого використовуються в цільових застосуваннях, які потребують швидких, повторюваних та зчленованих рухів від точки до точки, таких як палетування, DE палетування, завантаження/розвантаження машин та складання. Їхніми недоліками є обмежена кількість рухів та не дуже гнучкість.



Рис 1.5. SCARA робот

Полярні роботи-маніпулятори також відомі як сферичні роботи-маніпулятори. Вони мають комбінацію поворотних та лінійних шарнірів, встановлених на основі за допомогою обертового шарніра. Це дозволяє

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

здійснювати кругові рухи, що дозволяє маніпулятору рухатися в межах трьох осей для сферичної робочої зони. Однією з головних переваг сферичних роботів-маніпуляторів є їхня здатність охоплювати великий робочий простір з відносно невеликою площею. Їх унікальне поєднання лінійних та обертальних рухів дозволяє їм отримувати доступ до широкого діапазону положень у своєму сферичному робочому просторі. Крім того, сферичні роботи можуть забезпечити високий ступінь спритності, що робить їх придатними для застосувань, що вимагають складних і точних рухів.



Рис 1.6. Полярний робот

Паралельний/дельта-робот - це маніпулятор, ланки якого утворюють замкнену контурну структуру.

У той час як інші роботи, такі як циліндричні або декартові, названі на честь їхнього руху, дельта-робот названий так через свою перевернуту трикутну форму. Дельта-роботи мають від 2 до 6 осей, причому 2- та 3-осьові конструкції є найпоширенішими. Як і 2-осьові декартові роботи, 2-осьові дельта-роботи технічно не відповідають вимогам ISO 8373, щоб називатися роботами.

Дельта-роботи розроблені для швидкості, а не для міцності. Вони встановлюються над робочою зоною та виконують такі функції, як забирання та розміщення, сортування, розбирання та пакування. Їх часто можна знайти

над конвеєром, переміщуючи деталі по виробничій лінії. Захоплювальний пристрій з'єднаний з довгими, тонкими механічними зв'язками. Ці зв'язки ведуть до трьох або чотирьох великих двигунів біля основи робота. Інший кінець зв'язків прикріплений до інструментальної пластини, де кріпиться EOAT (Energy Axle - додатковий важіль).

RBTX-IGUS-0047 від Igus є прикладом 3-осьового дельта-робота. Він має діаметр робочого простору 660 мм і може обробляти максимальне навантаження 5 кг. При обробці вантажу 0,5 кг він може виконувати 30 рухів за хвилину з максимальною швидкістю 0,7 м/с та прискоренням 2 м/с². Він має повторюваність $\pm 0,5$ мм.



Рис. 1.7. Тривісний дельта-робот та контролер.

Шарнірні роботи мають три або більше поворотних шарнірів. Це великий клас роботів. Шарнірні роботи можуть мати десять або більше осей, причому шість є найпоширенішими. Шестиосьові роботи можуть рухатися в площинах x, y та z, а також обертатися по тангажу, риханню та крену, що дозволяє їм імітувати рух людської руки. Вони також доступні з широким діапазоном корисного навантаження від менше 1 кг до понад 200 кг. Можливості досяжності цих роботів також широко варіюються від менше 1 метра до кількох метрів. Наприклад, KR 10 R1100-2 від KUKA - це шестиосьовий шарнірний робот з максимальним досяжністю 1101 мм,

максимальним корисним навантаженням 10,9 кг та повторюваністю поз $\pm 0,02$ мм (Рисунок 1). Він також має високошвидкісні рухи, короткий час циклу та інтегровану систему енергопостачання. Шарнірні роботи можуть бути стаціонарно встановлені на підлозі, стіні або стелі. Їх також можна монтувати на рейках на підлозі або над головою, на автономному мобільному роботі або іншій рухомій платформі та переміщувати між робочими станціями. Вони використовуються для виконання різних завдань, включаючи обробку матеріалів, зварювання, фарбування та інспекцію. Шарнірні роботи є найпоширенішою топологією для реалізації колаборативних роботів (коботів), призначених для роботи з людьми. У той час як звичайний робот працює в захисній клітці із захисними бар'єрами, кобот призначений для тісної взаємодії з людьми. Наприклад, кобот LXMRL12S0000 від Schneider Electric має максимальну досяжність 1327 мм, максимальне корисне навантаження 12 кг та повторюваність поз $\pm 0,03$ мм. Коботи часто мають захист від зіткнень, закруглені краї, обмеження сили та меншу вагу для підвищення безпеки.



Рис. 1.8. Шестиосьовий шарнірний робот з повторюваністю поз $\pm 0,02$ мм.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Захватні пристрої, види, характеристики та класифікація

Роботизовані захвати є важливими інструментами в автоматизації, що дозволяють машинам піднімати та переміщувати об'єкти. Визначення кінцевого ефектора / захвату. Роботизований захват (також відомий як інструмент кінця руки - ЕОАТ, або кінцевий ефектор) - це периферійний пристрій, встановлений на кінцевому фланці промислового робота-маніпулятора або колаборативного робота (кобота). Захват служить точкою безпосереднього контакту між роботом та робочим середовищем. Його основна функція полягає в імітації людської руки або спеціалізованих інструментів для виконання фізичних маніпуляцій, таких як захоплення, утримання, відпускання, обертання або застосування сили до об'єктів (заготовок) у виробничому процесі.

Коротше кажучи, хоча робот-маніпулятор забезпечує міцність і радіус дії, захват - це інструмент, який визначає конкретні можливості та спритність системи автоматизації. Існує багато типів захватів, кожен з яких розроблений для виконання певних завдань. У цьому посібнику розглядаються різні типи захватів, включаючи пневматичні, вакуумні, гідравлічні та електричні.

Роль захвату в промисловій робототехніці

Захват відіграє ключову роль у перетворенні універсальної роботизованої руки на спеціалізовану систему автоматизації:

Точне оброблення матеріалів: Від переміщення надмалих електронних мікросхем (мікронного масштабу) до обробки важких коробок вагою десятки кілограмів, захват забезпечує безпечне оброблення матеріалів та їх розміщення в правильному положенні.

Підтримка складних процесів складання: Під час складання захват не тільки утримує компоненти, але й може інтегрувати датчики сили для відчуття та регулювання положення, забезпечуючи зчеплення деталей без пошкоджень (наприклад, точне складання механічних компонентів).

Ефективне обслуговування машин: Захват безперервно виконує завантаження та розвантаження заготовок, максимізуючи час безвідмовної роботи дорогих обробних машин, таких як верстати з ЧПК та ливарні машини.

Вимірювання та контроль: У поєднанні з іншими інструментами ЕОАТ, такими як інтелектуальні камери або датчики, захват допомагає роботу виконувати автоматизовані та об'єктивні перевірки якості.

Загальна структура роботизованого захоплювача

Незважаючи на конструктивні відмінності, типовий захоплювач зазвичай складається з чотирьох основних компонентів:

Щелепи / Пальці: Це частина, яка контактує з об'єктом та утримує його. Пальці можуть бути стандартними металевими щелепами (2-пальцеві, 3-пальцеві) або спеціалізованими м'якими накладками, розробленими для форми та матеріалу заготовки. Тертя матеріалу пальців є вирішальним фактором.

Привід: Це джерело живлення, яке приводить в дію механізм відкриття/закриття. Привід визначає силу захоплення, швидкість реакції та можливості керування захоплювачем.

Пневматичний/гідравлічний: Використовує поршень і циліндр для перетворення енергії тиску в лінійний рух. Переваги включають великий миттєвий крутний момент, але складність точного керування проміжними положеннями.

Електричний (моторизований): Часто використовує серво- або крокові двигуни в поєднанні з кульковим гвинтом або зубчастим механізмом. Серводвигуни забезпечують точне керування положенням, швидкістю та силою захоплення в замкнутому циклі, що є важливим для застосувань, що потребують плавного зусилля або безперервного регулювання ходу.

Датчики та системи зворотного зв'язку: Датчики надають дані в режимі реального часу, щоб робот міг адаптуватися до середовища.

Датчики положення: Зазвичай це інтегрований енкодер в електричних захоплювачах або датчики наближення/ефекту Холла в пневматичних

захоплювачах, що допомагає точно визначити відкрите/закрите положення щелеп.

Датчики сили/крутного моменту: Встановлені на зап'ясті робота або безпосередньо на щелепах. Вони вимірюють силу, що прикладається до заготовки, дозволяючи роботу регулювати силу захоплення за допомогою замкнутого циклу керування, що особливо важливо при роботі з крихкими матеріалами (наприклад, складання з жорсткими допусками).

Системи зору: Інтегровані 2D або 3D камери на ЕОАТ дозволяють роботу розпізнавати та знаходити заготовки, які не знаходяться у фіксованих положеннях (комплектція з контейнерів), або виконувати перевірку якості одразу після комплектації.

Тактильні датчики: Новіша розробка, що використовує матрицю датчиків тиску на поверхні щелепи, щоб «відчувати» форму, текстуру та ковзання заготовки, підвищуючи надійність у неструктурованих середовищах.

Монтажний фланець та інтерфейс: Включає механічний фланець для кріплення до робота та електричні/комунікаційні порти (такі як Ethernet, Modbus, Profinet, IO-Link) для надсилання роботом команд керування та отримання даних зворотного зв'язку від захоплення.

Функції та переваги використання роботизованих захватів

Впровадження роботизованих захватів - це не лише автоматизація, а й оптимізація всього виробничого процесу:

Автоматизація повторюваних завдань. Звільнення працівників від монотонних, повторюваних або фізично виснажливих завдань (RSI). Це дозволяє перенаправити людські ресурси на завдання, що вимагають складного мислення або контролю якості.

Збільшення швидкості виробництва - зменшення помилок. Роботи підтримують стабільну робочу швидкість цілодобово. Завдяки високій точності позиціонування (зазвичай нижче 0,1 мм) та швидкому часу реакції, роботизовані системи значно зменшують помилки, спричинені неточністю позиціонування або нестабільною силою захоплення.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Забезпечення безпеки - зменшення прямого контакту. Роботизовані захвати ідеально підходять для небезпечних середовищ, таких як зони з високою температурою (печі), зони контакту з токсичними хімічними речовинами або роботи важких машин, забезпечуючи безпеку працівників.

Підвищення однорідності продукції. Стабільність сили захоплення та розміщення заготовки відповідно до програми усуває коливання якості, які часто спостерігаються в ручній праці, тим самим покращуючи однорідність та якість продукції, що випускається.

Гнучка інтеграція з різними роботами. Сучасні рішення EOAT, такі як лінійка продуктів OnRobot, розроблені за принципом «Єдиного системного рішення», що дозволяє інтегрувати механічні та програмні засоби за принципом «підключи та працюй» з понад 14 провідними брендами роботів (Universal Robots, Fanuc, ABB тощо).

Популярні типи роботизованих захватів сьогодні



Рис. 1.9. Типи роботизованих захватів

Класифікація роботизованих захватів за механізмом приводу є найпоширенішим підходом, оскільки це безпосередньо впливає на продуктивність, вартість та гнучкість.

Пневматичні захвати. Робота захвата полягає у використанні стисненого повітря, що подається від повітряного компресора, перетворюючи енергію повітря на лінійний або кутовий рух за допомогою поршня. Його сильною стороною є надзвичайно висока сила захоплення відносно розміру (висока сила захоплення), проста конструкція, висока міцність, низькі початкові інвестиційні витрати та дуже висока швидкість відкриття/закриття. На жаль він має мінуси які виражаються в тому що її силу захоплення важко гнучко контролювати (зазвичай лише відкритий/закритий стан з фіксованою силою), вимагає стабільної системи стисненого повітря та створює шум. Використовують їх при високошвидкісному захопленні та розміщенні, обслуговування машин, що вимагає сильної сили захоплення, або важкі умови експлуатації.

Електричні захвати. Робота захвата, вони працюють від крокових або серводвигунів, передаючи зусилля через кульково-гвинтові або зубчасті механізми. Точність та контроль – це їх найбільша перевага. Електричні захвати пропонують абсолютно точне керування положенням (переміщенням) та силою захоплення (керування із замкнутим контуром). Вони можуть зупинитися в будь-якому положенні та застосувати запрограмовану силу захоплення. Підходить для делікатного складання (наприклад, електронних компонентів, медичних приладів), обробки кількох заготовок різних розмірів без зміни губок (гнучка автоматизація). Їх недоліки це сила захоплення зазвичай слабша, ніж у пневматичних захватів того ж розміру, а вартість вища.

Гідравлічні захвати. Їх сила захоплення використовує гідравлічну рідину (олію) під високим тиском. Цей тип захвата має найвищу силу захоплення (дуже велику, потенційно тонни), і сила не зменшується з часом. Його приймають в експлуатація в виробничих середовищах з високим навантаженням, обробці ливарних, кувальних заготовок, обробці гарячого металу або надзвичайно великих і жорстких матеріалів. Його слабкі сторони це використання складної насосної системи та резервуар для оливи,

схильність до витоків оливи (що впливає на робоче середовище), високі витрати на обслуговування, не підходить для чистих приміщень.

Вакуумні захвати працюють за допомогою перепаду тиску шляхом відсмоктування повітря з зони контакту між присоском та об'єктом, використовуючи атмосферний тиск для утримання об'єкта. Поділяють їх на одночашкові/багаточашкові: Використовуються для невеликих предметів або коли потрібна висока гнучкість. Вакуумні прокладки великої площі (захоплювач великої площі): Підходять для завантаження/розвантаження товарів на/з піддонів (палетування), обробки великих листових матеріалів (скло, металеві листи, дерев'яні панелі) або пористих легких картонних коробок.

Захоплювачі Бернуллі (безконтактні): Беруть в використання високошвидкісний повітряний потік для створення вакууму без фізичного контакту, ідеально підходять для кремнієвих пластин або дуже крихких матеріалів. Його перевага являє собою низьку вартість, можливість обробляти предмети з нерівними поверхнями або ті, що розташовані трохи косо.

Магнітні захвати використовують на спеціально розроблених для захоплення та переміщення деталей з чорних металів (феромагнітних матеріалів). Електромагнітні: Вмикають/вимикають магнетизм за допомогою електричного струму. Дозволяють точно та гнучко контролювати відпускання заготовки. Це найпоширеніший тип. Постійний магніт - це дуже сильна сила захоплення, але вимагає механічного механізму або електричного імпульсу для розмагнічування та відпускання заготовки. А ось використовують їх в обробці металевих листів, штабелювання плоских металевих заготовок, робота в маслянистому середовищі, де механічне затискання може зісковзнути.

М'які захвати Використовують еластичні матеріали (силікон, гуму) та часто працюють з низьким тиском повітря для деформації структури захвата. Здатні охоплювати та самоналаштуватися під форму об'єкта. Їх використання можна побачити в харчовій промисловості (фрукти, овочі,

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кондитерські вироби), фармацевтика, м'яка упаковка або будь-який продукт з м'якою, легко деформованою або крихкою поверхнею. М'які захвати імітують спритність та ніжність людської руки.

Захвати для конкретних застосувань. Це спеціалізовані конструкції для задоволення нестандартних вимог до захоплення, включаючи: 3-пальцеві, 4-пальцеві захвати: Використовуються для захоплення круглих або циліндричних предметів. 3-пальцеві захвати забезпечують чудову здатність до самоцентрування та вищу стабільність, ніж 2-пальцеві захвати.

Механічні захвати Механічні захвати використовують пальці або щелепи для фізичного захоплення об'єкта. Вони неймовірно універсальні та можуть обробляти предмети різних розмірів і форм, якщо поверхня об'єкта дозволяє надійне захоплення. Підтипи включають: Двопальцеві захвати: ідеально підходять для простих завдань захоплення та розміщення, їх зазвичай можна побачити на виробничих складальних лініях. Трипальцеві захвати: вони забезпечують більш збалансоване захоплення та можуть обробляти круглі або нерівні предмети, що робить їх придатними для таких завдань, як складання автомобільних деталей або завантаження компонентів машин.

Спеціалізовані пальці: Пальці друкуються на 3D-принтері або спеціально виготовляються з точними контурами та канавками, щоб відповідати складній формі заготовки, оптимізуючи силу захоплення в точках контакту.

Класифікація захватів за механізмом руху

Класифікація за рухом визначає, як захват утримує об'єкт:

1. Паралельні захвати Два пальці рухаються вздовж паралельної осі, що підходить для захоплення об'єктів з плоскими поверхнями, прямокутними формами або заготовок змінних розмірів.
2. 3-щелепні захвати Три пальці одночасно рухаються до центру, створюючи чудове самоцентрування, що ідеально підходить для захоплення круглих об'єктів, циліндрів або труб.

3. Кутові захвати Пальці обертаються під кутом, щоб захопити об'єкт, зазвичай 30°, 45° або 90°. Цей тип використовується, коли роботу потрібно підняти заготовку під кутом або швидко очистити простір над об'єктом.
4. Поворотні захвати Захват поєднує в собі можливість обертати заготовку горизонтально під час її утримання, що використовується в складальних програмах або для регулювання орієнтації заготовки.
5. Гібридні захвати Поєднують два або більше механізмів (наприклад, паралельний захват з інтегрованим вакуумним відсмоктуванням на кінчику пальця) для підвищення гнучкості та можливості обробки різноманітних заготовок.

Ключові критерії вибору роботизованого захвату Вибір правильного захвату - це складне технічне рішення, яке вимагає детальної оцінки наступних критеріїв:

Розрахунок сили захоплення та тертя Вимога до сили: Необхідна сила захоплення ($F_{\text{захоплення}}$) повинна подолати суму сили тяжіння ($F_{\text{гравітації}}$) та сил інерції ($F_{\text{інерції}}$), що генеруються прискоренням робота та його різким зупиненням. Проста формула (основний принцип): Мінімальна сила захоплення повинна бути достатньо великою, щоб утримувати об'єкт без ковзання під час руху. Ця сила залежить від маси об'єкта (m), максимального прискорення робота (a_{max}), гравітаційного прискорення (g , приблизно $9,81 \text{ м/с}^2$), коефіцієнта тертя між пальцем захвату та об'єктом (μ) та кількості контактних пальців (N). Необхідно забезпечити, щоб сила захоплення була більшою або дорівнювала $(m * (a_{\text{max}} + g)) / (\mu * N)$. Коефіцієнт безпеки: Для забезпечення абсолютної безпеки обрана сила захоплення зазвичай включає коефіцієнт безпеки від 1,5 до 3 разів перевищує розраховану мінімальну силу.

1.3. Види приводів роботів-маніпуляторів

Привідний пристрій промислових роботів є основним компонентом, що визначає їхню рухливість. Це силовий механізм, який змушує робота рухатися, і є його серцем. У цій статті буде представлено різні типи приводних пристроїв промислових роботів, те, як вони перетворюють електричну або рідинну енергію на механічну для виконання командних сигналів системи керування та виконання різних робочих завдань. Силкові пристрої промислових роботів поділяються на три типи залежно від їх джерел живлення: гідравлічний привід, пневматичний привід та електричний привід. Ці три основні типи також можна об'єднати в комбіновані приводні пристрої за потреби.

Гідравлічний привідний пристрій

Гідравлічний привідний пристрій використовує накопичену в рідині енергію для руху промислових роботів. Ця система використовує лінійні поршні або роторні поршні, а також гідравлічні сервосистеми. Гідравлічна сервосистема регулює поперечний переріз потоку за допомогою сервоклапанів для досягнення регулювання швидкості потоку пропорційно до сигналу керування. Характеристики гідравлічного приводу включають високу вихідну потужність, високе співвідношення крутного моменту до інерції, швидку реакцію та придатність для середовищ з великими навантаженнями та інерцією. Однак через необхідність перетворення електричної енергії в гідравлічну, його ефективність відносно низька, а витік рідини може спричинити забруднення навколишнього середовища та генерувати високий рівень шуму. Тому в роботах з низькими та середніми навантаженнями зазвичай використовуються електричні приводні системи.

У галузі важкої промисловості, такій як автомобільне виробництво та обробка металу, широко використовуються гідравлічні приводні пристрої. Наприклад, у галузі автомобільного виробництва гідравлічні системи широко використовуються для керування роботизованими маніпуляторами, що дозволяє їм точно захоплювати та керувати важкими компонентами

транспортних засобів, такими як кузов та двигун. Крім того, гідравлічні приводні пристрої зазвичай використовуються у великих екскаваторах та кранах у будівельній галузі, щоб забезпечити достатню потужність для роботи важкого обладнання.

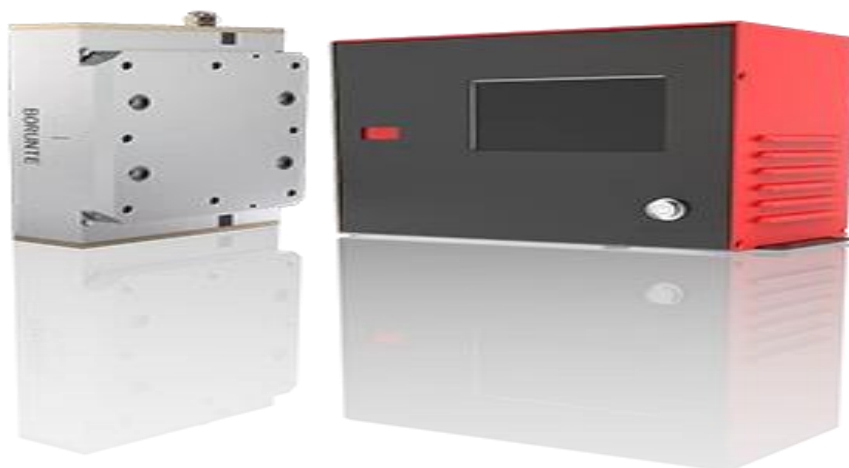


Рис. 1.10. Гідравлічний приводний пристрій

Пневматичний приводний пристрій

Пневматичні приводні пристрої використовують тиск повітря для керування рухом промислових роботів, які зазвичай складаються з поршнів та регулювальних клапанів. Їхні характеристики включають високу швидкість, просту структуру, легке обслуговування та низьку вартість, що робить їх придатними для роботів з малими та середніми навантаженнями. Однак реалізація сервокерування є відносно складною, тому його здебільшого використовують для програмно-керованих роботів, таких як завантаження, розвантаження та штампування.

Пневматичні приводні пристрої мають широкий спектр застосування в автоматизації на складальних лініях. Наприклад, у виробництві електроніки роботи з пневматичним приводом зазвичай використовуються для обробки та складання крихтих електронних компонентів, таких як друковані плати та напівпровідники. Крім того, у пакувальній промисловості роботи з пневматичним приводом використовуються для наповнення, герметизації та маркування продукції з метою підвищення ефективності виробництва.

Електричний приводний пристрій

Електричний приводний пристрій використовує різні методи, включаючи кроковий двигун, серводвигун постійного струму та серводвигун змінного струму. В останні роки серводвигуни змінного/постійного струму з низькою інерцією та високим крутним моментом та їх сервоприводи широко використовуються в різних типах робіт. Їхні характеристики включають відсутність потреби в перетворенні енергії, простоту використання, низький рівень шуму та гнучке керування. Більшість електродвигунів вимагають встановлення прецизійних механізмів передачі, але щіткові двигуни постійного струму не можуть використовуватися в середовищах, що вимагають вибухозахисту. В останні роки розробка двигунів прямого приводу дозволила роботам досягти швидкого та високоточного позиціонування, і тому вони широко використовуються в складальних роботах.



Рис. 1.11. Електричний приводний пристрій

Пристрої з електроприводом широко використовуються в різних галузях промисловості. У фармацевтичному виробництві роботи з електроприводом використовуються для точного дозування лікарських інгредієнтів. У харчовій промисловості роботи з електроприводом використовуються для автоматизованого пакування та сортування харчових продуктів. Крім того, в аерокосмічній галузі пристрої з електроприводом зазвичай використовуються

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для керування роботами-маніпуляторами для складання та обслуговування компонентів літаків, забезпечуючи високоточні роботи зі складання та технічного обслуговування.

Немає переваги чи неповноцінності в жодному пристрої, той, який підходить, є найкращим. Існують різні типи приводних пристроїв для промислових роботів, і вкрай важливо вибрати відповідний метод керування відповідно до різних потреб та сценаріїв застосування. Ці три типи приводних пристроїв відіграють ключову роль у різних промислових застосуваннях, допомагаючи роботам виконувати різні завдання та підвищувати ефективність виробництва та якість продукції. Вибір відповідного методу керування зазвичай залежить від конкретних вимог застосування та промислового середовища.

Переваги та недоліки чотирьох силових пристроїв для промислових роботів:

Гідравлічний привід. Його переваги це швидка реакція, легка стандартизація конструкції, висока ефективність дроселювання та велика вантажопідйомність. Недоліками виступає те, що гідравлічні ущільнення схильні до проблем та становлять пожежну небезпеку за певних умов. Зазвичай використовуються в промислових роботах для фарбування розпиленням та важких промислових роботах

Пневматичний привід. Його перевагами можна назвати швидку реакцію, просту структуру, легку стандартизацію, низькі вимоги до монтажу, низька вартість. Недоліками його є ризик вибуху, коли тиск перевищує 10 атмосфер. Галузь застосування: Здебільшого використовується в роботах для маніпуляцій з точковим керуванням

Електричний привід. Його переваги це проста структура, гнучке керування, висока точність. Також в ньому наявні неприємні недоліки такі як низька вибухобезпечність щіткових двигунів постійного струму. Використовується в різних високоточних промислових роботах для дугового зварювання та складання

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні приводи По суті, механічний привід, або редуктор швидкості, перетворює високошвидкісний вихідний момент двигуна з низьким крутним моментом на необхідний крутний момент для більших навантажень на менших швидкостях. Наприклад, уявіть собі двигун, який обертається зі швидкістю 100 обертів за хвилину (об/хв), але генерує лише 1 ньютон-метр (Нм) крутного моменту. Цього може бути достатньо для легких завдань, але що робити, якщо великому роботу потрібно 100 Нм крутного моменту для руху суглобів? Ось тут і приходить на допомогу привід. Привід перетворює 1 Нм крутного моменту від двигуна на 100 Нм, необхідні для роботи, що дозволяє йому виконувати важкі завдання. Однак, є компроміс: збільшення крутного моменту призводить до зниження швидкості. Якщо двигун робить 100 обертів за секунду, привід сповільниться до одного оберту за секунду, але зі значно більшою силою. По суті, привід регулює співвідношення між швидкістю та крутним моментом, щоб задовольнити вимоги різних застосувань.

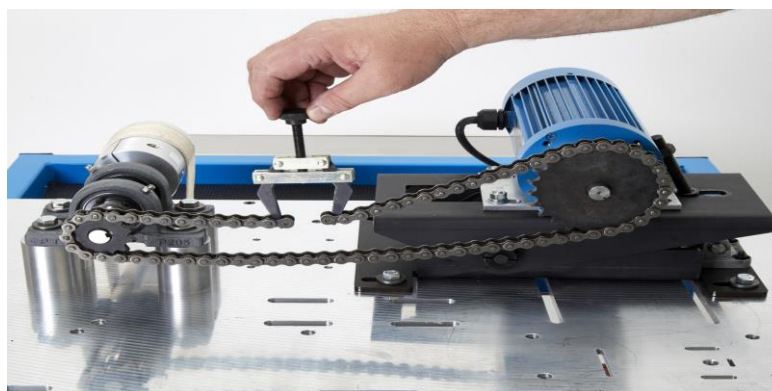


Рис. 1.12. Механічний привідний пристрій

Розділ 2

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА З ЗАХВАТНИМ ПРИСТРОЄМ МЕХАНІЧНОГО ТИПУ

Рукоподібна структура промислового робота відома, як робот-маніпулятор. Цей компонент виконує завдання, на які запрограмовано робота. Також відомий, як рука робота, маніпулятор кріпиться до корпусу робота та складається з кількох ланок та шарнірів. Ланки - це жорсткі компоненти, що з'єднують різні секції маніпулятора робота. Їхня жорсткість забезпечує міцну структуру, але суглоби необхідні для гнучкості. Як і людське тіло, роботизовані суглоби рухаються по-різному, забезпечуючи лінійні, обертальні та революційні рухи. Це дозволяє роботу виконувати потрібні рухи в межах своєї робочої області. Роботи-маніпулятори - це роботизовані системи, призначені для виконання завдань фізичної маніпуляції, таких як підйом, переміщення та розміщення об'єктів у різних промислових середовищах без необхідності прямого контакту з оператором. Ці традиційні промислові маніпулятори зазвичай складаються з шарнірно зчленованого механічного маніпулятора, який нерухомо встановлений у потрібному місці та може керуватися автономно або дистанційно за допомогою оператора-людини. Маніпулятор також міститиме кінцевий інструмент (захоплювач) залежно від застосування. Кінцевими інструментами можуть бути, серед іншого, вакуумні захвати, захвати, роботизована рука, викрутка або вдосконалені системи зору/сканування. Перші застосування маніпуляторів були, здебільшого, тими, що вимагали обробки матеріалів у місцях з важким доступом або контакт з якими був небезпечним для людини: радіоактивними, важкими, високими температурами, високою напругою,

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Юр’єв І.Ю.			РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА З ЗАХВАТНИМ ПРИСТРОЄМ МЕХАНІЧНОГО ТИПУ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кадикало І.О.								29	64
Реценз.								НУБіП України			
Н. Контр.		Ловейкін В.С.									
Затверд.											

тощо. Сьогодні, коли йдеться про роботи-маніпулятори, ми розуміємо не лише статично закріплену рукоятку маніпулятора, а мобільну маніпуляцію, як передовий розвиток, що виникає в результаті інтеграції руки-маніпулятора та мобільної роботизованої платформи.

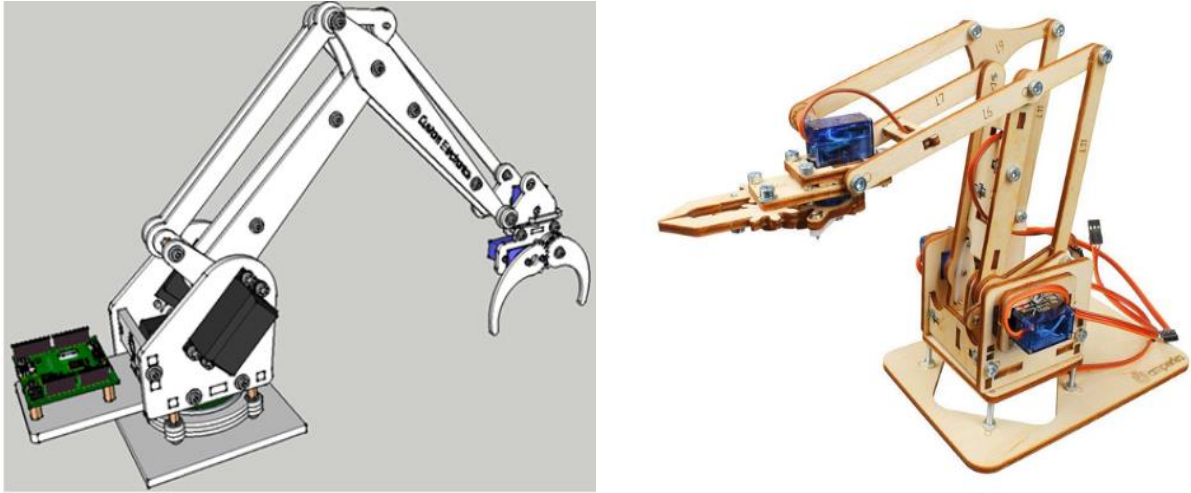


Рис. 2.1. Загальний вигляд маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу

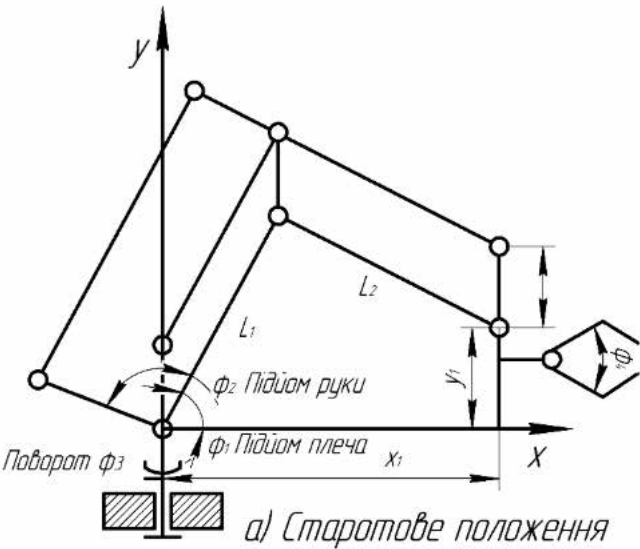


Рис. 2.2. Кінематична схема робота-маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу

Виконавчий механізм-маніпулятор - це просторова система з кількома ступенями свободи, кожен з яких керується окремим приводом. Енергія від цих приводів передається на основні ланки маніпулятора для здійснення руху.

Щоб робот міг взаємодіяти з об'єктами, він оснащується захватним пристроєм. У промисловій робототехніці найчастіше використовують механічні захвати, принцип дії яких базується на затисканні об'єкта між двома або більше ланками. Конструктивно такі пристрої можуть реалізовуватися за допомогою різних механізмів: шарнірних та кулачкових; зубчастих, черв'ячних або гвинтових; клиноважільних та інших типів. До ключових вимог, що висуваються до таких механізмів, належать компактність, мала вага та висока надійність фіксації об'єкта. Під час розробки захватних пристроїв головними завданнями є гарантування стабільного положення деталі в захваті, а також забезпечення необхідного алгоритму зміни зусилля стискання.

Проектування захватних пристроїв промислових роботів

Найбільш елементарною вважається схема прямої передачі (рис. 2.3). У цій конфігурації рухомий робочий елемент має жорстке з'єднання із штоком пневмоциліндра, завдяки чому він переміщується вздовж його осі. Подача деталі в зону між робочими елементами відбувається шляхом вертикального руху по осі Z. Пристрої, побудовані за таким принципом, відрізняються компактними габаритами, проте їхнім суттєвим мінусом є виникнення поперечної сили, що навантажує шток.

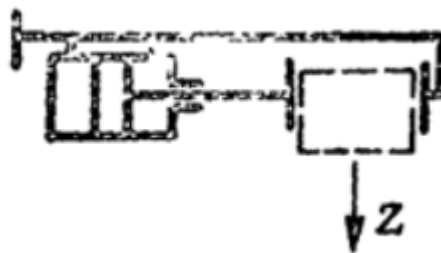


Рис 2.3. Кінематична схема рейкового захватного пристрою з поршневим приводом.

У варіанті, представленому на рис. 2.4, використовується базовий шарнірний важільний механізм. Він дозволяє трансформувати лінійний горизонтальний рух штока в обертальний рух верхньої губки (робочого

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елемента). У такому випадку деталь вводиться в робочу зону через горизонтальне переміщення вздовж осі X. Як правило, така кінематична схема призводить до збільшення загальних розмірів захвату порівняно з попереднім варіантом.

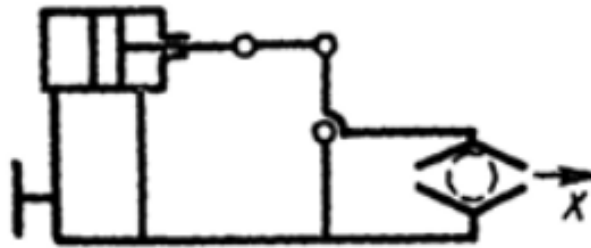


Рис 2.4. Кінематична схема важільного захватного типу

Також досить розповсюдженою є схема (рис. 2.5), де рух забезпечується двома повзунками, що розміщені на паралельних напрямних. Незважаючи на простоту конструкції розсувних пар, її реалізація може бути ускладнена, особливо за наявності суворих лімітів на габаритні розміри пристрою.

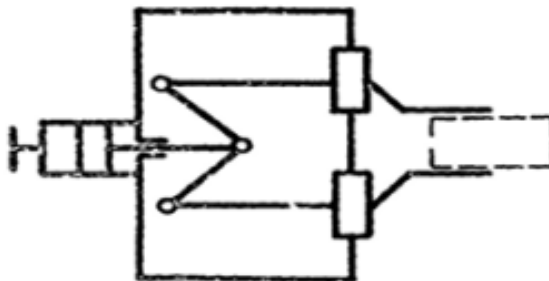


Рис 2.5. Кінематична схема захвату з важільно-кулісним механізмом

Згідно з кінематичною схемою на рис. 2.6, вихідні ланки пристрою здійснюють виключно поступальне переміщення без кутового обертання. Це дозволяє робочим елементам зберігати початкову паралельність площин протягом усього циклу роботи, що критично важливо для надійного фіксації об'єктів у паралельних площинах. Така стабільність орієнтації досягається завдяки інтеграції механізмів паралелограма в конструкцію захвату. Хоча подібні системи відрізняються підвищеною складністю проектування та

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлення, вони мають широке практичне застосування в промисловості. Проте варто враховувати характерний недолік такої конфігурації - наявність зміщення робочих губок вздовж осі X під час їхнього руху.

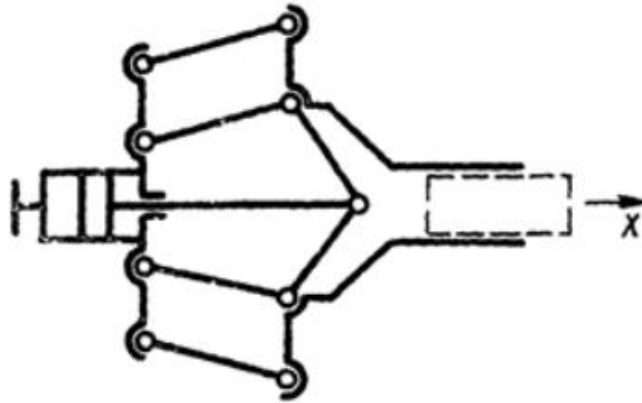


Рис 2.6. Кінематична схема захвату з багатоланковим шарнірним (паралелограмним) механізмом

Опис конструкції та принципу дії захватного пристрою

Робота механізму базується на використанні стисненого повітря, яке з пневматичної системи подається у вільну від штока порожнину циліндра П1. Під дією тиску поршень 5 починає рух, передаючи зусилля на шток 4. Останній, у свою чергу, приводить у дію рейку 3, яка безпосередньо впливає на робочі губки 1 та 2. Внаслідок цього губка 1 здійснює обертальний рух навколо осі O1, а губка 2 - навколо осі O2, що призводить до розкріплення деталі 6 (рис. 2.7).

Для здійснення операції захоплення повітря спрямовується у штокову порожнину циліндра П2. Тиск повітря змушує поршень 5 рухатися у зворотному напрямку, захоплюючи за собою шток 4 та рейку 3. Через механічний зв'язок рейка змушує губки 1 і 2 повернутися навколо своїх осей (O1 та O2 відповідно) у бік стискання. Таким чином забезпечується надійна фіксація деталі 6 (рис. 2.8).

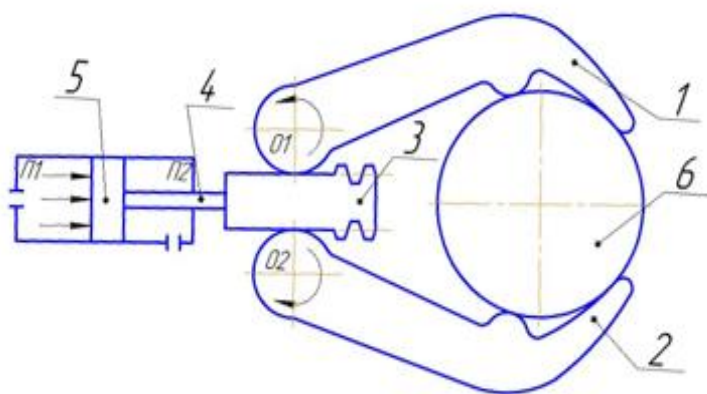


Рис 2.7 Конструктивна схема кліщового захватного пристрою в процесі затискання об'єкта маніпулювання (подача тиску в порожнину П1).

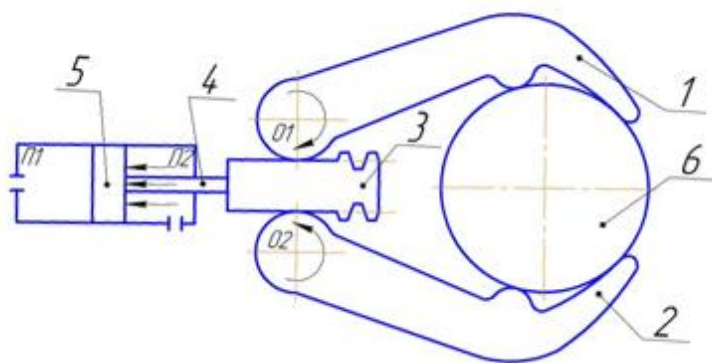


Рис 2.8 Конструктивна схема кліщового захватного пристрою в процесі відведенні привода/фіксації об'єкта маніпулювання (подача тиску в порожнину П2).

Обчислення необхідного зусилля затискання захвату

Для гарантування надійного утримання об'єкта маніпулювання під час його прискореного переміщення виконують розрахунок необхідного зусилля затискання. Утримання здійснюється за рахунок сил тертя, що виникають у зоні контакту між робочими поверхнями губок та деталі.

Мінімально необхідне зусилля утримання P_1 визначається з умов динамічної рівноваги системи:

$$P = m(g + a)K1 \cdot K2 \quad (2.1)$$

					01.09 – КР. 1044 "С" 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де m – маса деталі, кг; g – прискорення вільного падіння (сили тяжіння ($9,8 \text{ м/с}^2$)); a – прискорення центру мас при переміщенні, м/с^2 ; K_1 – коефіцієнт, який залежить від форми губок захвату, положення деталі по відношенню до губок захвата та напрямки дії сили тяжіння. Значення коефіцієнта обираємо з довідників; $K_2 = 1,5 \dots 2,0$ – це коефіцієнт запасу.

Прийнявши значення коефіцієнта тертя $\mu = 0,15$, а $K_2 = 2$, визначимо потрібне зусилля утримання P_1 :

$$P_1 = 0,2 \cdot (9,8 + 5) \cdot 0,5 \cdot 2 = 2,96 \quad (2.2)$$

Для транслявання утримуючого зусилля P_1 на шток привода розраховують необхідну силу P_2 , що розвивається пневмоциліндром:

$$P_2 = \frac{4P_1a}{D} \quad (2.3)$$

З конструкторських міркувань приймаємо $a = 52 \text{ мм}$

D - діаметр зубчастого колеса $D = 19 \text{ мм}$

З урахуванням геометричних параметрів формулу можна записати так:

$$P_2 = \frac{4 \cdot 0,296 \cdot 52}{19} = 3,24 \text{ Н} \quad (2.4)$$

Внутрішній діаметр пневматичного циліндра привода розраховують за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4P_2}{P\pi}} \quad (2.5)$$

де P - тиск повітря в пневмосистемі, Мпа. Приймаємо $P = 0,4 \text{ Мпа}$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,24}{0,4 \cdot 3,14}} = \sqrt{1010,5} = 3,212 \text{ мм} \quad (2.6)$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З довідників $d = 32$ мм – стандартна величина діаметра пневматичного циліндра.

Зусилля, яке виникає та діє на ланки шарнірів розрахуємо формулою:

$$F_{ш} = P_1 \frac{a}{b} \quad (2.7)$$

$$F_{ш} = 29 \cdot \frac{52}{16,5} = 91 \text{ Н} \quad (2.8)$$

Виконаємо розрахунок на зріз для вибору діаметрів шарнірів:

$$d = \sqrt{\frac{4F_{ш}}{\pi[\tau_{ср}]}} \quad (2.9)$$

де $[\tau_{ср}] = 120$ Мпа - допустиме напруження на зріз для конструкційної сталі марки Сталь 45. Підставляючи це значення, маємо:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 91}{3,14 \cdot 120}} = 0,98 \text{ мм} \quad (2.10)$$

Оскільки розрахований діаметр шарніра $d_{ш} = 0,98$ мм є технологічно та конструктивно замалим для промислових умов, з міркувань жорсткості та простоти виготовлення приймають стандартний діаметр $d_{ш} = 3$ мм.

Проведемо перевірку шарнірів на деформацію, приймаючи, що допустима напруга для сталі 45 $[\sigma_{см}] = 80$ Мпа

$$\sigma_{см} = \frac{F_{ш}}{\pi d_{ш} c} \quad (2.11)$$

де $c = 30$ мм конструктивний розмір величини шарніра, його ширина.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{cm} = \frac{91}{3,14 \cdot 3 \cdot 30} = 0,322 Mpa < 80 Mpa \quad (2.12)$$

Розрахунок захватного пристрою з клино-важільним механізмом

Розглянемо приклад проектування одномісного затискного пристрою з клино важільним механізмом для транспортування сталеві циліндричної заготовки діаметром $d = 40$ мм та довжиною $L = 400$ мм .

Технологічний цикл передбачає два етапи руху в горизонтальній площині: Поступальне переміщення у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі заготовки, з лінійним прискоренням $a = 6$ м/с². Кутовий поворот руки маніпулятора на кут 90° із граничним кутовим прискоренням $E = 12$ м/с² за максимальної кутової швидкості $\omega = 1,57$ м/с та вильоту руки до осі обертання $R = 1,3$ м. Необхідно оцінити можливість виконання цих операцій за номінального зусилля привода $P = 1000$ Н. Параметри затискаючого пристрою мають такі значення: відстань від осей підвісу губок до осі заготовки $b = 70$ мм, до осьової лінії симетрії – 15 мм, до осі керуючого ролика $C = 30$ мм. Робочий кут призматичних вирізів губок становить $2\alpha = 90^\circ$, кут клина $\beta = 20^\circ$, кут тертя в шарнірах ковзання $\rho = 3^\circ$, ККД клинового механізму $\eta = 0,9$.

Власна вага заготовки обчислюється як:

$$G = (\pi d^2 L \gamma) / 4 = (3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 0,4 \cdot 7,8 \cdot 10^4) / 4 = 39 \text{ Н} \quad (2.13)$$

Момент, який потрібний губкам захвату для того, щоб тримати заготовку. Відповідно кінематичної схеми на (рис 2.9) прискорення можемо розрахувати за залежністю:

$$a_{np} = g \cos(\alpha + \varphi) / \sin \alpha = (9,81 \cos 45^\circ / \sin 45^\circ) = 9,81 \text{ м/с}^2 \quad (2.14)$$

де $\varphi = 0$ – збереження початкового просторового положення об'єкта маніпулювання.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

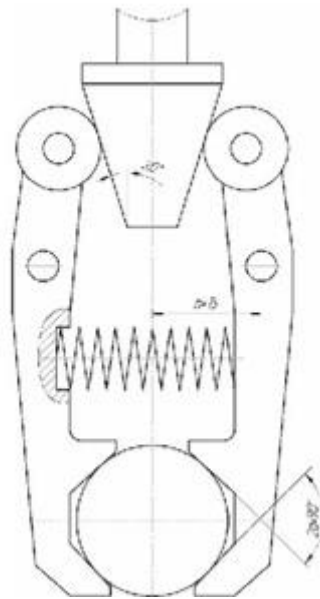


Рис 2.9 - Схема одномісного ЗП із клино-важільним механізмом

Сумарний (загальний) момент тримання, який мають розвивати губки для компенсації сил інерції на першому етапі руху, становить:

$$M_{\Sigma} = G[(a/g + \sin \varphi)h + b \cos \varphi] =$$

$$= 39[(6/9,81 + \sin 0^\circ)0,015 + 0,07 \cos 0^\circ] = 3,1 \text{ Н*м} \quad (2.15)$$

Розрахунок рушійного зусилля приводу, що забезпечує формування заданого сумарного моменту утримання, здійснюється за формулою:

$$P_1 = \text{tg}(\beta + \rho)M_{\Sigma}/(C\eta) = \text{tg } 23^\circ \cdot 3,1/(0,03 \cdot 0,9) = 48,7 \text{ Н} \quad (2.16)$$

Розрахунки показують, що номінальна сила приводу $P = 1000 \text{ Н}$ перевищує зусилля, потрібне для утримання деталі при лінійному прискоренні.

При зміні положення заготовки у горизонтальній площині на конструкцію впливає її особиста вага G , яка направлена в напрямку перпендикулярному до площини її переміщення, відцентрова сила $G_{\text{ц}} = m\omega^2 R$, яка виникає під час повороту деталі, що переміщуються із швидкістю ω і скоординована перпендикулярно до поворотної осі.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рух заготовки уздовж своєї осі за допомогою лінійного прискорення та при оберті руки робота-маніпулятора з величиною прискорення E , буде дорівнювати:

$$a^{\infty} = ER = 12 \cdot 1,3 = 15,6 \text{ м/с}^2 \quad (2.17)$$

Осьове граничне прискорення a_{np}^{oc} визначимо за залежністю:

$$a_{np}^{\infty} = \mu g \cos \varphi / \sin \alpha = 0,15 \cdot 9,81 \cdot 1 / \sin 45^\circ = 2,1 \text{ м/с}^2 \quad (2.18)$$

В даному варіанті потрібно перемістити заготовку із наступним прискоренням:

$$a^{\infty} = 15,6 \text{ м/с}^2 > a_{np}^{\infty} = 2,1 \text{ м/с}^2 \quad (2.19)$$

При розрахунку утримуючого сумарного моменту застосуємо залежність:

$$\begin{aligned} M_{\Sigma} &= G \cdot [((\omega^2 R / g) + \sin \varphi)h + ERb \sin \alpha / (g\mu)] = \\ &= 39 \cdot \left[((1,57^2 \cdot 1,3 / 9,81) + 0) \cdot 0,015 + \right. \\ &\quad \left. + 12 \cdot 1,3 \cdot 0,07 \cdot \sin 45^\circ / (9,81 \cdot 0,15) \right] = 20,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Динамічний момент сил інерції від власного обертання деталі дорівнює:

$$M_{in} = mL^2 E / 12g = 39 \cdot 0,4^2 \cdot 12 / (12 \cdot 9,81) = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.21)$$

де $J = mL^2 / 12$ - це момент інерції деталі відносно осі, який спрямований до її центра ваги.

Через мале значення величини M_{in} у загальному балансі моментів можна знехтувати.

Необхідне зусилля привода для створення сумарного моменту $M_{\Sigma} = 20,7$ становить:

$$P_2 = \text{tg}(\beta + \rho) M_{\Sigma} / (C \cdot \eta) = \text{tg} 23^\circ \cdot 20,7 / (0,03 \cdot 0,9) = 325 \text{ Н} \quad (2.22)$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В такому випадку зусилля в рушійному елементі $P=1000$ Н, дає нам можливість виконати переміщення. За таких умов коефіцієнт конструктивного запасу сили приводного механізму дорівнює::

$$\kappa = P / P_2 = 3,1 \quad (2.23)$$

Таким чином це вказує на істинність відповідних рішень

В роботі виконано силовий розрахунок захоплюючого пристрою маніпулятора з метою визначення параметрів утримання сталюї деталі вагою 39 Н. За результатами аналізу встановлено, що номінальне зусилля приводу $P=1000$ Н суттєво перевищує мінімально потрібне утримуюче зусилля $P_2=325$ Н. під час транспортування об'єкта. Сформований надлишок сили забезпечує високий коефіцієнт конструктивного запасу, що гарантує надійну фіксацію деталі та повністю задовольняє задані технологічні вимоги для роботи обладнання у виробничих умовах.

Контроль цілісності поверхні заготовки під час фіксації

У деяких ситуаціях, зокрема при утриманні об'єкта за допомогою сил тертя, контактні зусилля в місцях взаємодії із захватним механізмом бувають досить високими. Що створює ризик деформації або пошкодження поверхні деталей, що є небезпечним при виконанні чистової обробки. Ми повинні забезпечити, щоб рівень контактних напружень залишався в допустимих межах значень $\sigma_{\text{пр}}$

Контактні напруження для V-подібних губок

$$\sigma_H = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2N \cdot E_{\text{np}}}{h \cdot D}} \text{ Н/см}^2 \quad (2.24)$$

де h - ширина робочої поверхні губки, см;

D - діаметр оброблюваної деталі, см;

$E_{\text{пр}} = \frac{2E_{\text{заг}} \cdot E_{\text{зу}}}{E_{\text{заг}} + E_{\text{зу}}}$ - приведений модуль пружності Н/см²

$E_{\text{заг}}$ = модуль пружності матеріалу заготовки Н/см²

$E_{\text{зу}}$ = модуль пружності матеріалу губок захватного пристрою Н/см²

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контактні напруження для губок кліщових захватних механізмів

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{N \cdot E_{np}}{h} \left(\frac{2}{D} \pm \frac{1}{r} \right)} \text{ Н/см}^2 \quad (2.25)$$

де символ «+» ми використовуємо у випадку контакту випуклих поверхонь; символ «-» використовується при контакті випуклої та увігнутої поверхонь; r - радіус профілю губки (r_1 для першого випадку та r_2 для другого).

Значення модуля пружності для різних матеріалів:

Для вуглецевої сталі: $E = (2,0 \dots 2,1) \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$

Для легованої сталі: $E = (2,1 \dots 2,2) \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$

Для сірого чавуну: $E = (1,15 \dots 1,60) \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$

Для алюмінію: $E = (0,67 \dots 0,69) \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$

Гранично допустимі контактні напруження за умови статичного навантаження

$$\sigma_{np} = \frac{\sigma_T}{S} \text{ Н/см}^2 \quad (2.26)$$

де: σ_T - межа текучості матеріалу, з якого виготовлені губки або сама деталь;
 S - коефіцієнт запасу міцності, значення якого обираємо в межах $S = 1,5 \dots 1,8$.

В роботі проведені розрахунки параметрів захватного механізму, що містять визначення реакцій на губках, зусиль фіксації заготовки, а також вибір потрібного обладнання відповідно з робочим навантаженням та кінематикою пневматичного привода.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Сучасне виробництво важко уявити без використання промислових роботів-маніпуляторів. Вони значно підвищують продуктивність, точність операцій і дозволяють звільнити людину від монотонної чи небезпечної праці. Однак впровадження такої техніки створює нові ризики для здоров'я і життя працівників. Тому питання охорони праці в цій сфері набуває особливого значення. На мою думку, без системного підходу до безпеки навіть найсучасніші роботи можуть стати джерелом травм або професійних захворювань.

Підприємства переходять на автоматизовані лінії в автомобільній промисловості, машинобудуванні, логістиці. За даними міжнародних організацій, кількість колаборативних роботів (коботів), які працюють поруч з людиною, постійно зростає. Це вимагає не тільки технічних рішень, але й оновлення нормативної бази. Важливо відзначити, що ігнорування ризиків може призвести до серйозних наслідків.

Основні ризики та небезпеки при роботі з роботами-маніпуляторами

Роботи-маніпулятори створюють різні види небезпек. Найпоширеніші з них - механічні. Рухаючі частини можуть спричинити удари, защемлення або роздавлювання кінцівок працівника. Особливо це стосується традиційних промислових роботів з великою силою та швидкістю. У практиці часто трапляється, що оператор потрапляє в зону дії маніпулятора під час налагодження або обслуговування.

Крім механічних, існують електричні ризики. Висока напруга, пошкоджена ізоляція кабелів - усе це може викликати ураження струмом.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Юр’єв І.Ю.			ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					42	64
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

Також варто згадати ергономічні проблеми: робота біля робота часто вимагає незручних поз, що призводить до захворювань опорно-рухового апарату. Для коботів, які працюють в спільному просторі з людиною, додаються нові ризики - несподівані контакти через помилки в програмуванні або сенсорах.

Приклади практичного застосування показують різницю. Під час зварювання робот точно виконує шви, але іскри та ультрафіолет вимагають захисту очей і шкіри оператора. У пакуванні або збірці деталей коботи допомагають піднімати важкі частини, зменшуючи навантаження, але потребують точного налаштування силового обмеження. Якщо сенсори не спрацюють вчасно - виникає небезпека. На мою думку, ризик-орієнтований підхід тут є ключовим: потрібно аналізувати кожну конкретну задачу окремо.

Нормативно-правова база

В Україні основним документом залишається Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. Він встановлює загальні принципи забезпечення безпеки на виробництві. Крім того, діють нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), зокрема Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05). Ці документи зобов'язують роботодавця проводити інструктажі та навчання.

Міжнародні стандарти також застосовуються в нашій країні через гармонізацію. Це ISO 10218-1:2011 «Роботи та робототехнічні пристрої. Вимоги безпеки для промислових роботів. Частина 1: Роботи» і ISO 10218-2:2011 (частина 2 - системи та інтеграція). Для колаборативних роботів важливий ISO/TS 15066. В Європейському Союзі ці стандарти гармонізовані з Директивою про машини 2006/42/EC.

У США Управління з охорони праці (OSHA) не має окремого стандарту саме для роботів, але надає детальні рекомендації в Technical Manual (Section IV, Chapter 4). Там акцент робиться на ANSI/RIA R15.06, який описує вимоги до безпеки роботів і систем. Ці документи доступні онлайн і їх варто вивчати.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

EU-OSHA також приділяє увагу коботам, публікуючи матеріали про безпечну інтеграцію (oshwiki.osha.europa.eu). Таким чином, українські підприємства можуть поєднувати національне законодавство з кращими світовими практиками.

Технічні заходи - це основа безпеки. Перш за все, це огороження небезпечних зон. Для звичайних роботів використовують захисні бар'єри з датчиками, які зупиняють роботу при вторгненні. Блокування (interlocks) не дозволяють запустити обладнання, поки двері огорожі відкриті.

Для роботів ситуація інша. Тут застосовують сенсори сили і моменту, системи візуального контролю, обмеження швидкості та потужності. Якщо людина торкається робота - він миттєво зупиняється або зменшує зусилля. Важливо правильно проводити risk assessment для кожної установки.

У прикладах збірки автомобільних деталей або пакування товарів такі системи показують хороші результати. Але треба пам'ятати: жодна техніка не замінить людський контроль. Сенсори можуть вийти з ладу, тому регулярне технічне обслуговування обов'язкове. На мою думку, комбінація інженерних засобів з адміністративними дає найкращий ефект.

Організаційні заходи та навчання персоналу

Техніка сама по собі не гарантує безпеку. Велике значення мають організаційні заходи. Роботодавець зобов'язаний розробляти інструкції з охорони праці конкретно для кожної роботизованої ділянки. Проводити регулярні інструктажі, стажування та перевірку знань.

Навчання персоналу повинно включати не тільки правила роботи, але й розуміння принципів роботи робота, можливих аварійних ситуацій і дій при них. Особливо це важливо для налагоджувальників і операторів. EU-OSHA підкреслює важливість навчання для спільної роботи з коботами.

У практиці часто трапляється, що працівники ігнорують захисне обладнання, вважаючи його перешкодою. Тому потрібна постійна роз'яснювальна робота. Також рекомендується проводити симуляції

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливих інцидентів. Залучення самих працівників до оцінки ризиків підвищує відповідальність і ефективність заходів.

Надання першої допомоги при нещасному випадку на виробництві є одним з найважливіших елементів системи охорони праці. Навіть на сучасних підприємствах з високим рівнем автоматизації повністю уникнути травм неможливо. Тому швидкі та правильні дії оточуючих можуть врятувати життя потерпілому або значно зменшити наслідки травми. Кожний працівник повинен володіти базовими навичками домедичної допомоги, бо від цього часто залежить результат інциденту.

В Україні щороку трапляються тисячі нещасних випадків на виробництві. Багато з них закінчуються тяжкими наслідками саме через несвоєчасну або неправильну допомогу. Важливо відзначити, що ризик-орієнтований підхід вимагає не тільки запобігання аваріям, але й підготовки до їх ліквідації.

Основні види нещасних випадків та відповідні заходи першої допомоги

Нещасні випадки на виробництві бувають різними. Найпоширеніші - механічні травми (удари, переломи, рани). При кровотечі потрібно негайно накласти чисту пов'язку або джгут вище місця поранення, якщо кровотеча артеріальна. При переломах - забезпечити нерухомість пошкодженої кінцівки за допомогою шини.

Електротравми вимагають особливих дій. Перш за все, звільнити потерпілого від дії струму, використовуючи ізолюючі предмети. Потім перевірити дихання та серцебиття і за необхідності почати реанімацію. У практиці часто трапляється, що люди панікують і забувають про власну безпеку.

Хімічні опіки або отруєння вимагають негайного промивання уражених ділянок великою кількістю води. При опіках термічних - охолодити місце холодною водою, але не застосовувати мазі без рекомендації лікаря. Також поширені падіння з висоти, які часто супроводжуються травмами хребта - в таких випадках потерпілого не можна рухати без спеціальних засобів.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Універсальний алгоритм дій «зупинити - оцінити - допомогти - викликати» повинен знати кожен. Правильна послідовність рятує час і життя.

В Україні обов'язки щодо першої допомоги закріплені в Законі України «Про охорону праці». Стаття 18 вимагає, щоб працівники проходили навчання з надання першої медичної допомоги потерпілим. Крім того, Порядок розслідування нещасних випадків (Постанова КМУ № 337-2019) зобов'язує роботодавця негайно організувати допомогу потерпілому.

Міжнародні вимоги також важливі. У США OSHA стандарт 29 CFR 1910.151 встановлює, що роботодавець повинен забезпечити доступність першої допомоги та підготовлених осіб, якщо медична допомога не знаходиться в безпосередній близькості. Особлива увага приділяється аптечкам і навчанню.

В Європейському Союзі EU-OSHA надає рекомендації щодо першої допомоги на робочих місцях, підкреслюючи необхідність регулярного навчання та наявності відповідного обладнання. Директива 89/391/ЕЕС (рамкова) також зобов'язує роботодавців вживати заходів для захисту здоров'я працівників, включаючи надання допомоги при нещасних випадках.

Українське законодавство гармонізується з європейськими нормами, що дозволяє використовувати кращі світові практики.

На підприємстві обов'язково мають бути обладнані аптечки першої допомоги. Їх склад залежить від специфіки виробництва, але базові засоби (бинти, джгути, антисептики, маски для штучного дихання) повинні бути завжди доступні. Аптечки потрібно перевіряти регулярно та поповнювати.

Важливим є наявність осіб, відповідальних за надання допомоги. Вони проходять спеціальне навчання і повинні вміти діяти в різних ситуаціях. Приміром, при зупинці серця - проводити непрямий масаж серця та штучне дихання у співвідношенні 30:2. Сучасні підприємства все частіше оснащуються автоматичними зовнішніми дефібриляторами (AED).

У практиці часто трапляється, що через відсутність регулярних тренувань працівники забувають алгоритми дій. Тому симуляційні навчання з

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанням манекенів дають кращий ефект. На мою думку, поєднання теорії з практикою є обов'язковим для якісної підготовки.

Організаційні заходи включають розробку інструкцій з надання першої допомоги для конкретних видів робіт. Роботодавець зобов'язаний проводити навчання всіх працівників під час прийняття на роботу та періодично повторювати його. Особлива увага - працівникам, які виконують небезпечні роботи.

Навчання повинно охоплювати теоретичну частину, практичні навички та психологічну підготовку (як не панікувати). EU-OSHA та OSHA рекомендують проводити тренування не рідше одного разу на рік. Також важливо мати чіткий порядок виклику екстреної допомоги (103 або 112) та евакуації потерпілих.

У практиці часто трапляється, що інструктажі проводяться формально, без перевірки знань. Тому потрібен постійний контроль і мотивація працівників. Забезпечення засобами індивідуального захисту та аптечками - також обов'язок роботодавця.

Алгоритм дій при нещасному випадку на виробництві є чіткою послідовністю заходів, які дозволяють швидко і правильно відреагувати на надзвичайну ситуацію. Від того, наскільки грамотно і швидко діють працівники та керівництво, часто залежить життя потерпілого та тяжкість наслідків. На мою думку, знання цього алгоритму повинно бути обов'язковим для кожного працівника незалежно від посади, бо ніхто не застрахований від нещасних випадків.

В Україні щороку реєструється значна кількість виробничих травм. Багато з них мають тяжкі наслідки саме через неправильні або запізнілі дії. Важливо відзначити, що сучасні нормативні документи вимагають не тільки запобігання аваріям, але й чіткого плану реагування.

Алгоритм дій починається з негайного припинення небезпечних факторів. Якщо людина потрапила під дію струму - спочатку потрібно звільнити її від контакту з електричним джерелом. При падінні вантажу або

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обваленні - зупинити роботу обладнання в небезпечній зоні. У практиці часто трапляється, що працівники в паніці забувають про власну безпеку і самі стають потерпілими.

Далі йде оцінка стану потерпілого. Потрібно перевірити свідомість, дихання, серцебиття і наявність кровотечі. Якщо людина без свідомості - покласти її в стабільне бокове положення. При відсутності дихання негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію.

Наступний крок - викликання професійної медичної допомоги. У Україні потрібно телефонувати 103 або 112. При цьому важливо чітко повідомити адресу підприємства, кількість потерпілих і характер травм. Паралельно організовується евакуація потерпілого в безпечне місце, якщо це можливо без додаткового ризику.

Важливим є збереження місця пригоди в тому стані, в якому воно було на момент нещасного випадку. Це необхідно для подальшого розслідування. Фотографування, позначення небезпечних зон і опитування свідків допомагають встановити справжні причини події. Чітке дотримання послідовності дій значно підвищує шанси на позитивний результат.

В Україні основні вимоги до дій при нещасних випадках викладені в Законі України «Про охорону праці». Крім того, Постанова Кабінету Міністрів України № 337 від 17.04.2019 затверджує Порядок розслідування та обліку нещасних випадків. Цей документ чітко визначає обов'язки роботодавця, порядок повідомлення та алгоритм первинних дій.

Міжнародний досвід також корисний. У США OSHA вимагає негайного реагування на серйозні інциденти відповідно до 29 CFR 1904.39. Роботодавець зобов'язаний повідомити відповідні органи протягом 8 годин при тяжких травмах або загибелі.

В Європейському Союзі EU-OSHA надає детальні рекомендації щодо управління нещасними випадками на робочих місцях. Рамкова Директива 89/391/ЕЕС зобов'язує роботодавців вживати всіх необхідних заходів для захисту працівників, включаючи планування дій у надзвичайних ситуаціях.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Українські норми поступово гармонізуються з європейськими стандартами, що дозволяє використовувати кращі практики.

На кожному підприємстві повинен бути розроблений внутрішній план дій при нещасних випадках. Він включає схему оповіщення, розташування аптечок, засобів для евакуації та контакти екстрених служб. Відповідальні особи (майстри, інженери з охорони праці) проходять спеціальне навчання і проводять інструктажі для всього колективу.

Для прикладу, при електротравмі алгоритм такий: вимкнути джерело живлення, звільнити потерпілого, перевірити життєві функції, викликати швидку і розпочати реанімацію при необхідності. При хімічному отруєнні - вивести потерпілого на свіже повітря, зняти забруднений одяг, промити уражені ділянки.

У практиці часто трапляється, що через відсутність регулярних тренувань працівники губляться і діють хаотично. Тому проведення симуляційних навчань з використанням сценаріїв реальних ситуацій є дуже ефективним. На мою думку, поєднання теоретичних знань з практичними вправами дозволяє довести алгоритм до автоматизму.

Організаційні заходи передбачають призначення відповідальних за кожен ділянку, створення аварійних бригад і регулярне оновлення планів реагування. Роботодавець зобов'язаний забезпечити наявність засобів першої допомоги та провести навчання всіх працівників.

Навчання повинно проводитися під час первинного інструктажу, повторних інструктажів та спеціальних занять. EU-OSHA рекомендує проводити практичні тренування не рідше одного разу на рік. Також важливо вести журнал обліку навчань і перевіряти знання працівників.

У практиці часто трапляється, що інструктажі проводяться формально, без перевірки реальних навичок. Тому потрібен постійний контроль і мотивація колективу. Забезпечення чіткої комунікації між працівниками, керівництвом і екстреними службами теж є важливою складовою.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Економічний розрахунок рентабельності та доцільності впровадження розробленої конструкції робота-маніпулятора

Промисловий робот-маніпулятор є складною просторовою системою з кількома ступенями свободи, кожен з яких керується окремим приводом, що забезпечує передачу енергії на основні ланки для здійснення лінійних, обертальних та революційних рухів. У сучасних виробничих середовищах такі роботизовані системи призначені для виконання завдань фізичної маніпуляції - підйому, переміщення та розміщення об'єктів - без необхідності прямого контакту з оператором. Особливе значення у структурі маніпулятора має кінцевий інструмент, зокрема захватний пристрій механічного типу, принцип дії якого базується на затисканні об'єкта між двома або більше ланками за допомогою шарнірних, кулачкових, клиноважільних чи інших механізмів.

Під час розробки даної конструкції головними завданнями були забезпечення компактності, малої ваги, гарантування стабільного положення деталі в захваті та точного алгоритму зміни зусилля стискання. З огляду на ці жорсткі технічні вимоги, постає необхідність комплексного економічного обґрунтування доцільності впровадження розробленого механізму у виробничий процес.

Формування капітальних інвестицій (CapEx) на створення маніпулятора

Оскільки розроблена конструкція маніпулятора впроваджується як проєкт без закупівлі готових ринкових рішень, капітальні витрати формуються з вартості інтелектуальної праці, матеріалів для виготовлення жорстких ланок,

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Юр'єв І.Ю.			ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					50	64
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

виконавчих механізмів (суглобів), пневматичного приводу захвату та електронної системи керування.

Першим етапом є проєктування. Розрахунок кінематичної схеми, проєктування зубчастих чи клиноважільних механізмів захватного пристрою та розробка конструкторської документації вимагають висококваліфікованої інженерної праці. Середня заробітна плата інженера-конструктора становить 41 500 грн, при цьому для фахівців вузького профілю чи на дистанційній основі вона сягає 45 000 - 50 000 грн на місяць. Беручи до розрахунку базову ставку у 45 000 грн та тривалість робіт у 0,5 місяця, витрати на проєктування з урахуванням єдиного соціального внеску (ЄСВ 22%) становлять 27 450 грн.

Основою міцної структури маніпулятора є жорсткі ланки, які з'єднують різні секції робота та забезпечують його стабільність. Для їх виготовлення обрано конструкційну вуглецеву сталь марки 45, яка має оптимальні характеристики міцності та піддається механічній обробці. Для виготовлення конструкції закладено 45 кг металу (близько 3 600 грн). З урахуванням витрат на фрезерну та токарну обробку на верстатах з ЧПК, загальна вартість створення механічних компонентів досягає 15 600 грн.

Для забезпечення необхідного алгоритму зміни зусилля стискування у захватному пристрої механічного типу використовується пневматичний привід. Цей вибір обґрунтований вимогами до компактності та високої надійності фіксації. Пневматичний контур включає пневмоциліндри, вартість яких становить від 1 500 до 1 900 грн, електропневматичні розподільники (орієнтовно 1 400 грн) та додаткові елементи (фітинги, трубки, фільтри). Сумарна вартість пневматичного обладнання становить 5 000 грн. Електронна частина, що забезпечує автономне або дистанційне керування (включаючи програмований логічний контролер, датчики позиціювання та реле), оцінюється у 8 000 грн. Завершальним етапом є збирання та пусконаладження, які формують залишкову частину капітальних витрат.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Капітальні витрати створення робота-маніпулятора

Стаття капітальних витрат	Сума, грн	Частка, %
Проектування та інжиніринг (з урахуванням ЄСВ)	27 450,00	33,31
Виготовлення механічних ланок та сталь 45	15 600,00	18,93
Пневматичний привід та розподільна апаратура	5 000,00	6,07
Електроніка та програмований логічний контролер	8 000,00	9,71
Оплата праці техника-збиральника (з урахуванням ЄСВ)	21 350,00	25,91
Пусконаладжувальні роботи дільниці	5 000,00	6,07
Загальні капітальні витрати (K0)	82 400,00	100,00

Подана структура витрат демонструє, що понад 59% інвестицій спрямовується на інтелектуальну складову (інжиніринг та складання), що робить самостійну розробку маніпулятора економічно захищеною від коливань валютних курсів та митних зборів, які притаманні імпорту готових промислових рішень.

Розрахунок експлуатаційних витрат

Довгострокова рентабельність просторової системи залежить від її операційних витрат, які включають споживання енергії, витрати на технічне обслуговування суглобів і шарнірів та амортизацію. Маніпулятор розрахований на роботу у дводозмінному режимі: 16 годин на добу, 250 днів на рік, що сумарно забезпечує 4 000 годин активної експлуатації.

Енергія від приводів є основним рушієм системи. Для функціонування пневматичного захвата необхідне безперебійне постачання стисненого повітря, що забезпечується промисловим компресором потужністю близько 2,2 кВт. Завдяки оптимізації кінематичної схеми та використання ресивера, компресор працює в режимі активного навантаження лише 10% робочого

часу. Контролер керування споживає 0,05 кВт безперервно. Сумарне річне споживання електроенергії розраховується на рівні 1 080 кВт·год.

Станом на 2026 рік тарифи на електроенергію для промислових підприємств (II клас напруги) становлять близько 8,00 грн за кВт·год¹⁶. Таким чином, річні витрати на електроживлення складають 8 640 грн.

Регулярне технічне обслуговування, життєво необхідне для збереження гнучкості суглобів та надійності кулачкових механізмів захвата, вимагає близько 5 000 грн на рік. Амортизаційні відрахування (за умови 5-річного корисного терміну експлуатації) складають 16 480 грн щорічно.

Таблиця 4.2. Експлуатаційні витрати

Стаття експлуатаційних витрат	Річна сума, грн
Електроенергія (1 080 кВт·год за тарифом 8,00 грн)	8 640,00
Технічне обслуговування механізмів та пневматики	5 000,00
Амортизація обладнання (лінійний метод, 5 років)	16 480,00
Загальні експлуатаційні витрати (з амортизацією)	30 120,00

Аналіз економічного ефекту від впровадження

Впровадження автоматизованої руки-маніпулятора спрямоване на мінімізацію прямого контакту людини з виробничим процесом. Головний економічний ефект полягає у вивільненні фонду оплати праці. За статистичними даними 2026 року, середня заробітна плата оператора виробничої лінії в Україні становить 30 000 грн на місяць. Дефіцит кадрів у промисловості змушує роботодавців постійно переглядати зарплати, що робить ручну працю дедалі дорожчою. Заміна одного оператора (у розрахунку на еквівалент однієї повної зміни) генерує економію фонду оплати праці у розмірі 360 000 грн на рік. З урахуванням обов'язкових податкових відрахувань (ЄСВ 22%), підприємство економить 439 200 грн щорічно.

Додаткові переваги від застосування жорсткої конструкції маніпулятора та механічного захвата з надійною фіксацією включають зниження браку. Завдяки гарантуванню стабільного положення деталі в захваті під час переміщення, річний економічний ефект від скорочення браку становить 15 000 грн. Висока швидкість лінійних та обертальних рухів робота збільшує загальну продуктивність робочої області, що приносить підприємству додатковий прибуток у розмірі 40 000 грн. Отже, загальна річна економія та додатковий дохід дорівнюють 494 200 грн.

Показники рентабельності та оцінка доцільності

Для прийняття остаточного рішення про доцільність впровадження конструкції застосовуються ключові методи оцінювання інвестицій згідно з європейськими стандартами. Річний чистий прибуток до оподаткування визначається як різниця між сукупним економічним ефектом (494 200 грн) та експлуатаційними витратами (30 120 грн) і становить 464 080 грн. Після сплати податку на прибуток (за стандартною ставкою 18%, що становить 83 534,40 грн), чистий прибуток компанії фіксується на рівні 380 545,60 грн.

Таблиця 4.3. Показники рентабельності

Фінансовий показник	Значення, грн
Сукупний річний економічний ефект	494 200,00
Чистий прибуток до оподаткування	464 080,00
Податок на прибуток підприємства (18%)	83 534,40
Чистий прибуток після оподаткування	380 545,60

Використовуючи формулу простого терміну окупності (відношення суми капітальних вкладень до чистого прибутку), отримуємо період окупності інвестицій: $82\,400 \text{ грн} / 380\,545,60 \text{ грн} = 0,217$ року. Це означає, що розроблена конструкція робота-маніпулятора повністю окупить витрати на своє створення

вже через 3 місяця інтенсивної експлуатації. Коефіцієнт рентабельності інвестицій сягає 461,83%.

Синтезуючи наведені техніко-економічні розрахунки, можна дійти беззаперечного висновку: самостійне проектування та впровадження просторової системи робота-маніпулятора з механічним захватом є рентабельним рішенням. Конструкція, що об'єднує жорсткі ланки з вуглецевої сталі, гнучкі суглоби та компактний пневматичний привід, здатна не лише повністю витіснити людський фактор із небезпечних та рутинних зон обробки матеріалів, але й кардинально змінити фінансову модель діляниці.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі на тему: “Розробка конструкції робота-маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу” вкладено чотири розділа кожен з яких виділений під окрему тематику.

Перший розділ який несе назву “Відомості про маніпуляційні системи” розділений на три підрозділа. Перший називається “Види та класифікація роботів-маніпуляторів” він розповідає про види роботів-маніпуляторів та їх ключові різниці друг від друга, їх складові, їх особливості та недоліки їм притаманні. Другий підрозділ несе назву “Захватні пристрої, види, характеристики та класифікація” він веде розповідь про хватні пристрої, які існують на даний момент їх особливості та слабкі сторони, які роблять їх особливими для різних видів робіт; тому що не всі хватні пристрої підходять для однієї і тієї ж роботи. Третій підрозділ розкажує тему “Види приводів роботів-маніпуляторів” про важливий компонент роботів-маніпуляторів, такий, як привід, котрий також має значну різницю друг між другом.

Другий розділ який називається “Розрахунок конструкції робота-маніпулятора з захватним пристроєм механічного типу” інформує нас про розрахунки, які зроблено при написанні цієї роботи тут є кінематичні схеми та проведений розрахунок хватного пристрою маніпулятора.

В третьому розділі розказано про безпеку використання роботів-маніпуляторів, техніку безпеки та охорону праці при роботі з роботами-маніпуляторами та розглянуті дії при нещасних випадках на підприємстві.

В четвертому розділі проаналізовані економічні показники, які допомагають оцінити доцільність проектування маніпулятора, які доходи він може принести при роботі, також вказано витрати які будуть при його розробці.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Юр'єв І.Ю.			ВИСНОВОКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					56	64
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

Список літературних джерел

1. Robot manipulator. [Електронний ресурс]. Wevolver. URL: <https://www.wevolver.com/article/robot-manipulator> (дата звернення: 06.01.2026).
2. What is a robot manipulator? [Електронний ресурс]. Robotic Automation Systems. URL: <https://www.roboticautonomiesystems.com/blog/what-is-a-robot-manipulator/> (дата звернення: 09.01.2026).
3. What are industrial manipulators? [Електронний ресурс]. Circuit Digest. URL: <https://circuitdigest.com/article/what-are-industrial-manipulators> (дата звернення: 15.01.2026).
4. Technische Hochschule Mittelhessen (THM). Robotik [Lecture notes / Навчальний посібник]. URL: <https://homepages.thm.de/~hg6458/Robotik/Robotik.pdf>
5. What are the key factors used to classify industrial robots? [Електронний ресурс]. DigiKey. URL: <https://www.digikey.de/en/articles/what-are-the-key-factors-used-to-classify-industrial-robots> (дата звернення: 17.01.2026).
6. From joints to precision: the operation of robot manipulators explained. [Електронний ресурс]. iLearn Engineering. URL: <https://www.ilearnengineering.com/electrical-and-electronic/from-joints-to-precision-the-operation-of-robot-manipulators-explained> (дата звернення: 20.01.2026).
7. A comprehensive guide to grippers. [Електронний ресурс]. Soft Gripping. URL: <https://soft-gripping.com/discover/a-comprehensive-guide-to-grippers/> (дата звернення: 29.01.2026).
8. Types of grippers. [Електронний ресурс]. Ubiros. URL: <https://ubiros.com/types-of-grippers/> (дата звернення: 01.02.2026).

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ			
Розроб.		Юр'єв І.Ю.						
Перевір.		Кадикало І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.					НУБіП України			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						57	64	

9. Types of grippers used in manufacturing. [Електронний ресурс]. Servo Dynamics. URL: <https://servodynamics.com.vn/types-of-grippers-used-in-manufacturing/> (дата звернення: 09.02.2026).
10. Core technologies and components of robotics. [Електронний ресурс]. Orbray Magazine. URL: https://orbray.com/magazine_en/archives/2887 (дата звернення: 10.02.2026).
11. What components are in robotic arms and industrial robots? [Електронний ресурс]. CubeMars (LinkedIn). URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-components-robotic-arms-industrial-robots-cubemars> (дата звернення: 14.02.2026).
12. Arrow Electronics. URL: <https://www.arrow.com/en/industries/application-page/machine-vision-and-motor-control-solutions.html> (дата звернення: 17.02.2026).
13. Introduction to types of industrial robot drives. [Електронний ресурс]. Borunte Robot. URL: <https://www.borunte.net/news/introduction-to-types-of-industrial-robot-driv-85169704.html> (дата звернення: 19.02.2026).
14. What are robotic grippers and why are they critical to modern automation? [Електронний ресурс]. Tacterion. URL: <https://www.tacterion.com/blog/what-are-robotic-grippers-and-why-are-they-critical-to-modern-automation> (дата звернення: 22.02.2026).
15. Lesson 1: What is a mechanical drive? [Електронний ресурс]. IM Systems. URL: <https://imsystems.nl/lesson1-what-is-a-mechanical-drive/> (дата звернення: 25.02.2026).
16. What is a robot manipulator? [Електронний ресурс]. Robotic Automation Systems. URL: <https://www.roboticautionsystems.com/blog/what-is-a-robot-manipulator/> (дата звернення: 26.02.2026).
17. Complete guide to manipulator robots: benefits and applications. [Електронний ресурс]. Robotnik. URL: <https://robotnik.eu/complete-guide->

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[to-manipulator-robots-benefits-and-applications/](#) (дата звернення: 27.02.2026).

18. Industrial Robots and Robot System Safety. [Електронний ресурс]. OSHA Technical Manual. URL: <https://www.osha.gov/otm/section-4-chapter-4> (дата звернення: 28.02.2026).
19. Ghafouri, M., & Khadem, S. E. (2015). Nonlinear vibration analysis of a rotating flexible beam with an attached mass block at its tip. [Електронний ресурс]. International Journal of Solids and Structures. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768315001365> (дата звернення: 02.03.2026).
20. Tai, K., El-Sayed, A. R., Shahriari, M., Biglarbegan, M., & Mahmud, S. (2020). State of the art research on robotic grippers: A review. [Електронний ресурс]. PMC. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7716955/> (дата звернення: 05.03.2026).
21. Shvets, A., & Lytvynov, O. (2021). Design and development of a prototype robotic gripper. [Електронний ресурс]. Academia.edu. URL: https://www.academia.edu/64314321/Design_and_development_of_a_prototype_robotic_gripper (дата звернення: 10.03.2026).
22. Shvets, A., & Lytvynov, O. (2021). Design and development of a prototype robotic gripper. [Електронний ресурс]. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/351840715_Design_and_Development_of_a_Prototype_Robotic_Gripper (дата звернення: 15.03.2026).
23. Bogue, R. (2023). Robotic grippers: A review of recent developments. [Електронний ресурс]. Robotics. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/12/1/5> (дата звернення: 20.03.2026).
24. Робототехніка та автоматизація: безпека працівників майбутнього. [Електронний ресурс]. EU-OSHA. URL: <https://osha.europa.eu/en/themes/advanced-robotic-automation> (дата звернення: 28.03.2026).

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 25.Офіційний сайт Державної служби України з питань праці.
[Електронний ресурс]. Держпраці. URL: <https://dsp.gov.ua/> (дата звернення: 01.04.2026).
- 26.Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ.. Верховна Рада України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
- 27.Постанова Кабінету Міністрів України № 337. Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/337-2019-%D0%BF> (дата звернення: 01.04.2026).
- 28.International Organization for Standardization. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots (ISO Standard No. 10218-1:2011). <https://www.iso.org/standard/51330.html> (дата звернення: 05.04.2026)
- 29.International Organization for Standardization. Robots and robotic devices – Collaborative robots (ISO Technical Specification No. ISO/TS 15066:2016). <https://www.iso.org/standard/61723.html> (дата звернення: 12.04.2026)
- 30.Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009). Robotics: Modelling, planning and control. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>
- 31.Craig, J. J. (2018). Introduction to robotics: Mechanics and control (4th ed.). Pearson.
- 32.Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2020). Robot modeling and control (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- 33.Corke, P. (2023). Robotics, vision and control: Fundamental algorithms in Python (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-06469-2>
- 34.International Organization for Standardization. Robotics – Vocabulary (ISO Standard No. 8373:2021). <https://www.iso.org/standard/75539.html> (дата звернення: 13.04.2026)

35. OSHA. Industrial robots and robot system safety. OSHA Technical Manual (Section IV, Chapter 4). <https://www.osha.gov/otm/section-4-chapter-4> (дата звернення: 04.04.2026)
36. Groover, M. P. (2020). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (5th ed.). Pearson.
37. Ловейкін, В. С., & Ромасевич, Ю. О. (2020). Динаміка та оптимізація підйомних і маніпуляційних систем. ЦП Компринт.
38. Костюк, В. І. (2018). Промислові роботи: Конструкція, кінематика та керування [Навчальний посібник]. КПП ім. Ігоря Сікорського.
39. Воронов, С. О., & Ткач, М. М. (2021). Основи моделювання маніпуляційних систем роботів. Механіка та машинобудування, (2), 45–52.
40. International Federation of Robotics. World Robotics 2025: Industrial Robots report. <https://ifr.org/worldrobotics/> (дата звернення: 15.04.2026)
41. Піскунова, Л. Е., Бондар, В. І., & Зубок, Т. О. (2022). Безпека праці та життєдіяльності: Навчальний посібник. [Електронний ресурс]. НУБіП України. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u243/piskunova_l.e_bondar_v.i_zubok_t.o_posibnik_2022.pdf (дата звернення: 16.04.2026).
42. Міністерство освіти і науки України. Дніпровська політехніка: Національний технічний університет [Методичні матеріали]. [Електронний ресурс]. Інституційний репозиторій НТУ «ДП». URL: <https://ir.nmu.org.ua/bitstreams/4bfeef0-21aa-4f79-9552-68689a19f77f/download> (дата звернення: 17.04.2026).
43. Ловейкін, В. С., Ромасевич, Ю. О., Човнюк, Ю. В., & Кадикало, І. О. (2019). Динаміка та оптимізація режимів роботи вантажопідйомних і транспортуючих машин [Монографія]. [Електронний ресурс]. НУБіП України. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u232/1_0.pdf (дата звернення: 18.04.2026).

- 44.Промисловий робот. [Електронний ресурс]. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82 (дата звернення: 19.04.2026).
- 45.Розрахунок конструкції захватного пристрою робота-маніпулятора. [Електронний ресурс]. Репозиторій НУБіП. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/bitstreams/0bbe4d0c-c017-449c-8b34-738e81fc083b/download> (дата звернення: 20.04.2026).
- 46.ДСТУ EN 17463:2022 Оцінювання інвестицій, пов'язаних із енергетикою (VALERI). [Електронний ресурс]. БУДСТАНДАРТ Online. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=103351 (дата звернення: 21.04.2026).
- 47.Інженер-конструктор: середня зарплата в Україні. [Електронний ресурс]. Work.ua. URL: <https://www.work.ua/salary-%D1%96%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80/> (дата звернення: 23.04.2026).
- 48.Пневмоциліндри. Виконавчий механізм. [Електронний ресурс]. TUSK.UA. URL: <https://tusk.ua/ua/pnevmocilindryi-ispolnitelnyij-mexanizm/> (дата звернення: 24.04.2026).
- 49.Пневморозподільники. [Електронний ресурс]. Specialist. URL: <https://spc.com.ua/collections/directional-control-valves> (дата звернення: 25.04.2026).
- 50.Оператор виробничої лінії: середня зарплата в Україні. [Електронний ресурс]. Work.ua. URL: <https://www.work.ua/salary-%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80+%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%BE%D1%97+%D0%BB%D1%96%D0%BD%D1%96%D1%97/> (дата звернення: 26.04.2026).

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

51. До 170 тисяч гривень на місяць: названо найбільш оплачувану професію в Україні у 2026 році. [Електронний ресурс]. РБК-Україна. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/170-tisyach-griven-misyats-nazvano-naybilsh-1780311912.html> (дата звернення: 27.04.2026).
52. Розрахунок конструкції захватного пристрою робота. [Електронний ресурс]. Репозиторій НУБіП. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/bitstreams/0bbe4d0c-c017-449c-8b34-738e81fc083b/download> (дата звернення: 28.04.2026).
53. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в інтелектуальному виробництві. [Електронний ресурс]. Відкритий архів ХНУРЕ. URL: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/e1f23f89-b6dd-4889-b563-da3ee5d04adb> (дата звернення: 29.04.2026).
54. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП. [Електронний ресурс]. ELARTU ЗУНТ. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35982> (дата звернення: 30.04.2026).

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.033 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		