

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

конструювання машин і обладнання

_____ проф. В.С. Ловейкін

« ____ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ЗАХВАТНОГО ПРИСТОРОЮ
РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІЛЬНИЦІ**

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 _____

Каневський Олександр Олександрович

Київ – 2025

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

д.т.н., проф

Ловейкін

В.С.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” 2025р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Каневський Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розрахунок конструкції захватного пристрою робота-маніпулятора для

автоматизованої ділянки

затверджена наказом ректора НУБіП України від “16” грудня 2024р. № 2265“С”

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 27.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

Перелік графічних документів (за потреби)

Дата видачі завдання “13” лютого 2025р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ловейкін В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кадикало І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Каневський О.О.

Зміст

Реферат.....	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз конструкцій роботів-маніпуляторів та захватних пристроїв...9	
1.1 Види роботів-маніпуляторів.....	9
1.2 Типи захватних пристроїв	32
Розділ 2. Розрахунок пристосування та захватного пристрою для автоматизованої ділянки	51
Розділ 3. Охорона праці.....	62
Розділ 4. Техніко-економічні розрахунки.....	67
Висновки.....	76
Список літературних джерел.....	79
Додатки.....	83

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата	ЗМІСТ	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Каневський						
Провер.		Кадикало І.О.					4	83
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловеїкін В.С.						
Утверд.								

Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розрахунок конструкції захватного пристрою робота-маніпулятора для автоматизованої ділянки» – складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на вісімдесяти трьох (83) сторінках друкованого тексту, чотирьох (4) рисунків, вісімнадцяти таблиць (18), висновків, п'ятдесяти одного (51) літературного джерела, додатків та графічної частини.

Пояснювальна записка бакалаврської кваліфікаційної роботи містить наступні розділи:

Вступну частину;

Аналіз конструкцій роботів-маніпуляторів та захватних пристроїв;

Розрахунок пристосування та захватного пристрою для автоматизованої ділянки;

Охорона праці;

Техніко-економічні розрахунки.

Ключові слова: робот-маніпулятор, конструкція, захватний пристрій, ділянка, автоматизація, верстат, деталь.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Каневський			РЕФЕРАТ		
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О.					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		Ловейкін В.С.					
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
						5	83
					НУБіП України		

Вступ

Зростання конкуренції на світових ринках машинобудування змушує підприємства переходити від локальної механізації окремих операцій до повномасштабних роботизованих комплексів, здатних підтримувати безперервний цикл випуску продукції. Ключову роль у такому переході відіграє маніпулятор із відповідним захватним вузлом. Саме енд-ефектор визначає, чи зможе робот утримати інструмент із наперед заданою орієнтацією, чи подаватиме заготовку в зону обробки точно в потрібний момент, синхронізуючись із роботою верстата. Завдяки високій швидкості лінійного переміщення, що перевищує можливості людини у декілька разів, та здатності працювати без перерв протягом доби, сучасний маніпулятор формує продуктивність дільниці, недосягну для класичної ручної праці. Коли систему налаштовано коректно, приріст виходу придатних деталей — у межах тієї ж виробничої площі — сягає трьох-чотирьох разів.

Економічна складова такого рішення очевидна для підприємств з високою часткою заробітної плати у собівартості виробу. Роботизована комірka потребує одного оператора-наладчика, чий завдання обмежується контролем технологічних параметрів, періодичним доливом мастильних матеріалів і відстеженням стану оснащення. Заміна декількох робітників одним фахівцем дає суттєве зниження фонду оплати праці, що особливо відчутно у країнах із високими соціальними стандартами. Крім того, мінімізуються витрати, пов'язані з браком, оскільки робот виключає варіативність, притаманну людському фактору. Повторюваність траєкторій у межах $\pm 0,03$ мм та стабільність швидкісних режимів упродовж трьох робочих змін дають змогу підтримувати сталі розміри та чистоту поверхні без додаткового налагодження.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каневський			ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					6	83
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловеїкін В.С.						
Затверд.								

Не менш важливий і соціальний аспект. Автоматизація звільняє персонал від виконання одноманітних або потенційно небезпечних операцій, пов'язаних із високою температурою, шкідливими випарами або ризиком травмування. Переміщення гарячих поковок, подавання заготовок до лазерного різання чи шліфування композиційних матеріалів — усі ці задачі безпечніше доручати роботизованим маніпуляторам. За такої організації праці людина переходить до ролі технолога-керівника, що підвищує кваліфікаційний рівень кадрів і створює мотивацію для професійного розвитку.

Технічною передумовою зростання застосування роботів стало вдосконалення силових вузлів, сенсорики та систем керування. Сучасні редуктори гармонічного типу мають підвищений ККД, а безщіткові двигуни з енкодерами забезпечують точне позиціонування без обов'язкових зовнішніх датчиків. Водночас нові композитні матеріали знизили інерцію ланок, що збільшило динаміку без втрати жорсткості. Щодо захватних механізмів, то сервіфіковані сенсори зусилля та крутного моменту дозволяють інтегрувати зворотний зв'язок по силі стискання, тим самим уникнути руйнування крихких елементів електроніки або тонкостінних деталей. Середній інтервал технічного обслуговування сучасного маніпулятора перевищує двадцять тисяч годин, що практично усуває незаплановані простої.

Плануючи реконструкцію дільниці, інженер стикається з двома стратегічними підходами. Перший передбачає модернізацію існуючого обладнання шляхом довшановлення стандартних роботів-«універсалів», здатних виконувати широкий спектр завдань. Така схема дає максимальну гнучкість: при зміні номенклатури достатньо перепрограмувати траєкторії або замінити захватні пальці. Однак універсальність підвищує складність конструкції та її вартість, бо потребує великої кількості ступенів свободи й розгалуженої системи датчиків.

Другий шлях — створення спеціалізованого комплексу, адаптованого під конкретний технологічний маршрут. Ціна одиниці обладнання у цьому разі

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазвичай нижча завдяки відмові від надлишкової функціональності, але гнучкість у майбутньому обмежена. Оптимальне рішення часто міститься посередині: базовий серійний маніпулятор комплектується змінними енд-ефекторами, кожен із яких налаштований під певну групу деталей. Стандартизована механічна та електрична сполучна панель дозволяє оператору швидко виконувати переналагодження, утримуючи простої на рівні кількох хвилин.

Комплексна економічна доцільність впровадження робототехніки розкривається лише за умови інтеграції маніпуляторів із системою керування технологічним потоком. Тут важливо не просто замінити руки робітника, а перебудувати логістику під автоматичну подачу та відбір заготовок, синхронізувати цикли різних верстатів і запровадити моніторинг обладнання в реальному часі. Моделі, які відображають взаємодію «робот – верстат – транспорт», показують, що найбільшого ефекту досягають лінії, де один маніпулятор обслуговує від трьох до восьми обробних центрів, працюючи в режимі дво- або тризмінної експлуатації. У такому форматі капіталовкладення окупаються протягом двох-трьох років навіть у середовищі з помірними тарифами на електроенергію.

Отже, розроблення конструкції захватного пристрою для роботизованого маніпулятора є одним із ключових етапів автоматизації. Від точності інженерних розрахунків, вибору матеріалів і типу привода залежить не лише технічний результат, а й економічна ефективність усього виробничого проєкту. Саме тому у подальших розділах роботи буде виконано детальний аналіз силових параметрів, кінематичного забезпечення та технологічних режимів, необхідних для стабільної та довговічної експлуатації роботизованої дільниці.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1 Види роботів-маніпуляторів

Роботизовані маніпулятори є ключовим компонентом автоматизованих систем управління технологічними процесами. Їх широке застосування у виробництві, логістиці, медицині, будівництві, сільському господарстві та інших галузях обумовлене здатністю виконувати точні та повторювані дії, зменшуючи участь людини в рутинних або небезпечних операціях. У даному розділі досліджується класифікація роботів-маніпуляторів за різними критеріями: за конструктивними ознаками, характером керування, кількістю ступенів вільності, видом приводу, призначенням, типом кінематичної структури тощо.

Класифікація роботів-маніпуляторів за конструкцією

Конструктивна побудова маніпуляторів безпосередньо впливає на кінематичні властивості, функціональну точність, жорсткість конструкції та допустимі навантаження. Загальна класифікація за конструкцією передбачає поділ на два основні типи – серійну та паралельну кінематику. Обидва типи мають власні переваги, обмеження та сфери доцільного застосування в залежності від специфіки технічних завдань.

Серійна архітектура маніпулятора ґрунтується на послідовному з'єднанні декількох ланок, з'єднаних обертовими або поступальними шарнірами. Така схема характерна для більшості промислових роботів, зокрема антропоморфних, SCARA-систем, а також роботів, орієнтованих на

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каневський			АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					9	83
Реценз.						НУБіП України		
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								

збирання, зварювання, транспортування та інші подібні технологічні операції. Однією з ключових переваг є велика досяжна область, що обумовлена послідовною кінематикою, а також універсальність конфігурацій. Проте, у випадках великого вильоту або при роботі з важкими вантажами, суттєво знижується жорсткість конструкції та підвищується похибка позиціонування через накопичення люфтів у кожному з механічних з'єднань. У зв'язку з цим, серійні роботи доцільно застосовувати там, де потрібна гнучкість, але навантаження не є критичними.

У паралельних системах, навпаки, усі виконавчі ланки з'єднані із платформою безпосередньо від основи. Типовим прикладом такої конструкції є маніпулятори типу Delta або гексаподи (Stewart Platform). Ці конструкції дозволяють рівномірно розподіляти зусилля між приводами, що сприяє підвищенню точності, стійкості та зменшенню деформацій при роботі з навантаженням. Завдяки меншим масам рухомих елементів, такі механізми забезпечують швидке позиціонування при високій повторюваності. Їх активно використовують у високоточних виробничих лініях, медичних роботах, маніпуляторах для 3D-друку, тощо. Основними недоліками є складність інженерної реалізації, більш важке управління через складну інверсну кінематику, а також обмеженість у гнучкості змін траєкторій.

Серед найбільш розповсюджених представників серійної архітектури можна виокремити SCARA-роботи та картезіанські маніпулятори. SCARA-системи поєднують в собі простоту кінематики та високу динаміку руху, що робить їх ефективними для операцій збирання та точного компонування. У свою чергу, картезіанські механізми реалізують переміщення вздовж трьох взаємно перпендикулярних осей, забезпечуючи прямолінійне переміщення з високою точністю. Такий тип маніпуляторів добре підходить для обробки великих деталей, пакування, палетування, а також інтеграції з координатно-програмними верстатами.

Незважаючи на очевидні конструктивні переваги обох типів, вибір між серійною та паралельною схемою має базуватись не лише на загальних

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

показниках, а й на конкретних вимогах до точності, швидкості, навантаження та умов експлуатації. Наприклад, у сфері мікромонтажу або мікрохірургії перевага надається паралельним платформам, у той час як у складальних лініях масового виробництва переважають SCARA- та антропоморфні системи. Це обумовлює важливість системного підходу до вибору конструкції з урахуванням технологічної доцільності та ефективності впровадження.

Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця конструкцій маніпуляторів:

Параметр	Серійна структура	Паралельна структура
Кінематична побудова	Послідовне з'єднання ланок	Паралельні ланцюги до виконавчого органу
Типові представники	SCARA, антропоморфні, картезіанські	Delta, гексаподи
Досяжна робоча зона	Велика	Обмежена геометрією
Жорсткість конструкції	Середня, зменшується з вильотом	Висока, стабільна
Стійкість до навантажень	Менша	Вища
Повторюваність рухів	Помірна	Висока
Керованість	Відносно проста	Складна, потребує інверсної кінематики
Швидкодія	Залежить від маси ланок	Висока, за рахунок легкої платформи
Сфера застосування	Загальнопромислові роботи	Прецизійні задачі, фармацевтика, електроніка

Таким чином, конструктивний тип маніпулятора визначає не лише його кінематичні властивості, але й доцільність експлуатації у конкретних умовах виробництва. Серійні механізми залишаються універсальним рішенням для більшості застосувань, тоді як паралельні структури домінують у випадках, де критичними є точність і швидкодія при роботі з порівняно малими масами.

Кількість ступенів вільності

Кількість ступенів свободи є одним із ключових параметрів, що визначає функціональні можливості маніпулятора, а також його здатність до адаптації під різні технологічні задачі. Ступінь свободи – це незалежний напрям переміщення чи обертання окремої ланки відносно попередньої, що в підсумку формує кінематичну структуру всього механізму. Загалом розрізняють поступальні та обертальні ступені свободи. Їх поєднання у маніпуляторі забезпечує рух виконавчого органа в просторі, а також його орієнтацію щодо об'єкта або робочої зони.

У найпростіших системах, які виконують лише базові задачі переміщення об'єктів по прямолінійних траєкторіях, достатньо трьох ступенів свободи. Такі маніпулятори застосовують переважно для завдань типу «підняти–перемістити–відпустити» без потреби складної орієнтації або точного позиціонування. У випадку більш складних виробничих процесів, особливо коли йдеться про взаємодію з об'єктами неправильної форми, потрібна більша гнучкість. У таких випадках використовуються конструкції з чотирма, п'ятьма або шістьма ступенями свободи.

Шість ступенів свободи (три лінійні і три обертальні) дозволяють повноцінне маніпулювання в тривимірному просторі – з можливістю переміщення в напрямках X , Y , Z та повороту навколо кожної з цих осей. Саме така конфігурація є найбільш універсальною і дозволяє роботу з будь-якою орієнтацією об'єкта. Наприклад, при складанні елементів електроніки або виконанні зварювальних операцій у важкодоступних місцях така здатність критично важлива.

Зі збільшенням кількості ступенів свободи ростуть і вимоги до системи керування. Розрахунок траєкторій у такому випадку стає складним, особливо з урахуванням обмежень по швидкості, прискоренню та запобіганню зіткненням. Крім того, суттєво зростає складність зворотної кінематики – процесу обчислення положення кожної ланки маніпулятора на основі

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

бажаного положення робочого органа. Це вимагає використання спеціалізованих математичних методів та обчислювальних алгоритмів.

Також варто зазначити, що із зростанням числа ступенів свободи збільшується маса, вартість і енергоспоживання конструкції. Наприклад, у випадку шести або більше ступенів свободи необхідно враховувати моменти інерції кожної ланки при динамічному моделюванні, що ускладнює оптимізацію системи.

У конструктивному аспекті ступені свободи реалізуються за допомогою суглобів (оберткових чи лінійних пар), а також лінійних приводів. Вибір тієї чи іншої конфігурації визначається технічним завданням. Наприклад, для маніпулятора, що встановлений на конвеєрній лінії, доцільно використовувати триступеневу схему з поступальними приводами для виконання типових циклічних дій. Для високоточних операцій, де потрібна висока маневровість, вибір падає на багатоступеневі конфігурації із комбінованими типами з'єднань.

У (табл. 1.2) наведено порівняння типових конфігурацій роботів-маніпуляторів за кількістю ступенів свободи, їх функціональними можливостями, галузями застосування та основними технічними характеристиками.

Таблиця 1.2. Порівняння маніпуляторів за кількістю ступенів свободи

Кількість ступенів свободи	Типові задачі	Приклади галузей застосування	Переваги	Обмеження
3	Переміщення без орієнтації	Сортування, складання, транспортування	Простота, низька вартість	Обмежена функціональність
4	Просте позиціонування з обертанням	Пакування, базова обробка	Краща адаптивність	Обмежена орієнтація в просторі
5	Багатопозиційна орієнтація	Зварювання, обробка, збирання	Баланс між гнучкістю та складністю	Ускладнене управління
6	Повна орієнтація в просторі	Медицина, монтаж, обробка деталей	Висока точність, універсальність	Висока вартість, складність розрахунку

Таким чином, вибір кількості ступенів свободи повинен здійснюватись на основі аналізу вимог до задачі, технічних характеристик робочого середовища та обмежень у бюджеті. Конструкційна адаптація під конкретну задачу забезпечує баланс між складністю реалізації та функціональністю системи. У дипломному проектуванні це питання потребує особливої уваги при формуванні кінематичної схеми та моделюванні режимів роботи виконавчого органу.

Типи приводів у маніпуляторах

Конструктивні особливості приводних систем значною мірою визначають функціональні можливості маніпуляторів, точність їх роботи, енергоефективність, а також адаптацію до різних умов експлуатації. У загальному випадку, в конструкціях сучасних роботів-маніпуляторів використовуються три основні типи приводів: електричні, гідравлічні та пневматичні. Кожен з них має специфічні техніко-експлуатаційні характеристики, що впливають на сферу їх доцільного застосування.

Електричні приводи на сьогоднішній день є найбільш розповсюдженими в системах маніпуляційної техніки. Вони відзначаються високою точністю позиціонування, відносно простою схемою керування та низьким рівнем шуму. Крім того, електроприводи є екологічно безпечними та не потребують систем герметизації, як це необхідно для гідроприводів. Їх активно застосовують у побутових і медичних маніпуляторах, лабораторних автоматизованих комплексах та в легкій промисловості. Перевагою електроприводів є можливість точного налаштування швидкості, моменту та положення виконавчого органу. Сучасні серводвигуни з енкодерами забезпечують високий рівень зворотного зв'язку та сумісність з інтегрованими системами керування.

Гідравлічні приводи, у свою чергу, використовуються переважно у важкій техніці, де необхідно реалізувати значне зусилля на виконавчому механізмі. Вони мають високу щільність потужності, тобто здатність передавати великі навантаження в умовах обмеженого простору.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Гідроприводи дозволяють отримати високу жорсткість системи, що критично важливо для обладнання, що працює з важкими або масивними заготовками. Недоліками є складність побудови гідросистеми, необхідність регулярного технічного обслуговування, а також потенційна небезпека витоків робочої рідини. До того ж, точність позиціонування у гідравлічних системах зазвичай нижча у порівнянні з електроприводами, особливо за умови зносу клапанних груп або нерівномірного тиску в системі.

Пневматичні приводи знаходять широке застосування в технологічному обладнанні з невеликим робочим навантаженням, де необхідна висока частота циклів та порівняно низька точність. Вони конструктивно прості, швидкодійні та відносно дешеві у виготовленні й експлуатації. Типові сфери їх використання включають лінії пакування, сортування, вибірки і позиціонування деталей малої маси. Водночас їх основним обмеженням є нестабільність швидкості та положення робочого органа, оскільки стиснене повітря має низьку густину, що ускладнює точне керування.

У (табл. 1.3) наведено порівняльні технічні характеристики основних типів приводів, які застосовуються в конструкціях роботів-маніпуляторів.

Таблиця 1.3. Порівняння типів приводів у маніпуляторних системах

Тип приводу	Основна характеристика	Сфера застосування	Переваги	Обмеження та недоліки
Електричний	Висока точність керування	Побутова, медична, лабораторна	Екологічність, точність, просте керування	Обмежена потужність, залежність від мережі
Гідравлічний	Висока щільність потужності	Важка промисловість, будівництво	Висока вантажопідйомність, жорсткість	Складність обслуговування, витoki, габарити
Пневматичний	Висока швидкодія	Пакувальні й сортувальні лінії	Простота конструкції, доступність, низька вартість	Низька точність, коливання параметрів керування

З урахуванням особливостей функціонування різних приводів, при виборі типу актуатора для конкретного маніпулятора необхідно враховувати вимоги до навантаження, точності позиціонування, динамічних характеристик та умов експлуатації. Наприклад, у проектуванні промислового маніпулятора, який працює в умовах змінних навантажень та високої швидкості циклів, доцільно застосувати електропривід з системою зворотного зв'язку. Натомість у маніпуляторах, що виконують силові операції на відкритому повітрі або у будівельному середовищі, доцільно впроваджувати гідроприводи, які забезпечать високу продуктивність і стійкість до навантажень.

Загалом, вибір типу приводу в маніпуляторній техніці є багатофакторним завданням, яке враховує не лише конструкційні аспекти, а й економічні, експлуатаційні та технологічні вимоги до системи.

Види роботів-маніпуляторів за призначенням

Функціональна класифікація роботизованих маніпуляторів базується на аналізі їх основного технічного призначення, що визначає як конструкційні особливості, так і вимоги до елементної бази та системи управління. У цій групі виокремлюють універсальні промислові маніпулятори, спеціалізовані технологічні комплекси, транспортно-переміщувальні механізми, монтажні агрегати, установки для виконання зварювальних операцій, фарбувальні системи, медичні маніпулятори та інші типи.

Універсальні промислові роботи-маніпулятори зазвичай використовуються на виробництвах із широким спектром операцій: від обробки до завантаження-розвантаження. Вони мають відкриту програмну архітектуру, можуть бути перепрограмовані відповідно до технологічних вимог і сумісні з різноманітним технологічним обладнанням. Конструктивно це багатовісні системи із шістьма або більше ступенями вільності, що забезпечує широкий діапазон рухів та дозволяє виконувати складні просторові маніпуляції.

Спеціалізовані технологічні маніпулятори створюються під виконання конкретного завдання, наприклад, зварювання, склеювання, нанесення

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

покриття або обробки поверхні. Такі установки можуть мати обмежену конфігурацію вільності руху, але відзначаються високою точністю та стабільністю параметрів у межах заданої задачі. Наприклад, зварювальні маніпулятори комплектуються пристроями стабілізації дуги, контролю напруги зварювання, а також системами компенсації просторових відхилень, що підвищує якість та однорідність шва навіть за складних умов експлуатації.

Маніпулятори для транспортування деталей виконують переміщення об'єктів між технологічними зонами, ділянками складання або інструментальними установками. Такі пристрої проектуються із зосередженням на високій швидкості та повторюваності циклів. Параметри приводів орієнтовані на динамічне навантаження, що передбачає короткі цикли роботи, високу продуктивність та витривалість до зношування.

Монтажні маніпулятори застосовуються у вузлах автоматизованого складання, де необхідна прецизійна точність, синхронізація дій та адаптація до геометрії з'єднуваних елементів. Конструктивно це компактні багатовісні системи із сервокеруванням, що забезпечують стабільність взаємного розташування компонентів у процесі складання.

Зварювальні роботи-маніпулятори мають підвищені вимоги до кінематичної стабільності, відтворюваності траєкторій та захисту від впливу високих температур. У більшості випадків реалізується підтримка адаптивного керування, в тому числі з урахуванням зворотного зв'язку по струму або довжині дуги. Крім того, конструкція передбачає мінімізацію вібрацій та коливань під час роботи, що забезпечує стабільність зварного з'єднання.

Фарбувальні маніпулятори призначені для автоматизованого нанесення покриттів на поверхні виробів. Для них важлива рівномірність траєкторії, підтримка постійного віддалення фарбопульту від поверхні, а також мінімізація коливань, які можуть негативно вплинути на якість покриття. У зв'язку з цим системи забезпечуються сенсорними датчиками, що коригують рух у режимі реального часу.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Медичні роботи-маніпулятори функціонують у середовищі, що вимагає високої надійності, стерильності та точності. До них належать системи, що забезпечують проведення хірургічних втручань, діагностики або обробки тканин. Такі пристрої оснащені високоточними приводами, мікромеханічними кінцевими виконавчими органами та програмним забезпеченням, що дозволяє оператору здійснювати дистанційне керування з використанням зворотного зв'язку.

Нижче наведено порівняльну таблицю, яка узагальнює основні характеристики роботів-маніпуляторів за функціональним призначенням.

Таблиця 1.4. Характеристики роботів-маніпуляторів за функціональним призначенням

Тип маніпулятора	Основне призначення	Ключові характеристики	Галузь застосування
Універсальний промисловий	Обробка, маніпулювання, складання	Гнучка конфігурація, програмована траєкторія	Автоматизоване виробництво
Спеціалізований технологічний	Виконання конкретної операції	Обмежена кінематика, висока точність	Зварювання, склеювання, фрезерування
Транспортний	Переміщення об'єктів між ділянками	Висока швидкість, циклічність	Логістика, складання
Монтажний	Автоматизоване збирання вузлів	Прецизійна точність, багатовісна система	Машинобудування, електроніка
Зварювальний	Автоматизація зварювальних процесів	Контроль дуги, компенсація коливань	Металургія, важка промисловість
Фарбувальний	Нанесення лакофарбових матеріалів	Стабільна траєкторія, сенсорна корекція	Автомобільна промисловість, меблі
Медичний	Операції, діагностика, мікроманіпуляції	Висока точність, стерильність, безпечність	Медицина, біотехнології

Вказана класифікація дозволяє ефективно структурувати вибір конструкції роботизованої системи відповідно до виробничих потреб і функціональних обмежень, а також забезпечує орієнтацію в сучасному ринку промислових робототехнічних засобів.

Особливості побудови конструкцій за типами задач

Конструктивна реалізація маніпуляторів значною мірою визначається характером і специфікою виконуваних технологічних операцій. Параметри, які враховуються під час розроблення конструкції, охоплюють геометрію робочого простору, вимоги до вантажопідйомності, точності позиціонування, динамічних характеристик та енергетичної ефективності. В залежності від функціонального призначення, конструкційні рішення відрізняються як за типом кінематичної структури, так і за складом виконавчих органів.

Для виконання складальних операцій зазвичай обирають маніпулятори з великою кількістю ступенів вільності, що забезпечує високу гнучкість та адаптивність до зміни просторової конфігурації деталей. У таких системах важливу роль відіграє точність кінематичного моделювання та реалізація алгоритмів керування зворотним зв'язком. Впровадження прецизійних енкодерів та силових датчиків дозволяє реалізувати адаптивне керування зі зниженням похибки позиціонування. Такі маніпулятори часто мають шарнірно-зчленовану структуру з ланцюговими зв'язками, що дозволяє досягти необхідної маневреності у складних умовах експлуатації.

У транспортних системах ключову роль відіграє забезпечення високої швидкості переміщення та плавності траєкторії. У подібних випадках застосовуються конструкції з обмеженою кількістю ступенів свободи, як правило, лінійного типу – наприклад, порталні (картезіанські) маніпулятори. Використання лінійних напрямних, рейкових або профільних направляючих з низьким коефіцієнтом тертя дозволяє мінімізувати енергетичні витрати на переміщення та досягати високих значень повторюваності при збереженні необхідної динаміки. Елементи управління в такому випадку орієнтовані на

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

забезпечення швидкісного режиму та стабілізації вібрацій під час розгону або гальмування.

Щодо вантажопідіймальних задач, то для них конструкція маніпуляторів передбачає високу жорсткість і здатність витримувати значні зовнішні навантаження без втрати точності. В таких конструкціях перевагу надають паралельним кінематичним структурам (наприклад, типу Delta або Stewart), що забезпечують симетричний розподіл навантажень між приводними ланками. Матеріали, які застосовуються в таких механізмах, мають високі показники міцності та пружності – переважно леговані сталі або алюмінієві сплави з термообробкою.

У тих випадках, коли важливо забезпечити мінімальні масо-габаритні характеристики при збереженні функціональності (наприклад, при монтажі в мобільні платформи або дрони), конструкція оптимізується за критеріями питомої ваги та інерційності. Тут широко застосовуються композитні матеріали та топологічна оптимізація деталей, виготовлених за допомогою адитивних технологій.

Нижче подано порівняльну характеристику конструкцій маніпуляторів відповідно до типу виконуваної задачі:

Таблиця 1.5. Характеристика відповідно до типу виконуваної задачі

Тип задачі	Основні вимоги	Рекомендована структура	Особливості реалізації
Складання / Монтаж	Висока точність, адаптивність	Шарнірно-зчленована	5–6 ступенів вільності, датчики зворотного зв'язку
Транспорт / Логістика	Швидкість, плавність руху	Картезіанська, портальна	Високошвидкісні приводи, мінімальні вібрації
Вантажопідйомність	Жорсткість, вантажостійкість	Паралельна	Симетричне навантаження, леговані сталі
Мобільні системи	Компактність, низька інерційність	Комбінована, легка рама	Використання композитів, адитивне виробництво

Таким чином, конструктивна архітектура роботизованого маніпулятора повинна формуватися на основі аналізу функціонального навантаження, динамічних характеристик процесу, вимог до точності та енергоспоживання. Це дозволяє досягти оптимального поєднання технічних і економічних параметрів в межах заданого виробничого середовища.

SCARA-маніпулятори

Маніпулятори типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) належать до групи спеціалізованих промислових роботів, призначених для виконання операцій складання, які вимагають високої точності в горизонтальній площині. Основною особливістю такої конструкції є селективна жорсткість: маніпулятор має підвищену гнучкість у горизонтальному напрямку та обмежену жорсткість у вертикальному, що дозволяє здійснювати точне позиціонування з урахуванням механічних похибок при складанні.

Типова кінематична структура SCARA складається з двох обертових ланок, що з'єднані послідовно і забезпечують переміщення в площині XY, а також одного лінійного приводу вздовж осі Z для вертикальних дій. Ця конфігурація дозволяє досягти високої швидкості позиціонування та повторюваності в умовах обмеженої зони обслуговування.

Однією з основних переваг SCARA-маніпуляторів є компактність, що робить їх доцільними для інтеграції в автоматизовані виробничі лінії з обмеженим простором. Крім того, такі роботи мають спрощену систему керування, порівняно з шестивісними антропоморфними роботами, оскільки число ступенів вільності зменшене до необхідного мінімуму для конкретних задач складання. Це знижує витрати на програмування та обслуговування обладнання, а також спрощує математичне моделювання руху.

Однак, обмеження SCARA-роботів у вертикальному переміщенні і фіксована геометрія призводять до зниження універсальності. Вони не можуть ефективно виконувати задачі, пов'язані з тривимірною орієнтацією об'єктів, що є суттєвим недоліком у випадках, коли складальні компоненти мають

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

складну просторову конфігурацію або потребують нахилу під певними кутами.

У практиці машинобудування SCARA-маніпулятори застосовуються переважно для високошвидкісного складання електроніки, сортування дрібних деталей, пакування, нанесення клеїв або паяльних матеріалів, а також для точкових перевірок. Їхнє використання забезпечує скорочення часу циклу, підвищення стабільності продукції та зменшення потреби в ручній праці.

Ключовим фактором при виборі SCARA-маніпулятора є необхідна повторюваність та швидкодія при виконанні серійних дій в обмеженій площині. Їх часто комплектують електроприводами середньої потужності, які забезпечують високу динаміку руху та контроль крутного моменту. Завдяки своїй спеціалізації, SCARA-системи не потребують складних адаптивних алгоритмів, що дозволяє розробляти ефективні рішення з мінімальними витратами на інженерне налаштування.

Таблиця 1.6. Характеристики SCARA-маніпуляторів

Параметр	Значення
Конструкція	Дві обертові ланки + вертикальний привід по осі Z
Кількість ступенів вільності	3 (іноді 4 з обертанням навколо осі Z)
Напрямок основної дії	Горизонтальна площина XY
Характер руху	Плавне горизонтальне переміщення, обмежене вертикальне переміщення
Повторюваність	Висока (до ± 0.01 мм)
Призначення	Складання, пакування, сортування, нанесення клею
Переваги	Висока швидкість, простота керування, компактність, знижена вартість
Недоліки	Обмежена область дії, обмеження в орієнтації об'єкта
Тип приводу	Переважно електричні приводні системи
Тип керування	Позиційне, з використанням контролерів прямої дії

Таким чином, SCARA-роботи займають вузькоспеціалізовану нішу в галузі автоматизації, де потрібна висока точність і швидкодія в площині. При правильному підборі технічних характеристик і адаптації під виробничі задачі, такі маніпулятори дозволяють значно підвищити ефективність і стабільність технологічних процесів.

Delta-маніпулятори

Delta-тип роботів-маніпуляторів відносяться до категорії систем з паралельною кінематикою, що суттєво відрізняє їх від традиційних серійних конструкцій. Основна особливість Delta-механізмів полягає у використанні трьох симетрично розташованих кінематичних ланцюгів, які кріпляться до базової платформи. Всі три важелі з'єднані з рухомою платформою, на якій розміщений виконавчий орган. Завдяки цій конфігурації забезпечується синхронізований рух у тривимірному просторі, що дозволяє досягти високої швидкодії при збереженні точності.

Конструкція Delta-маніпуляторів мінімізує інерційне навантаження на приводи, оскільки більшість маси системи зосереджена у стаціонарній частині. Робоча платформа має відносно малу масу, що дозволяє досягати швидких прискорень і гальмувань без втрати стабільності. Це дозволяє використовувати Delta-роботи в тих випадках, коли цикл виконання операції повинен бути мінімальним, наприклад, під час сортування, фасування або транспортування дрібних об'єктів у харчовій та фармацевтичній промисловості.

Залежно від виконання, Delta-роботи можуть мати різну кількість ступенів вільності — від трьох (позиціонування у просторі) до шести (з можливістю орієнтації захватного пристрою). Основним приводом для маніпуляції у більшості Delta-систем є електродвигуни з високою точністю регулювання кутового положення. Для зниження вібрацій застосовуються демпфуючі компоненти, а керування рухами здійснюється за допомогою спеціалізованих алгоритмів на основі зворотного зв'язку.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

В умовах серійного або масового виробництва використання Delta-маніпуляторів дозволяє значно підвищити продуктивність технологічної лінії. Вони ефективно справляються із завданнями, де необхідна висока швидкість без значного силового навантаження. Наприклад, у фасувальних лініях один Delta-робот може обробляти до 300-400 об'єктів за хвилину.

Одним з ключових конструктивних вузлів у таких системах є механізм кріплення та синхронізації важелів. Зазвичай він складається з карданного або шарнірного з'єднання, що забезпечує плавну передачу зусиль без заїдань та люфтів. Рух кожного важеля контролюється окремим сервоприводом, який через редуктор передає момент на ланку.

Щодо обмежень, то головною слабкою стороною Delta-механізмів є обмежена робоча область, яка має куполоподібну форму. Це вимагає точного проектування з урахуванням габаритів виробу та зони обслуговування. Крім того, через особливості геометрії системи управління ускладнюється при реалізації складних траєкторій руху у просторі.

Незважаючи на це, Delta-маніпулятори мають широку область застосування, особливо у тих сферах, де важливими є точність і висока швидкість циклу. Їх конструкційна простота, модульність та відносно невисока вартість також сприяють їх інтеграції в автоматизовані виробничі комплекси.

Таблиця 1.7 – Порівняльні характеристики Delta-маніпуляторів

Параметр	Delta-маніпулятор
Тип кінематики	Паралельна
Кількість приводів	Зазвичай 3–6
Робоча область	Обмежена, куполоподібна
Вантажопідйомність	Низька–середня (до 5 кг)
Точність позиціонування	Висока ($\pm 0,05$ мм)
Максимальна швидкість руху	Висока (до 10 м/с)
Галузь застосування	Сортування, фасування, фармацевтика
Тип приводу	Електричний сервопривід
Стійкість до перевантажень	Обмежена
Складність програмування	Середня – висока

Загалом, Delta-маніпулятори є оптимальним вибором для високошвидкісних автоматизованих процесів з обмеженим навантаженням. Їх використання дозволяє реалізувати компактні, ефективні та точні рішення для задач, пов'язаних з дрібногабаритними компонентами. У подальшій розробці перспективним напрямом є розширення робочої області за рахунок адаптивних платформ і комбінованих кінематичних схем.

Картезіанські маніпулятори

Серед численних конструкцій робототехнічних систем, картезіанські маніпулятори (іноді іменовані як прямокутно-координатні роботи) займають особливе місце завдяки своїй структурній простоті та високій точності переміщення. Принцип їх роботи базується на реалізації поступального руху вздовж трьох взаємно перпендикулярних напрямків у координатній системі X, Y та Z. Такий тип побудови дозволяє забезпечити чітке позиціонування виконавчого органу, що робить ці системи придатними для завдань, де критичним є лінійний характер переміщення та можливість масштабування робочої області.

Типовими сферами експлуатації картезіанських маніпуляторів є операції з переміщення великогабаритних предметів, виконання розвантажувально-навантажувальних дій у логістичних та складських комплексах, а також взаємодія з координатно-програмним обладнанням у металообробній та деревообробній промисловості. Значна кількість конструкцій цього типу застосовується також у галузі 3D-друку та автоматичного нанесення клеїв або герметиків на великі поверхні.

Однією з головних конструктивних переваг картезіанських роботів є їх модульність. Система може бути легко адаптована до змін у габаритах оброблюваної зони, оскільки кожна вісь встановлюється незалежно й доповнюється відповідними направляючими або приводами. Завдяки простій геометрії, проектування системи керування вимагає меншої кількості обчислювальних ресурсів порівняно з роботами, які мають обертові з'єднання або паралельну кінематику.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

У технічному аспекті картезіанські системи характеризуються високим рівнем точності та повторюваності при виконанні рухів, що досягається завдяки наявності лінійних направляючих та шарико-гвинтових передач. Приводна частина зазвичай реалізується на основі крокових або сервомоторів, що забезпечують належний контроль за швидкістю і положенням. Проте, за умови значного розміру робочої області, маса рухомих елементів зростає, що призводить до необхідності використання потужніших приводів і жорсткіших конструкцій, що в свою чергу збільшує вартість виготовлення.

Щодо недоліків, основним обмеженням є низька динамічність у порівнянні з роботами іншого типу (наприклад, Delta або SCARA), особливо коли система працює з великою інерцією рухомих компонентів. Крім того, при збільшенні довжини осей, для збереження точності та жорсткості потрібні відповідні компенсуючі заходи (зокрема, додаткові опори або жорсткіші профілі).

Попри це, картезіанські маніпулятори залишаються конкурентоспроможним варіантом у тих сферах, де головною вимогою є точність та простота адаптації конструкції під конкретне технологічне завдання.

Таблиця 1.8. Порівняльна таблиця характеристик картезіанських маніпуляторів

Параметр	Значення / Характеристика
Кінематична структура	Лінійна, прямокутно-картезіанська
Кількість ступенів свободи	Переважно 3 (X, Y, Z)
Тип руху	Поступальний
Точність позиціонування	Висока (до $\pm 0,02$ мм залежно від системи)
Швидкість переміщення	Середня
Жорсткість конструкції	Висока при коротких осях
Габаритні обмеження	Можливе масштабування до великих розмірів
Вартість	Середня
Застосування	CNC, пакування, розвантаження, 3D-друк
Приводи	Крокові, серво, рідше – пневматичні
Недоліки	Велика маса рухомих частин, зниження динаміки

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таким чином, картезіанські маніпулятори є конструктивно простими, надійними й гнучкими системами для задач, що потребують лінійного переміщення з високою точністю. Їх ефективність особливо виявляється в умовах великої робочої зони та у виробничих циклах, де важливим є стабільне позиціонування інструмента або об'єкта. При цьому доцільність використання таких роботів визначається конкретним типом виробництва та характером технологічного процесу.

Гексаподні (Stewart Platform) роботи

Гексаподні роботи, відомі також як платформи Стюарта, представляють собою механічні системи з паралельною кінематикою, що реалізують переміщення платформи з виконавчим механізмом у шести ступенях свободи. Їх конструкція складається з шести лінійних приводів (актуаторів), які з'єднують нерухому основу з рухомою платформою. Така схема дозволяє не тільки переміщати платформу у трьох просторових напрямках (вздовж осей X, Y, Z), але і здійснювати обертання відносно кожної з осей (обертання навколо осей Roll, Pitch і Yaw).

Завдяки жорсткості паралельної структури та високій точності координатного контролю, гексаподи активно застосовуються в тих сферах, де потрібна висока точність позиціонування в умовах складної динаміки. Зокрема, це авіаційні тренажери, дослідницькі лабораторії, прилади калібрування та системи мікропозиціонування в оптичних та електронних технологіях.

Одна з основних переваг конструкції полягає у зменшенні інерційних навантажень на приводи, що дозволяє досягати високих прискорень при порівняно невеликій масі рухомої частини. У зв'язку з тим, що всі силові впливи розподілені між шістьма паралельно діючими приводами, система отримує підвищену стабільність у порівнянні з серійними кінематичними структурами. Разом з тим, реалізація такого принципу вимагає точного узгодження дій усіх приводів, що ускладнює алгоритмічну реалізацію керування та потребує застосування високопродуктивних контролерів.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

У виробничих умовах гексаподи демонструють високу гнучкість, зокрема при виконанні точних шліфувальних або полірувальних операцій, де необхідно дотримання орієнтації інструмента відносно деталі. У медицині платформи Стюарта використовуються як основа для хірургічних робіт, забезпечуючи мікрорухи без втрати стабільності навіть при роботі з м'якими тканинами. У військово-космічному секторі ці роботи застосовуються для тестування систем навігації, а також у симуляторах польоту, де критично важлива точність відтворення руху.

Одним з недоліків гексаподів є висока чутливість до параметричних похибок та геометричних неточностей у виготовленні деталей. Це зумовлює необхідність точного калібрування та використання спеціалізованих датчиків положення. Крім того, складність просторового моделювання обмежує використання таких систем у масовому виробництві, оскільки обслуговування і переналадження вимагають високої кваліфікації персоналу.

Ще одним фактором, що стримує широке поширення гексаподів у загальному промисловому секторі, є їх вартість. Технологія виготовлення та програмного забезпечення суттєво дорожча в порівнянні з традиційними серійними маніпуляторами. Проте, в умовах, коли визначальними є точність, стабільність та багатовісне позиціонування – використання гексаподів є технічно обґрунтованим рішенням.

Таблиця 1.9. Зведена таблиця порівняльних характеристик гексаподів:

Параметр	Значення/Особливості
Кінематична структура	Паралельна
Кількість ступенів вільності	6 (3 лінійні + 3 обертальні)
Тип переміщення	Векторне положення платформи у просторі
Приводи	Лінійні, синхронізовані
Переваги	Висока точність, жорсткість, можливість мікропозиціонування
Недоліки	Складність керування, висока вартість, складне обслуговування
Сфери застосування	Авіасимулятори, медицина, оптика, наукові лабораторії
Вимоги до ПЗ/контролера	Висока продуктивність, точна зворотна геометрична модель

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таким чином, гексаподні маніпулятори є високоточними мехатронними системами, які за певних умов перевершують традиційні серійні роботи-маніпулятори за точністю, стабільністю та адаптивністю до складних завдань. Але через конструктивну складність та вартість їх застосування доцільне переважно в високотехнологічних та дослідницьких сферах.

Антропоморфні маніпулятори

Антропоморфні маніпулятори являють собою тип роботизованих систем, які конструктивно відтворюють кінематичну схему людської руки. Такі механізми мають послідовно з'єднані ланки, що імітують плечовий, ліктьовий та зап'ястний сегменти, кожен з яких оснащено відповідним ступенем свободи. У типових конфігураціях антропоморфні маніпулятори мають шість ступенів вільності, що забезпечує їм можливість точної орієнтації інструменту у просторі. Завдяки цьому вони є придатними до виконання широкого спектра задач, зокрема для маніпуляцій зі складними геометричними формами, а також для повторення складних рухів оператора у реальному часі.

У виробничих умовах антропоморфні системи активно використовуються у складальних операціях, зокрема в автомобілебудуванні, електроніці, при виготовленні дрібних вузлів та елементів. Також вони застосовуються у сфері дистанційного управління, наприклад, в умовах підвищеної небезпеки для людини – при ліквідації аварійних ситуацій, у середовищах з високим рівнем радіації, токсичності або в зонах з високими температурами.

З конструктивної точки зору, антропоморфні роботи мають гнучке зчленування між ланками, що дозволяє їм виконувати складні траєкторії з точним позиціонуванням інструмента. Кожен ступінь свободи забезпечується відповідним приводом – у більшості випадків застосовуються серводвигуни з редукторами, які забезпечують потрібну точність та момент сили. Для контролю положення використовуються сенсори обертання, іноді зворотного зв'язку на основі інкрементних або абсолютних енкoderів.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Управління антропоморфними маніпуляторами базується на розв’язанні обернених кінематичних задач, які дозволяють точно визначати необхідні кути повороту в кожному з суглобів для досягнення заданої позиції робочого органу. Це вимагає складного програмного забезпечення, яке дозволяє будувати та оптимізувати траєкторії з урахуванням механічних обмежень, уникнення зіткнень та стабільності.

Завдяки високому ступеню свободи антропоморфні маніпулятори здатні працювати у важкодоступних місцях, повторювати природні рухи руки, що особливо важливо в хірургії, реабілітаційній медицині, маніпулюванні крихкими об'єктами. У галузі роботизованої хірургії такі пристрої дозволяють точно повторювати дії хірурга на основі зчитаних рухів у реальному масштабі часу, значно підвищуючи точність втручань.

Незважаючи на переваги, до недоліків антропоморфних систем можна віднести підвищену складність в керуванні, значну вартість розробки та обслуговування, а також необхідність у ретельному калібруванні. Крім того, через серійну кінематичну структуру в таких маніпуляторах накопичуються похибки на кожному з суглобів, що знижує абсолютну точність у віддалених положеннях.

У контексті автоматизованих виробничих систем антропоморфні роботи мають широке поле застосування в гнучких роботизованих лініях, де часто змінюються параметри виробництва, оброблювані об'єкти або задачі. Їх універсальність дозволяє ефективно адаптуватися до різних умов без потреби кардинальної перебудови конструкції або зміни програмного забезпечення.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.10. Порівняльна таблиця характеристик антропоморфних роботів-маніпуляторів

Параметр	Значення / Особливість
Кількість ступенів свободи	6
Конструктивна схема	Послідовна (серійна) кінематика
Принцип дії	Імітація рухів людської руки
Основні галузі застосування	Промисловість, медицина, дистанційні операції
Типи приводів	Електричні серводвигуни з редукторами
Система управління	Розв'язання обернених кінематичних задач
Точність позиціонування	Середня (висока при додатковому калібруванні)
Стійкість до навантажень	Середня, залежно від жорсткості конструкції
Габарити	Компактні при збереженні великого діапазону рухів
Основні переваги	Гнучкість, універсальність, можливість повторення людських рухів
Основні недоліки	Складність керування, висока вартість, потреба в калібруванні

Загалом, антропоморфні маніпулятори є важливим класом роботизованих систем, що демонструють найбільший потенціал для інтеграції у середовища, де необхідна гнучкість, адаптивність і можливість виконання складних маніпуляцій. Їх розвиток сприяє подальшій автоматизації операцій, які раніше вимагали присутності людини.

Таблиця 1.11. Порівняльна таблиця типів роботів-маніпуляторів

№	Типи маніпулятора	Кінематична структура	Ступені вільності	Переваги	Недоліки	Основні галузі застосування
1	SCARA	Серійна (2 оберт. + 1 лінійна вісь)	3	Швидкість, точність, компактність	Обмежена робоча зона	Збирання, автоматизація виробництва
2	<u>Delta</u>	Паралельна (3 оберт. важелі)	3	Висока динаміка, точність, малий імпульс	Складність у реалізації та управлінні	Сортування, пакування, медицина
3	<u>Картезіанський</u>	Серійна (3 лінійні осі)	3	Висока точність, простота побудови	Масивність, обмежена швидкість	ОБМ з великогабаритними деталями
4	<u>Гексаподний</u>	Паралельна (6 актуаторів)	6	Повна свобода рухів, точність	Складність кінематики, висока вартість	Авіація, хірургія, симулятори
5	<u>Антропоморфний</u>	Серійна (6 DOF)	6	Максимальна гнучкість, схожість з людиною	Висока складність керування, дорога конструкція	Монтаж, роботи у небезпечних умовах

1.2. Типи захватних пристроїв

Робочий орган маніпулятора безпосередньо взаємодіє з об'єктом виробництва, тому саме від конструкції та характеристик захватного пристрою (енд-ефектора) залежить ефективність автоматизованої ділянки в частині точності, швидкодії, надійності та енергетичних витрат.

Під терміном «захватний пристрій» у машинобудівній робототехніці розуміють автономний механічний, пневматичний, гідравлічний або комбінований модуль, встановлений на кінці кінематичного ланцюга робота-маніпулятора. Головна функція — формування та утримання силового або безконтактного зчеплення з деталлю, її переміщення, орієнтація та, у разі потреби, виконання додаткових технологічних операцій (обрізування, різання, дозування тощо). Класифікаційна різноманітність пояснюється широким спектром фізичних явищ, що використовуються для фіксації об'єкта: механічне захоплення, різниця тисків, магнітне поле, сили поверхневого натягу, клейові з'єднання, вакуум, електростатика, капілярний ефект чи навіть бістабільні структури зі змінною жорсткістю.

Механічні захвати з жорстким зчепленням

Жорсткі захватні пристрої – це клас енд-ефекторів, у яких утримання заготовки забезпечується завдяки позитивному зчепленню пальців або щік із поверхнею виробу. Таке фіксоване охоплення дозволяє передавати значні навантаження без ризику прослизання й істотно спрощує розрахунок силового балансу. До найпоширеніших схем належать клино-важільні, кулачкові, зубчасті та гвинтові щипцеві механізми. Кожна з них має власні сильні й слабкі сторони, тому оптимальний вибір ґрунтується на вимогах технологічного процесу, габаритах деталі та експлуатаційних умовах.

Клино-важільні системи використовують клин, що розходить або зводить щоки через шарнірні важелі. Така геометрія створює значний підсилювальний ефект, тому відносно компактний пневмо- або гідроциліндр може закривати пальці з великою силою. Пристрій добре працює у силових маніпуляціях із кованими або литими заготовками, де допускаються високі контактні тиски. Критичною для безвідмовності є точна обробка напрямних клина: навіть невеликий перекис спричиняє несиметричний затискач і перевантаження окремих вузлів.

Кулачкові захвати базуються на обертовому диску зі спіральним профілем. Під час повороту диск виштовхує щоки у радіальному напрямку, забезпечуючи швидке замикання та розмикання. Конструкція мало чутлива до пилу й бризок, тому її часто використовують на лініях механічної обробки, де присутня стружка чи мастильно-охолоджувальна рідина. Оскільки сила затиску змінюється залежно від кута повороту, для крихких деталей рекомендують додаткові демпфери або сервопривід із можливістю лімітувати крутний момент.

Зубчасті щипці складаються з пари рейка-шестерня, яка синхронізує рух двох або трьох пальців. Така передача характеризується підвищеним механічним коефіцієнтом корисної дії та забезпечує однакову швидкість ходу щік незалежно від зовнішніх впливів. Завдяки цьому зубчасті схеми ставлять у роботах для роботи з листовими заготовками чи штампами, де необхідне

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

рівномірне охоплення по всій довжині деталі. Водночас значна кількість зубчастих елементів збільшує масу енд-ефектора і потребує періодичного контролю зносу контактних поверхонь.

Гвинтові (шпindelні) захвати утворюють затиск через обертання різьбового шпиделя, який пересуває штовхачі пальців. Головна перевага – точне дозування стиску: оператор або контролер може плавно змінювати силу без ривків, що важливо при роботі з крихким склом чи тонкостінною пластмасою. Недолік полягає в обмеженій швидкодії, оскільки різьбовій парі потрібно виконати багато обертів для повного ходу. Щоб підвищити динаміку, застосовують кулькові гайки та серводвигуни високої швидкості, проте це збільшує вартість та потребує ретельного пілозахисту.

У захватах малої та середньої вантажопідйомності популярні пневмоциліндри стандарту ISO. Вони забезпечують швидкі цикли та просте підключення, однак при раптовому зниженні тиску пальці можуть розтискатись. Тому у відповідальних системах встановлюють механічні стопори або пружинні акумулятори енергії. Якщо ж необхідна сила перевищує десять кілоньютонів, використовується гідропривод із закритим контуром мастильної рідини; спеціальний демпфер у магістралі згладжує гідроудари.

Для зниження впливу навантаження на поверхню виробу контактні зони пальців покриваються еластомерами. Поліуретанові вставки підходять для сталевих заготовок і підвищують коефіцієнт тертя, тоді як неопренові накладки застосовують у роботі з крихкими матеріалами, обмежуючи контактний тиск. У текстильному виробництві використовуються піноеластомери, що підлаштовуються під нерівномірну форму рулонів.

Надійність сучасних щипцевих модулів підтримують інтегровані датчики. Мініатюрні тензорезистори у підшвах пальців відстежують фактичне стискальне зусилля й передають дані у контролер з частотою до тисячі вимірів на секунду. Оптичні або ємнісні рамки сигналізують про наявність предмета між щоками, запобігаючи «порожньому» циклу і підвищуючи безпеку оператора.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 1.12. Порівняльна таблиця механічних захватів жорсткого типу

Критерій / Ознака	Клино-важільний	Кулачковий	Зубчастий	Гвинтовий (шпindelъный)
Тип підсилення / руху цiк	Лiнійний через клин i важелi; механiчний пiдсилювач	Радiальний вiд диска; Геометричний пiдсилювач	Лiнійний, синхронiзацiя рейка-шестерня; синхронний пiдсилювач	Лiнійний через рiзбовий шпindelъ; пiдсилення рiзбобою
ККД передачi	0,75 – 0,80	0,70 – 0,78	0,85 – 0,88	0,90 – 0,92
Дiапазон сил затиску, Н	200 – 10 000	100 – 6 000	150 – 15 000	10 – 3 000 (24 В, 10 А)
Умовна сила затиску	Висока, пiдсиленна геометрично	Середня, залежить вiд кута	Дуже висока, рiвномирна	Низька-середня, точно дозована
Швидкодiя, такт/хв	30 – 50	40 – 70	20 – 35	5 – 20
Точнiсть ходу / позицiювання, мм	±0,05	±0,07	±0,04	±0,02
Масштабартитний КП / компактнiсть	Середнiй; компактнiший за зубчастий	Невеликий; найкомпактнiший	Високий, масивний корпус	Низький; промiжна компактнiсть
Стiйкiсть до пилу / забруднень	Середня	Висока	Середня	Низька, потрібен захист шпindelъ
Чутливiсть до удару	Помiрна	Низька	Висока	Помiрна
Чутливiсть до крихких деталей	Помiрна (еластичнi накладки)	Висока (необхiднi демпфери)	Висока (жорсткий затиск)	Низька, добре регулюється приводом
Потреба в обслуговуваннi	Змашчення напрямних 1 р/мiс	Мiнiмальна	Контроль зносу зубцiв	Пiдтягування гайки, чистка рiзби 1 р/кв
Швидкодiя (якiсна)	Середня	Висока	Низька-середня	Низька
Основнi галузi застосування	Ковка, литво, важкi механiзми	Металообробнi верстати, швiлки сортувальнi лiнii	Листовий метал, штампи, будiвельнi блоки	Скло, електронiка, лабораторнi вироби

Якщо головним критерієм є максимальна сила на мінімальній базовій довжині, доцільно обрати клино-важільний варіант.

Для високошвидкісних циклів, де допустимі помірні навантаження, найкраще працюють кулачкові щипці.

Зубчаста схема незамінна там, де потрібно рівномірно схопити габаритну або довгу деталь без перекосів.

Гвинтові захвати забезпечують найкращий контроль сили й підходять для вартісних або крихких виробів, хоча поступаються конкурентам за швидкодією.

Таким чином, жорсткі механічні захвати залишаються основою більшості роботизованих комплексів, а грамотний підбір схеми дає можливість забезпечити потрібний баланс між силою затиску, швидкістю і точністю операції.

Пружнопневматичні та м'якороботизовані захвати

Експоненційний розвиток силіконових еластомерів, термопластичних поліуретанів (TPU) та адитивних методів формування багат шарових структур відкрив принципово новий клас кінцевих ефекторів – так звані м'які або пружнопневматичні захватні пристрої. На відміну від жорстких щипцевих систем, у яких фіксація деталі досягається контактним стиском металевих щік, розглянуті рішення реалізують контакт із керованою податливістю. Це забезпечує одночасно щадне захоплення крихких об'єктів і високу адаптаційність до поверхонь довільної геометрії без попереднього налаштування робочих пальців.

Принцип дії пневмокамерних силіконових пальців

Базовим елементом конструкції є порожнистий канал зі спіральним або поздовжнім ребром жорсткості, який друкується з градієнтом твердості (шор А 10–50). При подачі повітря (0,15–0,25 МПа) одна зі стінок розтягується швидше, ніж протилежна, що породжує контрольований вигин. Відключення подачі та скидання тиску повертає палець у вихідну форму за рахунок еластичної енергії матеріалу. У результаті відпадає необхідність у складних

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

шарнірах, підшипниках і мастилі: усі шість ступенів свободи формуються деформацією самого тіла. Практичні випробування, проведені на консервних лініях, показують, що питомий тиск у зоні контакту не перевищує 0,05 МПа – у 8-10 разів менше, ніж у традиційних металевих щипцях, отже скляні банки, шоколадні вироби або капсули з лікарською формою не мають ризику локального руйнування.

Вакуумно-гранульовані ковпаки (принцип грелелізації)

Альтернативний підхід використовує тонкостінний армований мішок, заповнений поліпропіленовими гранулами $\varnothing 0,3-0,6$ мм. До моменту активації гранули залишаються у псевдорозрідженому стані, надаючи ковпакові високу податливість. Після контакту з деталлю в порожнину вводиться вакуум ($-60 \dots -80$ кПа); частинки ущільнюються, внутрішнє тертя різко зростає і формується топологічна «відливка» поверхні об'єкта. Таке «жорстіння на вимогу» дозволяє ізолювати деталь від зовнішніх силових піків, водночас утримуючи масу до 5–7 кг із похибкою позиціонування $< \pm 0,3$ мм. Цикл «захват-відпуск» займає 0,4–0,7 с, що прийнятно для фасувального обладнання середньої продуктивності.

Липкі пальці з пасивним армуванням

Третій різновид – пальці з структурно-адгезивним покриттям. На робочу сторону наносять мікрорельєф на основі ієрархічних «волокон» із полідиметилсилоксану, який копіює принцип лапок гекона. Завдяки капілярним та ван-дер-ваальсовим силам палець утримує об'єкти масою до 1 кг навіть при відсутності зовнішнього тиску. У середині стінки інтегровані осесиметричні арамідні нитки: вони обмежують надмірне розтягування і збільшують ресурс гнучких елементів до 3×10^6 циклів. Така схема рекомендована для маніпуляцій із друкованими платами, оптичними лінзами або тонкими біоматеріалами, де неприпустимі сліди відтисків.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Загальні конструктивні аспекти

Матеріали. Для камер переважно використовують еластomers з градієнтом модуля Юнга 1,2–3,5 МПа; зовнішні силові шланги виконують з R-TPU 98 шор А, стійкого до стирання.

Привід і керування. Типовий модуль містить 2–4 соленоїдних клапани високої пропускної здатності, тисковий датчик MEMS 0–0,3 МПа та контролер із циклом зворотного зв'язку не більше 20 мс; це дозволяє реалізувати закони керування за швидкістю наповнення та профілем тиску.

Безпечність. У разі відключення живлення еластomers повертаються до нейтральної форми, що мінімізує ризик травмування персоналу або пошкодження дорогої продукції.

Обмеження. М'які захвати нечутливі до малих овердрайвів, однак не можуть розвивати високі концентрації сил (понад 0,1 МПа на площі контакту) та мають температурне обмеження 60–80 °С.

Таблиця 1.13. Порівняльна таблиця гнучких захватних систем

Критерій	Пневмокамерні силіконові пальці	Вакуумно-гранульований ковпак	Липкі пальці з армуванням
Принцип дії	Згинання стінок при подачі стисненого повітря	Ущільнення гранул під вакуумом («джемінг-ефект»)	Сухе адгезійне прилипання + еластична деформація
Робочий тиск / вакуум	0,15–0,25 МПа (надлишк.)	–60...–80 кПа	Не потрібен (0 кПа)
Максимальна маса деталі	2–3 кг (Ø 80 мм)	5–7 кг (Ø 120 мм)	~1 кг (плоскі об'єкти)
Питомий контактний тиск	≤ 0,05 МПа	≤ 0,08 МПа	≤ 0,02 МПа
Цикл «захват-відпуск», с	0,2–0,3	0,4–0,7	0,15–0,25
Похибка позиціонування	±0,2 мм	±0,3 мм	±0,05 мм
Стійкість до забруднень	Середня; потрібна промивка	Висока; гранули самоочищ.	Низька; пил знижує адгезію

Критерій	Пневмокамерні силіконові пальці	Вакуумно-гранульований ковпак	Липкі пальці з армуванням
Температурний діапазон, °С	-20 ... +70	-10 ... +60	0 ... +50
Ресурс циклів	$\geq 2 \times 10^6$	$\geq 1 \times 10^6$	$\geq 3 \times 10^6$
Обмеження	Неможливість високих сил $> 0,1$ МПа	Відносно низька швидкодія	Втрата «липкості» за вологості $> 70 \%$
Типові галузі	Харчова, фармацевтика, агропром	Фасування, e-commerce, логістика	Електроніка, оптика, біо-пробірки

Вакуумні присисні системи

Вакуумні захватні пристрої в промисловій робототехніці займають провідне місце під час маніпуляцій із листовими заготовками, скляними панелями, сендвіч-плитами, а також гофрованою тарою. Принцип дії ґрунтується на створенні області зниженого тиску між еластомірною присисною чашею та поверхнею об'єкта. Різниця між атмосферним і внутрішнім тиском формує нормальну силу, яка урівноважує вагу та інерційні навантаження деталі. У конструктивному відношенні сучасні модулі перейшли від класичних зовнішніх ejector-блоків до інтегрованих безклапанних ежекторів на ефекті Коена. У таких елементах центральний сопловий канал виконують зі ступінчастим звуженням, а побічні пази забезпечують інжекційне підсмоктування додаткових мас повітря. Емпіричні дослідження показують, що при однаковій глибині вакууму (-70 кПа) витрати стисненого повітря зменшуються на 30–35 %, а час досягнення робочого розрідження скорочується на 15 %.

Для підвищення стійкості до випадкової втрати контакту у багатозонних системах застосовують матричні плити з групою із 20–200 мініприсосок $\varnothing 8$ –12 мм. Кожна присоска комплектується зворотним мембранним клапаном; якщо чашка відірветься від поверхні, місцеве підсмоктування атмосфери блокується, і загальний вакуум у колекторі практично не змінюється. Таке

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

рішення дозволяє транспортувати перфоровані листи, деревостружкові плити з відкритими порами чи пакети з целюлозної плівки без помітного зниження надійності.

Ключовою характеристикою є ефективна площа ущільнення. Виробники пропонують багатокомпонентні периферійні манжети: зовнішній вінок із силікону 40 Шор А компенсує макрошорсткість до 0,8 мм, а внутрішня поліуретанова прокладка 60 Шор А витримує зсуви при різких динамічних гальмуваннях. У спеціалізованих скловидних лініях використовують присоски з додатковим текстильним прошарком, що унеможлиблює «відривний» скол на кромці загартованого скла.

Щодо приводу, основна тенденція – децентралізація. Замість одного центрального еjector-модуля встановлюють кілька мініатюрних соплових картриджів безпосередньо в корпус присоски. Переваги: мінімальна довжина вакуумних каналів (зменшення втрат тиску), відсутність ефекту «гальмування колони повітря» при довгих рукавах і проста масштабованість під час конфігурації нових зон захвату.

Проблемні аспекти:

Шорсткість і пористість. При $R_a > 6,3$ μm або відкритій структурі волокон (МДФ, спінений поліпропілен) фактична сила утримання може знизитися вдвічі.

Запиленість і вологість. Наявність вологи конденсується в колекторах і погіршує роботу сопел. Рекомендовано лінійні фільтри 40 μm і вологовіддільники циклону.

Зниження тяги на висоті. На висоті 3 000 м барометричний тиск ~ 70 % від рівня моря; відповідно, максимальна різниця тисків зменшується до 30 кПа. Для високогірних цехів впроваджують комбіновані схеми «вакуум + механічний пальцевий упор».

З огляду на тенденції «розумного виробництва» інтеграторів цікавлять датчики IO-Link з функцією моніторингу абсолютного розрідження, температури й витрати повітря. Передача даних у MES-рівень дозволяє

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прогнозувати деградацію ущільнювачів і планувати сервіс без аварійних зупинок.

Таблиця 1.14. Порівняльна таблиця вакуумних присосочних технологій

Критерій	Класичний Вентурі-ежектор	Безклапанний ежектор (ефект Коена)	Децентралізована мікроматриця
Спосіб генерування вакууму	Одноступінчасте сопло, вихлоп у середовище	Ступінчастий канал з інжекційними пазами	Міні-сопло в кожній присосці
Пневмоспоживання, Нл/хв при -70 кПа	120–150	75–95	10–15 на модуль
Час досягнення робочого розрідження, с	0,45–0,60	0,35–0,50	0,10–0,15
Стійкість при втраті однієї присоски	Вся система розгерметизується	Частково падає розрідження	Локалізована зворотним клапаном
Рекомендована поверхня деталі	Гладка, непориста	Середня шорсткість \leq Ra 3 μ m	Пориста або перфорована, Ra \leq 6 μ m
Компактність / маса вузла	Середня, потребує кармана в рамі	Вища: сопло інтегроване в корпус	Найвища, відсутні довгі трубки
Обслуговування	Перевірка форсунок і фільтра щотижня	Очищення пазів 1 раз/міс	Заміна міні- фільтра 1 раз/квартал
Зниження продуктивності на висоті 3 000 м	-35 %	-30 %	-25 % (через менший ΔL)
Системна вартість (умовна)	1,0 (база)	1,2	1,4
Типові застосування	Автоскло, металопакети	Листовий ПВХ, ламінація	Гофрокартон, плівкові пакети, панелі ППУ

Магнітні енд-ефектори

Магнітні енд-ефектори належать до групи безконтактних захватів і використовуються у випадках, коли на поверхні заготовки неприпустимі сліди від механічного пресування, а час циклу завантаження-розвантаження повинен залишатися мінімальним. Робочий принцип ґрунтується на притягальному зусиллі, що виникає між полюсами магнітної системи та феромагнітною деталлю. В силу відсутності різьбових чи шарнірних елементів у силовому ланцюзі магніт здатний передавати високі навантаження при компактних габаритах; густина тягового навантаження сягає 1,2–1,5 МПа на площу опорної поверхні, що еквівалентно 40 кН для планшайби Ø 200 мм.

Конструктивні виконання

Постійномагнітні блоки виготовляють із сегментів NdFeB або SmCo, котрі монтують у сталюму осерді з двоступінчастими полюсними наконечниками. Перемикання поля виконує камірковий штовхач, що повертає магнітні сегменти на 180 °, переводячи їх у стан «актив/пасив». Під час відключення енергії затиск залишається, тому цей тип широко впроваджують у кранах-маніпуляторах гарячої прокатки, де аварійне знеструмлення неприпустиме.

Електромагнітні плити містять сердечник із маловуглецевої сталі та котушки із силіконованого мідного дроту класу термостійкості Н. Керування відбувається напругою 24 В DC, а коефіцієнт заповнення циклу обмежений 50 % через джоулеві втрати. Для інтенсивних режимів (наприклад, палетизаційні роботи із сталевими листами) передбачають водяне охолодження котушкового пакета, що знижує робочу температуру на 40–60 К і дозволяє збільшити тривалість імпульсу притягання до 90 %.

Електро-постійні системи (ЕРМ) поєднують обидві технології: у корпусі встановлені два види магнітів – NdFeB (жорсткий) і AlNiCo (м'який). Короткий імпульс струму 100–150 мс перебудовує вектор індукції AlNiCo і, відповідно, «відчиняє» або «закриває» зовнішній потік без тривалого

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

живлення. Таке рішення мінімізує енергоспоживання й усуває проблему перегріву, але потребує силових драйверів із піковим струмом 150–300 А.

У діапазоні температур понад 180 °С класичний NdFeB деградує; для таких умов (термоформування прес, лиття під тиском) застосовують сплави NdFeB-Dy або SmCo5. Диспрозійне легування підвищує точку Кюрі до 220 °С за умови зниження залишкової індукції не більш як на 5 %. Оптимізація полюсних наконечників виконується методом скін-ефектного моделювання в пакеті FEMM: використання концентраторів із мартенситної сталі 1.4034 дозволяє підвищити локальну індукцію на 12 %, не збільшуючи масу.

Енергетичні та експлуатаційні параметри

Споживана потужність електромагнітної системи $P \approx I^2 R$; при опорі котушки 1,2 Ω та робочому струмі 20 А тепловиділення становить 480 Вт. В модернізованих блоках імпульс широтно-імпульсної модуляції з коефіцієнтом заповнення 30 % утримує необхідний потік, скорочуючи середню потужність до 145 Вт.

Проблемою залишається залишкова намагніченість деталі (0,3–0,8 мТл), що може впливати на точність подальшого верстатного позиціонування. Виходом служить короткочасна розмагнічувальна послідовність – періодичний спадаючий сигнал 5 кГц з амплітудою 1,2 кА/м. Другий ризик – акумуляція стружки. Для її усунення застосовують з’ємні латунні екран-дзеркала або фторполімерні накладки, які знижують прилипання частинок завдяки низькому коефіцієнту поверхневої енергії.

Сфери використання

Підйом плитового прокату, пакетів труб, роторних поковок, листів електротехнічної сталі, а також допоміжні маніпуляції у камерах з відсутністю атмосфери (вакуумні печі) – усі ці операції виграють від магнітних захватів. У складальних цехах електродвигунів ЕРМ-грипери забезпечують точне фіксування статорних пакетів без контакту із зубцями. У фарбувальних лініях, навпаки, користуються перевагою відсутності клейових відбитків, що важливо для подальшого адгезійного шару.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 1.15. Порівняльна характеристика магнітних захватних систем

Параметр	Постійний (ON/OFF перемикач)	Електромагнітний (живлення DC)	Електро-постійний (EPM)
Джерело енергії під час утримання	Не потрібне	24 В DC, I = 10–25 А	Тільки 100–150 мс імпульс
Середня питома сила, кН/см ²	0,30–0,35	0,25–0,32	0,32–0,36
Режим безпеки при знеструмленні	Деталь утримується	Деталь падає	Деталь утримується
Пікове тепловиділення	0 Вт	300–600 Вт	80–120 Вт (лише імпульс)
Максимальна робоча t, °C	150 (NdFeB)	180 (котушка Н-класу)	150 (NdFeB + AlNiCo)
Вплив залишкової індукції	Високий, потрібне розмагнічення	Середній	Низький, Імпульс «soft-release»
Стійкість до вібрації	Висока	Середня	Висока
Компактність / питома маса	Найменша	Проміжна	Невелике збільшення через електроніку
Енергоспоживання у циклі, Вт·год	≈0,1	60–100	2–5
Типове застосування	Кранові траверси, прес-штампи	Роботи сортування металолому	Верстатні палети, роботизовані маніпулятори високої точності

Електростатичні та адгезійні захвати

Електростатичні та адгезійні захоплювальні системи формують окремий клас безконтактних або слабоконтактних енд-ефекторів, призначених для взаємодії з крихкими, ультратонкими чи маркочутливими об'єктами, де класичні жорсткі схеми створюють неприпустимий локальний тиск. Обидві концепції мають принципово різну фізичну природу, однак у виробничій

						Арк.
					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практиці часто розглядаються разом, оскільки забезпечують мінімізацію механічного навантаження та універсальність відносно геометрії виробу.

Електростатичні захвати (ЕС-грипери) ґрунтуються на кулонівських силах, що виникають між зустрічними зарядами. Типовий енд-ефектор виготовляють з двох або чотирьох електродів, напилених на 100-200-мікронну силіконову діафрагму; контактний шар виконує функцію діелектричного бар'єра, запобігаючи пробією при робочій напрузі 3–6 кВ. При прикладанні потенціалу формується неоднорідне електричне поле, яке індукуює заряди на поверхні деталі й генерує притискну силу $F \approx \epsilon_0 \epsilon_r A U^2/d^2$. У лабораторних тестах із пластинами з плавленого кварцу щільність притягання досягала 0,18 Н/см², чого достатньо, щоб утримати пластину 150 × 150 мм товщиною 0,3 мм у вертикальному положенні. Перевагою технології є майже повна незалежність від шорсткості – поле огинає мікронерівності, зберігаючи силу прилягання. Дотиск відбувається без фактичної деформації поверхні, тому ЕС-грипери впроваджені у перенесення вафер Si, GaAs, OLED-матриць та композитних препрегів перед автоклавним формуванням.

Водночас вимоги до високовольної ізоляції та умови експлуатації істотно ускладнюють конструкцію. Корпус маніпулятора покривають поліімідами, слоєм Polyene-C або фторетилен-пропіленовим лаком; силові кабелі екранують для зниження електромагнітних наведень на чутливу електроніку верстата. Додатково монтують датчик струму витoku: якщо величина перевищить 100 μА, драйвер негайно вимикає високовольтний блок, запобігаючи пробією й утворенню озону. Слабким місцем лишається пил: діелектричні частинки накопичують заряд і зменшують ефективну силу—лінії техобслуговування включають плазмове або ультразвукове очищення плівки кожні 5000 циклів.

Адгезійні захвати використовують сили Ван-дер-Ваальса, підсилені мікро- і нанорельєфом, аналогічним структурі лапки гекона. Пальці виготовляють із платиновмісних силіконів кроком стовпчиків 2–5 μм і висотою 10–15 μм; така «щітка» формує тисячі контактних точок, сумарно

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

генеруючи питому силу до $0,12 \text{ Н/см}^2$ без зовнішнього енергоживлення. Ключова відмінність від клейових стрічок — відсутність залишків і можливість багаторазового використання: при контрольованому тиску 5–10 кПа липкий шар самовідновлює пружність. Зносостійкість обмежена абразивом: безфторопластові варіанти втрачають 20 % сили після 8000 циклів по шорсткій сталі $R_a = 1,6 \text{ }\mu\text{m}$; з фторованими наповнювачами – після 12 000 циклів.

Адгезійний грипел не потребує кабелів чи пневмосистем, що спрощує кінематичний ланцюг та знижує масу маніпулятора. Однак липкість різко падає при запиленості або наявності вологої плівки, тому у фармацевтичних ізоляторах використовують подвійний бар'єр: ламінарний обдув HEPA-повітрям та інфрачервону сушку поверхні таблеток перед захопленням. Температурна стабільність силіконів обмежує застосування до $+120 \text{ }^\circ\text{C}$; при більших значеннях полімер м'якшає й втрачає форму мікроструктур.

З позиції силової кінематики обидва підходи належать до сил малого рівня, тому програмне забезпечення робота повинно містити алгоритми плавного розгону/гальмування (jerk-limited profiles) — інерційне перевантаження вже на 2–3g призведе до зриву. Виробники інтегрують IMU-модулі на зап'ястку, які в реальному часі обмежують прискорення. Для ЕС-гриперів додають датчик заряду та контролер потенціалу, а адгезійні пальці комплектують ємнісним сенсором, котрий відслідковує площу фактичного контакту й коригує положення щіпців.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 1.16. Порівняльна характеристика електростатичних і адгезійних захватів

Показник	Електростатичний	Адгезійний (геоконтактний)
Робочий фізичний принцип	Кулонівська взаємодія заряджених поверхонь	Сили Ван-дер-Ваальса на мікроструктурі
Живлення	3–6 кВ, ≤ 2 мА (високовольтний генератор)	Не потребує лише сигнали датчика
Питома сила, Н/см ²	0,15–0,20	0,08–0,12
Типові матеріали деталей	Скло, кремній, кераміка, тонка фольга	Пластик, текстиль, пакети, друковані плати
Чутливість до пилу/вологи	Висока (електричний пробій, екранування)	Висока (втрата липкості)
Час реактивації після відпуску	<10 мс (розряд)	0,1–0,2 с (повне відновлення поверхні)
Енергоспоживання у циклі	0,5–1,0 Вт·год	<0,05 Вт·год
Середній ресурс циклів	$>5 \times 10^6$ (за умови очищення)	$1-1,2 \times 10^4$ (для Ra $\leq 0,8$ μm)
Обмеження за температурою	До 150 °С (діелектрик)	До 120 °С (силікон)
Складність інтеграції	Висока: HV-кабель, екран, ізолятор	Помірна: потрібна лише механічна плита
Приклади застосування	Лінія різання OLED, перенос MLC-конденсаторів	Укладання паковань печива, складання мікроприводів

Голчасті (needlestick) захвати

Голчасті (needle-stick) енд-ефектори належать до групи механічних захватів з локальним проникненням у матеріал і створюють одночасно силове та геометричне замикання. Робочий орган складається з набору загартованих штифтів діаметром 0,7–1,5 мм, встановлених у напрямних втулках на алюмінієвій або титановій основі. Кожен штифт має конус на вершині 30–40°

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

і мікрорельєф (накат або алмазне насічення), що підвищує коефіцієнт зчеплення з волокнистими чи пористими заготовками. Переміщення штифтів відносно корпусу здійснюється мембранною пневмокамерою: при подачі стисненого повітря (0,4–0,6 МПа) діафрагма зрушує колектор, висуваючи штифти на 4–6 мм. Повернення у вихідне положення виконує інтегрована поворотна пружина або підпірне кільце під дією атмосферного тиску.

Існує два режими роботи. Прямий утиск використовується для фіксації м'яких текстильних пак, листового пінополіуретану, нетканих фільтрувальних полотен, де проколювання не погіршує споживчих властивостей. Штифти входять у матеріал, а сила тримання визначається сумою сил тертя уздовж кінчної ділянки та реакцією міжволоконних зв'язків. Відформовування (реформінг) актуальне для пакування, коли заготовку треба вирівняти або тимчасово зафіксувати для точного позиціонування перед наступною операцією (лазерне різання, шиття, запресовування вставок). У такому циклі штифти після контакту роблять короткий горизонтальний зсув (0,5–1 мм), утворюючи локальний шов і забезпечуючи розмірну точність $\pm 0,3$ мм на метр довжини полотна.

Конструктивні обмеження пов'язані з жорсткістю самих штифтів: при діаметрі менше 0,7 мм стійкість на злам падає, тому для легких матеріалів (спанбонд, тонка шкіра) використовують збільшену кількість штифтів за рахунок щільнішої сітки (до 20 шт/см²). При опрацюванні твердіших об'єктів, наприклад склотекстолітових плат товщиною 1,6 мм, діаметр збільшують до 1,5 мм і зменшують кут конуса для зниження розклинюючого компонента, що може пошкодити міжшаровий зв'язок.

Швидкодія механізму обмежується акумулюванням маси штифтів і опором повітря в колекторі. У серійному виконанні блок 80 × 120 мм, що містить 480 штифтів Ø1 мм, забезпечує до 30 циклів/хв. Для циклічних ліній сортування текстилю цього достатньо, а для високопродуктивних реверсивних укладальників застосовують двокамерне керування «push–pull»: одна

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

пневмолінія витискає штифти, друга – всмоктує їх назад, досягаючи 45–50 циклів/хв без різкого удару в крайньому положенні.

Переваги голчастих захватів очевидні у ситуаціях, коли вакуумні чаші не можуть герметизуватися через ажурну структуру деталі, а класичні пальцеві гріпери не формують достатньої сили затиску без деформації. При обробці перфорованих алюмінієвих листів (діра Ø3 мм, крок 5 мм) голчастий модуль дає питоме навантаження 0,12 Н/штифт, без змінання країв отворів. У меблевій промисловості таким способом переносять блоки пінополіуретану для матраців: проникнення штифта не перевищує половини довжини клітини осередку, тому відскок після витягання повністю відновлює форму.

Найважливіший експлуатаційний момент — знос голок. При 24-годинному циклі на швейній фабриці, де середнє оперування становить 35 циклів/хв, ресурс зносу кінчика (потоншення на 15 μm) настає приблизно через 2,5 млн ударів; регламентована заміна раз на півроку виконується касетною вставкою без калібрування приводу. Для мінімізації корозії штифти виготовляють з високоміцної сталі 1.4122, а покриття — нітрид титану 2 μm, що підвищує твердість до 2500 HV.

Пневмосистема обов’язково має блок підготовки повітря з фільтром 5 μm і масловіддільником: присутність аерозольного масла знижує стабільність тертя в манжетах і може призвести до «підклеювання» штифта при низьких температурах. Датчик Холла на кінцевому штоку забезпечує контроль фактичного ходу, а у критичних застосуваннях (розкрий авіаційних композитів) додають синометр із тензодатчиком у плиті, котрий виявляє недопустимий приріст сили, що свідчить про відкол або надмірне проникнення штифта.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.17. Порівняльна таблиця характеристик голчастих захватів

Параметр	Значення / Діапазон	Примітки
Діаметр штифта, мм	0,7 – 1,5	Вибирають за жорсткістю та щільністю матеріалу
Тип матеріалу штифта	Сталь 1.4122 + TiN	Твердість ≈ 2500 HV, корозійна стійкість
Хід висування, мм	4 – 6	Регулюється прокладками діафрагми
Робочий тиск повітря, МПа	0,4 – 0,6	Вища величина пришвидшує висування, але збільшує ударне навантаження
Сила утримання (на 100 штифтів), Н	120 – 180	Для щільного текстилю або перфорованого алюмінію
Швидкодія, цикли/хв	25 – 50	Залежить від схеми «push–pull» та маси каретки
Ресурс штифта до заміни, циклів	2 – 3 млн	При роботі з м'якими матеріалами; зі склотекстолітом знижується
Обмеження по матеріалах	Тверді листи без отворів, крихке скло	Ризик тріщин чи сколів
Точність позиціонування після захвату, мм	$\pm 0,2$ – $\pm 0,3$	Формується за рахунок «обтиснення» в режимі формування
Інтервал технічного обслуговування	6 місяців	Касетна заміна блока штифтів
Чутливість до пилу	Середня	Необхідний фільтр 5 μ m у пневмолінії
Галузі застосування	Текстиль, поролон, друк. плати, перфоровані листи	Де вакуум або пальцеві гріпери неефективні

Розділ 2

РОЗРАХУНОК ПРИСТОСУВАННЯ ТА ЗАХВАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІЛЬНИЦІ

У серійному токарному виробництві тривалі простої, спричинені ручним установленням і зняттям заготовок, істотно знижують випуск деталей за зміну. Для мінімізації втрат часу в проєктованому пристосуванні було обрано пневматичний кулачковий патрон. Його силовий вузол складається з односторонньодіючого циліндра, змонтованого на тильному торці шпindelної бабки. Робочий шток циліндра через тягу, що проходить усередині порожнистого шпинделя, зв'язаний із тягнучою втулкою патрона. При подачі стисненого повітря у підциліндричну порожнину поршень зміщується вперед; тяга переміщує втулку, кулачки синхронно сходяться й створюють радіальний затиск заготовки. Зворотний рух поршня під дією пружини або протитиску здійснює розтиск, забезпечуючи швидке вивільнення деталі.

Основна перевага такого рішення — стабільне зусилля, незалежне від кваліфікації оператора. Регулювання робочого тиску редуктором дає можливість точно встановити притискну силу в діапазоні 1–3 кН, що попереджає пластичну деформацію тонкостінних заготовок. Швидкість спрацювання кулачків становить 0,15–0,25 с, тому цикл переустановлення практично не впливає на тактовий час обробки. Завдяки відсутності різьбових елементів у силовій ланці виключається самоослаблення затиску, а знос зводиться до мінімуму; планове технічне обслуговування обмежується щоденним зливом конденсату та змащенням манжет через вбудований лубрикатор.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Каневський			РОЗРАХУНОК ПРИСТОСУВАННЯ ТА ЗАХВАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІЛЬНИЦІ		
Перевір.		Кадикало І.О.					
Реценз.							
Н. Контр.		Ловейкін В.С.					
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						51	83
					НУБіП України		

Додатковим аргументом є підвищена повторюваність базування: похибку радіального биття після сотень циклів утримано в межах 5–7 мкм, що дозволяє виконувати чистову токарну операцію без додаткового перецентрування. Компактність привода не збільшує виліт шпинделя, а універсальна приєднувальна різьба DIN 55029 дає змогу встановлювати патрон на більшість сучасних верстатів без переробок. У комплексі ці фактори роблять пневмопатрон оптимальним вибором для безперервної автоматизованої лінії, де вимоги до темпу роботи й точності однаково високі.

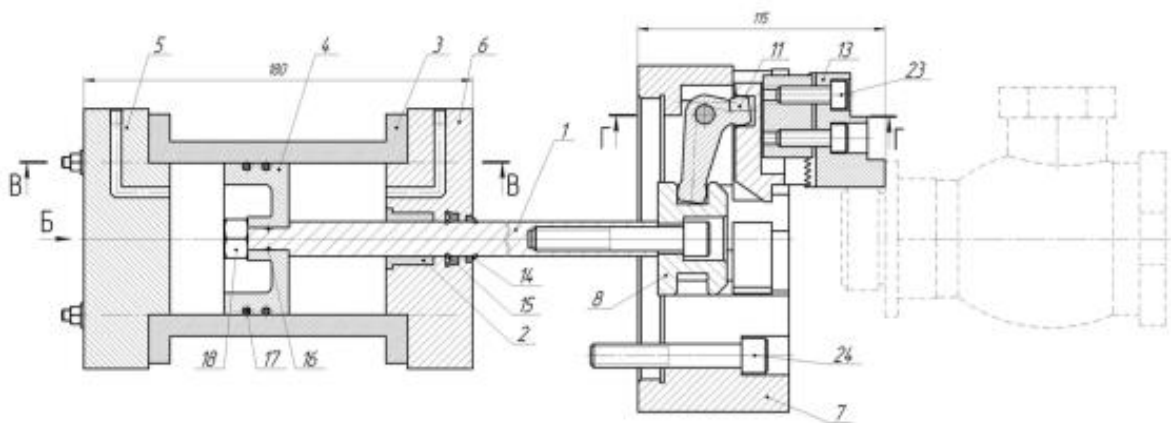


Рис. 2.1. Ескіз пристосування для токарної операції

Запропонована схема важільного трьохкулачкового патрона призначена для швидкого переналаштування при серійній та дрібносерійній токарній обробці. Основу вузла становить суцільнолитий корпус 7, у гніздах якого консольно розміщено три напрямні 9. У пазах кожної напрямної передбачено Т-подібний канал, по якому ковзає тримач 10 зі змінним кулачком 13. Базове налагодження виконується поздовжнім переміщенням тримачів до торкання заготовки; фіксація у вибраному положенні здійснюється стопорними гвинтами 23, що входять у нарізні відвертки на напрямній. Такий спосіб дозволяє швидко переходити між партіями деталей різного діаметра, не виймаючи патрон із верстата.

Зусилля затиску передається від штока 1 пневмогідравлічного циліндра через грибок 8. Грибок має дві робочі поверхні: плоску торцеву для вихідного упору та конічну керуючу. При поступальному русі штока у бік центру, торець

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

грибка стикається з нижніми п'ятами важелів 11, примушуючи їх повертатися навколо закладених осей 12. Плечі важелів, з'єднані з напрямними, зсувають останні радіально всередину, внаслідок чого кулачки 13 охоплюють заготовку. Зворотний рух штока переводить у дію конічну поверхню грибка: вона розсовує важелі й розтискає кулачки, що полегшує вивантаження деталі. Уся кінематична пара «грибок – важіль» працює з мінімальним тертям проковзування завдяки твердому мастилу на основі MoS₂, що наноситься під час регламентного обслуговування.

Для забезпечення достатньої жорсткості упродовж силового циклу корпус патрона кріпиться до фланця шпинделя різьбовими елементами 24 класу міцності 10.9. Така посадка знижує радіальне биття до 0,01 мм навіть після багаторазових перезатискань. Конструкція не містить зовнішніх пружин і різьбових пар у силовому контурі, тому характеризується підвищеним ресурсом і стійкістю до вібрацій, що особливо важливо при високошвидкісному різанні.

Визначимо мінімальне зусилля, яке має розвивати патрон для надійного затискання заготовки:

$$Q_{\text{П}} = \frac{k \times M_{\text{КР}}}{n \times f \times \frac{d}{2}} \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт запасу;

$M_{\text{КР}}$ – крутний момент;

n - число кулачків;

f – коефіцієнт тертя між заготовкою і кулачками;

d - діаметр базової поверхні заготовки.

$$Q_{\text{П}} = \frac{2,5 \times 682,5}{3 \times 0,16 \times \frac{47,5}{2}} = 149,67 \text{ Н}$$

Визначимо величину зусилля, яке шток пневмоциліндра передає на виконавчий механізм:

$$Q_{\text{шт}} = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times p \times \eta \quad (2.2)$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

де D – діаметр пневмоциліндру;

d – діаметр штока;

p – тиск повітря;

η - коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра.

$$Q_{шт} = \frac{\pi \times (70^2 - 16^2)}{4} \times 0,6 \times 0,85 = 1240,11 \text{ Н}$$

Якщо виконується нерівність $Q_{п} < Q_{шт}$, то утримання заготовки в пристосуванні вважається достатньо надійним.

Під час фрезерування силові навантаження на заготовку виникають у трьох взаємно перпендикулярних напрямках; тому без жорсткого та самоустановного затискного вузла забезпечити точність базування й стабільне стружкоутворення неможливо. У серійному виробництві, де міжопераційний такт обмежено десятками секунд, використання традиційних гвинтових лещат призводить до непродуктивних простоїв під час ручного затиску й перевірки положення деталі. З огляду на це для виконання обраної фрезерної операції спроектовано пневматичні лещата у вигляді модульного пристрою, встановлюваного безпосередньо на Т-подібні пази столу верстата за допомогою стандартних прихватів. Ескіз запропонованого пристосування подано на (рис. 2.2).

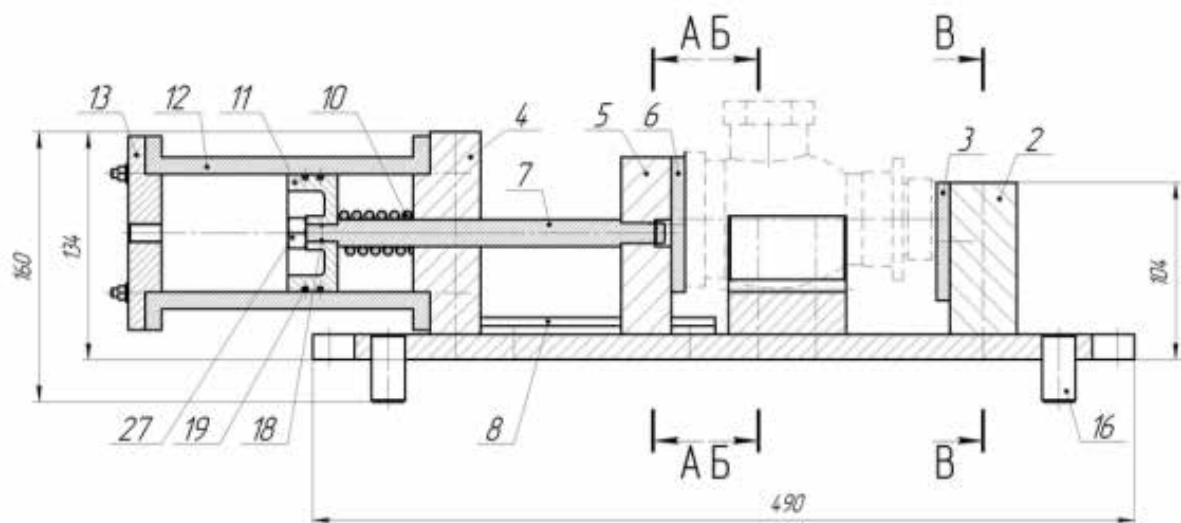


Рис. 2.2. Ескіз пристосування для фрезерної операції

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

У процесі обробки деталі типу «головка з внутрішньою різьбою М32×2» необхідно забезпечити її жорстке фіксування для точного позиціонування відносно осі фрези, а також зменшити вплив коливань і зсуву при навантаженні. З цією метою розроблено конструкцію спеціального пневматичного пристосування, яке монтується на столі фрезерного верстата. Закріплення бази пристосування на робочій площині здійснюється за допомогою пальців 16, що входять у спеціальні пази, виконані на нижній поверхні основи 1.

Фіксація заготовки забезпечується парою жорстких губок прямокутного профілю, одна з яких має рухомию конструкцію. Для підвищення точності встановлення в горизонтальній площині передбачено додаткову опору у вигляді призми 9. Робочий хід пристосування реалізується за рахунок стисненого повітря, що подається до пневмоциліндра 12. У середині циліндра переміщується поршень 11, жорстко зв'язаний із рухомою частиною пристосування через шток 7. Поступальний рух штока призводить до переміщення опори 5, яка й створює необхідне зусилля для утримання деталі. Утримуюча дія зберігається протягом усього періоду обробки, а після завершення операції стиснене повітря видаляється з камери, і пружина 10 автоматично повертає елементи пристосування у вихідне положення, здійснюючи розтиск.

Дана система затиску дозволяє забезпечити надійне закріплення деталі без втрати точності при багаторазових циклах. Після конструктивного аналізу розпочинається етап визначення мінімального зусилля, яке мають розвивати лещата для надійного затискання заготовки:

$$Q_{\text{л}} = \frac{k \times P_z}{f_1 + f_2} \quad (2.3)$$

де k – коефіцієнт запасу;

P_z – сила різання;

f_1 – коефіцієнт тертя;

f_2 – коефіцієнт тертя.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$Q_{л} = \frac{3,27 \times 50}{0,16 + 0,25} = 398,7 \text{ Н}$$

Визначимо величину зусилля, яке шток пневмоциліндра передає на виконавчий механізм:

$$Q_{шт} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times p \times \eta - F_{пр} \quad (2.4)$$

де D – діаметр пневмоциліндру;

p – тиск повітря;

η - коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра;

$F_{пр}$ - сила пружини.

$$Q_{шт} = \frac{\pi \times 35^2}{4} \times 0,8 \times 0,85 - 133,32 = 520,91 \text{ Н}$$

Якщо виконується нерівність $Q_{л} < Q_{шт}$, то утримання заготовки в пристосуванні вважається достатньо надійним.

Контроль геометричних параметрів оброблених деталей є одним із ключових етапів у забезпеченні належної якості продукції в машинобудуванні. У серійному виробництві від точності вимірювання залежить не лише стабільність складання, а й відповідність готового виробу функціональному призначенню. Саме тому застосування спеціалізованих контрольних пристосувань дозволяє не лише покращити умови праці персоналу, а й забезпечити підвищену об'єктивність результатів контролю, виключаючи вплив людського чинника.

У рамках даної роботи було розроблено контрольне пристосування для перевірки паралельності торцевих поверхонь відповідальної деталі. Конструкція передбачає жорстке встановлення елемента, що перевіряється, за допомогою двох посадочних пальців діаметрами $\varnothing 80$ мм та $\varnothing 8$ мм. Деталь фіксується в контрольній базі пристосування, після чого здійснюється підведення вимірювального щупа індикатора годинникового типу відповідно до ГОСТ 577-68. Індикатор закріплюється в тримачі за допомогою гвинтового фіксатора. Обертання деталі здійснюється вручну за допомогою двох

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

симетрично розташованих ручок. У процесі обертання відбувається зчитування відхилень з показника індикатора — ці коливання свідчать про непаралельність поверхонь (рис.2.3).

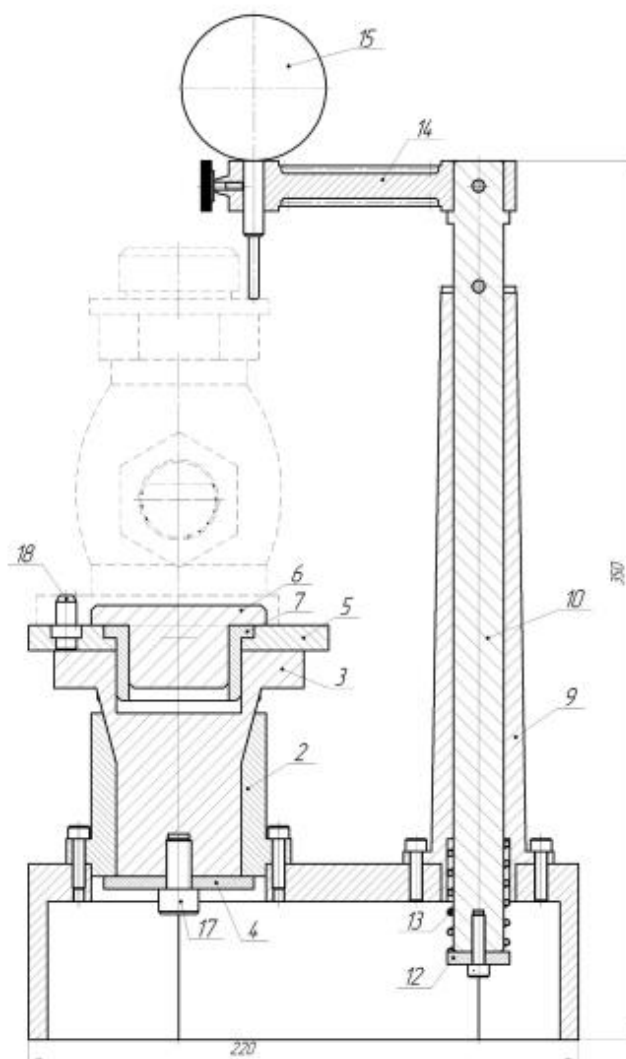


Рис. 2.3. Ескіз пристосування для контролю

Відповідно до технічних вимог до деталі, допустиме значення відхилення по паралельності не має перевищувати 0,1 мм. У разі перевищення встановленого допуску, така деталь вважається непридатною до подальшого використання у системах, що вимагають герметичності й точності посадки, наприклад, у з'єднаннях трубопровідного типу. Такий вид контролю дозволяє ще на етапі міжопераційного контролю виявити дефект і попередити потрапляння браку на складальну ділянку, що знижує витрати підприємства. Сумарна похибка знаходиться за залежністю:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_v^2} \quad (2.5)$$

де ε_{δ} – похибка базування;

ε_y – похибка установки; 0.01-0.03

ε_z - похибка зносу;

ε_v - похибка вимірювань.

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{0,003^2 + 0,0044^2 + 0,0005^2 + 0,012^2} = 0,013$$

У відповідності до загальноприйнятих вимог, припустима похибка вимірювального пристосування не повинна перевищувати третини від допустимого відхилення контрольованого параметра. У даному випадку, при заданому допуску паралельності, що становить 0,1 мм, максимально допустиме значення похибки засобу контролю дорівнює 0,033 мм.

$$\frac{0,1}{3} = 0,033$$

Таким чином, загальне значення похибки вимірювань не перевищує встановлене допустиме відхилення, що підтверджує відповідність конструкції пристосування вимогам точності та допускає його застосування для контролю геометричних параметрів деталей у межах заданих допусків.

У сучасних автоматизованих виробничих системах все частіше виникає необхідність точного позиціювання та фіксації оброблюваних деталей на окремих етапах технологічного процесу. Особливо це актуально для ситуацій, де потрібно здійснити обертання, нахил чи/або захоплення об'єкта з метою подальшого переміщення або обробки. Для вирішення такого роду задач доцільним є використання пневматичних захватних пристроїв у складі маніпуляторів промислових роботів.

Захватні пристрої є ключовими елементами в структурі будь-якого роботизованого комплексу, оскільки саме вони безпосередньо взаємодіють із об'єктами маніпулювання. Їх функціональна гнучкість дозволяє налаштовувати один і той самий робот для виконання різних технологічних

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

операцій, що значно розширює сферу застосування автоматизованих систем. У промисловості все частіше використовують захвати універсального або напівуніверсального типу, здатні працювати з неорієнтованими, неоднорідними за формою, розміром і фізико-механічними характеристиками заготовками.

Одним з прикладів практичного застосування є маніпуляція корпусом запобіжного клапана, який має складну геометрію. Для транспортування цього елемента між технологічними вузлами, а також для точної установки в оброблювальне оснащення на автоматизованій дільниці, розроблено конструкцію пневматичного захвату (рис.2.4).

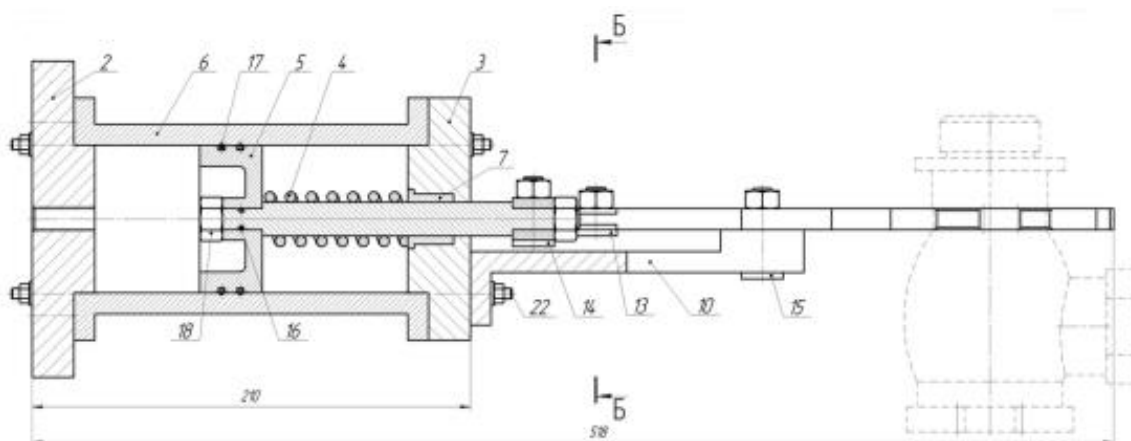


Рис. 2.4. Ескіз захвату робота-маніпулятора

Згідно з принципом дії цієї конструкції, джерело стисненого повітря подає тиск у внутрішню порожнину пневмоциліндра 6. Це призводить до переміщення поршня 5, який через жорстке з'єднання зі стопою 8 передає зусилля на систему важелів. Стопа конструктивно об'єднана з кістками 9, які з'єднані з робочими руками 11. На кінцях рук закріплені призми 12, які контактують безпосередньо з корпусом заготовки. При подачі стисненого повітря руки з призмами змикаються, забезпечуючи надійне захоплення деталі.

Робочий процес затискання є швидким та контрольованим, що забезпечує високу повторюваність дій та зменшує тривалість маніпуляційного

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

циклу. Завдяки геометрії призм контактні поверхні прилягають до заготовки рівномірно, що дозволяє уникнути її перекосу або деформації. Такий тип фіксації є ефективним навіть для деталей із відносно гладкою або складною поверхнею.

Особливу увагу в конструкції приділено системі скидання тиску. Після завершення операції заготовка звільняється автоматично завдяки дії пружини 4, яка повертає систему в початкове положення при зменшенні тиску у пневмолінії. Це дає змогу уникнути використання окремого приводу для відкриття захвату, що спрощує конструкцію та зменшує потребу в обслуговуванні.

З технічної точки зору, дана система має низку переваг. По-перше, забезпечується висока швидкодія, що дозволяє реалізувати циклічні маніпуляції з мінімальним часом затримки. По-друге, система дозволяє досягти стабільного зусилля захоплення, що є важливим для обробки деталей із високими вимогами до точності позиціонування. По-третє, використання пневматичного приводу дозволяє уникнути складних електромеханічних вузлів, підвищуючи тим самим загальну надійність системи.

Завдяки модульній будові захватного пристрою можливо здійснити адаптацію його до інших типів заготовок без кардинальних змін конструкції. Заміна призм, переналаштування ходу штока або зміна довжини важелів дозволяє швидко пристосувати механізм до нових умов роботи.

Застосування подібних пневматичних захватів у складі маніпуляторів роботів відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації. Вони дозволяють істотно зменшити втрати часу на переналадку обладнання, підвищити ефективність роботи автоматизованої лінії, зменшити ймовірність виникнення браку за рахунок стабільного позиціонування заготовки. У підсумку, використання пневмозахватів дозволяє реалізувати стабільний виробничий процес із високими показниками точності, надійності та економічної доцільності.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Визначимо необхідне зусилля для забезпечення надійного затиску захватним пристроєм:

$$Q_3 = K_1 \times K_2 \times K_3 \times m \times g \quad (2.6)$$

де K_1 – коефіцієнт безпеки;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від max прискорення, а саме переміщення заготовки;

K_3 – коефіцієнт передачі, що залежить від конструкції пристрою захвату;

m – маса заготовки, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$K_2 = 1 + \frac{a}{g} = 1 + \frac{270}{9,81} = 28,52$$

$$Q_3 = 1,8 \times 28,52 \times 0,5 \times 3,2 \times 9,81 = 805,85 \text{ Н}$$

Визначимо зусилля, яке передається штоком пневмоциліндра, відповідно до виразу (2.4)

$$Q_{\text{шт}} = \frac{\pi \times 70^2}{4} \times 0,4 \times 0,85 - 109 = 1199,47 \text{ Н}$$

Якщо виконується нерівність $Q_3 < Q_{\text{шт}}$, то утримання заготовки в пристосуванні вважається достатньо надійним.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Розділ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення належного рівня охорони праці та дотримання вимог техніки безпеки при експлуатації автоматизованих дільниць з використанням роботів-маніпуляторів є необхідною умовою для організації стабільного, безпечного та ефективного виробництва. Застосування робототехнічних комплексів з захватними пристроями у складі автоматизованих технологічних ліній зменшує участь людини в небезпечних операціях, проте повністю не виключає ризик виникнення аварійних ситуацій і нещасних випадків. Саме тому важливо передбачити заходи безпеки при проектуванні, впровадженні та експлуатації таких систем.

На автоматизованих дільницях роботи-маніпулятори виконують функції транспортування, завантаження та розвантаження оброблюваних деталей у взаємодії з різними видами верстатного обладнання, включаючи токарні, фрезерні, свердлильні та шліфувальні верстати. Такі операції супроводжуються дією небезпечних механічних, електричних, пневматичних і термічних факторів. У разі помилок в програмному забезпеченні або збоїв в пневмогідравлічних системах існує загроза неконтрольованого переміщення маніпулятора або падіння деталі із захвату.

Основними видами потенційних нещасних випадків при роботі роботів-маніпуляторів у взаємодії з металообробним обладнанням є наступне.

Одним з найбільш поширених типів ризиків при роботі з роботами-маніпуляторами є механічне травмування оператора у зоні дії виконавчих органів. Якщо захватний пристрій робота функціонує без відповідного блокування або оператор випадково опиняється в робочій зоні під час руху

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каневський			ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					62	83
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								
						НУБіП України		

маніпулятора, можливе ураження кінцівок, зокрема при контакті з елементами захвату або маніпуляційними механізмами. Для запобігання подібним інцидентам передбачається встановлення світлових бар'єрів, захисних огорож і систем аварійного зупинення.

Інша категорія потенційно небезпечних ситуацій пов'язана з неточним позиціюванням маніпулятора відносно металообробного верстата. При взаємодії з токарним або фрезерним обладнанням невірно встановлена деталь або зміщення траєкторії руху робота може призвести до зіткнення з обертовими частинами верстата або ріжучим інструментом. Такі події можуть спричинити серйозні механічні пошкодження, як для самого обладнання, так і для персоналу. Для мінімізації цього ризику доцільно реалізовувати системи зворотного зв'язку з датчиками положення, а також обмеження допустимих зон переміщення виконавчих органів.

Особливу небезпеку становлять випадки втрати деталі із захватного пристрою під час її переміщення або встановлення. Якщо маса оброблюваної заготовки є значною, а швидкість маніпуляцій висока, то в разі виходу з ладу пневматичного або механічного затиску деталей може впасти і нанести травму або пошкодити обладнання. Крім того, при роботі з гарячими або обробленими виробами можливі опіки при їх контакті з тілом людини. Для уникнення подібних ризиків в конструкціях захватних пристроїв передбачаються механізми фіксації з аварійним дотриманням зусилля утримання навіть у разі зниження тиску в пневмосистемі.

Ураження електричним струмом також належить до категорії критичних факторів безпеки. Роботи-маніпулятори, інтегровані в єдину систему автоматизації, мають складну електронну та кабельну інфраструктуру. Якщо відсутній належний контроль стану кабельних трас, роз'ємів та елементів живлення, можливе коротке замикання, витік струму або електричне пробиття на корпус. Враховуючи контакт людини з консолями управління або інструментальними головками, навіть незначне пошкодження ізоляції може стати джерелом безпеки. Для уникнення таких інцидентів здійснюється

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

регулярна діагностика ізоляційного опору, заземлення та контроль відповідності електричної системи вимогам безпеки.

Опіки також можуть виникати при дотику до нагрітих поверхонь заготовок після обробки або внаслідок контакту з інструментами, які мають підвищену температуру в результаті тертя. Важливо, щоб цикл охолодження виробу або зона його зберігання після обробки були чітко відокремлені від маршруту пересування персоналу. Рекомендовано впроваджувати сигналізацію температурних перевищень та використовувати термостійкі матеріали у зонах можливого контакту.

Для зменшення загального рівня ризику нещасних випадків при використанні роботизованих комплексів на металообробних виробництвах важливе місце займає попереднє навчання персоналу. Оператор повинен мати чітке уявлення про функціональність усіх елементів системи, знати порядок запуску, зупинки та екстреної зупинки комплексу, а також мати практичні навички надання першої допомоги. Крім того, важливо впроваджувати чітко визначену інструкцію з охорони праці, адаптовану до конкретного типу виробництва, типу роботизованого обладнання та режимів експлуатації.

Організаційні заходи з безпеки включають обмеження доступу до робочої зони під час активної фази роботи маніпуляторів, реалізацію систем інтерлокінгу (замикання доступу) та контроль відкриття дверцят або огорож. Додатково рекомендується застосування відеоспостереження та сенсорних бар'єрів, які зупиняють обладнання у випадку виявлення присутності людини в небезпечній зоні.

Окрему увагу слід приділяти регламентному технічному обслуговуванню роботів. Це включає перевірку справності пневмоприводів, датчиків, елементів управління, стану захватних механізмів, вузлів тертя та шестеренчастих передач. Зношені або пошкоджені компоненти слід замінювати до виходу з ладу, аби не допустити аварійних зупинок або втрати стабільності при маніпулюванні деталями.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таким чином, основні джерела потенційної загрози під час роботи роботів-маніпуляторів із металообробними верстатами охоплюють механічні, електричні, термічні та організаційні фактори. Їх нейтралізація можлива лише шляхом комплексного підходу, який включає технічні рішення з безпеки, регламентне обслуговування, навчання персоналу та розробку чітких правил взаємодії людини з автоматизованими системами. Саме дотримання принципів інтегрованої безпеки дозволяє підвищити ефективність виробництва без шкоди для здоров'я та життя персоналу.

Також у разі взаємодії з токарними верстатами, особливо під час операцій з обробки довгомірних або несиметричних заготовок, існує ризик їх виходу з патрону, що створює загрозу травмування оператора та пошкодження робота. У таких випадках повинні бути використані інерційні обмежувачі обертання, а переміщення маніпулятора синхронізується з моментами зупинки шпинделя.

Під час фрезерування ключовим джерелом небезпеки є ріжучий інструмент, що обертається з великою швидкістю. Захватний пристрій у жодному разі не повинен перетинатися з робочим простором фрези. Програмне забезпечення має включати функції перевірки допустимого положення руки маніпулятора перед кожною дією.

Окрему увагу слід приділити надійності захватного пристрою. У разі зниження тиску в пневмолінії або обриву приводу деталь може випасти із захвату. Щоб запобігти подібним випадкам, доцільно застосовувати системи механічного фіксування або використання пружинного резервного затиску.

Важливим є й контроль зносу елементів захвату. Наприклад, гумові накладки на губках, які забезпечують фрикційне утримання, мають певний ресурс і зношуються, що призводить до зниження сили зчеплення.

З метою безпечної експлуатації автоматизованих дільниць розробляються відповідні інструкції, що визначають порядок введення в роботу, технічного обслуговування та аварійної зупинки роботизованих систем. Вони повинні бути доступними на кожному робочому місці. Крім того,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

здійснюється періодичний контроль стану обладнання, результати якого фіксуються у відповідних журналах.

Слід зазначити, що на дільницях, де обробляються заготовки масою понад 5 кг, оператор зобов'язаний використовувати захисне взуття, каску, рукавички з антиковзаючим покриттям. При високошвидкісній обробці – захисні окуляри та щитки обов'язкові.

Поряд з цим необхідно передбачити обов'язкову сертифікацію робототехнічного обладнання на відповідність стандартам техніки безпеки. Такі перевірки мають проводитися перед введенням дільниці в експлуатацію, після будь-яких модернізацій або змін у програмному забезпеченні.

Забезпечення безпеки праці на автоматизованих виробничих ділянках, оснащених роботизованими маніпуляторами, ґрунтується на інтеграції низки технічних, організаційних та освітніх заходів, спрямованих на зниження виробничих ризиків. Основою ефективного управління охороною праці є завчасне ідентифікування можливих джерел небезпек, обґрунтування ступеня їх впливу на працівників та впровадження інженерних і технологічних засобів для їх усунення або локалізації. У практиці машинобудівного виробництва доцільно реалізовувати комплексну стратегію мінімізації участі людини в небезпечних технологічних процесах шляхом делегування основних операцій автоматизованим системам. У цьому контексті важливим залишається забезпечення надійної роботи механізмів контролю доступу, систем екстреного відключення та бар'єрного захисту, а також використання сучасного програмного забезпечення з вбудованими алгоритмами самодіагностики та виявлення помилок.

Крім технічного аспекту, значну роль відіграє навчання персоналу – від базових знань щодо дії обладнання до чітких дій у надзвичайних ситуаціях. Тільки поєднання конструкторських рішень, чіткого регламенту виробничих процедур та професійної підготовки персоналу дозволяє гарантувати безпечні умови експлуатації роботизованих комплексів.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Розділ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Економічна частина є обов'язковим елементом технічної документації будь-якого проекту з машинобудування, що дозволяє оцінити доцільність впровадження нових технічних рішень та розрахувати ефективність розробки з погляду економіки виробництва. Основним завданням цього розділу є обґрунтування витрат, пов'язаних із впровадженням нової техніки, та визначення можливого економічного ефекту в коротко- та довгостроковій перспективі.

На етапі проектування нового виробу або технічного пристосування проводиться комплексний аналіз витрат, які включають собівартість виготовлення, витрати на матеріали, енергоносії, оплату праці, амортизацію обладнання, витрати на технічне обслуговування тощо. На основі цих показників формується калькуляція собівартості одиниці виробу.

До основних техніко-економічних показників, що використовуються при оцінці ефективності проекту, належать:

- повна собівартість продукції;
- обсяг капіталовкладень на виготовлення серії виробів;
- витрати на експлуатацію за весь життєвий цикл;
- економія матеріалів та енергії порівняно з аналогами;
- строк окупності інвестицій;
- коефіцієнт економічної ефективності.

При цьому обов'язковим є порівняння розроблюваного виробу з існуючими аналогами. Такий аналіз дає змогу визначити переваги нового виробу не тільки в технічному, а й в економічному аспекті, що надзвичайно

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каневський			ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					67	83
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								
						НУБіП України		

важливо в умовах ринку. Якщо нова конструкція демонструє нижчі експлуатаційні витрати або меншу потребу в ресурсах при збереженні або покращенні функціональності, це є прямим підтвердженням доцільності її впровадження.

Одним із важливих показників економічної оцінки є економічний ефект. Він визначається як різниця між витратами на виготовлення та експлуатацію нової конструкції та витратами на аналогічний виріб або процес, що застосовувався раніше. Економічний ефект може бути отриманий за рахунок зменшення витрат часу на виконання операцій, зниження браку, зменшення витрат на ремонт і технічне обслуговування обладнання, підвищення якості продукції, зниження собівартості.

Для оцінки економічного ефекту застосовують як прямі, так і непрямі методи. Прямі передбачають розрахунок зменшення конкретних витрат у грошовому вираженні. Непрямі – включають аналіз підвищення продуктивності, поліпшення умов праці, зменшення простоїв тощо, що також впливає на економічну ефективність, хоча й не завжди легко піддається кількісній оцінці.

У випадку, якщо передбачається серійне або масове виробництво технічного засобу, важливим стає визначення точки беззбитковості та прогнозування прибутку на основі планових обсягів випуску. Точка беззбитковості вказує, при якому мінімальному обсязі виробництва витрати покриваються доходами, а отже, далі підприємство починає отримувати прибуток.

Особлива увага приділяється прогнозуванню перспектив подальшого виготовлення техніки. До таких факторів належать:

можливість модернізації конструкції без суттєвих змін у технології виробництва;

наявність стабільної потреби на ринку;

сумісність із існуючим парком устаткування;

технологічна адаптивність та ремонтпридатність;

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

простота масштабування виробництва.

Ці показники дозволяють зробити висновок про тривалість життєвого циклу виробу, що також прямо впливає на економічну ефективність його виробництва.

На завершальному етапі економічного аналізу обґрунтовуються джерела фінансування, можливості амортизації обладнання, строки повернення інвестицій та формуються висновки щодо доцільності впровадження техніки в серійне виробництво. У разі позитивної економічної оцінки, підприємство має підстави приймати рішення про організацію виробничої лінії або модернізацію існуючої дільниці.

Таким чином, економічна частина в складі технічного проєкту відіграє ключову роль у прийнятті рішень щодо впровадження технічних новацій у виробництво. Вона дозволяє не лише перевірити доцільність обраного технічного рішення з точки зору економіки, а й визначити потенційні вигоди та ризики на етапі підготовки виробництва, що забезпечує більш раціональний розподіл ресурсів і зниження фінансових втрат у довгостроковій перспективі.

У рамках роботи проведемо техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження робота-маніпулятора з пневматичним захватним пристроєм у безперервному виробничому циклі автоматизованої дільниці. Розрахунки базуються на 10-річному періоді експлуатації, при роботі в режимі 24/7.

Вихідні дані

Вартість обладнання: $C=581766,78$ грн.

Тривалість експлуатації: 10 років.

Режим роботи: 24 години на добу, 7 днів на тиждень.

Річний фонд часу: 8760 годин.

Розрахунок економічних показників

Коефіцієнт використання машини є одним із ключових показників техніко-економічної ефективності експлуатації технологічного обладнання. Він відображає ступінь фактичного навантаження устаткування відносно

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

календарного фонду часу, призначеного для його роботи, й дозволяє оцінити реальну продуктивність машин і механізмів у виробничому циклі. Значення цього коефіцієнта безпосередньо впливає на обґрунтованість капіталовкладень у нове устаткування, планування завантаження верстатів, а також на аналіз і оптимізацію виробничих графіків.

З технічної точки зору, коефіцієнт використання розраховується як відношення фактичного часу роботи обладнання за певний період до календарного (номінального) фонду цього часу.

$$\eta_{\text{вик}} = t_{\text{ф}} / T_{\text{н}}, \quad (4.1)$$

де $t_{\text{ф}}$ – дійсний (ефективний) час роботи машини протягом розрахункового періоду; $T_{\text{н}}$ – календарний або номінальний фонд часу за той самий період.

Залежно від умов роботи (однозмінний, двозмінний, цілодобовий режим), значення коефіцієнта використання може варіюватися від 0,2 до 1,0. У безперервному виробництві з трьома змінами та правильно організованим технічним обслуговуванням коефіцієнт може досягати 0,95–1,0. В умовах нерегулярного завантаження обладнання або нераціонального використання технічних ресурсів цей показник може знижуватись до 0,1 і нижче, що свідчитиме про низьку ефективність застосування машинного парку.

Коефіцієнт використання машини ($\eta_{\text{вик}}$):

$$\eta_{\text{вик}} = t_{\text{ф}} / T_{\text{н}} = 8322 / 8760 \approx 0,95$$

Розрахунок загальних річних експлуатаційних витрат (P):

$$P = E_{\text{н}} + M_{\text{т}} + T_{\text{р}} + O_{\text{б}} + A_{\text{м}} \quad (4.2)$$

де $E_{\text{н}}$ – витрати на електроенергію;

$$E_{\text{н}} = 1 \text{ кВт} \times 24 \text{ год} \times 365 \text{ днів} \times 4,32 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год} = 37843,2 \text{ грн/рік.}$$

$M_{\text{т}}$ – вартість матеріалів та витратних компонентів ((витрати на мастило, фільтри, пневматичні елементи тощо), $M_{\text{т}} = 15000 \text{ грн/рік}$);

$T_{\text{р}}$ – заробітна плата обслуговуючого персоналу (зарплата одного оператора на 1 робота при 24/7);

$$T_{\text{р}} = 33000 \text{ грн/міс} \times 12 \text{ міс} = 396000 \text{ грн/рік.}$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Об – витрати на сервісне обслуговування і ремонт (регламентне ТО, заміни вузлів, дрібні ремонти), Об = 20000 грн/рік;

Ам – амортизаційні витрати, грн/рік.

$$A_M = C / T_{\text{експ}} \quad (4.3)$$

де: С – вартість обладнання;

$T_{\text{експ}}$ – нормативний термін експлуатації.

$$A_M = \frac{581766,78}{10} = 58176,68 \text{ грн/рік.}$$

$$P = 37843,2 + 15000 + 396000 + 20000 + 58176,68 = 527019,88 \text{ грн/рік.}$$

Рентабельність – це економічний показник, що відображає відношення річної економічної віддачі (тобто доходу чи ефекту) до річних експлуатаційних витрат на обладнання. Цей показник дозволяє оцінити економічну доцільність використання машини або системи.

$$q = O_T / P \quad (4.4)$$

де O_T – річна віддача від використання машини, грн/рік;

P – річні експлуатаційні витрати, грн/рік.

Річна віддача від використання машини це грошовий еквівалент корисного результату роботи обладнання за рік.

$$O_T = N \times C_o \quad (4.5)$$

де N – кількість виробів (або операцій), які робот виготовляє/виконує за рік (наприклад виготовлення болтів, середня кількість одиниць, залежить від діаметра, довжини та складності нарізі та рівна 400 штук/год);

C_o – економічна віддача або вартість результату за одиницю виробу/операції (наприклад, прибуток з однієї обробленої деталі (наприклад виготовлення болтів, середня ціна за 1 виріб рівна 10 грн)).

$$O_T = 3504000 \times 10 = 35040000 \text{ грн/рік}$$

$$q = 35040000 / 527019,88 = 66,5$$

Річний економічний ефект (Q) – це один з основних техніко-економічних показників ефективності експлуатації обладнання. Він показує, скільки чистого прибутку приносить машина або технічний засіб протягом

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

року після покриття всіх річних експлуатаційних витрат. Розрахунок здійснюється за такою формулою:

$$Q = O_T - P \quad (4.6)$$

де Q – річний економічний ефект, грн/рік

O_T – річна віддача від використання машини (загальний дохід), грн/рік

P – річні експлуатаційні витрати, грн/рік

$$Q = 35040000 - 527019,88 = 34512980,12 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності ($T_{ок}$) – це економічний показник, що характеризує період часу, за який інвестиції у придбання технічного обладнання повністю повертаються за рахунок отриманого річного економічного ефекту. Інакше кажучи, це кількість років, необхідна для повного погашення витрат на закупівлю обладнання.

$$T_{ок} = C / Q \quad (4.7)$$

де: $T_{ок}$ – строк окупності, років; C – повна вартість машини або комплексу, грн;

Q – річний економічний ефект, грн/рік.

$$T_{ок} = 581766,78 / 34512980,12 = 0,017 \text{ року}$$

Цей результат показує, що при безперервній роботі (24/7) і стабільному економічному ефекті строк окупності становить менше одного місяця. Такий показник вважається надзвичайно ефективним в умовах серійного виробництва. Він свідчить про доцільність та швидку віддачу інвестицій у впровадження роботизованих маніпуляторів у машинобудівних процесах.

Коефіцієнт експлуатаційних витрат (k) – це показник, який характеризує відносні витрати на утримання та експлуатацію обладнання протягом усього строку його служби. Він дає змогу визначити, наскільки високими є експлуатаційні витрати порівняно з початковою вартістю машини.

$$k = \Sigma P / C \quad (4.8)$$

де ΣP – загальні експлуатаційні витрати за весь період (10 років) експлуатації,

грн; C – первісна вартість обладнання, грн.

$$k = 5270198,80 / 581766,78 = 9,06$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення $k \approx 9,06$ означає, що за 10 років експлуатації на обслуговування, енергію, зарплату персоналу та інші витрати буде витрачено приблизно у 9 разів більше, ніж первісна вартість робота. Такий рівень експлуатаційних витрат є характерним для обладнання з високим навантаженням у безперервному виробництві, де енерго- та трудові витрати становлять суттєву частку в загальних витратах.

Цей показник є важливим для порівняння альтернативних варіантів технічних рішень – чим менше значення k , тим ефективніше і економічно доцільніше використання обладнання в довгостроковій перспективі.

Коефіцієнт вартості машини (c) – це економічний показник, який характеризує частку первісної вартості обладнання в загальному обсязі експлуатаційних витрат за весь період його використання. Його застосовують для оцінки значущості капітальних витрат у структурі загальних витрат.

$$c = \frac{C}{\sum P} \times 100\% \quad (4.9)$$

де: c – коефіцієнт вартості машини, у відсотках; C – первісна (балансова) вартість обладнання, грн; $\sum P$ – сума всіх експлуатаційних витрат за повний період експлуатації, грн.

$$c = \frac{581\,766,78}{5\,270\,198,80} \times 100\% \approx 11,04\%$$

Таблиця 4.1. Техніко-економічні показники

Показник	Значення	Пояснення
Вартість обладнання (С)	581 766,78 грн	Початкова ціна робота-маніпулятора з пневматичним захватом
Річний фонд часу (Тн)	8760 год	Загальна кількість годин за рік у режимі 24/7
Фактичний час роботи (t _ф)	8322 год	Прийнято коефіцієнт використання 0,95
Коефіцієнт використання ($\eta_{\text{вик}}$)	$\approx 0,95$	Показує інтенсивність реального використання обладнання

Показник	Значення	Пояснення
Споживання електроенергії (Ен)	37 843,2 грн/рік	Вартість електроенергії при ціні 4,32 грн/кВт·год
Витрати на матеріали (Мт)	15 000 грн/рік	Мастила, фільтри, пневматичні компоненти тощо
Оплата праці (Тр)	396 000 грн/рік	Заробітна плата оператора при режимі роботи 24/7
Технічне обслуговування (Об)	20 000 грн/рік	Витрати на сервіс, дрібний ремонт, профілактика
Амортизація (Ам)	58 176,68 грн/рік	Рівномірний розподіл вартості обладнання на 10 років
Сумарні витрати (Р)	527 019,88 грн/рік	Загальна щорічна сума експлуатаційних витрат
Кількість виробів (N)	3 504 000 шт/рік	Продуктивність при безперервній роботі
Ціна одиниці продукції (С _о)	10 грн/шт	Економічний ефект (прибуток) від одного виробу
Річна віддача (От)	35 040 000 грн/рік	Загальний прибуток від роботи робота за рік
Рентабельність (q)	≈ 66,5	Скільки прибутку приносить 1 грн витрат
Річний економічний ефект (Q)	34 512 980,12 грн	Річний чистий дохід після покриття витрат
Строк окупності (Ток)	≈ 0,017 року	Період повернення інвестицій (менше одного місяця)
Сумарні витрати за 10 років (ΣР)	5 270 198,8 грн	Загальні витрати протягом повного строку експлуатації
Коеф. експлуатаційних витрат (k)	≈ 9,06	Витрати за 10 років у відношенні до вартості обладнання
Коеф. вартості машини (с)	≈ 11,03 %	Частка капіталовкладень у загальному обсязі витрат за весь період експлуатації

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Проведене техніко-економічне обґрунтування засвідчує доцільність впровадження робота-маніпулятора з пневматичним захватним пристроєм у безперервний виробничий процес. За результатами розрахунків, річна економічна віддача від використання обладнання становить понад 35 млн грн, при цьому річні експлуатаційні витрати – близько 527 тис. грн. Це дозволяє розрахувати рівень рентабельності, який дорівнює приблизно 66,5. Іншими словами, кожна гривня, витрачена на експлуатацію обладнання, забезпечує 66,5 гривень прибутку, що є винятково високим показником для промислових систем.

Строк окупності обладнання становить лише 0,017 року, тобто приблизно 6 днів безперервної роботи, після чого підприємство отримує чистий прибуток. Це підтверджує надзвичайно швидку віддачу інвестицій. Коефіцієнт експлуатаційних витрат протягом 10 років дорівнює 9,06, що свідчить про значну, але обґрунтовану частку витрат на обслуговування, енергію та персонал. Водночас коефіцієнт вартості машини становить 11,03%, що вказує на те, що основні капітальні витрати є незначною частиною загальних витрат.

Загалом отримані показники демонструють ефективність автоматизації дільниці із залученням роботизованого обладнання та підтверджують обґрунтованість таких інвестицій у рамках сучасного машинобудівного виробництва.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Висновки

У рамках виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було проведено всебічне технічне дослідження, що охоплює проектування, аналіз і обґрунтування впровадження роботизованих технологій у виробничу дільницю. Основна увага приділялась роботам-маніпуляторам з пневматичними захватними пристроями, які є ключовими вузлами сучасних автоматизованих комплексів.

Першочергово було проаналізовано класифікацію роботів-маніпуляторів за конструктивними ознаками, характером руху, ступенем свободи та видом приводу. Виділено основні групи промислових маніпуляторів за призначенням, серед яких найбільшу зацікавленість викликають універсальні моделі, здатні працювати з різними типами технологічного обладнання.

Окремо було здійснено систематизацію захватних пристроїв за принципом дії: механічні, вакуумні, магнітні, пневматичні та комбіновані. На основі проведеного аналізу для автоматизованої дільниці обґрунтовано доцільність застосування пневматичного захватного вузла, з огляду на його швидкодію, простоту конструкції, надійність і можливість точного регулювання зусилля затиску.

У рамках роботи було виконано проектування та інженерний розрахунок конструкції захватного пристрою робота-маніпулятора, що функціонує на автоматизованій дільниці. Конструкція передбачає використання пневмоциліндра з механізмом передачі зусилля на затискні елементи призматичної форми. Розрахунок сили затиску проведено з урахуванням діючого тиску, площі поршня, втрат на тертя та коефіцієнтів запасу, що дозволило забезпечити необхідну надійність та точність фіксації деталей.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Каневський			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кадикало І.О.					76	83
Реценз.								
Н. Контр.		Ловейкін В.С.						
Затверд.								
						НУБіП України		

Крім основного захватного вузла, було також розраховано й сконструйовано допоміжні пристосування для здійснення операцій на токарній та фрезерній ділянках. Зокрема, у проєкті реалізовано пневматичні лещата для фіксації заготовки під час фрезерної обробки та важільний трьохкулачковий патрон для токарної операції. Кожне з цих пристосувань підлягало окремим розрахункам сили затиску, міцності елементів, а також забезпечення повторюваності положення деталі в процесі циклічної обробки.

Також було передбачено конструкцію контрольного пристосування для перевірки паралельності оброблених поверхонь деталі. Розроблена система дозволяє здійснювати індикаторний контроль з точністю до 0,01 мм, що забезпечує відповідність готових виробів вимогам технологічної документації та стандартів якості.

У розділі з охорони праці розглянуто основні ризики, пов'язані з експлуатацією роботизованих систем у безперервному режимі. Виокремлено п'ять основних типів потенційно небезпечних ситуацій: контакт оператора з зоною дії захватного механізму, некоректне позиціонування, випадкове випадіння деталі із захвату, ризик ураження струмом у разі пошкодження кабельних мереж, а також опіки від гарячих поверхонь. У зв'язку з цим визначено та обґрунтовано комплекс заходів, що передбачає фізичне відокремлення робочої зони, наявність світлової індикації, аварійних зупинок, планового обслуговування електрообладнання та проведення інструктажів персоналу.

Для забезпечення повноти дослідження було також виконано техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження системи. За прийнятих вихідних умов (цілодобова робота 365 днів на рік, 10-річний строк експлуатації) визначено показники витрат та доходів. Загальні річні експлуатаційні витрати склали 527019,88 грн, при цьому річна економічна віддача становила 35040000 грн. Таким чином, річний економічний ефект дорівнює 34512980,12 грн, що дозволяє окупити вартість робота менш ніж за

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

1 місяць. Розраховано коефіцієнт рентабельності на рівні 66,5, коефіцієнт експлуатаційних витрат $k = 9,06$ та коефіцієнт вартості машини $c = 11,03\%$.

Загалом виконана кваліфікаційна робота дозволяє зробити висновок, що впровадження роботів-маніпуляторів із спеціалізованими захватними пристроями є технічно та економічно доцільним кроком у напрямку підвищення ефективності серійного виробництва. Реалізовані розрахунки, конструктивні рішення та заходи з безпеки доводять можливість застосування даного комплексу в умовах реального машинобудівного підприємства, із забезпеченням високого рівня продуктивності, якості та безпеки виробничого процесу.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Список літературних джерел

1. Пелевін Л.Є., Почка К.І., Гаркавенко О.М. та ін. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні. Київ: ТОВ "НВП "Інтерсервіс". 2016. – 260 с.
2. <https://sia.by/typy-promyshlennyh-robotov-i-ih-funkczii/>
3. <https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v4/art2junio08.pdf>
4. Нікольський, Г. І. Основи робототехніки. — Львів: ЛНУ, 2016.
5. Павленко І.І. Структура промислових роботів. — Кіровоград.: КІСМ, 1998. — 100с.
6. Павленко, І.І.; Годунко, М.О. Структурні особливості будови та функціонування захватних пристроїв промислових роботів. 2007.
7. Павленко, І.І., Мажара, В.А. Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв. 2005.
8. Проць Я.І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посіб. Тернопіль : Терноп. держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2008. 232 с.
9. <https://uapatents.com>
10. Правила виконання кінематичних схем. Позначення умовні графічні в схемах. Елементи кінематики. (Стандарт кафедри)/ Упор. Б. В. Орловський, В. О. Пищиків, Арабінова Н.С. - .: КНУТД. – 2003. -32 с.
11. https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19462/1/Dyplom131_Brzozowski_Manoilenko.pdf
12. Анурьев В.И. – Справочник конструктора – машиностроителя в 3-х томах – М.:Машиностроение .-1979.
13. Кузнецов Ю.М. Цільові механізми верстатів-автоматів та верстатів з ЧПК. Частина 3. К.: ГОВ «ЗМОК» - ПП «ГНОЗІС». 2001. - 354 с.
14. https://www.societyofrobots.com/robot_arm_tutorial.shtml#google_vignette

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Каневський					79	83	
Перевір.	Кадикало І.О.							
Реценз.								
Н. Контр.	Лоевйкін В.С.							
Затверд.								НУБіП України

15. Робототехнічні системи: проєктування і моделювання [Електронний ресурс]: навч. Посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / М.М. Поліщук, М.М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 41,6 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
16. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проєктування. – Кіровоград; КНТУ, 2007. – 420 с.
17. Павленко І.І. Аналіз впливу характеристик захватних пристроїв промислових роботів на силові їх навантаження / Павленко І.І., Годунко М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С.150 – 154. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип. 20).
18. Павленко І.І., Годунко М.О., Кіріченко І.Д. Загальна методика розрахунку та проєктування конструкцій захватних пристроїв промислових роботів. Техніка в сільськогосподарському виробництві. 2013. № 26. С. 67–70.
19. https://robots-argentina.com.ar/Robots_UnBrazoRobotico.htm
20. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392 с.
21. Макаров І. М., Топчєєв Ю. І. Робототехніка: Історія та перспективи. - М: Наука; Вид-во МАІ, 2003. - 349 с.
22. Ловейкін В.С., Рибалко В.М., Ромасевич Ю.О., Матухно Н.В., Ляшко А.П., Деталі машин. Друге видання. Навчальний посібник. К.: «Компрінт», 2020. 736 с.
23. Курмаз Л.В. Основи конструювання деталей машин: навчальний посібник. Харків: Видавництво «Підручник НТУ «ХП». 2010. 532 с.
24. Булгаков В. М. Інженерна механіка / В. М. Булгаков, О. І. Литвинов, Д.Г. Войтюк. - Вінниця: Нова книга, 2006. - 504 с.
25. Павлище В. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. Львів: Афіша, 2003. — 560 с.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

26. НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. [Чинний від 2018—04—10]. Київ : Міністерство соціальної політики України, 2018.
27. <https://zakon.rada.gov.ua>
28. <https://ips.ligazakon.net/document/RE14756?an=21>
29. <https://oppb.com.ua/news/vymogy-bezpeky-pid-chas-ekspluataciyi-kraniv-manipulyatoriv>
30. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів. [Чинний від 2007—09—01]. Київ : Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2007.
31. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Промислова безпека у будівництві. Основні положення»;
32. НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт»;
33. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
34. НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»;
35. НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»;
36. НПАОП 0.00-7.17-18 «Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці»;
37. НПАОП 45.2-7.03-17 «Мінімальні вимоги з охорони праці на тимчасових або мобільних будівельних майданчиках».
38. Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв. Навчальний посібник. / Гурський П.В., Перцевої В.В., Гулий І.С. та ін. – Харків.: ХДАТОХ 2001. - 230 с.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

39. Гарнець В.М., Безух А.В. Методологія створення машин: Навчальний посібник.- К.:”Хай-Тек Прес”, 2010. - 376с.
40. <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-10/m-10id-16s>
41. <https://www.machinio.com/fanuc/m-10/industrial-robots/>
42. <https://arduino.ua/>
43. <https://yasno.ua/electricity-b2b>
44. <https://www.southcoastrobotics.com/>
45. <https://fanucworld.com/products/m-10id-16s-r-30ib-plus/>
46. <https://electrotorg.biz.ua/category/promyshlennye-roboty-manipulyatory-tm-electrotorg>
47. https://epicentrk.ua/ua/shop/bolty/filter/prop_6241-is-c4636fc2cd12749c3d144ac861f3655f/prop_8532-is-10.0000-or-8.0000-or-6.0000/prop_length_mm-is-30.0000-or-20.0000-or-50.0000/apply/
48. <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial>
49. <https://www.kuka.com/>
50. <https://www.logismarket.es/>
51. <https://robotiq.com/>

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ДОДАТКИ

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 025 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83