

**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 КОНСТРУКЦІ БАГАТОЦІЛЬОВОГО**  
**ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА**

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., асистент \_\_\_\_\_

Кадикало І.О.

**Виконав** \_\_\_\_\_

Мельник Богдан Володимирович

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**Конструювання машин і обладнання**

д.т.н., проф

Ловеїкін В.С.

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

— ” — 2025р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту**

**Мельник Богдан Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133- Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Розрахунок конструкції багатоцільового промислового робота-маніпулятора

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 3 лютого 2025р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ловеїкін В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кадикало І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

Мельник Б.В.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	<b>5</b>
<b>ВСТУП</b> .....	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1</b> .....	<b>8</b>
<b>ОГЛЯД АКТУАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ</b> ..	<b>8</b>
1.1 Види промислових роботів-маніпуляторів, характеристики .....	8
1.2 Багатоцільові промислові роботи види; опис цієї сфери .....	20
1.3 Види захватних пристроїв .....	27
<b>РОЗДІЛ 2</b> .....	<b>34</b>
<b>РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА</b> .....	<b>34</b>
2.1 Технічні характеристики, механізми промислового робота .....	34
2.2 Розрахунок основних елементів конструкції багатоцільового робота-маніпулятора.....	41
2.3 Розрахунок механізму захватного пристрою .....	48
<b>РОЗДІЛ 3</b> .....	<b>50</b>
<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	<b>50</b>
3.1 Техніка безпеки промислового робота-маніпулятора.....	50
3.2 Техніка безпеки на підприємстві.....	53
3.3 Послідовність дій під час нещасного випадку на підприємстві .....	57
<b>РОЗДІЛ 4</b> .....	<b>59</b>
<b>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b> .....	<b>59</b>
<b>ВИСНОВОК</b> .....	<b>66</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>67</b>

					<i>01.09-КР.2265"С"2024:12.16.019 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Мельник Б.В			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кадикало І.О			4	70	
Н. Контр.		Ловейкін В.С			<b>Зміст</b>		
Затверд.					<b>НУБіП України</b>		

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Розрахунок конструкції багатоцільового промислового робота-маніпулятора» – складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на сімдесяти (70) сторінках друкованого тексту, двадцяти восьми (28) рисунків, семи таблиць (7), висновка, тридцяти шести (36) літературних джерел, додатків та графічної частини.

Пояснювальна записка бакалаврської кваліфікаційної роботи включає такі розділи:

- вступ;
- огляд актуальних конструкцій роботів-маніпуляторів;
- розрахунок конструкції багатоцільового промислового робота-маніпулятора;
- охорона праці;
- техніко-економічні показники.

Такий робот може використовуватись в багатьох сферах промисловості завдяки своїй конструкції, наприклад:

- Автомобілебудування – зварювання кузовів, фарбування, складання.
- Металургія – штампування, свердління, шліфування.
- Електротехніка – пайка, монтаж схем, тестування плат.
- Харчова промисловість – пакування, сортування, укладання продуктів.
- Логістика і складські системи – сортування, транспортування, укладання.

Конструкція багатоцільового промислового робота-маніпулятора є універсальним і ефективним рішенням для широкого спектра галузей промисловості, включаючи також сільське господарство. Його впровадження сприяє значному підвищенню продуктивності, скороченню витрат на ручну працю та поліпшенню якості продукції.

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мельник Б.В			<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О					5	70
<i>Н. Контр.</i>		Ловейкін В.С				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

## ВСТУП

В сучасних умовах розвитку промисловості, автоматизація виробничих процесів набуває особливого значення. Одним із ключових елементів модернізації промисловості є роботизовані маніпулятори, здатні виконувати широкий спектр завдань — від захоплення та переміщення об'єктів до точної укладки матеріалів у задані позиції. Багатоцільові маніпулятори знаходять широке застосування в різних галузях: машинобудуванні, логістиці, будівництві, металургії, сільському господарстві та багатьох інших. Всі вони будуть розглянуті в цій роботі.

Центральною ланкою таких систем є промислові роботи та маніпулятори, які виконують функції захоплення, переміщення, сортування та укладання об'єктів різної форми, ваги та матеріалу. Незамінною складовою роботизованих комплексів є захватні пристрої, від яких залежить якість і точність взаємодії робота з об'єктами навколишнього середовища. Існує велика кількість видів захватних пристроїв, залежно від умов застосування використовуються різні захвати, як і тип робота в цілому.

Головною особливістю багатоцільових робіт маніпуляторів є їх уніфікованість та універсальність, що робить їх пріоритетними та бажаними на виробництвах. Наразі багато провідних компаній використовують роботизовані системи в цехах, при зварних роботах, логістиці та контролю якості продукції. Роботи знайшли своє застосування не тільки на виробництвах зв'язаних з машинобудуванням, а навіть у таких сферах, як – харчова промисловість, навіть безпосередньо при виробництві продукції у закладах харчування, а не тільки заводах. Саме такі роботи і будуть розглянуті в цій роботі.

Головною метою моєї роботи є розрахунок конструкції багатоцільового робота-маніпулятора, в ході якої буде розрахована робочу зону та навантаження

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Мельник Б.В</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кадикало І.О</i>					<i>6</i>	<i>70</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ловейкін В.С</i>				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

робота. Розглянуто технічні характеристики та механізми промислового робота, проведення розрахунку основних елементів конструкції багатоцільового робота-маніпулятора.

Важливим аспектом є техніко-економічні показники роботизованої системи. Щоб зменшити витрати на виробництво буде проведена оптимізація конструкції. Також окрему увагу приділено охороні праці, що є важливим аспектом при роботі з роботами-маніпуляторами

Результати цього дослідження можуть застосовуватись в практичному проектуванні та модернізації роботизованих маніпуляторів, що використовуються у виробничих процесах, логістичних операціях та автоматизованих складських системах.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД АКТУАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

### 1.1 Види промислових роботів-маніпуляторів, характеристики

Промисловий робот, згідно з визначенням Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), яке використовується Міжнародною федерацією робототехніки (IFR), являє собою "автоматично керований, перепрограмований багатоцільовий маніпулятор, програмований у трьох або більше осях, який може бути як стаціонарно закріпленим, так і встановленим на мобільній платформі". Це визначає та показує основні можливості використання промислових роботів: перепрограмованість для виконання різних операцій та багатоцільовість, що дає можливість адаптовувати робот для виконання певних робіт, та наявність маніпулятора, саме за рахунок маніпулятора, який можна переобладнати або замінити і визначає багатозадачність. В кожного маніпулятора є робочі осі, кількість осей визначає свободу руху робота в лінійному або обертовому режимі. За їх рахунок і визначається мобільність та робоча зона робота.[1] [5]

Перепрограмований означає, що є можливість задавати та змінювати параметри маніпулятора. Міняти його основну задачу або оптимізувати наявну. Багатоцільовий вказує на можливість переобладнання робота для різного типу задач. Маніпулятор являє собою пристрій, призначений для імітації рушійних та робочих функцій руки людини і керований оператором (щодо біотехнічних маніпуляторів) або діючий автоматично. [18]

Класифікація промислових роботів: технологічні (промислові роботи, призначені для виконання ключових операцій виробничого процесу); допоміжні (промислові роботи, забезпечують виконання другорядних завдань,

пов'язаних із обслуговуванням основного технологічного обладнання);						
01.09-КР.2265 "С" 2024.12.16.019 ПЗ						
Змуніверсальні	Універсальні	Підпис	Дата			
Розроб.	Мельник Б.В					
Перевір.	Кадикало І.О					
Н. Контр.	Ловейкін В.С					
Затверд.						
Огляд актуальних конструкцій роботів-маніпуляторів				Літ.	Арк.	Аркушів
					8	70
				НУБіП України		

виконувати широкий спектр різноманітних операцій).[1]

На вищому рівні роботизовані маніпулятори поділяються на дві категорії: послідовні та паралельні. Послідовні маніпулятори мають ланки, з'єднані послідовно, подібно до людської руки. До такого типу належать шарнірні, SCARA, циліндричні та полярні роботи, а також деякі конфігурації картезіанських роботів. Паралельні маніпулятори, такі як дельта-роботи, мають кілька рук, з'єднаних з одним кінцевим ефектором. Ця фундаментальна відмінність у конструкції суттєво впливає на характеристики продуктивності маніпуляторів. [5] [12]

Основні типи промислових роботів, класифіковані за їхньою механічною структурою:

- Шарнірний робот
- Картезіанський робот (прямокутний/портальний робот)
- SCARA-робот
- Дельта-робот (паралельний робот)
- Циліндричний робот
- Полярний робот (сферичний робот)
- Колаборативний робот (кобот)

Шарнірний робот має структуру, що нагадує людську руку, зі сегментами (ланками), з'єднаними суглобами (осями), які забезпечують обертальний рух. Зазвичай вони мають від 4 до 6 осей (суглобів), а деякі моделі – до 10 і більше, що забезпечує високий ступінь свободи. Конструкція включає основу з обертовим з'єднанням та руку з обертовими суглобами, що схоже до людських кінцівок за своєю кінематикою. Людиноподібна структура забезпечує інтуїтивне розуміння та дозволяє виконувати складні рухи в межах визначеного робочого простору.

Основні характеристики шарнірного робота: ступені свободи (висока кількість ступенів свободи (зазвичай 6) дозволяє рухатися в трьох лінійних

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напрямках та здійснювати три обертальні рухи (нахил, крен, ривок)), робочий простір: великий та гнучкий, що дозволяє обходити перешкоди, здатний працювати у великому та складному робочому просторі; вантажопідйомність; швидкість.

Наводячи переваги та недоліки даного типу робота до переваг можна віднести універсальність для широкого спектру завдань (зварювання, фарбування, складання, обробка матеріалів, обслуговування машин), гнучкість рухів завдяки суглобам, адаптивність до різних виробничих зон, надійність та передбачуваність у виробничих процесах; з недоліків це вища вартість порівняно з іншими типами роботів, потребують складніших систем керування, можуть бути повільнішими за інші типи, потребують захисного огороження через потенційну небезпеку.

Як кінцеві ефектори використовують захоплювачі (різних типів для обробки матеріалів), зварювальні паяльники (дугове та точкове зварювання), фарбувальні розпилювачі, свердла, шліфувальні машини, лазери та інші спеціалізовані інструменти. [7]



Рис.1.1 Шарнірний робот

Картезіанський робот має структуру, що працює на трьох лінійних осях (X, Y, Z), розташованих під прямим кутом одна до одної, утворюючи

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

картезіанську систему координат. Рух відбувається лінійно вздовж цих осей (вперед/назад, вгору/вниз, з боку в бік) за допомогою призматичних з'єднань. Як конфігурація використовуються порталні роботи, тоді робот рухається по надземній рейці, що використовується для більших робочих просторів та важчих вантажів. Прямолінійний рух робить їх дуже точними та легкими в програмуванні для певних застосувань. Роз'єднані осі руху спрощують керування та сприяють їхній точності при виконанні лінійних завдань.

Основними характеристиками є кубічний (для базових картезіанських) або прямокутний (для порталних) робочий простір; велика вантажопідйомність (особливо в порталних конфігураціях); висока точність та повторюваність завдяки жорстким лінійним рухам; можуть бути швидкими для лінійних рухів, але загальна швидкість може бути обмежена послідовним характером рухів вздовж різних осей; високомасштабовані за розміром та міцністю.

З переваг та недоліків можна виділити такі переваги: проста система керування та програмування, висока точність та повторюваність, здатність обробляти важкі вантажі, економічна вигідність для певних застосувань, налаштовувані конфігурації; з недоліків обмежена гнучкість та діапазон рухів (не можуть здійснювати обертальних рухів суглобів), постійно можуть рухатись лише лінійно в трьох вимірах, складна процедура складання.

Як кінцеві ефектори використовують друкуючі головки (3D-друк), плазмові різачки, лазери (різання та зварювання), інструменти для верстатів з ЧПУ (фрезерування, свердління), камери (контроль якості), дозуючі головки.

[8]

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

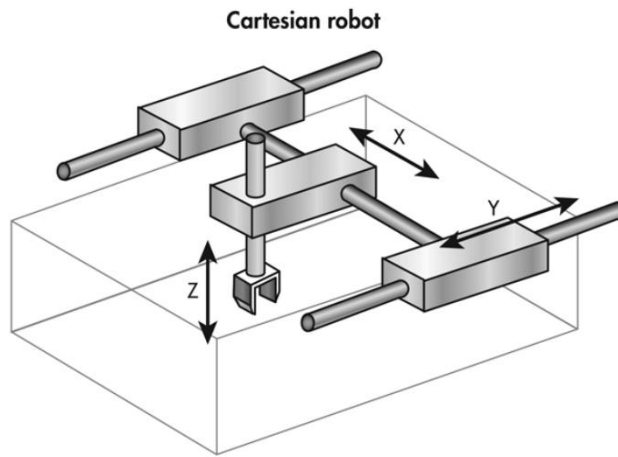


Рис.1.2 Картезіанський робот

SCARA розшифровується як Selective Compliance Articulated Robot Arm (або Selective Compliance Assembly Robot Arm). Конструкція включає два паралельні обертові з'єднання для горизонтальної податливості (рух у площині XY) та одне призматичне з'єднання для вертикального руху (вісь Z). Зазвичай це чотириосьовий робот з обертовим зап'ястям. Ключовою особливістю є "селективна податливість" – податливість у горизонтальній площині (що полегшує вставлення деталей) та жорсткість у вертикальній площині (для прикладання сили вниз). Ця комбінація податливості та жорсткості робить їх ідеальними для складальних операцій, особливо для вставлення деталей у отвори.

З основних характеристик можна виділити швидкість, зазвичай швидші за картезіанські роботи та можуть працювати на високих швидкостях; висока точність та повторюваність; горизонтальна податливість; нижча вантажопідйомність порівняно з картезіанськими та шарнірними роботами; компактність

До переваг можна віднести економічну вигідність, точні та ефективні в складанні, швидкість роботи, компактна конструкція та мала займана площа; з недоліків обмежений діапазон, відносно мала швидкість, мала вантажопідйомність. [9]

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Як кінцеві ефектори використовують захоплювачі (для переміщення та складання), вакуумні присоски (для обробки плоских об'єктів), викрутки (для автоматизованого загвинчування), дозуючі інструменти (для клеїв, герметиків).

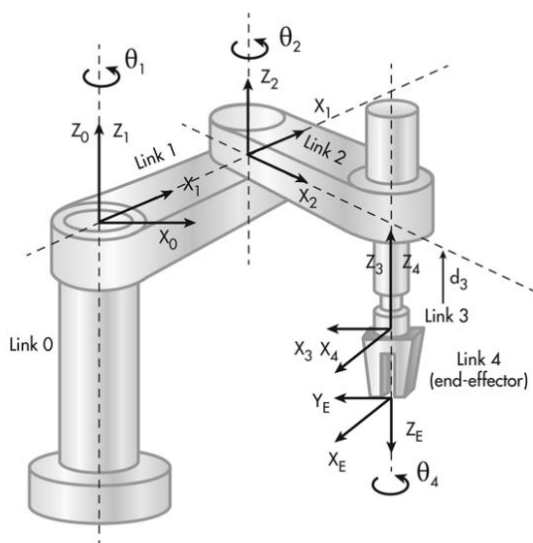


Рис.1.3 SCARA робот

Дельта-робот має три руки, з'єднані з однією основою, встановленою над робочим простором, утворюючи паралельний механізм. Їх часто називають "павукоподібними роботами". Двигуни розташовані в статичній основі, що робить руки легкими та здатними до дуже високих швидкостей та прискорень. Паралельна кінематика забезпечує збереження орієнтації кінцевого ефектора. Легка конструкція та паралельна структура оптимізовані для швидких і точних рухів, що робить їх ідеальними для завдань переміщення. Розміщення важких двигунів в основі мінімізує інерцію рухомих частин робота, забезпечуючи швидшу та спритнішу роботу.

З основних характеристик можна виділити: надзвичайно високі швидкості та прискорення, деякі можуть виконувати до 300 захоплень за хвилину; висока точність завдяки паралельній структурі; легкість конструкції забезпечена легкими композитними матеріалами; обмежений робочий простір; значно

обмежена максимальна вантажопідйомність порівняно з іншими варіантами роботів.

До переваг можна віднести високу швидкість та точність для завдань переміщення, ефективність при повторюваних завданнях; з недоліків можна виділити обмежений робочий простір та вантажопідйомність, мала мобільність та гнучкість порівняно з шарнірними роботами.

Як кінцеві ефектори використовують вакуумні захоплювачі (для обробки плоских об'єктів, наприклад, в упаковці) та спеціалізовані захоплювачі для обробки харчових продуктів, фармацевтичних препаратів та електронних компонентів . [10]

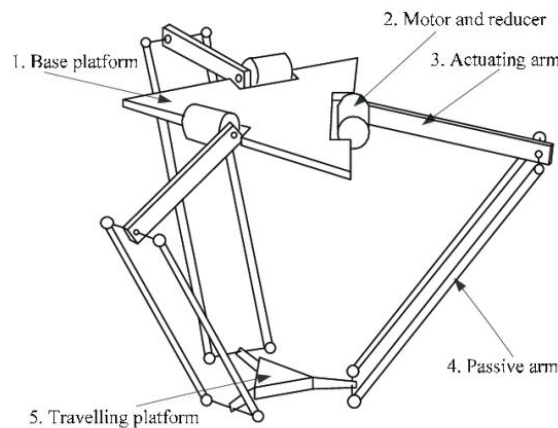


Рис.1.4 Дельта-робот

Циліндричний робот має обертове з'єднання в основі для кругового руху та призматичне з'єднання в руці для вертикального та горизонтального лінійного руху. Рука може робити виліт та заходить обратно, а основа може обертатися, створюючи циліндричний робочий простір. Вертикальний рух руки часто здійснюється за допомогою пневматичного циліндра. Комбінація обертового та лінійного руху в конструкції робить їх придатними для виконання завдань в обмежених просторах з обертовою симетрією. Така конструкція забезпечує

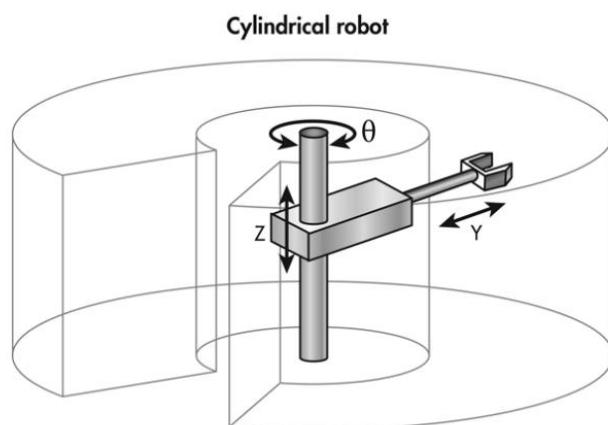
					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

ефективну роботу в межах циліндричного об'єму, що є перевагою для певних промислових процесів.

Основними характеристиками є компактна конструкція з тонкою рамою; вертикальний виліт завдяки руху основної руки вгору-вниз; змінна вантажопідйомність; економічність завдяки простій механіці; достатньо висока швидкість (1–10 м/с); точність залежить від роздільної здатності системи, повторюваність від налаштування та динамічних характеристик, зокрема інерції.

До переваг можна віднести компактну конструкцію, що добре підходить для обмежених робочих просторів; економічну доцільність для виконання простих задач; ефективність при роботі з об'єктами з обертовою симетрією; можливість досягати значного вертикального вильоту та спрощене програмування порівняно зі складнішими роботами. Серед недоліків варто зазначити обмежений діапазон рухів у порівнянні з шарнірними або SCARA-роботами; потенційно велику площу, яку вони займають, попри компактність; нижчу робочу швидкість порівняно з дельта-роботами та вплив інерції обертання на повторюваність.

Як кінцеві ефектори використовують: захоплювачі (для обробки матеріалів, складання, палетування), зварювальні паяльники (точкове зварювання, прості зварювальні завдання), розпилювачі покриттів (для нанесення покриттів), інструменти для обслуговування машин (для завантаження/розвантаження машин). [11]



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

15

Рис.1.5 Циліндричний робот

Полярний робот має основу, з'єднану з рукою двома обертовими з'єднаннями та одним лінійним з'єднанням. Рух базується на полярних координатах, що дозволяє роботу мати сферичний робочий простір. Вважається одним із перших розроблених типів промислових роботів. Сферичний робочий простір дозволяє досягати точок у великому об'ємі, але ця технологія є дещо застарілою.

Основними характеристиками є сферичний робочий простір, що дозволяє досягати будь-якої точки в межах сфери з центром у базі робота; здатність досягати значного вильоту завдяки поєднанню обертових і лінійних рухів. До переваг можна віднести широкий діапазон рухів у межах сферичного робочого простору, економічну доцільність у певних задачах порівняно з шарнірними роботами, а також ефективність у випадках, коли потрібна велика досяжність. З недоліків можна виділити застарілість конструкції, обмежену точність і спритність у порівнянні з новішими типами промислових роботів.

Як кінцеві ефектори використовують: захоплювачі (для обробки матеріалів), зварювальні пальники (для зварювальних робіт), інструменти для лиття під тиском та лиття під тиском. [24]

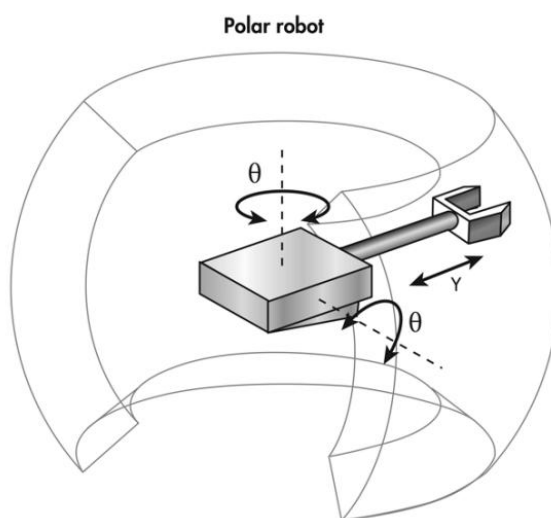


Рис.1.6 Полярний робот

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Колаборативні роботи (коботи) розроблені для безпечної роботи поряд з людьми в спільному робочому просторі захисних притосувань. Оскільки вони обладнані великою кількістю датчиків та регуляторів зусилля.

Основними характеристиками є наявність вбудованих функцій безпеки, що включають датчики виявлення присутності людини, обмеження сили та інші технології для запобігання травмуванню під час контакту; здатність працювати на знижених швидкостях у присутності людей; легкість програмування, таким як програмування шляхом навчання, коли оператор фізично направляє робота; обмежена вантажопідйомність порівняно з традиційними промисловими роботами; широке застосування в задачах переміщення та складання. Коботи часто використовують шарнірні структури, але можуть базуватись й на інших конструкціях. Різноманітні технічні характеристики забезпечують безпеку при безпосередньому контакті.

До переваг можна віднести безпечну взаємодію з людьми завдяки вбудованим датчикам та обмеженню зусиль; простоту програмування, зокрема можливість навчання рухам вручну; гнучкість у використанні з можливістю швидкої адаптації до нових завдань; економію простору за рахунок відсутності потреби в захисних огороженнях; а також швидке впровадження у виробничий процес без необхідності масштабних змін інфраструктури. Серед недоліків варто зазначити обмежену вантажопідйомність порівняно з класичними промисловими роботами; знижену швидкість роботи в умовах спільної роботи з людьми; меншу продуктивність у завданнях, що потребують високої швидкості або зусиль; а також відносно високу вартість при застосуванні у великомасштабному виробництві. [23]

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.7 Колаборативний робот

Таблиця 1.1 Види роботів та їх особливості

Тип робота	Механічна структура	Ступені свободи	Робочий простір	Типова вантажопідйомність	Типові застосування
Шарнірний	Послідовні обертові з'єднання	4-6	Великий, гнучкий	Від кількох кг до понад 1000 кг	Зварювання, фарбування, складання, обробка матеріалів, обслуговування машин
Картезіанський	Лінійні призматичні з'єднання	3	Кубічний або прямокутний	Від кількох кг до надважких вантажів	ЧПУ, 3D-друк, різання, складання, переміщення матеріалів
SCARA	Послідовні	4	Циліндрич	До 10 кг	Складання,

	обертові та призматичне з'єднання		ний		переміщення, пакування
Дельта	Паралельні ланки	3-4	Куполоподібний	Низька (до кількох кг)	Високошвидкісне переміщення, сортування, пакування
Циліндричний	Обертове та призматичне з'єднання	3	Циліндричний	Від кількох кг до понад 200 кг	Зварювання, лиття, палетування, нанесення покриттів

Продовження таблиці 1.1

Тип роботи	Механічна структура	Ступені свободи	Робочий простір	Типова вантажопідйомність	Типові застосування
Полярний	Обертові та призматичне з'єднання	3	Сферичний	Середня до високої	Ливарне виробництво, лиття під тиском, зварювання, обробка матеріалів
Колаборативний	Залежить від базової структури (часто шарнірний)	Залежить від базової структури	Залежить від базової структури	Низька до середньої	Переміщення, палетування, контроль якості, обслуговування машин, складання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

19

## 1.2 Багатоцільові промислові роботи види; опис цієї сфери

Промисловий робот (ПР) – автоматизована машина, яка являє сукупність маніпулятора і перепрограмованого пристрою управління для рухомих і управляючих функцій, які замінюють аналогічні функції людини при виробничому процесі. [3]

Багатоцільові промислові роботи мають широке застосування в різних галузях промислової діяльності, демонструючи свою універсальність, невибагливість до робочого місця, високий темп роботи та багаточасові зміни. Тим самим промислові багатоцільові роботи проявляють себе краще на виробництві, особливо в цехах та сферах де потрібна висока точність чим це роблять люди. Демонструючи високу продуктивність та точність, також зменшується відсоток похибок при роботах де важлива точність. На даний момент часу промислові роботи перебирають на себе провідну роль у багатьох сферах виробництва. Таких як:

Автомобільна промисловість, в цій галузі являється однією з найбільших та найдавніших де були інтегровані промислові роботи. Багатоцільові

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

промислові роботи використовуються майже на кожному етапі автомобільного виробництва. Загалом їх застосовують для тяжких робіт, таких як зварювання (точкове та дугове), фарбування, переміщення матеріалів (передача деталей, завантаження/розвантаження верстатів), обслуговування верстатів, видалення матеріалів (обрізка, різання, полірування), герметизація та контроль якості. Наприклад, робот FANUC використовується на заводі для фарбування, зварювання, складання та переміщення матеріалів.[28]



Рис.1.8 ПР FANUC

Електронна промисловість являється другою по обсягу користування та застосування ПР. В цій сфері промислові роботи необхідні через високі вимоги до точності, також висока мініатюризація компонентів. Що змушує використовувати точні способи виконання робіт. Саме застосовують автоматизоване складання компонентів (мікросхем, друкованих плат), встановлення компонентів на друковані плати, поверхневий монтаж (SMT), операції «бери/клади», зварювання, тестування компонентів, контроль якості, автоматизоване загвинчування та кріплення, лазерне маркування та гравірування, складання з використанням систем машинного зору, очищення та

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видалення задирок, нанесення захисного покриття та автоматизоване пакування. У цій галузі використовуються картезіанські, SCARA та шестиосьові артикуляційні роботи, а також коботи.[27]



Рис.1.9 ПР за роботою

В харчовій промисловості роботи підвищують санітарію, продуктивність та якість виконання, також виконують пакування та складають на палети готову продукцію чи сировину. Проводять контроль якості продукції, обробку харчових продуктів (сортування, нарізка, підготовка), санітарну обробку та очищення, обробку та дозування інгредієнтів, сортування та калібрування харчових продуктів, склеювання та герметизацію, переміщення матеріалів, нанесення покриттів, нарізка[17]. Наприклад, роботи Universal Robots (UR10e) використовуються для пакування, обслуговування верстатів та контролю якості.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рис.1.10 Робот Universal Robots (UR10e)



Рис.1.11 Робот Flipru смажить бургери

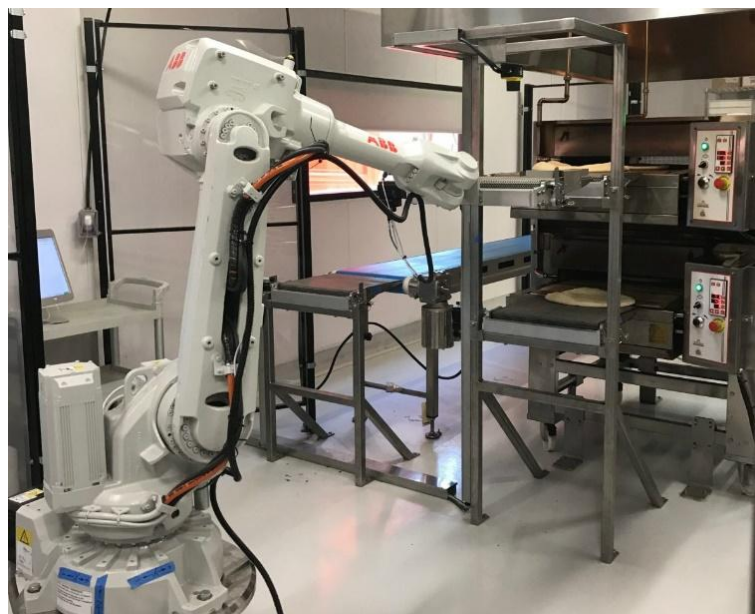


Рис.1.12 Робот Vincenzo від Zume Pizza контролює процес випікання піци.

В логістиці роботи відіграють значну роль у підвищенні ефективності та безпеки складських операцій. ПР виконують комплектування замовлень, пакування, сортування та транспортування товарів. Застосування включає автоматизацію складів (системи «товар до людини»), роботизовані руки для пакування), управління запасами (відстеження в реальному часі), переміщення матеріалів (AGV, AMR), доставку «до дверей» (дрони, автономні транспортні

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

засоби), автоматизовані системи зберігання та видачі (AS/RS), комплектування та пакування, складання та розвантаження палет, сортування, конвеєри, автоматизовані крани, прибирання, маркування, складання коробок та обмотування плівкою. Amazon використовує роботи у своїх центрах виконання замовлень. Існують різні типи складських роботів: AGV, AMR, автоматизовані навантажувачі, сортувальні роботи. [19]



Рис.1.12 Робот AMR

Для сільського господарства роботи використовуються для збирання врожаю, посадки, прополювання та моніторинг посівів за допомогою дронів. Наразі є робот AgBot II, який знищувати бур'яни трьома методами: хімічним, механічним та термічним. Якщо роботу трапляються стійкі до гербіцидів бур'яни, то він видаляє їх за допомогою механічної руки або мініатюрного випалювача. AgBot II сканує бур'яни за допомогою камери та звіряє отримані фото відповідно до фотобазы, в якій містяться фотографії основних видів бур'янів. [2]

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.13 AgBot II

Naio Technologies розробили спеціального робота, що прополює грядки та знищує бур'яни. Цей робот називається Oz. Апарат працює у трьох режимах: автономному, ручному та режимі «стеження». Режим стеження значить, що робот їде за певним об'єктом який лежить у межі видимості. Окрім прополювання та знищення бур'янів він може перевозити малі за вагою та габаритами вантажі, такі як каніста з гербіцидом чи інші.

Робот обладнаний чотирма електродвигунами, потужність яких становить 110 Вт. Заряду роботу вистачає на 7-10 годин роботи, залежно від режиму в якому працює робот. [2]



Рис.1.14 Робот Oz за робочим процесом

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

В будівництві мобільні роботи використовуються для транспортування матеріалів, картографування майданчиків та інспектування.

ПР виконують різні будівельні та монтажні завдання на будівельних майданчиках. З їх допомогою кладуть цеглу, заливають бетон, зварюють арматуру тощо. Промислові роботи досягають точної конструкції та складання завдяки високоточному позиціонуванню, пришвидшують та покращують якість будівництва.[16]



Рис.1.15 ПР для складання мішків

Таким чином, виходячи з даної інформації описаної в цьому підрозділі, ми дізнались основні сфери застосування багатоцільових роботів маніпуляторів та їх різноманіття. В теперішній час неможливо уявити промисловість без роботизації, тому що вона не просто пришвидшує виконання роботи, а й в рази підвищує якість виконання. Надалі ця сфера буде тільки розширюватись та замінити собою людську працю.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

### 1.3 Види захватних пристроїв

Існує велика кількість захватних пристроїв різного типу дії. На багатоцільових роботах маніпуляторах використовуються різні типи захватних пристроїв, також на багатоцільових роботах можна змінювати маніпулятори залежно від області та сфери застосування. За необхідності можливе переобладнання ПР на потрібний тип захвату. Саме тому такі промислові роботи і мають назву багатоцільових, через їх легкість в переобладнанні та широкій сфері застосування.

Захватні пристрої класифікують за характером їхньої дії на об'єкт маніпулювання: механічні, вакуумні, магнітні та інші, що використовують фізико-хімічні властивості об'єкта.[4]

Механічні захватні пристрої використовують прямий фізичний контакт на об'єкт маніпулювання для його захоплення. Вакуумні захвати створюють вакуумний тиск між присоскою та поверхнею об'єкта для його утримання. Магнітні захвати використовують магнітне поле для притягування та утримання феромагнітних об'єктів.

Механічні захватні пристрої ґрунтуються на безпосередньому фізичному контакті та застосуванні сили через губки, пальці або інші механічні елементи для захоплення та утримання об'єктів. Вони відрізняються своєю універсальністю та придатністю для широкого спектра застосувань, включаючи

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробку як легких, так і важких об'єктів. Є такі типи механічних захватів: клинові, важільні, гвинтові, рейкові, еластичні та захвати з диференційованим механізмом приводу губок.[4]

Таблиця 1.2 Схеми розрахунку основних захватних пристроїв

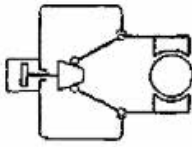
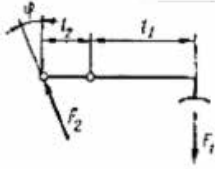
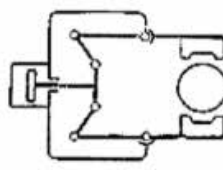
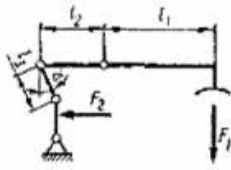
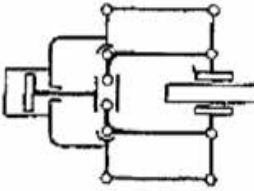
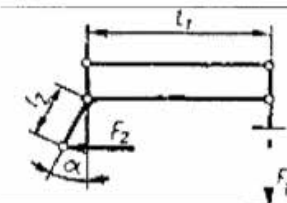
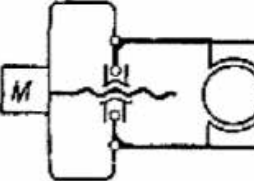
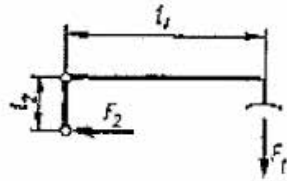
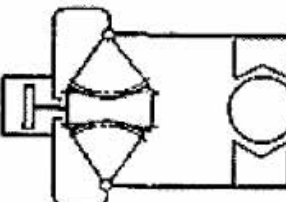
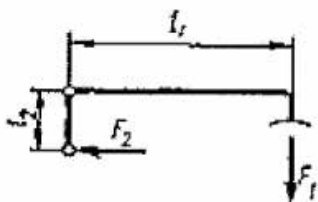
Тип ЗП	Схема ЗП	Розрахункова схема
1	2	3
Клиновий		
Важільний		
Важільний з паралельним переміщенням губок		
Гвинтовий		
Рейковий		



Рис.1.17 Клиновий захватний пристрій

У важільних захватах для приведення в дію губок використовується важільний механізм, що призводить до паралельного або кутового руху. У важільних захватних пристроях з паралельним переміщенням губок механізм перетворюється на лінійний, протилежний руху губок. Важільні захвати з паралельними губками використовуються для обробки об'єктів зі сталими розмірами. Такі маніпулятори використовуються в операціях "бери/клади" та в автоматизованих системах. Паралельними губками захоплюють об'єкти однакової симетричної форми.[4] [25]

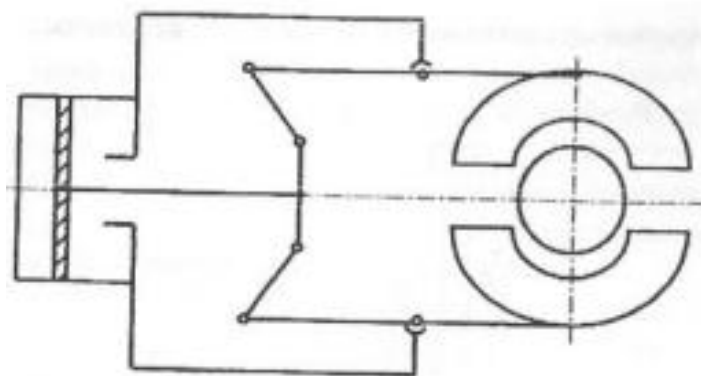


Рис.1.18 Важільний захватний пристрій

Принцип дії вакуумних захватів полягає у створенні вакууму між присоскою захвата та поверхнею об'єкта, який маніпулюється. Добре себе проявляють на плоских та гладких поверхнях, також великим плюсом вакуумних захватів є здатність обробляти делікатні об'єкти без пошкодження. Такі захватні пристрої зазвичай застосовують у галузях пакування, виробництва та обробки крихких матеріалів, таких як скло, пластик та металеві листи. Особливість вакуумного захвату в його делікатності до зовнішньої поверхні об'єкта маніпулювання, саме тому його і використовують для такого типу матеріалів. В деяких сферах такий захватний пристрій використовується замість магнітного, якщо це не являється феромагнітним матеріалом. Широко застосовується в сільськогосподарській сфері для обробки фруктів. Вакуумні

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захватні пристрої забезпечують м'який та ефективний метод обробки об'єктів з гладкими поверхнями, що робить їх корисними в галузях, де важлива цілісність поверхні, таких як електроніка та харчова промисловість. Відсутність прямого контакту з механічними захватними пристроями (такими як клиновий чи інші), це означає відсутність подряпин або вм'ятин на поверхні об'єкта. Вантажопідйомність вакуумних захватів прямо пропорційна величині вакуумного тиску та площі поверхні присоски. Сила дорівнює тиску помноженому на площу. Щоб підіймати важчі об'єкти, необхідно збільшити тиск та площу.[23]

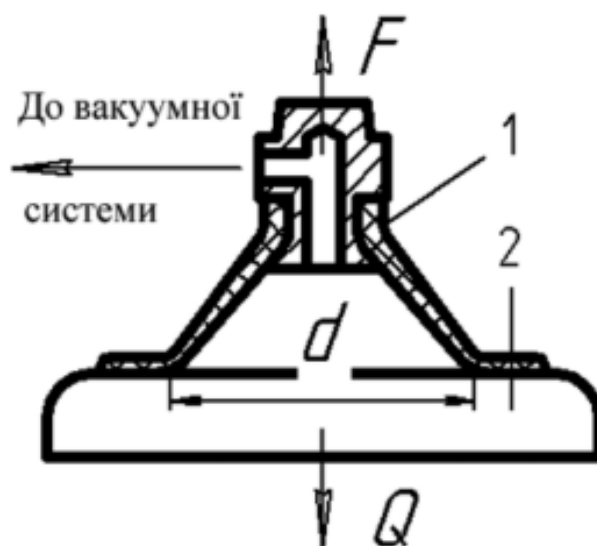


Рис.1.19 Вакуумний захватний пристрій

У загальному випадку розрахунки вакуумних захватів зводиться до забезпечення умови втримання вакуумним захватом об'єкта виробництва:  $F \geq kQ$ , де  $F$  – зусилля підйому, Н;  $k$  – коефіцієнта запасу;  $Q$  – сила ваги  $Q = mg$  (Н), де  $m$  – маса об'єкта виробництва, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Магнітні захвати використовують магнітне поле для притягування та утримання феромагнітних об'єктів. Важливими особливостями є їхня здатність обробляти металеві предмети без фізичного контакту та поширене використання в галузях, пов'язаних з листовим металом та автомобільними

деталлями. Існують різні типи захватів, такі як електромагнітні та постійні магніти. Магнітні захвати дають швидке та надійне рішення для обробки феромагнітних матеріалів, особливо якщо вимагається швидка операція по типу "бери/клади", такі операції використовуються на автомобільних складальних лініях. Магнетизм забезпечує миттєву та велику силу утримання для феромагнітних матеріалів. Ефективність магнітних захватів залежить від феромагнітних властивостей об'єкта, що обробляється. Але це унеможливорює використання такого типу захвату, якщо матеріали не являються феромагнітними. Це сильно обмежує сферу їхнього використання порівняно з іншими типами захватів.[23] [24]

Електромагнітні захвати здебільшого застосовуються для оснащення маніпуляторів промислових роботів, що працюють із обладнанням листоштампувального виробництва. Електромагнітні захвати можуть взаємодіяти тільки з феромагнітними матеріалами, що теж унеможливорює використання на інших не магнітних матеріалах, таких як алюміній. Алюміній обширно використовується в машинобудуванні, особливо у сферах зв'язаних з конструювання автомобілів, а саме алюмінієві корпуси та рами.[23] [24]

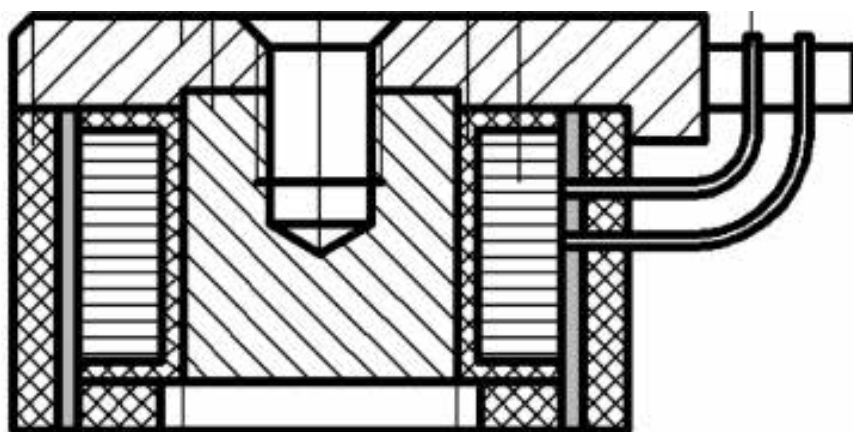


Рис.1.20 Конструкція електромагнітного захвату

Промислові роботи з антропоморфними особливостями використовуються під час виконання технологічних операцій, які потребують рівня мобільності на рівні з людиною. Такі захватні пристрої зазвичай

використовуються в ангулярній системі координат, де відсутні кінематичні ланки поступального руху, а мають місце тільки ланки обертального руху.

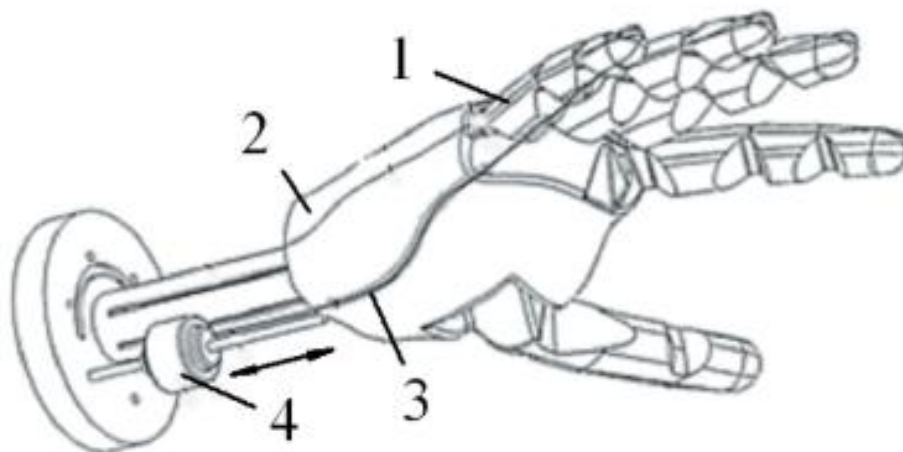


Рис.1.21 Антропоморфна кисть робота

1 – палець; 2 – кисть; 3 – трос; 4 – обертальний блок;

Конструкції антропоморфних захватів мають різноманітні виконання. Представлено один з найефективніших таких захватів. Кисть руки робота для моделювання рук антропоморфних роботів. Пальці і кисті отримують рух через сухожилля у вигляді тросів від двигуна. Такий захват здатний утримувати об'єкти довільної форми. Головний недолік, що кожен з пальців згинається тільки в одній 2D площині. Таким чином, пристрій не може виконувати операції в сферичній системі координат, в якій і працює кисть руки людини.[23]

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

#### 2.1 Технічні характеристики, механізми промислового робота

Вибраний нами багатоцільовий робот-маніпулятор використовується для розвантаження(завантаження) товарів або продуктів вагою до 70 кілограм. Використовується у сільському господарстві, автомобілебудуванні, машинобудуванні на промислових цехах та заводах; виконує функції переміщення, сортування, складання деталей та готової продукції. З технічних параметрів виділимо вантажопідйомність від 12 до 70 кілограм, робоча зона, яка складає 3.1 метра, висока швидкість переміщення; особливостями є тонке зап'ястя та мала площа основи, це забезпечує маневреність та компактність, що в свою чергу сприяє легшій інтеграції у виробничі лінії. Завдяки високій жорсткості конструкції в робота мала похибка при рухах. В даного робота-маніпулятора рівень захисту IP67, що означає високий рівень захисту від зовнішніх чинників, як пил та волога. Робот цієї серії містить малу кількість механічних компонентів, за рахунок цього мінімізуються витрати на запасні частини. Як було зазначено вище, цей робот вирізняється високою жорсткістю, завдяки цьому він дуже добре підходить для робіт де використовуються датчики зусилля, наприклад полірувальні та шліфувальні процеси. В систему інтегровано пневмопривод та електропривод, також є протокол PROFIBUS для підключення ефекторів. Дану модель можна встановити під кутом та, навіть, на стелі завдяки додатковим елементам кріплень, за рахунок цього можна збільшити робочу зону та покращити виробничу зону.[29]

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мельник Б.В			<i>Розрахунок конструкції багатоцільового промислового робота-маніпулятора</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О					34	70
<i>Н. Контр.</i>		Ловеїкін В.С				<b>НУБіП України</b>		
<i>Затверд.</i>								

Існують різні варіації такого робота, заточені під різні умови робота та різний спектр застосування. Різницю модифікацій буде показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Модифікації ПР

Модель	Кількість осей	Вантажопідйомність (кг)	Радіус дії (мм)	Маса (кг)	Примітки
M-710iC/12L	6	12	3123	-	Подовжена рука
M-710iC/20L	6	20	3110	-	Подовжена рука
M-710iC/20M	6	20	2582	530	-
M-710iC/70	6	70	2050	560	Найвища вантажопідйомність у серії
M-710iC/50H	5	20	2003	540	Для пакування та палетування
M-710iC/50E	6	50	2050	-	Зі зміщуваним зап'ястям

В таблиці 2.1 показані деякі з варіацій робота моделі M-710, можна виділити пункт «Примітки», там показані особливості кожного робота цієї серії. Можна зробити висновок, що даний робот-маніпулятор можна використовувати в багатьох сферах виробництва. Саме такі критерії і визначають багатоцільового робота-маніпулятора, можливість переобладнання та переналаштування для певних цілей. [29]

Один такий робот здатний обслуговувати декілька вертикальних або горизонтальних верстатів, це дозволяє знизити кількість агрегатів на промисловому об'єкті та знижує інвестиційні витрати і витрати на обслуговування.

**Working range**

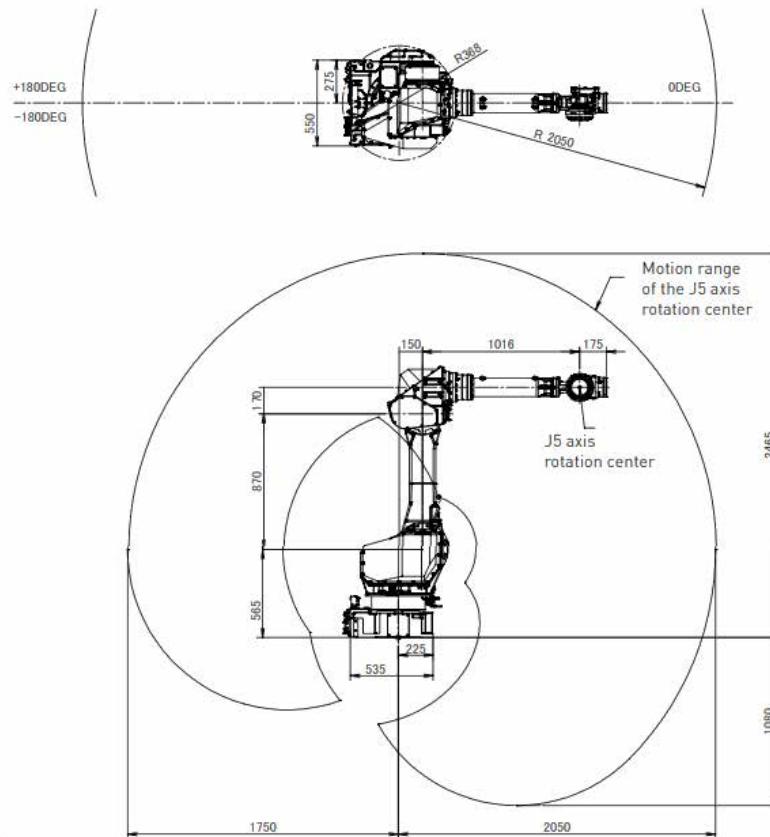


Рис 2.1 Робоча зона робота M-710iC/70

Це шарнірний робот(артикуляційний), що означає його широкий спектр рухів та здатність виконувати рухи в трьох лінійних напрямках, робити обертальні рухи. Також представлено його аксинометричну модель з винесеними його моделями ланок. Та показано кінематику руху по координатах

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

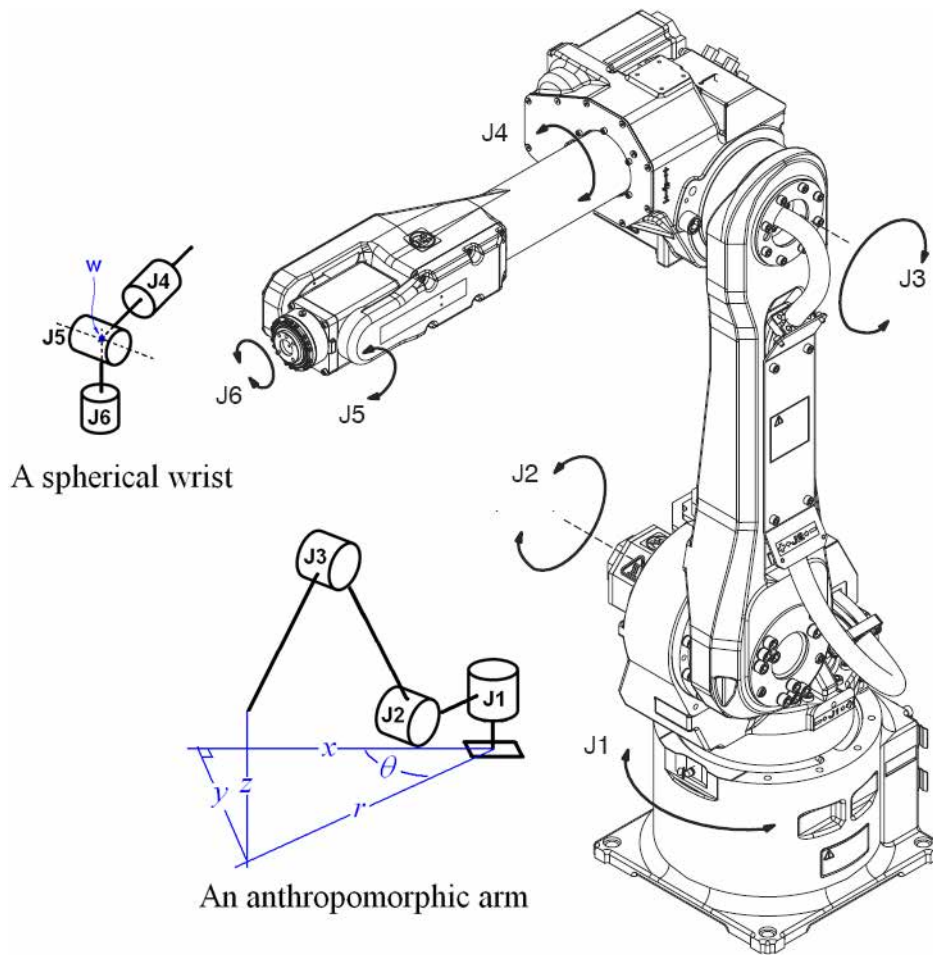


Рис 2.2 Аксинометричне зображення

Як референс розглянемо ще один робот такого типу. Цей багатоцільовий промисловий робот, який використовується для розвантаження міжцехового транспорту. Такий робот використовується для оптимізації розвантажувально-завантажувальних робіт, транспортувальних та обслуговувальних робіт. Цей робот має таку будову: 1 - механічна рука; 2 - поворотний механізм; 3 - механізм вильоту; 4 – поворотний механізм; 5 – підйомний механізм; 6 – механізм обертання кисті; 7 – захватний механізм; 8 - огороження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

37

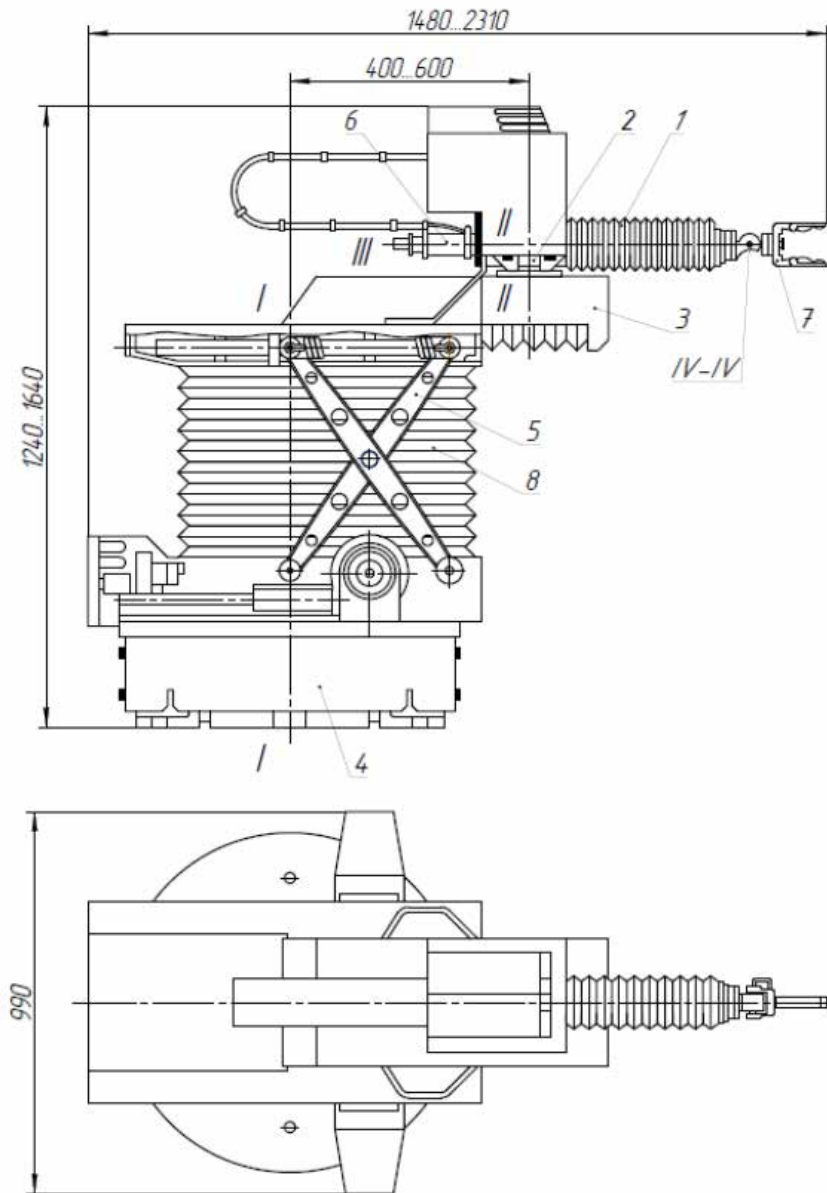


Рис 2.3 Загальний вигляд

Цей робот відрізняється своєю будовою, в нього сферична система координат оскільки це полярний робот. Робочий механізм маніпулятор, який виконує свою роботу в межах робочої зони. Маніпулятор має 4 ступені рухомості які реалізують механізми: повороту відносно осі 2, вильоту 3, підйому 5, повороту відносно вертикальної осі 4.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

38

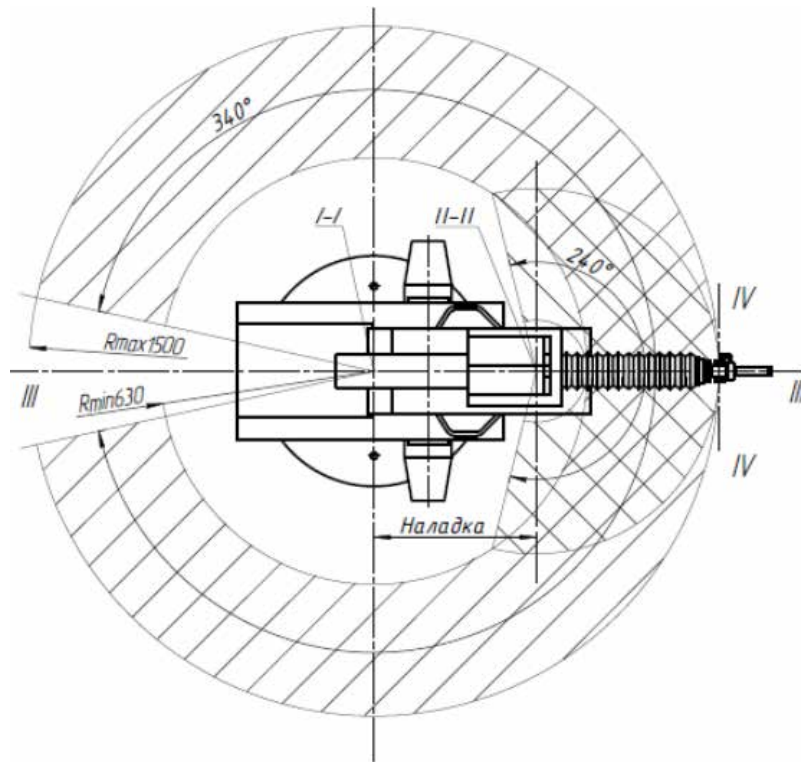


Рис 2.4 Робоча зона

Технічні характеристики наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Характеристики

Назва характеристики	Значення
Вантажопідймальність, кг, не більш	5
Число ступенів рухомості з них:	6
- транспортних (переносних)	4
- орієнтуючих	2
Точність позиціонування, мм	±1
Геометричні розміри робочої зони	див. рис. 2.4
Максимальні величини переміщень:	
- навколо вертикальної осі I-I, град	340
- вздовж осі I-I, мм	400
- вздовж горизонтальної осі III-III, мм	630
- навколо вертикальної осі II-II, град	240
- навколо осі III-III, град	180
- навколо осі IV-IV, град	180
Максимальні швидкості:	
- повороту навколо осі I-I, град/с	84
- вертикального ходу руки, вздовж осі I-I, м/с	0,27
- висування руки, вздовж осі III-III, м/с	1,08
- повороту руки навколо осі II-II, град/с	132
Маса, кг, не більш	690

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

39

До багатоцільового робота можуть кріпитись різного роду захватні пристрої. Механічні, такі як важільний чи клиновий для переміщення об'єктів геометрично правильної форми (симетричні), де потрібні високі адгезійні властивості та надійність зчеплення з об'єктом маніпулювання. В залежності від матеріалу маніпулювання можна використовувати магнітні чи вакуумні захватні пристрої. Магнітні ЗП доцільно використовувати при транспортуванні феромагнітних матеріалів, як листоштампувальні об'єкти. Широко застосовуються в автомобілебудуванні. Вакуумні ЗП використовуються здебільшого в харчовій промисловості через м'який ефект захвату, який базується на створенні вакууму між робочою поверхнею ЗП та поверхнею об'єкта маніпулювання, це забезпечує мінімізацію пошкодження поверхні. Також такий тип захвату доцільно використовувати в електроніці та в роботі з крихкими матеріалами. Оскільки дія вакуумного захвату полягає на присосуванні об'єкта до робочої поверхні, можна виставити необхідну силу притискання щоб мінімізувати шанс пошкодження об'єкта.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Розрахунок основних елементів конструкції багатоцільового робота-маніпулятора

Уточнений розрахунок валу полягає у визначенні його міцності на небезпечних ділянках. Запас міцності  $s$  порівнюють з необхідним значенням  $[s]$ . Міцність рахується дотриманою при  $s \geq [s]$ . Значення  $[s] = 2.5$ . [30]

Матеріал валу використовується – сталь 40Х, проводиться термічна обробка для збільшення межі міцності  $\sigma_g = 930$  МПа. [30].

Коефіцієнт запасу міцності за нормальної напруги:

$$s_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} \cdot \sigma_v + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}, \quad (2,1)$$

$\sigma_{-1}$  – межа витривалості для легованої сталі 425 МПа;

$k_{\sigma}$  – ефект. коеф. концентрації нормальної напруги 1,7;

$\varepsilon_{\sigma}$  – чинник для нормал. напруги 0,82;

$\sigma_v$  – амплітуда циклу норм. напруги;

$\psi_{\sigma} = 0,25$ ;

$\sigma_m$  – при відсутності  $F_a$  приймається 0, середня напруга циклу норм. напр.

Коефіцієнт запасу міцності по дотичній [30]:

$$s_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} \cdot \tau_v + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}, \quad (2,2)$$

$\tau_{-1}$  – 245 МПа, межа витривалості;

$k_{\tau} = 2.65$ , коф. концентрації дотичної напруги;

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\varepsilon_\tau$  - масштабний чинник для дотичної напруги,  $\varepsilon_\tau = 0,70$ ;

$\tau_v$  - амплітуда циклу дотичної напруги;

$\psi_\tau$  - коефіцієнт,  $\psi_\tau = 0,1$ ;

$\tau_m$  - середня напруга циклу дотичної напруги,  $\tau_m = \tau_v$ .

Сумарний момент згину перерізу:

$$M = \sqrt{(R_x^1 \cdot (L - l_2))^2 + (R_y^1 \cdot (L - l_2))^2},$$
$$M = \sqrt{(3423 \cdot (650 - 470))^2 + (1370 \cdot (650 - 470))^2} = 664 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (2.3)$$

Момент згинального опору для з'єднання за допомогою шліца:

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi \cdot d^4 + b \cdot z \cdot (D - d) \cdot (D + d)^2}{32 \cdot D},$$
$$W_{\text{нетто}} = \frac{3,14 \cdot 46^4 + 7 \cdot 8 \cdot (54 - 46) \cdot (54 + 46)^2}{32 \cdot 54} = 10,4 \cdot 10^3 \text{ мм}^3. \quad (2.4)$$

Найбільша амплітуда згину відповідає амплітуді циклу норм. напруги:

$$\sigma_v = \frac{M}{W_{\text{нетто}}},$$
$$\sigma_v = \frac{664 \cdot 10^3}{10,4 \cdot 10^3} = 62,6 \text{ МПа}. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт запасу міцності по норм. напрузі:

$$s_\sigma = \frac{426}{\frac{1,7}{0,82} \cdot 62,6 + 0,25 \cdot 0} = 2,80$$

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент опору кручення для шліца:

$$W_{\text{Кнетто}} = 2 \cdot W_{\text{нетто}},$$

$$W_{\text{Кнетто}} = 2 \cdot 10,4 \cdot 10^3 = 20,8 \cdot 10^3 \text{ мм}^3 \quad (2.6)$$

Амплітуда циклу дотичної напруги:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{T_{II}}{2 \cdot W_{\text{Кнетто}}},$$

$$\tau_v = \tau_m = \frac{169 \cdot 10^3}{2 \cdot 20,8 \cdot 10^3} = 4,06 \quad (2.7)$$

Коефіцієнт запасу міцності по дотичній напрузі:

$$s_\tau = \frac{247}{\frac{2,65}{0,7} \cdot 4,06 + 0,1 \cdot 4,06} = 8,84$$

Коефіцієнт запасу міцності в небезпечних перерізах:

$$s = \frac{s_\sigma \cdot s_\tau}{\sqrt{s_\sigma^2 + s_\tau^2}},$$

$$s = \frac{2,80 \cdot 8,84}{\sqrt{2,80^2 + 8,84^2}} = 2,67 \quad (2.8)$$

Умови  $s \geq [s]$  дотримано  $2,67 \geq 2,5$ . Розміри вала підібрано правильно.

Щоб вибрати підшипники кочення та визначити їх ресурс необхідно врахувати всі експлуатаційні умови та силу навантаження, яку буде прикладено в ході роботи. Від цих параметрів буде залежати їх довговічність та якість роботи.

В ході проектування вибирається необхідний тип підшипника та його номер відповідно до діаметру. Вибраний підшипник має володіти потрібною довговічністю, щоб робити меншу кількість замін за рік експлуатації.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підшипник необхідно підбирати базуючись на типу редуктора, щоб термін експлуатації підшипника не був значно меншим терміну експлуатації редуктора, найкраще щоб ресурс співпадав. Таким чином ми зменшимо кількість замін підшипників.

На основі отриманих даних берем підшипник кочення для валу діаметром 40мм. Для перевірки підшипника візьмемо такі вихідні дані:  $n = 1000$  об/хв;  $F_r = 2500$  Н;  $F_a = 1000$  Н.

Для перевірки візьмемо підшипник середньої серії - №308:

-статична вантажопідйомність  $C_0=22700$  Н;

-динамічна грузопідйомність  $C=31900$  Н;

Приймаємо  $k_\sigma = 1,4$  та  $k_\tau = 1,0$

Так, як  $F_a=1000$  Н, то відношення

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1000}{22700} = 0.044$$

Приймаємо значення  $e = 0.26$

$$\frac{F_a}{V F_r} = \frac{1000}{1 \cdot 2500} = 0,4 > e$$

$V$  – коефіцієнт обертання, при обертанні внутрішнього кільця  $V = 1$ , а при обертанню зовнішнього  $V = 1,2$ .

Приймаємо значення  $X = 0.56$  та  $Y = 1.85$

Еквівалентне динамічне значення:

$$P = (XV F_r + Y F_a) k_\sigma k_\tau \quad (2.9)$$

де  $X, Y$  - коефіцієнт радіальної і осьової навантажень

$k_\sigma$  – коефіцієнт безпеки;

$k_\tau$  – коефіцієнт температури;

$$\text{Отже } P = (0,56 \cdot 1 \cdot 2500 + 1,85 \cdot 1000) \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 4550 \text{ Н}$$

Ресурс в мільйонах обертів:

$$L = (C/P)^3 = (31900/4550)^3 = 350 \text{ (млн. об.)}$$

Разрахункова довговічність в годинах:

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (350 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 5800$$

Це занадто низька довговічність, умови експлуатації не влаштовує. Потрібно замінити на інший підшипник з важкої серії №408:  $C_0 = 37000$  Н,  $C = 50300$  Н.

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1000}{37000} = 0.027$$

Приймаємо значення  $e = 0.22$

$$\frac{F_a}{V F_r} = \frac{1000}{1 \cdot 2500} = 0,4 > e$$

$V$  – коефіцієнт обертання, при обертанні внутрішнього кільця  $V = 1$ , а при обертанню зовнішнього  $V = 1,2$ .

Приймаємо значення  $X = 0.56$  та  $Y = 1.99$

Еквівалентне динамічне значення:

$$P = (0.56 \cdot 12500 + 1.99 \cdot 1000) \cdot 1.4 \cdot 1.0 = 4750 \text{ Н}$$

Розрахована довговічність:

$$L_h = (L \cdot 10^6 / 60 \cdot n) = (1200 \cdot 10^6 / 60 \cdot 1000) = 20000$$

В ході розрахунків було виявлено, що підходить підшипник №408

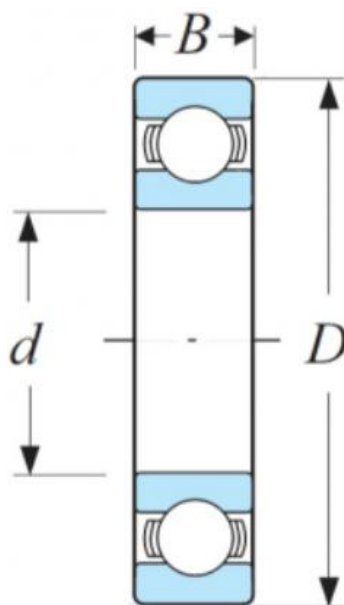


Рис. 2.5 Підшипник 408

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Перевірка шліцьового з'єднання на міцність. Шліцьове з'єднання має більш високу навантажувальну здатність від шпонкового, забезпечує більшу витривалість та зручніші для масового виробництва. Такі з'єднання виходять з ладу внаслідок пошкодження зубів, наприклад зминання, знос, фреттінг-корозія.  $\sigma_{зм}$  – напруження зминання, зминання та знос пов'язані з цим параметром. Перевіримо на міцність шліци валу D – 8x46x54x7.

Перевіримо з'єднання на змикання:

$$\sigma_{зм} = \frac{T}{0,75 \cdot z \cdot A_{зм} \cdot R_{cp}} \leq [\sigma_{зм}] \quad (2.10)$$

$T$  – крутний момент, Н·мм;

$0,75$  – множник, для обліку нерівномірності тиску по шліцах;

$z$  – кількість шліців, 8;

$A_{зм}$  – розрахункова поверхня зминання

$R_{cp}$  – середній радіус, 25мм;

$D$  – зовнішній діаметр, 54мм;

$d$  – внутрішній діаметр, 46мм;

$f$  – фаска шліца, 0.4мм;

$l$  – довжина маточини, 55мм

$[\sigma_{зм}]$  – допустиме напруження зминання, 98 МПа

Розрахункова поверхня зминання:

$$A_{зм} = \left( \frac{D-d}{2} - 2 \cdot f \right) \cdot l \quad (2.11)$$

$$A_{зм} = \left( \frac{54-46}{2} - 2 \cdot 0,4 \right) \cdot 55 = 176 \text{ мм}^2$$

Напруга на зминання:

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{зм} = \frac{169 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 8 \cdot 176 \cdot 25} = 6,4 \text{ МПа}$$

$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}]$  дотримано  $6.4 < 98$ , задовольняє умови міцності.

Вибір та розрахунок гідроциліндра. Знаходимо діаметр циліндра:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{P_{дв} \cdot \varphi}{\pi \cdot (p_{ном} - p_{атм}) \cdot \eta}} \quad (2.12)$$

$p_{атм}$  – атмосферний тиск;

$p_{дв} = p_{ном} \cdot 0.85$  – робочий тиск;

$\eta$  – коеф. тертя, 1.5;

$D$  – діаметр циліндра;

$d$  – діаметр штока;

Попередньо знайшовши діаметр циліндра –  $D = 20$ , відповідно ГОСТ 6540-68 «Гідроциліндри і пневмоциліндри», беремо гідроциліндр з параметрами:  $D = 20\text{мм}$ ,  $d = 12\text{мм}$ .

Відповідно таких параметрів вибираєм гідроциліндр моделі СФ65 20/12/850.

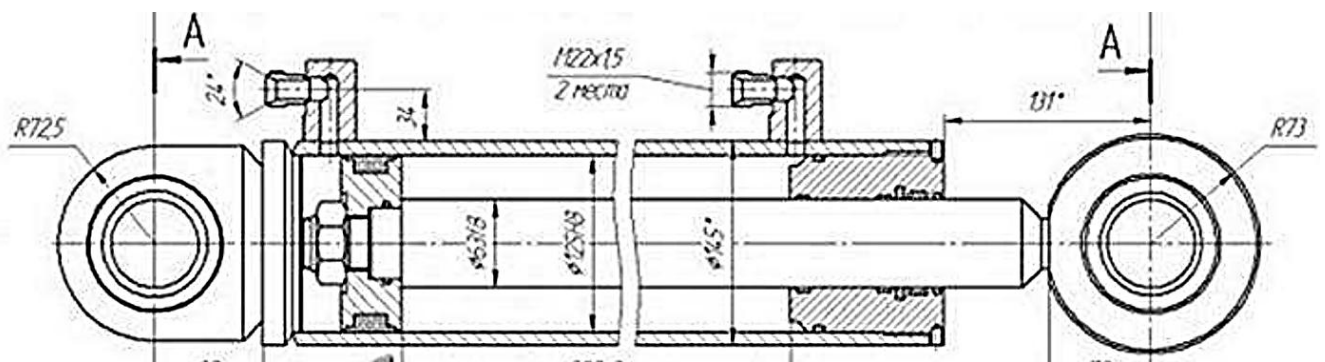


Рис 2.6 Гідроциліндр СФ65 20/12/850

Таблиця 2.2 Основні характеристики гідроциліндра

Номінальний тиск	2 МПа
Максимальний тиск	5 МПа
Зусилля на штоку при штовханні	28 кН

Зусилля на штоку при тягненні	27.5 кН
Швидкість переміщення штока	≤ 0.6 м/с
Передні/задні вушка	підшипник GE30ES

### 2.3 Розрахунок механізму захватного пристрою

Затримуючі сили в захватного пристрою важільного типу є сила тертя. Сила тертя залежить від матеріалу з якого виготовлені губки ЗП та дотичних сил, які виникають в місцях дотику ЗП з деталлю. Значення цих сил знайдем з рівняння кінетостатики.

$$N_i = \frac{mg}{2\mu}, \quad (2.13)$$

$$W_i = N_i, i = 2;$$

$$W_{1,2} = N_{1,2} = \frac{0,368 \cdot 9,8}{2 \cdot 0,12} \approx 15$$

Розрахунок моменту на валу привода, ККД механізмів приймаємо  $\eta = 0,94$  зусилля пружини повороту губок  $q = 20\text{Н}$ ..

$$Q = \frac{2 \cdot W \cdot a \cdot c}{d \cdot (b + c) \cdot \eta} \cdot k \quad (2.14)$$

$$Q = \frac{2 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 5}{6 \cdot (15 + 5) \cdot 0,94} \cdot 1 \approx 4,25$$

Розрахуємо контактні навантаження:

$$\sigma = 0,419 \cdot \sqrt{\frac{N \cdot E_{3\text{в}}^2}{b \cdot d}} \quad (2.15)$$

$$E_{3\text{в}} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{(E_1 + E_2)} \quad (2.16)$$

$E_{3\text{в}}$  – зведений модуль пружності

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$N$  – контактні напруження;  $b$  – ширина губки, 130 мм;  $d$  – діаметр заготовки, 160 мм;  $E_1=21 \cdot 10^5$  МПа,  $E_2=11 \cdot 10^5$  МПа.

$$E_{зв} = \frac{2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 11 \cdot 10^5}{(21 \cdot 10^5 + 11 \cdot 10^5)} = 1,44 \cdot 10^5 \text{ (МПа);}$$

$$\sigma = 0,419 \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 1,44^2 \cdot 10^{10}}{130 \cdot 160}} \approx 459 \text{ (МПа);}$$

$$\sigma \leq [\sigma]_к,$$

$$[\sigma]_к = 500 \text{ МПа;}$$

$$459 \leq 500 \text{ МПа,}$$

Контактне напруження не перевищує допустиме значення.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 3.1 Техніка безпеки промислового робота-маніпулятора

Промисловий робот – це пристрій, який використовується в промисловій сфері, з певним ступенем автоматизації, покладається на власну енергію та здатність керувати для виконання різноманітних складних завдань промислового виробництва. В автоматизованому виробничому процесі спільна робота роботів і людей створює нові фактори та чинники небезпеки.[31]

Необізнаність персоналу про всі аспекти роботи з роботизованими системами легко може спричинити ризики для життя та здоров'я працівників. Не зважаючи на те, що використання промислових роботів підвищує рівень безпеки у виробничому цеху, вони також створюють нові чинники, від яких теж потрібно захиститись. Щоб зробити промислову зону більш безпечною було розроблено нові загальні стандарти безпеки та поведження з промисловими роботами. Більшість загальних стандартів безпеки для промислових роботів вимагають захисний бар'єр, щоб людина не могла потрапити в робочу зону робота без потрібної причини.[31]

Щоб надати належний захист потрібно провести оцінку, щоб визначити потенційні небезпеки, шляхи їх усунення та захисні пристрої, які знадобляться. Існує велика кількість захисних пристроїв для промислових роботів-маніпуляторів, які допомагають убезпечити робочу зону. Найпоширенішими методами захисту працівників виробничого цеху від небезпек створеними промисловими роботами-маніпуляторами являються:

- Огородження – більшість промислових роботів-маніпуляторів обладнані захисним огородженням, щоб робоча зона була закрыта від працівників.

Захищено					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Мельник Б.В				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Кадикало І.О					50	70
Н. Контр.	Ловеїкін В.С				Охорона праці НУБіП України		
Затверд.							

огорожа може мати вигляд клітки або складатися з бар'єрів. Зазвичай вони мають

близько метра заввишки. Такий метод захисту забезпечує мінімізацію випадкових контактів працівників з робочою зоною промислового робота, найпоширеніший метод захисту працівників.

- Завіси – завіси встановлюються навпроти огорожі, щоб запобігти потраплянню сміття та виробничих відходів з робочої зони. Завіси закривають огорожу, запобігаючи потенційним травмам працівників від уламків, що відлітають.

- Екран для захисту від відблисків дуги – це небезпека, характерна для роботизованого дугового зварювання. Світло, що випромінюється дугою під час зварювання, може спричинити серйозні пошкодження очей. Для запобігання цього встановлюється екран, який частково або повністю перекриває випромінювання світла за межі робочої зони.

- Металеві роздільники – також використовуються для захисту працівників від відблисків дуги. Зазвичай вони використовуються, коли роботизована зварювальна система включає в себе індексуєчий стіл. Роздільник встановлюється в центрі столу, щоб заблокувати дугу та зварювальні бризки.

- Килимки з датчиком тиску – килимки використовуються для зупинки роботи шарнірних роботів перед наближенням працівника. Коли працівник ступає на килимок, датчики в килимку виявляють людину і зупиняють роботу робота.

- Зональний сканер – використовує випромінювання створюючи поле. Коли це поле порушується, маніпулятор робота зупиняється. Такий сканер захищає весь робочий простір складального робота.

- E-Stop або аварійна зупинка – це кнопка, зазвичай розташована на станції оператора робочої комірки. При натисканні на неї оператор може негайно зупинити роботу робота.[32]

Прийнятий стандарт GB11291.2 у «Переліку основних небезпек для роботів і роботизованих систем» поділяє наслідки, що можуть відбутися, які

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спричинені небезпечними ситуаціями при роботі на установці, на наступні 10 типів:

1. Механічні небезпеки: здавлювання, зріз, різання або поріз, заплутування, перетягування або захоплення, зіткнення, проколи або проколювання, тертя, знос, впорскування або впорскування рідини/газу під високим тиском.

2. Електрична небезпека: ураження електричним струмом при поганій ізоляції кабелів, опік струмом, розбризкування розплавлених частинок.

3. Термічна небезпека: опіки (гарячі або холодні, можуть бути спричинені в залежності від температури робочої поверхні обладнання).

4. Шумові небезпеки: погіршення слухового апарату, втрата рівноваги, втрата свідомості, дезорієнтація, зменшення концентрації уваги.

5. Небезпека вібрації: втома, нервові розлади, серцево-судинні захворювання.

6. Радіаційні небезпеки: опіки, пошкодження шкіри та очей, пов'язані з ними захворювання.

7. Матеріальні небезпеки: пожежа, хімічні опіки, інгаляційні захворювання.

8. Ергономічні небезпеки: погана постава або надмірні зусилля (повторювана перевтома).

9. Небезпеки, пов'язані з навколишнім середовищем, в якому використовується машина.

10. Багатофакторна небезпека: будь-який інший наслідок поєднання декількох факторів або небезпечної ситуації.[31]

В цей перелік можна включити фактори, які виникають при недотримання вимог охорони праці самим працівником, людський фактор чи недостатнє забезпечення робочої зони потрібними засобами для оптимального виконання праці.[31]

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Техніка безпеки на підприємстві

Підтримання високих стандартів безпеки в промислових умовах критично важливе для запобігання нещасних випадків, травм та забезпечення дотримання нормативних вимог. Дотримання правил техніки безпеки це обов'язкова умова, робиться це для запобігання травматизму під час виконання робіт. Працюючий персонал обов'язково має пройти інструктаж щодо методів роботи. Необхідно щоб обладнання відповідало державним стандартам зокрема ГОСТ 12.2.009-80 та ГОСТ 12.2.029-88. Працювати на несправному обладнанні категорично забороняється, також значна увага приділяється компетентності оператора, вимоги техніки безпеки чітко визначені нормами обов'язковими для виконання користувачами та виробниками робочого обладнання.

Перед початком роботи на токарному верстаті необхідно: одягти засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), спецодяг, перевірити надійність заземлення з корпусом верстата, робоче місце повинне бути прибраним та вільним від будь-яких сторонніх предметів, оглянути заготовки на наявність дефектів та надійно її закріпити, різець необхідно перевірити на гостроту та правильність встановлення, перед початком обробки слід також перевірити роботу верстата на холостому ході. Тип необхідних ЗІЗ може варіюватися залежно від матеріалу обробки (дерево чи метал) та специфікою виконуваної операції. Обов'язок забезпечення та контролю використання відповідних ЗІЗ покладається на роботодавця.

Особлива увага до перевірки заземлення, заземлення забезпечує безпечне відведення струму у разі несправності. Інструменти використовуються виключно за призначенням, подачу інструменту необхідно здійснювати плавно, без надмірного тиску, категорично забороняється нахилитись до обертальних частин верстата, забороняється передавати або брати предмети через працюючий верстат, а також вимірювати оброблювану деталь під час його роботи. Не можна залишати працюючий верстат без нагляду. У разі вимкнення електроенергії слід негайно вимкнути верстат. Очищення верстата від стружки

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

необхідно проводити регулярно при повністю вимкненому верстаті, використовуючи для цього щітку. Перед встановленням заготовки в патрон, його необхідно очистити від стружки та забруднень. Деталь слід надійно закріпити в патроні, слідкуючи, щоб кулачки не виступали за його межі. Для зачистки деталей слід використовувати напилек або шліфувальну шкурку. Після завершення роботи необхідно вимкнути та від'єднати верстат від електромережі. Слід видалити різець та оброблену деталь. Верстат необхідно очистити від стружки та пилу за допомогою щітки, а не продувати або витирати руками. Інструменти слід розмістити на відведених для них місцях. Спецодяг необхідно зняти, а руки вмити. Належне прибирання та зберігання інструментів сприяє організованому робочому середовищу, що в свою чергу покращує продуктивність та безпеку.

У разі виявлення несправності в роботі верстата, затуплення інструменту або проблем із заземленням, слід негайно вимкнути верстат та повідомити керівника. Не можна відновлювати роботу без дозволу керівника. Необхідно знати місцезнаходження аптечки першої допомоги та вогнегасників. У разі пожежі слід негайно повідомити пожежну охорону та вжити заходів для її гасіння наявними засобами. У разі травмування необхідно надати першу медичну допомогу потерпілому та звернутися за медичною допомогою. Навчання з техніки безпеки необхідні для перешкодження неочікуваного травматизму.

Для роботи з фрезерними верстатами користуватись такими ж методами роботи та техніки безпеки, як і при токарному. Їх принцип роботи схожий між собою.

При роботі на складських підприємствах потрібно притримуватись правил техніки безпеки, визначених на підприємстві. Безпечна експлуатація навантажувачів та інших підйомно-транспортного механізмів є необхідною умовою роботи. Необхідно правильно та надійно укласти і закріпити вантаж. Слід використовувати відповідні методи підйому для запобігання травмам при ручному вантаженні. Необхідні належно спроектовані системи стелажів та

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

полиць з чітко позначеними обмеженнями ваги та габаритів. Висота та методи укладання визначені та прораховані, щоб не сталось зсунення чи падіння вантажу зі стелажів. Матеріали, які зберігаються, включаючи небезпечні речовини, чітко марковані та ідентифіковані. Зони зберігання повинні мати належне освітлення. Проходи та пішохідні зони обов'язково мають бути вільними, не заставленими, також необхідні належні знаки безпеки та вказівники. Робочі зони чітко визначені для різного роду робіт. Склад має бути обладнаний засобами пожежогасінням, позначені пожежні виходи та план евакуації, легкозаймисті та горючі матеріали зберігаються належним чином, для працівників проводяться навчання з пожежної безпеки.



Рис3.1 Робоча форма

Робоча форма надається безкоштовно та міняється у визначений період, при необхідності можлива заміна в разі її пошкодження в ході експлуатації. До форми також відноситься головний убір та взуття.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Таблиця 3.1 ЗІЗ для токарних робіт

Професійна назва роботи	Найменування спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту	Позначення захисних властивостей ЗІЗ	Строк носіння (місяців)
Токар-затилувальник	Комбінезон бавовняний з пилонепроникної тканини	ЗМиПн	12
Токар-карусельник	Берет бавовняний з пилонепроникної тканини	ЗПн	12
Токар-напівавтоматник	Черевики шкіряні з гладким верхом і металевим носком	ЗМиМун50	12
Токар-револьверник	Окуляри захисні відкриті		До зносу
	Респіратор пилозахисний		До зносу
Токар-розточувальник	На обробці деталей з рясним охолодженням робочого інструменту скипідаром, гасом, маслом та іншими поверхнево-активними речовинами:		
	Комбінезон віскозно-лавсановий з маслорозводозахисним просоченням	ЗВпНм	12
	Берет віскозно-лавсановий	ЗВп	12
	Черевики шкіряні з гладким верхом і металевим носком	ЗСмМун50	12
	Окуляри захисні закриті		До зносу
	При обробці деталей з магнієвих сплавів:		
	Костюм бавовняний	ЗМи	12
	Берет бавовняний	З	12
	Фартух брезентовий з нагрудником з вогнезахисним просоченням	ТрТо	12
	Черевики шкіряні з гладким верхом	ЗМи	12

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ

Арк.

56

### 3.3 Послідовність дій під час нещасного випадку на підприємстві

При нещасному випадку потерпілий або свідок нещасного випадку повинен негайно повідомити керівника. Керівник або уповноважена особа зобов'язаний негайно організувати надання першої медичної допомоги потерпілому та забезпечити його транспортування до медичного закладу, якщо це необхідно. До прибуття комісії з розслідування необхідно зберегти обстановку, яка була на момент випадку, на місці події та стан машин і обладнання в тому вигляді, в якому вони були на момент нещасного випадку, якщо це не загрожує життю чи здоров'ю інших працівників або не призведе до більш серйозних наслідків чи порушення виробничих процесів. Якщо збереження місця нещасного випадку неможливе, необхідно ретельно задокументувати все за допомогою фото- та відеозйомки. Слід вжити заходів для запобігання подібним випадкам.[34]

Порядок дій при нещасному випадку згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1112:

Роботодавець зобов'язаний протягом однієї години або найближчим часом повідомити про нещасний випадок та надати письмове повідомлення встановленої форми не пізніше наступного робочого дня до:

- Територіального органу Пенсійного фонду України за місцезнаходженням установи.
- Територіального органу Державної служби України з питань праці.
- Керівника первинної профспілкової організації
- Керівника підприємства, на території якого стався нещасний випадок
- Органу державного пожежного нагляду, якщо нещасний випадок стався внаслідок пожежі. [34]

Комісія протягом трьох діб зобов'язана:

- оглянути місце нещасного випадку, отримати пояснення потерпілого, якщо можливо, запитати свідків та осіб, які можуть бути причетні;

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначити умови праці та безпеки, які відповідають вимогам законодавства про охорону праці;
- з'ясувати причини нещасного випадку;
- в'яснити, чи пов'язаний цей випадок з виробничим процесом;
- встановити осіб, які допустили порушення вимог законодавства про охорону праці, розробити відповідні заходи щодо запобіганню подібним нещасним випадкам;
- скласти акт розслідування нещасного випадку за формою Н-5 у трьох примірниках, а також акт про нещасний випадок, який пов'язаний з виробництвом, за формою Н-1 у шести примірниках, якщо цей нещасний випадок визнано таким, що пов'язаний з виробничим, або акт про нещасний випадок, не пов'язаний з виробництвом, за формою НПВ , якщо цей нещасний випадок визнано таким, що не пов'язаний з виробничим, і передати їх на затвердження роботодавцю;
- у разі виявлення гострого респіраторного захворювання (або отруєння), пов'язаного з виробництвом, крім акта форми Н-1 скласти також у чотирьох примірниках карту обліку професійного захворювання (чи отруєння) за формою П-5.[33]

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Розрахунок економічної ефективності використання промислового робота-маніпулятора з урахуванням його експлуатаційних та фінансових характеристик виконується для оцінки ефективності використання обладнання у виробничих умовах. Такий аналіз є критично важливим для любого нововведення, оскільки він дає можливість побачити та прорахувати доцільність інвестицій у роботизацію виробничих процесів, спрогнозувати терміни окупності та визначити потенційний вплив на ключові економічні показники підприємства.

У сучасному виробництві, яке характеризується високою конкуренцією та постійно ростучими вимогами до якості та швидкості виробництва, автоматизація та роботизація стають необхідністю для високоефективної роботи. Впровадження промислових роботів-маніпуляторів дозволяє оптимізувати технологічні процеси, знизити частку ручної праці, підвищити продуктивність та покращити якість роботи за рахунок зменшення похибки. Однак такі покращення потребують значних інвестицій, тому вимагають ретельного економічного обґрунтування.

Метою даного розрахунку економічної частини проекту є визначення економічної ефективності використання промислового робота-маніпулятора для конкретного виробничого процесу. Таблиця 4.1, показує вихідні дані з яких буде проведено економічне обґрунтування. В цій таблиці виокремлено основні технічні та фінансові параметри, необхідні для розрахунку ефективності використання обладнання. Зокрема, у таблиці наведено дані про потужність електродвигуна, що становить 5.1 кВт, а також ймовірну тривалість роботи агрегату на добу – 12 годин.

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мельник Б.В			<i>Техніко-економічні показники</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О					59	70
<i>Н. Контр.</i>		Ловеїкін В.С				<b>НУБіП України</b>		
<i>Затверд.</i>								

Кількість робочих днів на рік визначена на рівні 300, це дозволить точно вирахувати споживану електроенергію. Актуальний тариф на електроенергію становить 4.32 грн за кВт·год.[35]

Таблиця 4.1 Характеристики

Найменування характеристики	Значення
Потужність електродвигуна	5.1 кВт
Тривалість роботи на добу	12 год
Кількість робочих днів на рік	300
Тариф на електроенергію	4.32 грн/кВт·год
Ціна машини	30,000 \$
Курс валюти	40 грн, відносно 1\$
Маса машини	560 кг
Річна зарплата одного працівника	240,000 грн
Кількість заміненних працівників	2
Витрати на ТО та ремонт	5% від вартості обладнання
Термін служби	10 років

З фінансових характеристик можна виокремити такі показники, ціна машини становить 30 000 доларів США, курс валюти на момент розрахунків прийнято, як 40 гривень за один долар. Вага машини, може бути важливою для логістичних розрахунків, становить 560 кг. Для оцінки економії на трудових ресурсах, наведено річну заробітну плату одного працівника – 240 000 гривень, а також кількість працівників, що будуть замінені внаслідок впровадження нового обладнання – 2 особи. Важливим аспектом експлуатаційних витрат є витрати на технічне обслуговування та ремонт, що оцінюються у 5% від загальної вартості обладнання. Також визначено прогнозований термін служби

обладнання, який становить 10 років, який є важливим параметром для розрахунку амортизаційних відрахувань та довгострокової економічної ефективності.[36]

Щоб визначити кількість енергії, яку робот споживатиме протягом року роботи потрібно вирахувати споживання електроенергії (річне). Для розрахунку використовується формула 4.1, яка встановлює залежність річного споживання електроенергії від трьох ключових параметрів: потужності обладнання, тривалості роботи на добу та кількості робочих днів на рік.

Беручи до уваги ці дані введемо безпосередній розрахунок:

$$E_{\text{річне}} = P \cdot T_{\text{доб}} \cdot D \quad (4.1)$$

$$E_{\text{річне}} = 5.1 \cdot 12 \cdot 300 = 18\,360 \text{ кВт/год}$$

де,  $P = 5.1 \text{ кВт}$  — потужність електродвигуна;

$T_{\text{доб}} = 12 \text{ год}$  — кількість годин роботи на добу;

$D = 300 \text{ днів}$  — кількість робочих днів на рік.

Цей показник важливий для визначення експлуатаційних витрат, пов'язаних з використанням електроенергії.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт розраховуються з метою оцінки річних витрат, необхідних для підтримки працездатності робота-маніпулятора та забезпечення його безперебійного функціонування протягом усього терміну експлуатації. Регулярне технічне обслуговування продовжує довговічність обладнання та мінімізує непередбачувані поломки.

Для того, щоб дізнатись фінансові витрати на електроенергію потрібно вирахувати вартість електроенергії (річна):

$$C_{\text{ел}} = E_{\text{річне}} \cdot T_{\text{ел}} \quad (4.2)$$

$$C_{\text{ел}} = 18\,360 \cdot 4,32 = 79\,795,2 \text{ грн}$$

де,  $T_{\text{ел}}$  – тариф на електроенергію.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт розраховуються з метою оцінки річних витрат, необхідних для підтримки працездатності робота-

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маніпулятора та забезпечення його безперервного функціонування протягом усього терміну експлуатації:

$$C_{\text{ТО}} = V_{\text{роб}} \cdot K_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{дол}} \quad (4.3)$$

$$C_{\text{ТО}} = 30\,000 \cdot 0.05 \cdot 40 = 60\,000 \text{ грн}$$

де,  $V_{\text{роб}}$  – вартість машини;

$K_{\text{ТО}}$  – 5% річно;

$K_{\text{дол}}$  – курс долара.

Приведені капітальні вкладення враховують, щоб рівномірно розподілити капітальні інвестиції в обладнання на весь його термін служби, що дозволяє коректно відобразити витрати у собівартості продукції та оцінити амортизаційні відрахування за період експлуатації:

$$A = \frac{V_{\text{роб}} \cdot K_{\text{дол}}}{T_{\text{сл}}} \quad (4.4)$$

$$A = \frac{30\,000 \cdot 40}{10} = 120\,000 \text{ грн}$$

де,  $T_{\text{сл}}$  – термін служби

Річна економія на заміні персоналу є суттєвим економічним ефектом від впровадження автоматизованих систем, оскільки вона безпосередньо відображає зниження постійних витрат підприємства на фонд оплати праці, що вивільняється за рахунок автоматизації небезпечних або однотипних операцій і обчислюється шляхом добутку середньомісячної заробітної плати одного працівника з усіма відрахуваннями, кількості місяців у році та кількості працівників, чії функції повністю або частково бере на себе робот, що дозволяє не лише скоротити чисельність штату на певних ділянках, але й перерозподілити вивільнений персонал на інші завдання, таким чином підвищуючи загальну ефективність використання трудових ресурсів підприємства та значно покращуючи показники чистого прибутку, особливо у довгостроковій перспективі.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахована річна економія на заміні персоналу:

$$E_{\text{пер}} = Z \cdot M \cdot N \quad (4.5)$$

$$E_{\text{пер}} = 20\,000 \cdot 12 \cdot 2 = 480\,000 \text{ грн}$$

де,  $Z$  – зарплата працівників;

$M$  – кількість місяців;

$N$  – кількість змін.

Річний економічний ефект розраховується, щоб обчислити реальний чистий прибуток, який підприємство отримає внаслідок впровадження робота-маніпулятора, враховуючи як ефект від зниження витрат на оплату праці за рахунок заміни персоналу, так і збільшення операційних витрат, пов'язаних з експлуатацією нового обладнання.

Річний економічний ефект становитиме:

$$E = E_{\text{пер}} - C_{\text{ел}} - C_{\text{ТО}} \quad (4.6)$$

$$E = 480\,000 - 79\,795.2 - 60\,000 = 340\,204.8 \text{ грн}$$

Строк окупності, або строк, за який окупляться витрати на роботу є показником для оцінки інвестиційної привабливості проєкту, оскільки він вказує на часовий інтервал, протягом якого зароблені кошти завдяки промислового робота, перевищать початкові капітальні вкладення, оцінити рівень ризику та швидкість повернення інвестованих коштів.

Він становить:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{V_{\text{роб}} \cdot K_{\text{дол}}}{E} \quad (4.7)$$

$$T_{\text{окуп}} = \frac{30\,000 \cdot 40}{340\,204.8} \approx 3.53 \text{ роки}$$

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 Розрахункові характеристики

Показник	Значення
Річне споживання електроенергії	18,360 кВт·год
Річні витрати на електроенергію	79,795.2 грн
Витрати на ТО і ремонт	60,000 грн
Приведені капітальні вкладення	120,000 грн
Річна економія на персоналі	480,000 грн
Річна економія на персоналі	340,204.8 грн
Строк окупності	3.53 роки

Здійснені розрахунки демонструють економічну доцільність впровадження нового обладнання. Було визначено обсяг річного споживання електроенергії, а також відповідні річні фінансові витрати на неї. Також враховані щорічні витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням та необхідними ремонтними роботами. Проаналізовано обсяг приведених капітальних вкладень, що дозволяє оцінити розподіл інвестиції. Визначено значну річну економію, досягнуту за рахунок оптимізації кадрових ресурсів, що є одним із головних чинників підвищення ефективності. На основі цих показників обчислено загальний річний економічний ефект, що відображає чисту вигоду від використання обладнання.

В результаті розрахунку економічно-технічних показників було встановлено строк, за який інвестовані кошти повністю повернуться, підтверджуючи фінансову привабливість проекту.

Економічне обґрунтування використання промислового робота-маніпулятора у виробництві є важливим для оцінки ефективності застосування обладнання. Такий аналіз необхідний для любого проекту, оскільки він дозволяє обґрунтувати інвестиції в покращення виробничого потенціалу,

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

спрогнозувати терміни окупності та оцінити потенційний вплив на економічні показники підприємства.

Впровадження промислових роботів-маніпуляторів дозволяє оптимізувати технологічні процеси, зменшити частку ручної праці, підвищити продуктивність та забезпечити стабільну якість продукції. Проте, значні інвестиції у роботизовані системи потребують ретельного економічного обґрунтування.

Метою техніко-економічних показників є комплексний розрахунок економічної ефективності використання промислового робота-маніпулятора для виробничого процесу. Для цього аналізу використовуються основні технічні та фінансові параметри, такі як потужність електродвигуна, тривалість роботи на добу та кількість робочих днів на рік. Також враховується актуальний тариф на електроенергію. Фінансові дані включають ціну машини, курс валюти, масу обладнання, річну зарплату одного працівника та кількість заміненних працівників. Важливим аспектом є витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також прогнозований термін служби обладнання.

Розрахунки показують річне споживання електроенергії, річні фінансові витрати на неї, а також витрати на технічне обслуговування та ремонт. Приведені капітальні вкладення враховуються для рівномірного розподілу інвестицій на весь термін служби. Значна річна економія досягається за рахунок заміни персоналу, що є одним з найсуттєвіших економічних ефектів.

На основі цих показників обчислюється річний економічний ефект, що відображає чистий прибуток від впровадження робота, враховуючи як економію від зниження витрат на оплату праці, так і збільшення операційних витрат. В результаті аналізу визначається строк окупності, що є критично важливим показником для оцінки інвестиційної привабливості проєкту, оскільки він показує, за який час інвестовані кошти повернуться. Загалом, здійснені розрахунки демонструють ключові аспекти економічної доцільності впровадження нового обладнання та підтверджують фінансову привабливість проєкту.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ВИСНОВОК

В умовах індустріалізації та глобальної автоматизації виробничих процесів використання багатоцільових роботів-маніпуляторів стало важливим фактором підвищення ефективності, продуктивності та безпеки підприємств.

У ході роботи було виконано повний цикл інженерного аналізу та проектування. Проведено огляд існуючих конструкцій промислових роботів-маніпуляторів, розглянуто їх види, функціональність та технічні особливості. Особливу увагу приділено багатоцільовим системам, які мають широкий спектр застосування у промисловості — від складання та пакування до зварювання, фарбування та логістики. Аналіз показав, що універсальність конструкції є вирішальним фактором у впровадженні таких роботів на виробництві.

Далі було виконано ґрунтовний розрахунок конструкції промислового робота. Визначено технічні характеристики, здійснено підбір матеріалів, розраховано навантаження, кінематику, елементи передач та механізми, включно із захватним пристроєм. Це дало змогу сформуванню повноцінну інженерну модель робота, яка відповідає сучасним вимогам надійності, гнучкості та довговічності.

Окремо проаналізовано питання безпеки використання робототехнічних систем. У дипломі висвітлено основні ризики, які виникають під час експлуатації роботів-маніпуляторів, а також заходи щодо їх усунення. Розроблено інструкції з техніки безпеки як для працівників, так і для підприємства загалом, що відповідає чинним нормативним документам.

У техніко-економічному розділі доведено ефективність запропонованої конструкції. Розрахунки підтверджують, що впровадження розробленого робота-маніпулятора дозволяє не лише зменшити виробничі витрати, але й оптимізувати трудові ресурси, зменшити кількість простоїв та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мельник Б.В			<i>Висновок</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Кадикало І.О					66	70
<i>Н. Контр.</i>		Ловеїкін В.С				<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Промислові роботи. *kaf-av*. 03.02.2025. URL: <https://kaf-av.tntu.edu.ua/index.php/mn-abituriient/mn-articles/676-art-industrial-robots>.
2. Олійник О. Роботи в сільському господарстві. *Agronom.com.ua*. 19.05.2019. URL: <https://www.agronom.com.ua/roboty-v-silskomu-gospodarstvi-shho-nas-chekaye-u-majbutnomu/>
3. Промислові роботи. *Studfile.net*. 20.04.2019. URL: <https://studfile.net/preview/7678719/page:42/>
4. Захватні пристрої, їх призначення та алгоритм розрахунку. *Studfile.net*. 05.09.2019. URL: <https://studfile.net/preview/9168017/page:24/>
5. International Federation of Robotics. Industrial Robots. IFR. 2024. URL: <https://ifr.org/industrial-robots>
6. Ertuğrul Y. Introduction to Robotic Manipulators. *Acrome Robotics*. 23.10.2024. URL: <https://acrome.net/post/introduction-to-robotic-manipulators>
7. What is an articulated robot? Facts you should know. *Robotic Automation Systems*. 19.10.2022. URL: <https://www.roboticautomationsystems.com/blog/what-is-an-articulated-robot-facts-you-should-know/>
8. Bernier C. Cartesian Robots: Guide to The Most Scalable Robot Technology. *HowToRobot*. 28.10.2021. URL: <https://howtorobot.com/expert-insight/cartesian-robots>
9. SCARA Robot. *FlexiBowl*. 11.05.2020. URL: <https://www.flexibowl.com/scara-robot.html>
10. FST. Delta robots. 13.04.2025. URL: <https://www.fst.com/markets/robotics/delta-robots/>

					<b>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мельник Б.В			<i>Список використаних джерел</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Кадикало І.О					67	70
Н. Контр.		Ловейкін В.С				<b>НУБіП України</b>		
Затверд.								

11. Standard Bots. Cylindrical Robot: The Best Uses and Applications. 13.04.2025. URL: <https://standardbots.com/blog/cylindrical-robot-the-best-uses-and-applications>
12. Sanderson, L. 5 Types of Industrial Robots. NRTC Automation. 10.11.2021. URL: <https://www.nrtcautomation.com/blog/5-types-of-industrial-robots>
13. International Federation of Robotics. Industrial Robots. 13.04.2025. URL: <https://ifr.org/industrial-robots>
14. Robotnik. What is an industrial robot? Industrial robot definition. 14.03.2022. URL: <https://robotnik.eu/what-is-an-industrial-robot-industrial-robot-definition/>
15. PROBOT Corp. Top 10 Industries Utilizing Robots and Robotics. 13.04.2025. URL: <https://www.probotcorp.com/post/top-10-industries-utilizing-robots-and-robotics>
16. Innovations and applications of industrial mobile robots. Robotnik. 12.09.2024. URL: <https://robotnik.eu/innovations-and-applications-of-industrial-mobile-robots/>. Robotphoenix. Robotics in Food Industry. 13.04.2025. URL: <https://www.rprobotic.com/robotics-in-food-industry.html>
17. Robotphoenix. Robotics in Food Industry. 13.04.2025. URL: <https://www.rprobotic.com/robotics-in-food-industry.html>
18. Shake, M. Ten Popular Industrial Robot Applications. Jabil. 13.04.2025. URL: <https://www.jabil.com/blog/ten-popular-industrial-robot-applications.html>
19. Standard Bots. Logistic robots: 5 key applications and top types. 03.03.2025. URL: <https://standardbots.com/blog/logistic-robots>
20. AML Instruments. Wedge Grips for Tensile Force Testing. 13.04.2025. URL: <https://amlinstruments.co.uk/instrument-type/wedge-grips/>
21. EUROTECH Vacuum Technologies. How Does A Vacuum Gripper Work? 07.04.2023. URL: <https://eurotech-vacuum-technologies.com/how-does-a-vacuum-gripper-work/>
22. Universal Robots. Magnetic Grippers For Manufacturers. 12.02.2021. URL: <https://www.universal-robots.com/blog/magnetic-grippers-for-manufacturers/>

					<i>01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

23. Liska J. REAL-TIME ŘÍZENÍ ROBOTY MELFA POMOCÍ ROS : Rozman Jaroslav, Ing., Ph.D. / Brno University. Brno, 2020. 65 с. URL: <https://theses.cz/id/h42j8p/23758.pdf>.
24. Пелевін Л.Є. Почка К.І Гаркавенко О.М Міщук Д.О Русан І.В СИНТЕЗ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В МАШИНОБУДУВАННІ. Київ, 2016. 41–70 с.
25. Поліщук М.М. Ткач М.М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання. Київ : КПІ, 2021. 113 с.
26. Робочі органи промислових роботів. ЗНУ. Конспект лекцій.
27. Bogue R. The role of robots in the electronics industry. *Emerald*. 22.05.2023. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ir-04-2023-0082/full/html>.
28. The rise of robotics in the auto industry. *IBM*. 10.09.2024. URL: <https://www.ibm.com/think/news/ai-robots-auto-industry>.
29. Серія М-710. FANUC. URL: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8/robot-filter-page/%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F-m-710>.
30. Ловейкін В.С., Рибалко В.М. , Матухно Н.В., Сівак І.М. Курсове проектування приводів транспортуючих та вантажопідійомних машин. К.: НУБІПУ. 2011-305с.
31. Industrial robot safety risk and protection upgrade strategy. Bytorent. 02.12.2024. URL: <https://www.bytorent.net/en/NewsDetail/5375802.html>.
32. Safety Devices for Industrial Robots. Robots Done Right. URL: [https://robotsoneright.com/Articles/safety-devices-for-industrial-robots.html?srsId=AfmBOoqhBl-iASQt39BoUc6x\\_ZbJg6YHHmRvHcPxGiV5\\_DRtH\\_0RViS](https://robotsoneright.com/Articles/safety-devices-for-industrial-robots.html?srsId=AfmBOoqhBl-iASQt39BoUc6x_ZbJg6YHHmRvHcPxGiV5_DRtH_0RViS).
33. ПОРЯДОК розслідування та ведення обліку нещасних випадків. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/8175025>.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

34. Порядок повідомлення про нещасний випадок. Служба Охорони Праці. 08.10.2024. URL: <https://pro-op.com.ua/article/174-poryadok-povdomlennya-pro-neshchasniy-vipadok-na-virobnitstvy>.
35. Тарифи на електроенергію. Yasno. 01.06.2024. URL: <https://yasno.com.ua/b2c-tariffs>.
36. Datasheet M-710. FANUC. URL: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8>.

					01.09-КР.2265"С"2024.12.16.019 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		