

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

_____ Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(підпис) (ПІБ)

— ” _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА)
на тему РОЗРОБКА МАЛОГАБАРИТНОГО МАНІПУЛЯТОРА

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання) _____
(підпис)

Володимир БУЛГАКОВ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ph.D
(науковий ступінь та вчене звання) _____
(підпис)

Олександр СПОДОБА
(ПІБ)

Виконав

_____ Глуздаков Олексій Андрійович
(підпис) (ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

Д.Т.Н., професор _____ Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
— ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
(на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту)**

Глуздакова Олексія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра) **РОЗРОБКА
МАЛОГАБАРИТНОГО МАНІПУЛЯТОРА**

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» грудня 2024 р. №2265 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 2025 травня 23

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра)

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій малогабаритних маніпуляторів
2. Виконати розрахунок приводного механізму ланки малогабаритного маніпулятора
3. Розглянути питання охорони праці
4. Виконати розрахунок економічної ефективності

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вигляд
2. Складальне креслення
3. Креслення деталей

Дата видачі завдання — 7 грудня 2024 р.

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
(Керівник дипломного проєкту бакалавра)**

(підпис)

Олександр СПОДОБА
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Олексій ГЛУЗДАКОВ
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ.....	8
1.1. Основні види системи координат маніпуляторів	8
1.2. Огляд існуючих малогабаритних маніпуляторів	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА	23
2.1. Технічні параметри розроблювального робота-маніпулятора	23
2.2. Вибір крокових двигунів приводу ланок робота-маніпулятора	24
2.3. Вибір пасової передачі для приводу першої ланки робота-маніпулятора	26
2.4. Вибір пасової передачі для приводу другої ланки робота-маніпулятора	28
2.5. Вибір пасової передачі для приводу третьої ланки робота-маніпулятора	30
2.6. Вибір пасової передачі для приводу четвертої ланки робота-маніпулятора	33
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
3.1 Безпека обладнання.....	36
3.2 Безпека конструкції та окремих її частин	36
3.3 Безпека системи керування	37
3.4 Безпека органів управління	38
3.5 Електробезпека	38
3.6 Захист електричних мереж	39

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>					
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата						
Розроб.	Глуздаков О.А.				<i>Зміст</i>			Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Сподоба О.О.							3	51	
Н. контр.					<i>НУБіП України</i>					
Затверд.										

3.7	Безпека при транспортуванні та зберіганні	39
3.8	Вимоги безпеки до професійного відбору	40
3.9	Пожежна безпека	40
3.10	Екологічна безпека	41
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ		42
4.1	Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення	42
4.2	Розрахунок витрат на амортизацію обладнання	45
4.3	Розрахунок заробітної плати	46
4.4	Кошторис витрат на розробку малогабаритного робота-маніпулятора	47
ВИСНОВКИ.....		48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		49
ДОДАТКИ		

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра, тема якої: “Розробка малогабаритного маніпулятора” складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на п'ятдесяти одній (51) сторінці друкованого тексту, одинадцяти (11) рисунків, сімнадцяти (17) таблиць, висновків, двадцяти шести (26) літературних джерел і додатків до графічної частини.

В першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто конструкції існуючих прототипів світових виробників малогабаритних маніпуляторів. Наведено їх характеристики.

В другому розділі роботи проведено розрахунок по вибору крокових двигунів. Розраховано основні силові та геометричні параметри зубчастої пасової передачі.

В розділі охорона праці розглянуто вимоги до безпечної роботи із маніпуляторами, а саме вимоги до безпеки використання різних матеріалів в конструкції маніпулятора, вимоги під час монтажу та ремонту, вимоги безпеки під час транспортування та зберігання та вимоги щодо пожежної безпеки.

Також в бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок економічної ефективності розробки нової конструкції малогабаритного маніпулятора.

Ключові слова: маніпулятор, механізм, безпека, точність, ефективність, серводвигун, система координат, привод.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					<i>5</i>	<i>51</i>
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБіП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи "Розробка малогабаритного маніпулятора" зумовлена стрімким розвитком сучасних технологій та зростанням потреби в автоматизації виробничих процесів, логістики, медицини, а також побутової сфери. В умовах глобалізації та підвищення конкурентоспроможності, підприємства прагнуть до впровадження ефективних і гнучких рішень, здатних оптимізувати операційні витрати, підвищити продуктивність та якість продукції. Малогабаритні маніпулятори, завдяки своїм компактним розмірам, високій точності та адаптивності, є одним з ключових елементів у досягненні цих цілей.

Традиційно, промислові роботи-маніпулятори були громіздкими та енергоємними, що обмежувало їх застосування у вузькоспеціалізованих сферах. Проте, з появою нових матеріалів, мініатюрних приводів та інтелектуальних систем керування, відкрилися широкі перспективи для розробки малогабаритних маніпуляторів. Ці пристрої здатні виконувати складні операції в обмеженому просторі, забезпечуючи при цьому високу точність та швидкість. Вони стають незамінними для таких завдань, як складання мікроелектронних компонентів, виконання хірургічних операцій, інспекція важкодоступних об'єктів, а також для розробки персональних роботів-помічників.

Сучасний ринок пред'являє до малогабаритних маніпуляторів високі вимоги щодо їх функціональності, надійності, безпеки та економічної ефективності. Збільшується попит на коботів (співпрацюючих роботів), які можуть безпечно працювати поруч з людиною, що вимагає вдосконалення систем штучного зору, тактильних сенсорів та адаптивного керування. Розвиток технологій 3D-друку та аддитивного виробництва відкриває нові можливості для створення легких та міцних конструкцій маніпуляторів з

					<i>01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ</i>			
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>			<i>Вступ</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					<i>6</i>	<i>51</i>
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБІП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

інтегрованими функціями. Водночас, існують виклики, пов'язані з розробкою універсальних платформ, програмуванням складних рухів, забезпеченням енергоефективності та зниженням вартості виробництва.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка концепції та прототипу малогабаритного маніпулятора, що відповідає сучасним вимогам до компактності, точності та функціональності. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

Проаналізувати існуючі архітектури та кінематичні схеми малогабаритних маніпуляторів.

Вибрати оптимальну конструктивну схему, враховуючи вимоги до робочого простору та вантажопідйомності.

Розробити механічну частину маніпулятора з використанням сучасних методів проектування та матеріалів.

Вибрати та обґрунтувати вибір приводів, сенсорів та системи керування.

Розробити програмне забезпечення для керування маніпулятором та реалізації заданих функцій.

Провести моделювання та симуляцію роботи маніпулятора для оцінки його кінематичних та динамічних характеристик.

Здійснити експериментальну перевірку працездатності розробленого прототипу.

Практична значущість роботи полягає у створенні основи для подальших досліджень та розробок у галузі малогабаритних робототехнічних систем. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні нових поколінь промислових та сервісних роботів, а також у навчальному процесі для підготовки фахівців з робототехніки. Розроблений маніпулятор може знайти застосування в науково-дослідних лабораторіях, освітніх установах, а також стати прототипом для комерційних рішень у різних галузях.

Ця робота стане важливим внеском у розвиток вітчизняної робототехніки та сприятиме інтеграції передових технологій у промисловість та повсякденне життя.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ

1.1. Основні види системи координат маніпуляторів

Декартівський робот-маніпулятор (лінійний робот).

Декартів робот (рис. 1.1) за конструкцією схожий на мостовий кран з трьома осями руху, має високу вантажопідйомність і точність. У декартовому роботі осі перпендикулярні одна одній, і робот рухається вздовж них по прямій лінії, звідси й друга назва лінійний. Такі роботи використовуються для переміщення матеріалів, завантаження та розвантаження машин, палетування, зварювання та складання виробів.



Рис. 1.1. Декартівський робот (лінійний робот)

Переваги:

					<i>01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ</i>			
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					<i>8</i>	<i>51</i>
<i>Н. контр.</i>						<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

- Він забезпечує високу точність позиціонування.
- Його простота значно полегшує роботу.
- Програмувати набагато простіше.
- Він легко налаштовується, що робить його ідеальною машиною, коли ви хочете перейти на інші завдання.
- Він може витримувати великі навантаження.
- Виробляти його набагато дешевше.

Недоліки

- Через свої розміри та діапазон переміщень вимагає великої робочої та монтажної площі.
- Наскільки він простий у експлуатації, настільки складний його монтаж.
- Він може рухатися лише в одному напрямку за один раз.

Циліндричний робот-маніпулятор.

Циліндричні роботи (рис. 1.2) мають один шарнір, що обертається, в основі і ще один призматичний шарнір, що з'єднує чорнило. Вони мають циліндричний робочий простір, звідси і їхню назву, що поставляється з поворотним валом і висувною роботизованою рукою, яка переміщується шляхом ковзання по вертикалі. Цей унікальний рух дозволяє роботам здійснювати як вертикальні, і горизонтальні руху.

Рука також спроектована таким чином, щоб робот міг досягати вузьких робочих зон без втрати швидкості або повторюваності. Циліндричні роботи ідеально підходять для завдань, пов'язаних із збиранням матеріалів із землі, завдяки їх передовим технологіям підібрати та помістити роботизовану руку.

Переваги:

- Прості в експлуатації та монтажі.
- Вимагають мінімальних налаштувань для початку роботи.
- Мають велику досяжність.
- Потребують дуже мало місця для монтажу.
- Витримують великі навантаження.

Недоліки:

- Мають низький рівень точності.
- Обмежена робоча зона;
- Робот обмежений у способах маніпулювання об'єктами, він може переміщувати їх з однієї площини в іншу, проте не може їх обертати.



Рис. 1.2. Циліндричний робот-маніпулятор

Полярні роботи.

Полярні роботи (рис. 1.3) зроблені з зчленування, що обертається, яке з'єднує руку з основою, і двох обертових зчленувань плюс одне лінійне зчленування. Через їх сферичну робочу зону полярні роботи також називаються сферичними роботами. Ще однією унікальною особливістю конструкції цих роботів є їх центральний обертовий вал і висувна роботизована рука, що обертається та покриває дуже великий обсяг простору при роботі.

Переваги:

- Мають великий радіус дії та можуть повертатися на 360 градусів.

					<i>01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		10

- Мають велику робочу зону.

Мінуси

- Мають обмежену вертикальну досяжність.

- Мають низьку точність та повторюваність рухів.



Рис. 1.3. Полярний робот

Шарнірний робот.

Шарнірні роботи (рис. 1.4.) є найпоширенішими типами промислових роботів. Їх маніпуляційна система виконана у вигляді руки людини, з'єднаної в суглобі шарніром, що скручується. Ланки в руці з'єднані один з одним поворотними шарнірами, яких зазвичай буває від двох до десяти.

Зчленування забезпечують свободу руху, дозволяючи маніпуляційній системі робота повертатись у будь-якому напрямку без застрягання. Підсумовуючи, можна сказати, що шарнірні маніпуляційні системи роботів в

більшості випадків мають шість зчленувань, що робить їх гнучкими з усіх промислових робіт.



Рис. 1.4. Шарнірний робот

Переваги:

- Висока швидкість переміщення ланок.
- Висока точність переміщення ланок.
- Висока точність повторюваності рухів.
- Одночасне переміщення ланок.
- Висока маневреність за рахунок великої кількості ланок.

Недоліки:

- Складне програмування.
- Складна кінематична структура робота.
- Висока вартість.

Робот SCARA

Роботи SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) – це високоточні та високошвидкісні промислові роботи з чотирма осями руху (рис. 1.5). Суглоби робота рухаються в горизонтальній площині вздовж трьох осей, а інструмент лінійно рухається вгору та вниз вздовж четвертої осі. Роботи SCARA використовуються на високошвидкісних виробничих лініях для складання, переміщення матеріалів та пакування.

Переваги:

- Висока швидкість і точність.
- Компактні розміри.

Недоліки:

- Обмежена робоча зона.
- Низька вантажопідйомність.
- Робот не може крутити та перевертати предмет.



Рис. 1.5. Робот SCARA

Робот Дельта

Дельта-робот (рис. 1.6), також відомий як паралельний робот та робот-павук, — це промисловий робот, що складається з трьох важелів, прикріплених до основи та утримуючих інструмент робота паралельно до основи. Дельта-роботи бувають з 3, 4 та 6 осями. 3-осьові дельта-роботи можуть переміщувати об'єкт з однієї площини в іншу, паралельну першій, а роботи з великою кількістю осей здатні перевертати об'єкти та захоплювати їх з різних боків. Дельта-роботи використовуються на високошвидкісних виробничих лініях для пакування, складання та сортування.

Переваги:

- Висока швидкість і точність.
- Займає мало місця.

Недоліки:

- Обмежена робоча зона.
- Низька вантажопідйомність.



Рис. 1.6. Робот Дельта

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ

Лист

14

1.2. Огляд існуючих малогабаритних маніпуляторів

Для розробки конструкції малогабаритного робота маніпулятора розглянемо характеристики роботів ведучих світових виробників. Та виберемо найбільш підходящий варіант для розробки робота-маніпулятора.

Робот MOTOMAN GP4 – найменший 6-осьовий робот у модельному ряді серії GP від компанії Yaskawa, який пропонує високу продуктивність для широкого спектру застосувань, таких як гнучке маніпулювання, обслуговування верстатів та складання, з корисним навантаженням до 4 кг (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Робот MOTOMAN GP4

Високий клас захисту IP67 дозволяє використовувати його для

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

обслуговування верстатів з ЧПУ навіть у суворих умовах навколишнього середовища, а його невеликий розмір та компактна конструкція дозволяють встановлювати його навіть у найвужчих просторах [2].

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики робота MOTOMAN GP4

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
1.	Кількість ступенів вільності	–	6
2.	Максимальна вантажопідйомність	кг	4
3.	Похибка позиціонування	мм	±0,01
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	550
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	±170
7.	JT2	град.	+130/-110
8.	JT3	град.	+200/-65
9.	JT4	град.	±200
10.	JT5	град.	±123
11.	JT6	град.	±455
12.	Швидкість переміщення ланок		
13.	JT1	град/с	465
14.	JT2	град/с	465
15.	JT3	град/с	525
16.	JT4	град/с	565
17.	JT5	град/с	1000
18.	JT6	град/с	6
19.	Маса промислового робота	кг	28
20.	Температура навколишнього середовища	°С	0 – 45
21.	Вологість навколишнього середовища	%	20 – 80
22.	Споживана потужність	кВт	0,8

Роботи серії R від компанії Kawasaki (рис. 1.8).встановлюють новий стандарт для всіх промислових роботів малого та середнього рівня. Компактний дизайн, а також провідна в галузі швидкість, радіус дії та робочий діапазон роблять роботи серії R ідеальними для широкого спектру застосувань у безлічі різноманітних галузях промисловості [3].



Рис. 1.8. Робот Kawasaki RS005N

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики робота Робот Kawasaki RS005N

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
1.	Кількість ступенів вільності	–	6
2.	Максимальна вантажопідйомність	кг	5

Продовження таблиці 1.2.

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
3.	Похибка позиціонування	мм	±0,02
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	705
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	±180
7.	JT2	град.	+135/-80
8.	JT3	град.	+118/-172
9.	JT4	град.	±360
10.	JT5	град.	±145
11.	JT6	град.	±360
12.	Швидкість переміщення ланок		
13.	JT1	град/с	360
14.	JT2	град/с	360
15.	JT3	град/с	410
16.	JT4	град/с	460
17.	JT5	град/с	460
18.	JT6	град/с	740
19.	Маса промислового робота	кг	34
20.	Температура навколишнього середовища	°С	0 – 45
21.	Вологість навколишнього середовища	%	35 – 85
22.	Споживана потужність	кВт	1,2

Робот Fanuc LR Mate 200iD/4S (рис. 1.9). надзвичайно компактний 6-осьові робот з короткою рукою розроблений спеціально для обмеженого робочого простору. Як і всіх інших роботів лінійки LR Mate, їх можна інтегрувати з інтелектуальними системами (наприклад, системами зору та датчиками зусилля), а також оснащувати додатковим обладнанням [4].



Рис. 1.9. Робот Fanuc LR Mate 200iD/4S

Таблиця 1.3.

Технічні характеристики робота Робот Kawasaki RS005N

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
1.	Кількість ступенів вільності	–	6
2.	Максимальна вантажопідйомність	кг	4
3.	Похибка позиціонування	мм	$\pm 0,01$
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	550
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	360

Продовження таблиці 1.3.

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
7.	JT2	град.	230
8.	JT3	град.	402
9.	JT4	град.	380
10.	JT5	град.	240
11.	JT6	град.	720
12.	Швидкість переміщення ланок		
13.	JT1	град/с	460
14.	JT2	град/с	460
15.	JT3	град/с	520
16.	JT4	град/с	560
17.	JT5	град/с	560
18.	JT6	град/с	900
19.	Маса промислового робота	кг	20
20.	Температура навколишнього середовища	°С	0 – 45
21.	Вологість навколишнього середовища	%	35 – 85
22.	Споживана потужність	кВт	0,5

Усі промислові роботи, контролери ЧПК та верстати FANUC мають спільну платформу керування. Це означає, що роботи, що використовуються для завантаження та розвантаження, можуть бути швидко та легко інтегровані у ваші концепції верстатів.

Верстат і робот можуть бути легко підключені один до одного через інтерфейс FANUC.

У контролері ЧПК передбачені екрани для моніторингу та керування роботом і навпаки [4].

6-осьовий KR 3 AGILUS (рис. 1.10) – ідеальний робот для виробництва дрібних деталей або для виконання будь-яких із наступних завдань, що потребують корисного навантаження 3 кг: захоплення та розміщення, закріплення гвинтами, пайка, клейове склеювання, упаковка, тестування та перевірка, та багато іншого. Крім того, робот KR 3 R540 компактний, має радіус дії 541 мм та ідеально працює в обмежених просторах або автоматизованих комірках розміром 600 x 600 мм.



Рис. 1.10. Робот-маніпулятор Kuka KR3 AGILUS

Таблиця 1.4.

Технічні характеристики робота-маніпулятора Kuka KR3 AGILUS

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
1.	Кількість ступенів вільності	–	6
2.	Максимальна вантажопідйомність	кг	3
3.	Похибка позиціонування	мм	±0,02
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	541

Продовження таблиці 1.3.

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	±170
7.	JT2	град.	-170/+50
8.	JT3	град.	-110/+155
9.	JT4	град.	±175
10.	JT5	град.	±120
11.	JT6	град.	±350
12.	Маса промислового робота	кг	26,5
13.	Температура навколишнього середовища	°C	5 – 45
14.	Вологість навколишнього середовища	%	20 – 80
15.	Споживана потужність	кВт	0,8

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА- МАНІПУЛЯТОРА

2.1. Технічні параметри розроблювального робота-маніпулятора

Розроблювальний робот-маніпулятор призначений для перенесення невеликих вантажів в сільському господарстві, а саме може використовуватись як робот для вирощування розсади. В таблиці 2.1. наведено технічні характеристики розроблювального робота.

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики розроблювального робота-маніпулятора

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
1.	Кількість ступенів вільності	—	4
2.	Максимальна вантажопідйомність	кг	3
3.	Похибка позиціонування	мм	±0,1
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	585
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	±360
7.	JT2	град.	-160/+65
8.	JT3	град.	-50/+190
9.	JT4	град.	±125
10.	Маса промислового робота	кг	15
11.	Температура навколишнього середовища	°C	0 – 45
12.	Вологість навколишнього середовища	%	35 – 85
13.	Споживана потужність	кВт	0,5

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Глуздаков О.А.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сподоба О.О.</i>					23	51
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБіП України</i>		
<i>Затверд.</i>					<i>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА</i>		

Вимоги до конструкції.

1. Конструкція електроавтоматики робота-маніпулятора повинна складатися з таких частин: шафа електроавтоматики; кабельне розведення до елементів управління.

2. Управління всіма механізмами має здійснюватися від пульта управління, саме від персонального комп'ютера з налаштованим програмним забезпеченням.

3. Конструкція робота-маніпулятора повинна забезпечувати його монтаж та ремонт вузловим методом.

4. Для здешевлення виробу в якості приводних двигунів ланок маніпулятора в конструкції використано крокові двигуни.

5. В якості приводних механізмів використано зубчасту пасову передачу. Виходячи із конструктивних особливостей, технічних умов роботи зубчатої передачі та ряду стандартних зубчатих шківів обрано наступні передаточні числа для приводних механізмів ланок:

- JT1 одноступінчаста передача $U1 = 6,75$;
- JT2 двоступінчаста передача $U2 = 15$;
- JT3 двоступінчаста передача $U3 = 12$;
- JT4 двоступінчаста передача $U4 = 6,86$.

2.2. Вибір крокових двигунів приводу ланок робота-маніпулятора

Схема розміщення ланок робота –маніпулятора наведена на рис. 2.1.

Вибір крокового двигуна для четвертої ланки робота:

$$JT4 = \frac{m_g \cdot L_4 \cdot g}{U4}, \quad (1)$$

де: m_g - маса вантажу, кг; L_4 - довжина вільноти ланки, м; $U4$ -передаточне відношення; g - прискорення вільного падіння.

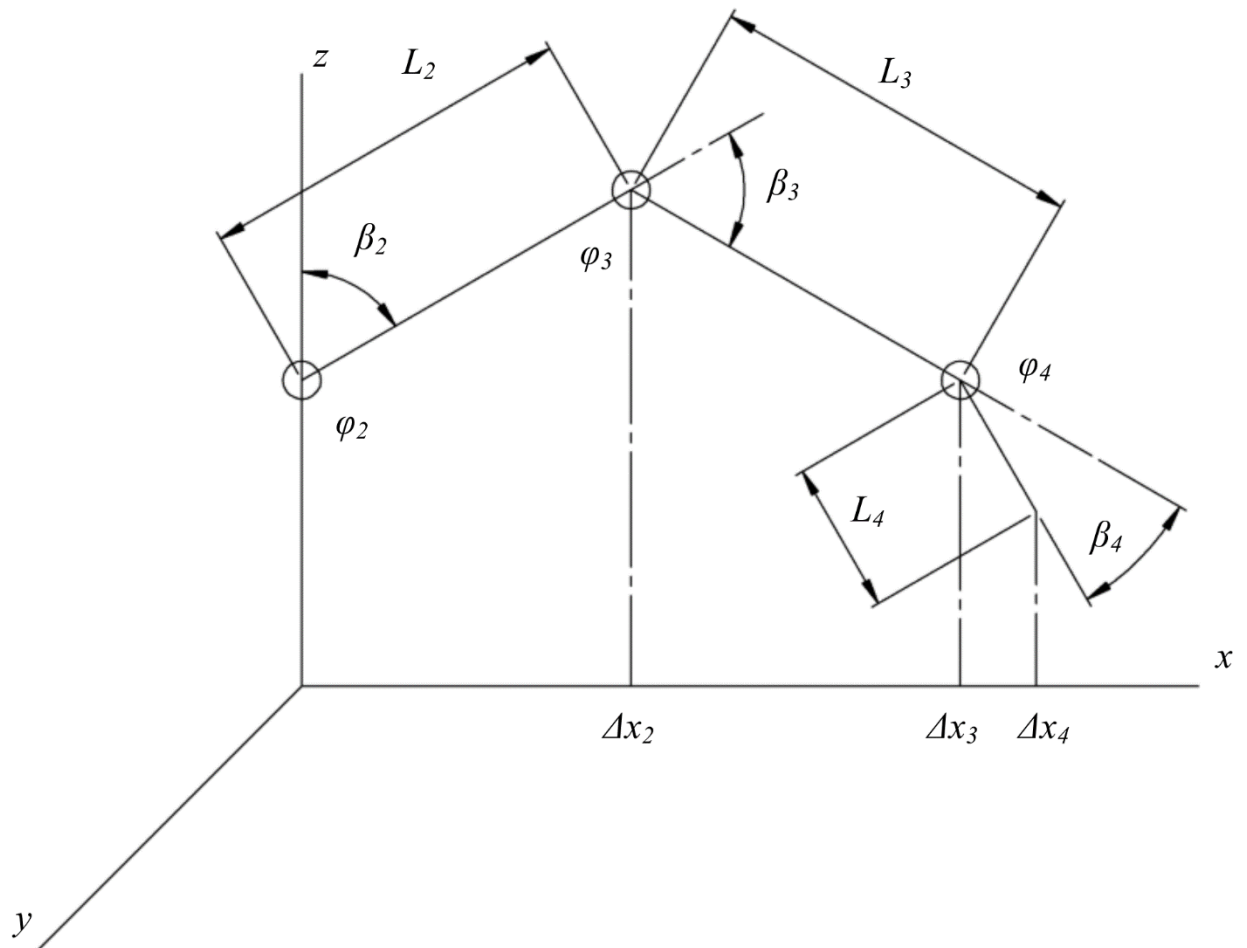


Рис. 2.1. Схема розміщення ланок робота –маніпулятора

$$JT4 = \frac{3 \cdot 0,14 \cdot 9,81}{6,75} = 0,6 \text{ Нм}$$

Обираємо кроковий двигун 42АМ08

Вибір крокового двигуна для третьої ланки робота:

$$JT3 = \frac{(m_e + m_4) \cdot \frac{L_3 + L_4}{2} \cdot g}{U3}, \quad (2)$$

де: m_e - маса вантажу, кг; m_4 - маса четвертої ланки, кг; L_3 - довжина вільоту третьої ланки, м; L_4 - довжина вільоту четвертої ланки, м; $U3$ - передаточне відношення; g - прискорення вільного падіння.

$$JT3 = \frac{(3 + 2) \cdot \frac{0,22 + 0,14}{2} \cdot 9,81}{12} = 0,7 \text{ Нм}$$

Обираємо кроковий двигун 42АМ08

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Вибір крокового двигуна для другої ланки робота:

$$JT2 = \frac{(m_6 + m_4 + m_3) \cdot \frac{L_2 + L_3 + L_4}{2} \cdot g}{U2}, \quad (3)$$

де: m_6 - маса вантажу, кг; m_4 - маса четвертої ланки, кг; m_3 - маса третьої ланки, кг; L_2 - довжина вільоту другої ланки, м; L_3 - довжина вільоту третьої ланки, м; L_4 - довжина вільоту четвертої ланки, м; $U2$ - передаточне відношення; g - прискорення вільного падіння.

$$JT2 = \frac{(3 + 2 + 2,5) \cdot \frac{0,225 + 0,22 + 0,14}{2} \cdot 9,81}{15} = 1,43 \text{ Нм}$$

Обираємо кроковий двигун FL57STH76-2804A

Характеристики обраних крокових двигунів наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики крокових двигунів приводу ланок

Вісь	Модель	Струм, А	Крутний момент Нм	Кутовий крок, град.
JT1	FL57STH76- 2804A	2,8	1,89	1.8
JT2	FL57STH76- 2804A	2,8	1,89	1.8
JT3	42AM08	2,5	0,8	1.8
JT4	42AM08	2,5	0,8	1.8

2.3. Вибір пасової передачі для приводу першої ланки робота-маніпулятора

Використовуючи веб застосунок для розрахунку пасових передач від компанії ContiTech було проведено розрахунок одноступінчатої передачі та

вибір шківів та ременя для приводу першої ланки робота маніпулятора.
Результати розрахунку наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT1

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	XL
3	Крок зубів:	5.08мм
4	Кількість зубів на привідному шківі	16
5	Зовнішній діаметр малого шківа	25.87 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	108
7	Зовнішній діаметр веденого шківа	174.64
8	Швидкість ведучого шківа	200 об/хв
9	Швидкість веденого шківа	29.63 об/хв
10	Коефіцієнт передачі	6.75
11	Довжина зубчастого ременя	690.88 мм
12	Число зубів на ремені	136
13	Міжосьова відстань	170
14	Дуга контакту на провідному шківі	128.61
15	Число зубів у зачепленні	5.72
16	Швидкість ременя	0.27 м/с
17	Частота вигину ременя	0.78 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.03 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	1.5 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	10.12 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	31.67 мм
23	Вибрана ширина ременя	10 мм
24	Ефективний натяг	115.95 Н

№	Параметр	Значення
25	Статичний натяг ременя	49.28 Н
26	Загальне навантаження на вісь	88.82 Н
27	Випробувальна сила	25 Н
28	Випробувальне відхилення	8.55 мм

2.4. Вибір пасової передачі для приводу другої ланки робота-маніпулятора

Використовуючи веб застосунок для розрахунку пасових передач від компанії ContiTech було проведено розрахунок двоступінчатої передачі та вибір шківів та ременя для приводу другої ланки робота маніпулятора. Результати розрахунку наведено в таблиці 2.4 та таблиці 2.5.

Таблиця 2.4

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT2 (ступінь 1)

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	XL
3	Крок зубів:	5.08мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	16
5	Зовнішній діаметр малого шківів	25.87 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	48
7	Зовнішній діаметр веденого шківів	77.62
8	Швидкість ведучого шківів	200 об/хв
9	Швидкість веденого шківів	66.67 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	3.00
11	Довжина зубчастого ременя	340.36 мм
12	Число зубів на ремені	67

Продовження таблиці 2.4

№	Параметр	Значення
13	Міжосьова відстань	83
14	Дуга контакту на провідному шківі	144.53
15	Число зубів у зачепленні	6.42
16	Швидкість ременя	0.27 м/с
17	Частота вигину ременя	1.59 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.06 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	3.0 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	9.0 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	52.50 мм
23	Вибрана ширина ременя	10 мм
24	Ефективний натяг	231.91 Н
25	Статичний натяг ременя	98.56 Н
26	Загальне навантаження на вісь	187.75 Н
27	Випробувальна сила	25 Н
28	Випробувальне відхилення	3.84 мм

Таблиця 2.5

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT2 (ступінь 2)

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	XL
3	Крок зубів:	5.08мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	16
5	Зовнішній діаметр малого шківа	25.87 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	80
7	Зовнішній діаметр веденого шківа	129.36

№	Параметр	Значення
8	Швидкість ведучого шківa	66.67 об/хв
9	Швидкість веденого шківa	13.33 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	5.00
11	Довжина зубчастого ременя	467.36 мм
12	Число зубів на ремені	92
13	Міжосьова відстань	100
14	Дуга контакту на провідному шківі	116.06
15	Число зубів у зачепленні	5.16
16	Швидкість ременя	0.09 м/с
17	Частота вигину ременя	0.39 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.06 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	9.0 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	45.0 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	190.73 мм
23	Вибрана ширина ременя	10 мм
24	Ефективний натяг	697.76 Н
25	Статичний натяг ременя	296.55 Н
26	Загальне навантаження на вісь	503.10 Н
27	Випробувальна сила	25 Н
28	Випробувальне відхилення	2.89 мм

2.5. Вибір пасової передачі для приводу третьої ланки робота-маніпулятора

Використовуючи веб застосунок для розрахунку пасових передач від компанії ContiTech було проведено розрахунок двоступінчатої передачі та вибір

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

шківів та ременя для приводу третьої ланки робота маніпулятора. Результати розрахунку наведено в таблиці 2.6 та таблиці 2.7.

Таблиця 2.6

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT3 (ступінь 1)

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	XL
3	Крок зубів:	5.08мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	16
5	Зовнішній діаметр малого шківа	25.87 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	48
7	Зовнішній діаметр веденого шківа	77.62
8	Швидкість ведучого шківа	200 об/хв
9	Швидкість веденого шківа	66.67 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	3.00
11	Довжина зубчастого ременя	340.36 мм
12	Число зубів на ремені	67
13	Міжосьова відстань	83
14	Дуга контакту на провідному шківі	144.53
15	Число зубів у зачепленні	6.42
16	Швидкість ременя	0.27 м/с
17	Частота вигину ременя	1.59 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.03 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	1.5 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	4.5 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	28.25 мм
23	Вибрана ширина ременя	10 мм

Продовження таблиці 2.6

№	Параметр	Значення
24	Ефективний натяг	114.41 Н
25	Статичний натяг ременя	48.62 Н
26	Загальне навантаження на вісь	92.62 Н
27	Випробувальна сила	25 Н
28	Випробувальне відхилення	4.49 мм

Таблиця 2.7

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT3 (ступінь 2)

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	XL
3	Крок зубів:	5.08мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	16
5	Зовнішній діаметр малого шківі	25.87 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	64
7	Зовнішній діаметр веденого шківі	103.49
8	Швидкість ведучого шківі	66.67 об/хв
9	Швидкість веденого шківі	16.67 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	4.00
11	Довжина зубчастого ременя	502.92 мм
12	Число зубів на ремені	99
13	Міжосьова відстань	143
14	Дуга контакту на провідному шківі	148.87
15	Число зубів у зачепленні	6.62
16	Швидкість ременя	0.09 м/с
17	Частота вигину ременя	1.36 Гц

№	Параметр	Значення
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.03 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	4.44 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	17.76 Нм
22	Розрахункова ширина ремня	74.06 мм
23	Вибрана ширина ремня	10 мм
24	Ефективний натяг	343.24 Н
25	Статичний натяг ремня	145.88 Н
26	Загальне навантаження на вісь	281.05 Н
27	Випробувальна сила	25 Н
28	Випробувальне відхилення	5.98 мм

2.6. Вибір пасової передачі для приводу четвертої ланки робота-маніпулятора

Використовуючи веб застосунок для розрахунку пасових передач від компанії ContiTech було проведено розрахунок двоступінчатої передачі та вибір шківів та ремня для приводу четвертої ланки робота маніпулятора. Результати розрахунку наведено в таблиці 2.8 та таблиці 2.9.

Таблиця 2.8

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT4 (ступінь 1)

№	Параметр	Значення
1	Тип ремня:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	MXL
3	Крок зубів:	2.03мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	22

Продовження таблиці 2.8

№	Параметр	Значення
5	Зовнішній діаметр малого шківів	14.23 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	52
7	Зовнішній діаметр веденого шківів	33.63 мм
8	Швидкість ведучого шківів	200 об/хв
9	Швидкість веденого шківів	84.62 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	2.36
11	Довжина зубчастого ременя	323.09 мм
12	Число зубів на ремені	159
13	Міжосьова відстань	125 мм
14	Дуга контакту на провідному шківі	170.99
15	Число зубів у зачепленні	10.45
16	Швидкість ременя	0.15 м/с
17	Частота вигину ременя	0.92 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.01 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	0.5 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	1.18 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	28.13 мм
23	Вибрана ширина ременя	6 мм
24	Ефективний натяг	70.28 Н
25	Статичний натяг ременя	29.87 Н
26	Загальне навантаження на вісь	59.55 Н

Розраховані параметри ремінної зубчастої передачі осі JT4 (ступінь 2)

№	Параметр	Значення
1	Тип ременя:	Conti synchrobelt Trapez
2	Профіль зуба:	MXL
3	Крок зубів:	2.03мм
4	Кількість зубів на провідному шківі	22
5	Зовнішній діаметр малого шківі	14.23 мм
6	Кількість зубів на веденому шківі	64
7	Зовнішній діаметр веденого шківі	41.4 мм
8	Швидкість ведучого шківі	80 об/хв
9	Швидкість веденого шківі	27 про/хв
10	Коефіцієнт передачі	2.91
11	Довжина зубчастого ременя	184.91 мм
12	Число зубів на ремені	91
13	Міжосьова відстань	45 мм
14	Дуга контакту на провідному шківі	146.24
15	Число зубів у зачепленні	8.94
16	Швидкість ременя	0.06 м/с
17	Частота вигину ременя	0.68 Гц
18	Загальний коефіцієнт обслуговування	1.8
19	Передача потужності	0.01 кВт
20	Крутний момент на ведучому шківі	1.18 Нм
21	Крутний момент на веденому шківі	3.43 Нм
22	Розрахункова ширина ременя	57.45 мм
23	Вибрана ширина ременя	6 мм
24	Ефективний натяг	158.60 Н
25	Статичний натяг ременя	67.41 Н
26	Загальне навантаження на вісь	129 Н

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Безпека обладнання

Промислове обладнання повинно забезпечувати безпеку працюючих під час монтажу, введення в експлуатацію та експлуатації. Тому для забезпечення безпеки на етапі проектування робота-манпулятора було враховано основні заходи безпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.061-81, ГОСТ 12.2.049-80, ГОСТ 12.1.019-79 та ГОСТ 12.1.6.

- Застосування безпечних елементів конструкції та матеріалів.
- Застосування засобів механізації та автоматичного управління.
- Дотримання ергономічних вимог.
- Застосування в конструкції спеціальних засобів захисту.
- Професійним відбором та навчанням робітників та операторів.
- Вибір електрообладнання та конструкції обладнання з урахуванням пожежної безпеки.
- Включення вимог безпеки до технічної документації з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування та зберігання.

У цьому проекті розроблено заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації робота-маніпулятора протягом усього терміну служби.

3.2 Безпека конструкції та окремих її частин

Для забезпечення безпеки елементи та частини конструкції відповідають вимогам ГОСТ 12.2.003-91.

- Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні надавати небезпечний та шкідливий вплив на організм людини на всіх заданих

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					<i>36</i>	<i>51</i>	
<i>Н. контр.</i>					<i>РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ</i>			<i>НУБіП України</i>	
<i>Затверд.</i>									

режимах роботи та передбачених умовах експлуатації, а також створювати пожежонебезпечні ситуації.

- Конструкція виробничого обладнання та його окремих частин повинна унеможлиблювати їх падіння, перекидання та мимовільного зміщення за всіх передбачених умов експлуатації та монтажу (демонтажу).

- Частини виробничого обладнання, що рухаються, є можливим джерелом травмонебезпеки, повинні бути огорожені.

- Конструкція виробничого обладнання, яке приводиться в дію електричною енергією, повинна включати пристрої (засоби) для забезпечення безпеки.

- Виробниче обладнання має бути виконане так, щоб унеможливити накопичення зарядів статичної електрики у кількості, що становить небезпеку для працюючого, та виключити можливість пожежі та вибуху.

3.3 Безпека системи керування

Система управління роботом-маніпулятором розроблена відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003-91.

- Система управління повинна унеможлиблювати створення небезпечних ситуацій через порушення працюючим послідовності управляючих дій.

- Система управління виробничим обладнанням повинна включати засоби екстреного гальмування та аварійного зупинення.

- Система управління окремою одиницею виробничого обладнання, що входить до технологічного комплексу, повинна мати пристрої, за допомогою яких можна було б у необхідних випадках заблокувати пуск у хід технологічного комплексу, а також здійснити його зупинку.

3.4 Безпека органів управління

Конструкція органів управління забезпечує безпечні умови праці при програмуванні та керуванні роботом маніпулятором відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003-91 та ГОСТ 12.2.064-81.

- Органи управління виробничим обладнанням повинні включати засоби екстреного гальмування та аварійного зупинки (вимикання).

- Органи управління повинні бути сконструйовані та розміщені так, щоб унеможлиблювалося мимовільне їхнє переміщення та забезпечувалося надійне, впевнене та однозначне маніпулювання. І виконані так, щоб їх форма, розміри та поверхні контакту з працюючим відповідали способу захоплення (пальцями, пензлем) або натискання (пальцем, долонею, стопою ноги).

- Поверхні приводних елементів органів управління мають бути виконані з нетоксичних, нетеплопровідних, а в необхідних випадках і електроізоляційних матеріалів.

- Органи управління в необхідних випадках (наприклад, при можливості впливу на них суміжного органу управління, випадкового дотику, струсу тощо) повинні бути захищені від довільної або мимовільної зміни їхнього положення.

3.5 Електробезпека

Для забезпечення безпеки оператору робота-маніпулятора в конструкції та електричній частині обладнання повинні бути дотримані такі вимоги:

- Використання в електроустановці штучних або природних заземлювачів.

- Струмopрoвідні частини електроустановки не повинні бути доступні для випадкового дотику.

- Застосування окремо або у поєднанні наступних заходів захисту від прямого дотику: основна ізоляція струмопровідних частин;

- огороження та оболонки; встановлення бар'єрів; розміщення поза зоною досяжності; застосування наднизького (малого) напруги.

- Для захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції повинні бути застосовані окремо або у поєднанні наступні заходи захисту при непрямому дотику: захисне заземлення; автоматичне вимкнення живлення; зрівняння потенціалів; вирівнювання потенціалів; подвійна чи посилена ізоляція; наднизька (мала) напруга; захисний електричний поділ ланцюгів.

3.6 Захист електричних мереж

Для забезпечення захисту обладнання від ненормальних режимів роботи необхідно дотримуватися таких вимог:

- Використовувати апарати захисту, які за своєю здатністю відключати відповідали максимальному значенню струму КЗ на початку ділянки електричної мережі, що захищається.

- Як апарати захисту застосовувати автоматичні вимикачі або запобіжники.

- Використовувати плавкі вставки запобіжників та автоматичні вимикачі, які відповідають найменшим чи номінальним струмам ділянок електромережі [20].

3.7 Безпека при транспортуванні та зберіганні

Для забезпечення безпеки під час транспортування та зберігання необхідно виконувати такі вимоги:

- Перед транспортуванням установіть робота в базове положення.
- Транспортування робота здійснювати транспортним засобом, оснащеним амортизаційною платформою.

- Робота-маніпулятора та його запасні частини зберігати у сухому закритому приміщенні.

- Конструкція робота-маніпулятора забезпечує можливість закріплення її складових частин на транспортному засобі в пакувальній тарі і має пристрої для фіксації в певному положенні.

3.8 Вимоги безпеки до професійного відбору

До обслуговування та управління роботом-маніпулятором допускаються особи:

- Ті, хто має професійну підготовку з управління та обслуговування роботів-маніпуляторів у вищих або середньотехнічних закладах.

- Пройшли інструктаж, навчання та перевірку знань з охорони праці.
- Не мають медичних протипоказань.

3.9 Пожежна безпека

Пожежна безпека робота-маніпулятора забезпечена відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.2.007.0, ПУЕ, ПТЕ, та ПТБ, СНІП 3.05.06, СНІП 3.05.07. Вибрано тип виконання, вид вибухозахисту електрообладнання та ступінь його захисту від пилу та вологи.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно провести такі заходи пожежної профілактики:

- організаційні;
- технічні;
- Режимні;
- Експлуатаційні.

3.10 Екологічна безпека

Матеріали, що входять до конструкції робота-маніпулятора, безпечні, екологічні та сертифіковані та відповідають ССБТ та охорони навколишнього середовища.

У проекті розроблено комплекс організаційних, технічних та заходів, спрямованих на безпеку праці з дотриманням вимог ГОСТ, СНП. Це дозволяє вважати цей проект безпечним та екологічним.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		41

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Мета техніко-економічного розрахунку полягає у визначенні витрат на розробку та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора, що у свою чергу визначається шляхом складання кошторису витрат, що складається з наступних позицій:

- вартість програмного забезпечення;
- вартість обладнання;
- вартість комплектуючих для побудови робота-маніпулятора;
- амортизація обладнання;
- заробітна плата спеціаліста;
- електроенергії.

Далі представлений детальний розрахунок всіх складових елементів кошторису витрат на розроблення та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора.

4.1 Розрахунок витрат на обладнання та програмне забезпечення

Таблиця 4.1

Витрати обладнання та комплектуючі для виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора

Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Устаткування				
Комп'ютерне обладнання	шт.	1	100000	100000

					<i>01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>			РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					42	51
<i>Н. контр.</i>						<i>НУБІП України</i>		
<i>Затверд.</i>								

Продовження таблиці 4.1

Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
3D принтер	шт.	1	50000	50000
Загальна вартість обладнання				150000
Транспортні витрати (2%)				3000
Монтаж обладнання (25%)				37500
Комплектуючі				
Пластик для 3D друку				
Пластик Помаранчевий PLA пластик Bestfilament для 3D-принтерів (1,75 мм)	кг.	5	860	4300
Пластик Чорний PLA пластик Bestfilament для 3D-принтерів (1,75 мм)	кг.	5	860	4300
Мотори та приводи				
Кроковий двигун FL57STH76-2804A	шт.	2	690	1280
Кроковий двигун 42AM08	шт.	2	920	1 840
Драйвер крокового двигуна ТВ6600 4.5 А	шт.	4	750	3 750
Ремінні передачі				
Комплект ременів	шт.	1	7 000	7 000
Виготовлення комплекту для шківів для робота	шт.	1	9 500	9 500
Підшипники				
Комплект підшипників для поворотної осі робота	шт.		6 350	6 350

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ

Лист

43

Продовження таблиці 4.1

Комплект підшипників для механізму натягу ременів	шт.	1	2 390	2 390
Вали				
Виготовлення комплекту валів для поворотних осей робота	шт.	1	4 200	4 200
Кріпильні вироби				
Комплект болтів	шт.	1	2150	2150
Комплект гайок	шт.	1	2100	2100
Програмовані контролери				
Arduino Mega 2560	шт.	1	2 990	2 990
Датчики				
Оптичні кінцеві датчики	шт.	10	80	800
Джерела живлення				
БП 300 Вт 12 В	шт.	1	3 500	3 500
Загальна вартість				56450

Таблиця 4.2

Витрати на програмне забезпечення

Найменування	Од. Змін.	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Програмне забезпечення				
Microsoft Windows 11 Pro	шт.	1	7900	7900
Autodesk Inventor 2025 (1 рік)	шт.	1	108570	108570
Загальна вартість програмного забезпечення				116470

Загальна вартість витрат на придбання обладнання та програмного забезпечення дорівнює:

01.09 – КР. 368 "С" 2024.03.11. 052 ПЗ

Лист

44

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

$$C_{\text{затр}} = C_{\text{обл}} + C_{\text{ПЗ}} + C_{\text{компл}}, \quad (4)$$

де: $C_{\text{обл}}$ - вартість обладнання; $C_{\text{ПЗ}}$ - вартість програмного забезпечення; $C_{\text{компл}}$ - вартість комплектуючих.

$$C_{\text{затр}} = 150000 + 116470 + 56450 = 322920 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Розрахунок амортизації для комп'ютерного обладнання.

Вихідні дані:

1. Початкова вартість комп'ютерного обладнання: 100 000 грн.
2. Термін служби устаткування: 5 років.
3. Період роботи: 12 місяців.

Визначимо витрати на амортизацію персонального комп'ютера:

$$A_{\text{КО}} = \frac{C_{\text{КО}} \cdot t_p}{t_b \cdot 12}, \quad (5)$$

де: $C_{\text{КО}}$ - вартість комп'ютерного обладнання; t_p - час роботи; t_b - термін служби устаткування.

$$A_{\text{КО}} = \frac{100000 \cdot 12}{5 \cdot 12} = 20000 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизації для 3d принтера

Вихідні дані:

1. Початкова вартість 3d принтера: 50 000 грн.
2. Термін служби устаткування: 3 роки.
3. Період роботи: 12 місяців.

Визначимо витрати на амортизацію.

$$A_{\text{ЗД}} = \frac{C_{\text{ЗД}} \cdot t_p}{t_b \cdot 12}, \quad (6)$$

де: $C_{\text{ЗД}}$ - 3d принтера.

$$A_{\text{ЗД}} = \frac{50000 \cdot 12}{3 \cdot 12} = 16667 \text{ грн.}$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Сумарна амортизація:

$$A = A_{\text{КО}} + A_{\text{ЗД}}, \quad (7)$$

$$A = 20000 + 16667 = 36667 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат за електроенергію.

Вихідні дані:

1. Потужність, яку споживає персональний комп'ютер: 400 Вт.
2. Потужність, яку споживає 3d принтер: 300 Вт.
3. Потужність, яка споживається системою освітлення: 70 Вт.
4. Вартість кВт*г на 2025 рік 4.62.
5. Тривалість робочої зміни 8 годин.

Визначимо витрати на електроенергію за одну зміну:

$$C_{\text{ел}} = (P_{\text{ПК}} + P_{\text{ЗД}} + P_{\text{о}}) \cdot C_{\text{кВт}} \cdot t_{\text{зм}}, \quad (8)$$

де: $P_{\text{ПК}}$ - потужність, яку споживає персональний комп'ютер; $P_{\text{ЗД}}$ - потужність, яку споживає 3d принтер; $P_{\text{о}}$ - потужність, яка споживається системою освітлення; $C_{\text{кВт}}$ - Вартість кВт*г; $t_{\text{зм}}$ - тривалість робочої зміни.

$$C_{\text{ел}} = (0,4 + 0,3 + 0,07) \cdot 4,62 \cdot 8 = 28,46 \text{ грн.}$$

За 1 місяць розробки та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора плата за електроенергію становитиме 7541,9 грн.

4.3 Розрахунок заробітної плати

У період розробки та виготовлення прототипу робота-маніпулятора оклад провідного фахівця становив 8000 грн. на місяць.

Основна заробітна плата провідного спеціаліста без районного та північного коефіцієнта за 12 місяців склала:

$$C_{\text{ЗП}} = C_{\text{ЗП.місячна}} \cdot n, \quad (9)$$

де: $C_{\text{ЗП.місячна}}$ - місячна заробітна плата; n - кількість місяців роботи.

$$C_{\text{ЗП}} = 8000 \cdot 12 = 96000 \text{ грн}$$

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 008 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

4.4 Кошторис витрат на розробку малогабаритного робота-маніпулятора

Таблиця 4.3

Витрати на розробку та виготовлення малогабаритного робота-маніпулятора.

Найменування витрат	Сума витрат, грн.
Витрати обладнання	150000
Транспортні витрати	3000
Монтажні витрати	37500
Витрати програмне забезпечення	116470
Витрати на комплектуючі	56450
Електроенергія	7541,9
Амортизація	36667
Заробітна плата	96000
Разом	503628,9

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему "Розробка малогабаритного маніпулятора" було успішно вирішено комплекс завдань, спрямованих на створення функціонального та ефективного робототехнічного пристрою.

На початковому етапі було проведено детальний аналіз існуючих малогабаритних маніпуляторів та їх кінематичних схем. Це дозволило виявити переваги та недоліки різних підходів та обрати оптимальну конструктивну схему, що відповідає вимогам до компактності, точності та вантажопідйомності.

Було розроблено механічну частину маніпулятора. Застосування сучасних методів проектування та підбір легких, але міцних матеріалів, дозволили створити ергономічну та надійну конструкцію. Особлива увага була приділена мінімізації ваги та інерції рухомих частин, що є критично важливим для малогабаритних систем.

Важливою складовою роботи став вибір та інтеграція приводів. Було визначено типи крокових двигунів, які забезпечують високу точність позиціонування та швидкість реакції.

Розроблений малогабаритний маніпулятор має значну практичну цінність. Він може бути використаний як платформа для подальших науково-дослідних робіт у галузі робототехніки. Крім того, прототип може знайти застосування в навчальному процесі для підготовки студентів інженерних спеціальностей, забезпечуючи їм практичний досвід роботи з сучасними робототехнічними системами.

					<i>01.09 – КР. 368 "С" 2024.03.11. 052 ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>		<i>Глуздаков О.А.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>	
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					48	51	
<i>Н. контр.</i>					<i>ВИСНОВКИ</i>			<i>НУБіП України</i>	
<i>Затверд.</i>									

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2879-94 Маніпулятори, автооператори, роботи промислові та системи виробничі гнучкі. Терміни та визначення.
2. Промислові роботи компанії Yaskawa [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
https://www.yaskawa.eu.com/robotics/robots/handling-mounting/productdetail/product/gp4_12086
3. Промислові роботи компанії Kawasaki [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
https://kawasakirobotics.nl/index.php?id_product=11&rewrite=rs005nff060&controller=product&id_lang=1
4. Промислові роботи компанії Fanuc [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:
<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-lrmate/lrmate-200id-4s?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Fua%2Fuk%2F%25d1%2580%25d0%25be%25d0%25b1%25d0%25be%25d1%2582%25d0%25b8%2Frobot-filter-page>
5. Кошель С. О. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: посібник / С. О. Кошель, Ю. Ковалєв, О. П. Манойленко — К. : Центр навчальної літератури, 2019. — 256 с.
6. Литвин О. В., Паньков С. Б. Роботизовані маніпулятори особливого призначення. 2019. 8 с
7. Науки майбутнього. Мехатроніка і мобільна робототехніка що це?. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу:

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 008 ПЗ</i>					
Змн	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата						
Розроб.	Глуздаков О.А.				<i>СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</i>			Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Сподоба О.О.								49	51
Н. контр.					<i>НУБІП України</i>					
Затверд.										

<https://robocode.ua/naukimajbutnogo-mehatronkamoblina-robototehnika-shho-ce-ua>

8. Robocode [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578806000058>
9. Михайлов Є. П., Лінгур В. М. Навчальний посібник з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи". Одеса, 2019. 233 с.
10. Що таке робот-маніпулятор? Посібник - EVS Robot. *EVS Robot*. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://www.evsint.com/uk/what-is-a-robotic-manipulator-a-guide/>
11. Промислові роботи – Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв. Кафедра АВ – Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://kaf-av.tntu.edu.ua/index.php/mn-abiturient/mn-articles/676-art-industrial-robots>
12. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
13. Проектування і конструювання робототехнічних систем: Навчальний посібник / Д. О. Мішук. – К.: 2020. – 185 с.: іл.
14. Охорона праці та промислова безпека. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://nov-rada.gov.ua/2021/05/18/okhorona-pratsi-ta-promyslova-bezpeka/>
15. Урок: вимоги безпеки до технологічних процесів і обладнання. [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://vseosvita.ua/lesson/vymohy-bezpeky-do-tekhnologichnykh-protsesiv-i-obladnannia-376598.html>

16. Войналович О.В., Марчишина Є.І., Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К.: Центр учбової літератури. 2017. 691 с. 2. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Українська академія друкарства, 2006. 335 с.
17. Хмельовський В.С., Марчишина Є.І., Білько Т.О., Мотрич М.М., Скібчик В.І. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури. 2021, 603 с.
18. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
19. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0231-05>
20. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/1105-14>
21. Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>
22. Рекомендації щодо побудови, впровадження та удосконалення системи управління охороною праці [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/n0001641-08>
23. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1494-18>
24. Всеукраїнський портал з питань охорони праці [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] -- <http://dnop.com.ua/>
25. Міжнародна організація праці (МОП). [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] – <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>
26. Економіка праці й соціально-трудова відносина: навчальний посібник / Ткачук В.А., Ланченко Є.О., Балан О.Д., Гаврилюк І.П. К.: НУБіП України, 2022. 616 с.

ДОДАТКИ