

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 ШЕСТИОСЬОВОГО МАНІПУЛЯТОРА ІЗ
СЕРВОПРИВОДОМ

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

(підпис)

Дмитренко Володимир Валерійович
(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)**

Дмитренка Володимира Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра) **РОЗРОБКА
ШЕСТИОСЬОВОГО МАНІПУЛЯТОРА ІЗ СЕРВОПРИВОДОМ**

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 шестиосьових маніпуляторів
2. Виконати розрахунок приводного механізму ланки шестиосьового маніпулятора
3. Розглянути питання охорони праці
4. Виконати розрахунок економічної ефективності

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вигляд шестиосьового маніпулятора
2. Складальне креслення приводного механізму ланки шестиосьового маніпулятора
3. Креслення деталей приводного механізму ланки шестиосьового маніпулятора

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)

Володимир ДМИТРЕНКО
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ.....	8
1.1. Огляд шестиосьових маніпуляторів.....	8
1.2. Опис кінематичної структури шестиосьового маніпулятора.....	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА	21
2.1. Розрахунок циліндричної передачі приводу ланки маніпулятора..	21
2.1.1. Початкові дані для розрахунку.....	21
2.1.2. Вибір матеріалів та термічної обробки коліс.....	21
2.1.3. Визначення допустимих контактних напружень.....	21
2.1.4. Визначення допустимих напружень згину.....	24
2.1.5. Визначення міжосьової відстані.....	25
2.1.6. Визначення модуля передачі.....	26
2.1.7. Визначення числа зубів шестерні та колеса.....	26
2.1.8. Визначення розмірів зубчатих коліс.....	27
2.1.9. Розміри заготовок.....	29
2.1.10. Визначення сил в зачепленні.....	30
2.1.11. Перевірочний розрахунок передачі на контактну міцність	30
2.1.12. Перевірочний розрахунок передачі на витривалість при згині.....	32
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	34
3.1 Безпека елементів робота-маніпулятора.....	35
3.2 Безпека вихідних матеріалів.....	37
3.3 Безпека органів управління.....	38

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>					
Змн	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата						
Розроб.	Дмитренко В.В.				<i>Зміст</i>			Літ.	Лист	Листів
Перевір.	Сподоба О.О.							3	52	
Н. контр.					<i>НУБіП України</i>					
Затверд.										

3.4	Безпека захисного обладнання, що входить в конструкцію.....	39
3.5	Безпека під час монтажу та ремонту.....	39
3.6	Безпека під час транспортування та зберігання.....	40
3.7	Безпека при розміщенні.....	40
3.8	Вимоги до безпеки до вибору персоналу.....	40
3.9	Пожежна безпека.....	41
3.10	Контроль за виконанням вимог безпеки.....	41
3.11.	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	41
3.12.	Екологічна безпека робота-маніпулятора.....	42
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....		43
4.1.	Розрахунок затрат на матеріали.....	43
4.2.	Розрахунок заробітної плати основних працівників.....	44
4.3.	Розрахунок загальновиробничих затрат.....	45
4.4.	Розрахунок загальногосподарських затрат.....	46
4.5.	Розрахунок комерційних витрат.....	46
4.6.	Розрахунок повної собівартості виробу.....	47
4.7.	Розрахунок оптової ціни виробу.....	48
ВИСНОВКИ.....		49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		50
ДОДАТКИ		

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра, тема якої: “Розробка шестиосьового маніпулятора із сервоприводом” складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на п'ятдесяти двох (52) сторінках друкованого тексту, восьми (8) рисунків, п'яти (5) таблиць, висновків, двадцяти шести (26) літературних джерел і додатків до графічної частини.

В першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто конструкції існуючих прототипів світових виробників маніпуляторів. Наведено їх характеристики. А також проведено опис кінематичної структури шестиосьового маніпулятора.

В другому розділі роботи проведено розрахунок циліндричної передачі приводу ланки маніпулятора. Розраховано основні силові та геометричні параметри 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 від розробки нової конструкції шестиосьового маніпулятора із сервоприводом.

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

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Дмитренко В.В.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сподоба О.О.</i>					<i>5</i>	<i>52</i>
<i>Н. контр.</i>					<i>Реферат</i>		
<i>Затверд.</i>					<i>НУБіП України</i>		

ВСТУП

Сучасний світ характеризується стрімким розвитком технологій, де автоматизація та роботизація відіграють ключову роль у підвищенні ефективності виробничих процесів, поліпшенні умов праці та розширенні можливостей реалізації складних завдань. У цьому контексті промислові маніпулятори стали невід'ємною частиною багатьох галузей від машинобудування та електроніки у медицині та космічній індустрії. Їхня здатність до точного позиціонування, високої швидкості виконання операцій та можливості програмування для різних завдань зумовила їхню широку інтеграцію в автоматизовані системи.

Серед усього спектру роботизованих систем шестивісні маніпулятори займають особливе місце завдяки своїй універсальності та високій гнучкості. Наявність шести ступенів свободи дозволяє імітувати рухи людської руки, що забезпечує виконання складних операцій у тривимірному просторі з високою точністю та динамікою. Це робить їх незамінними для таких завдань, як сварка, фарбування, складання, переміщення об'єктів і багато інших, де потрібна висока адаптивність до умов, що змінюються.

Ключовим елементом, що забезпечує функціональність та точність сучасних маніпуляторів, є використання сервоприводів. На відміну від традиційних двигунів, сервоприводи дозволяють не тільки контролювати швидкість обертання, але й точно позиціонувати вихідний вал, утримувати задане положення та оперативно реагувати на зміни навантаження. Інтеграція сервоприводів у конструкцію маніпулятора відкриває широкі можливості реалізації складних кінематичних схем, підвищення точності траєкторії руху та забезпечення стабільності функціонування системи загалом.

Актуальність теми даної кваліфікаційної роботи зумовлена зростанням попиту на високотехнологічні роботизовані рішення, здатні оптимізувати

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Дмитренко В.В.</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>52</i>
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБіП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

виробничі процеси та підвищити їх ефективність. Розробка власного шестиосьового маніпулятора із сервоприводом є не лише відповіддю на сучасні інженерні виклики, а й дає унікальну можливість глибоко вивчити принципи кінематики, динаміки, систем керування та програмування робототехнічних комплексів. Цей проект дозволить набутти практичних навичок у проектуванні механічних вузлів, виборі оптимальних приводів, розробці алгоритмів управління та інтеграції апаратного та програмного забезпечення.

Метою даної роботи є розробка та демонстрація прототипу шестиосьового маніпулятора із сервоприводом, здатного виконувати запрограмовані рухи та позиціонувати кінцевий ефект у заданій точці простору. Для досягнення цього необхідно вирішити низку завдань:

Проаналізувати існуючі конструкції шестивісних маніпуляторів та визначити оптимальну кінематичну схему для обраної сфери застосування.

Здійснити вибір та обґрунтування використання сервоприводів з урахуванням необхідної потужності, точності та швидкодії.

Розробити механічні вузли маніпулятора, включаючи елементи рами, з'єднані та кріплені з урахуванням міцності та жорсткості конструкції.

Створити електронну схему управління, що забезпечує взаємодію між сервоприводами, мікроконтролером і інтерфейсом користувача.

Розробити програмне забезпечення для мікроконтролера, що реалізує алгоритми прямої та зворотної кінематики, управління сервоприводами та обробку користувальницьких команд.

Провести тестування розробленого маніпулятора та оцінити його функціональні можливості та точність позиціонування.

Результати цієї роботи матимуть практичне значення для подальших досліджень у галузі робототехніки, а також можуть використовуватися як основа для створення більш складних автоматизованих систем та навчальних комплексів. Проект дозволить як продемонструвати інженерні здібності, а й сформує глибоке розуміння принципів побудови і функціонування сучасних систем роботи.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
						7

РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ

1.1 Огляд шестиосьових маніпуляторів.

–За ДСТУ 2879-94: Промисловий робот - автоматична машина, стаціонарна чи пересувна, з виконавчим пристроєм у вигляді маніпулятора, який має декілька ступенів рухомості, і перепрограмовуваним пристроєм програмного керування для виконання у виробничому процесі рухових і керувальних функцій. Таким чином сучасні промислові роботи складаються з механічних пристроїв, різних виконавчих двигунів та сенсорів, інформаційних систем, що забезпечують необхідну швидкість і точність переміщення робочого органа, пристроїв керування двигунами з силовими перетворювачами та пристрою програмного керування, який виконує весь алгоритм керування роботом” [1].

Промислові роботи у виробничому процесі виконують основні та допоміжні операції.

Серед най розповсюджених операцій, які виконують промислові роботи можна виділити наступні:

- Перенесення матеріалів та предметів;
- Обслуговування верстатів;
- Дугове та точкове зварювання;
- Лиття;
- Штампування;
- Нанесення покриттів методом розпилювання матеріалу;
- Операції збирання;
- Контроль якості продукції та інші.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Дмитренко В.В.</i>				<i>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сподоба О.О.</i>						<i>8</i>	<i>52</i>
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБІП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

Для розробки конструкції шестьосового робота розглянемо характеристики роботів ведучих світових виробників. Та виберемо найбільш підходящий варіант для створення прототипу робота.

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. 1.1).



Рис. 1.1. Робот MOTOMAN GP4

Високий клас захисту IP67 дозволяє використовувати його для обслуговування верстатів з ЧПУ навіть у суворих умовах навколишнього середовища, а його невеликий розмір та компактна конструкція дозволяють

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

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

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

Схема робочої зони та основні геометричні параметри робота MOTOMAN GP4 зображені на рис. 1.2.

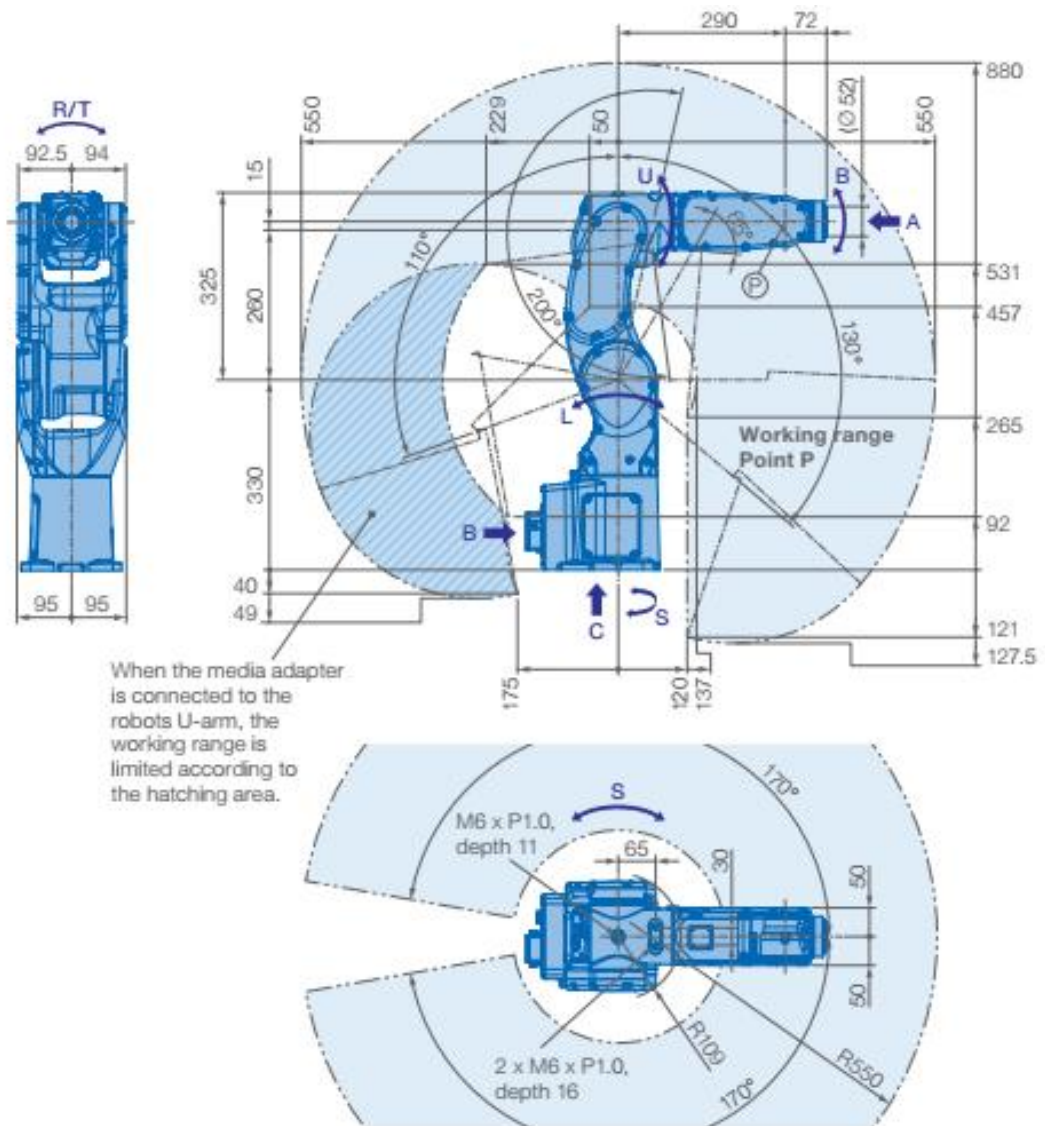


Рис. 1.2. Робоча зона та геометричні параметри робота MOTOMAN GP4

Роботи серії R від компанії Kawasaki (рис. 1.3) 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].

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	



Рис. 1.3. 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
3.	Похибка позиціонування	мм	±0,02
4.	Максимальна досяжність маніпулятора	мм	705
5.	Діапазон переміщення ланок		
6.	JT1	град.	±180

Інв. № ориг.	Підп. і дата	Взам. Інв. №	Інв. № дудл.	Підп. і дата

Продовження таблиці 1.2.

№	Найменування	Одиниці виміру	Показник
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

Приєднувальні розміри робота вказані на рис. 1.4.

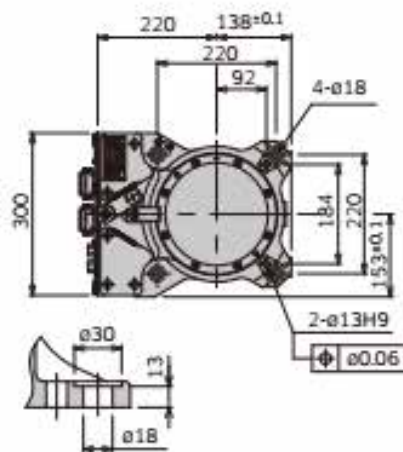


Рис. 1.4. Приєднувальні розміри

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Схема робочої зони та основні геометричні параметри робота Kawasaki RS005N зображені на рис. 1.5.

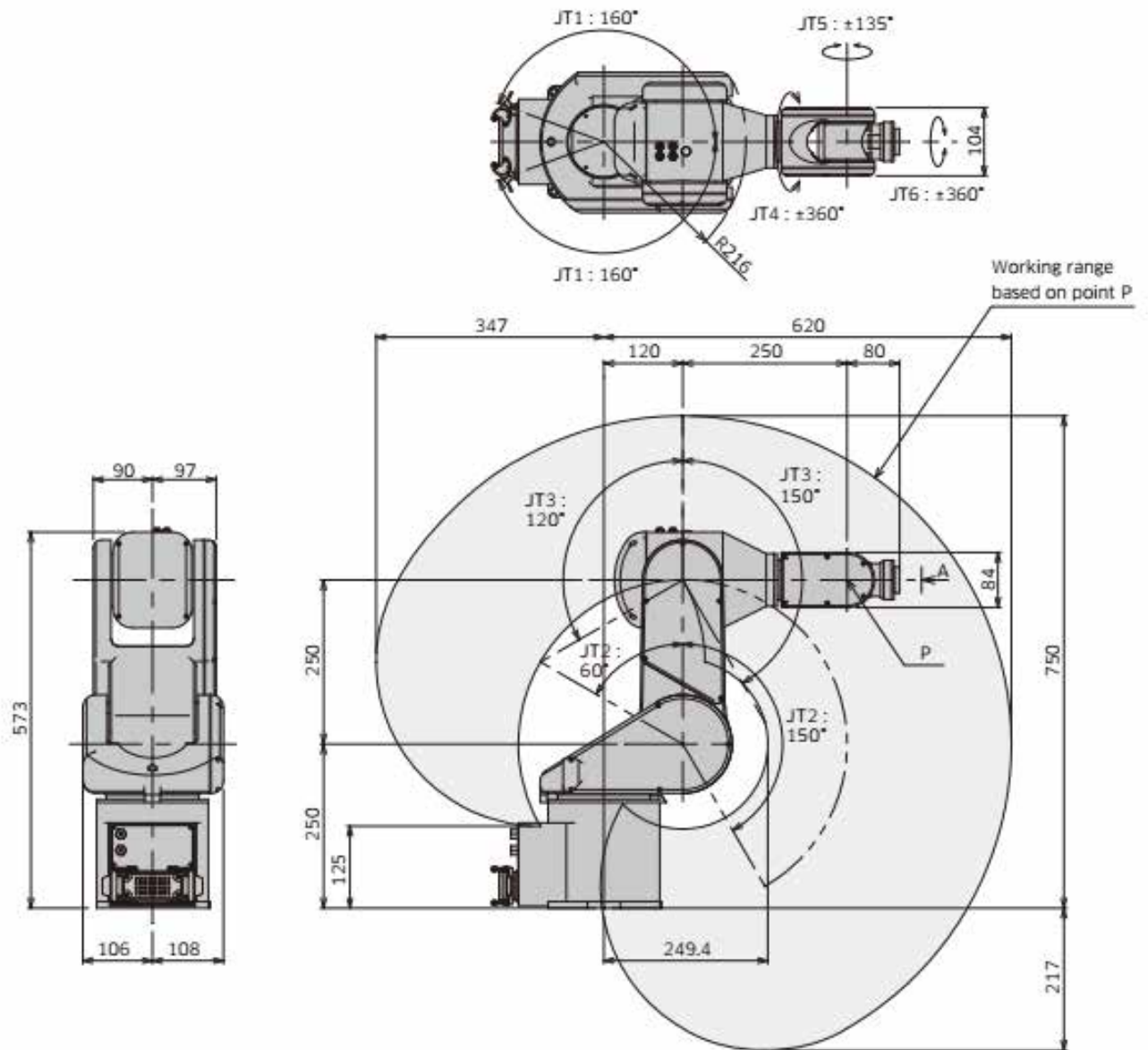


Рис. 1.5. Робоча зона та геометричні параметри робота Kawasaki RS005N

Робот Fanuc LR Mate 200iD/4S (рис. 1.6). 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].

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	



Рис. 1.6. 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	±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].

Підп. і дата
 Інв. № дудл.
 Взам. Інв. №
 Підп. і дата
 Інв. № ориг.

Схема робочої зони та основні геометричні параметри робота Fanuc LR Mate 200iD/4S зображені на рис. 1.7.

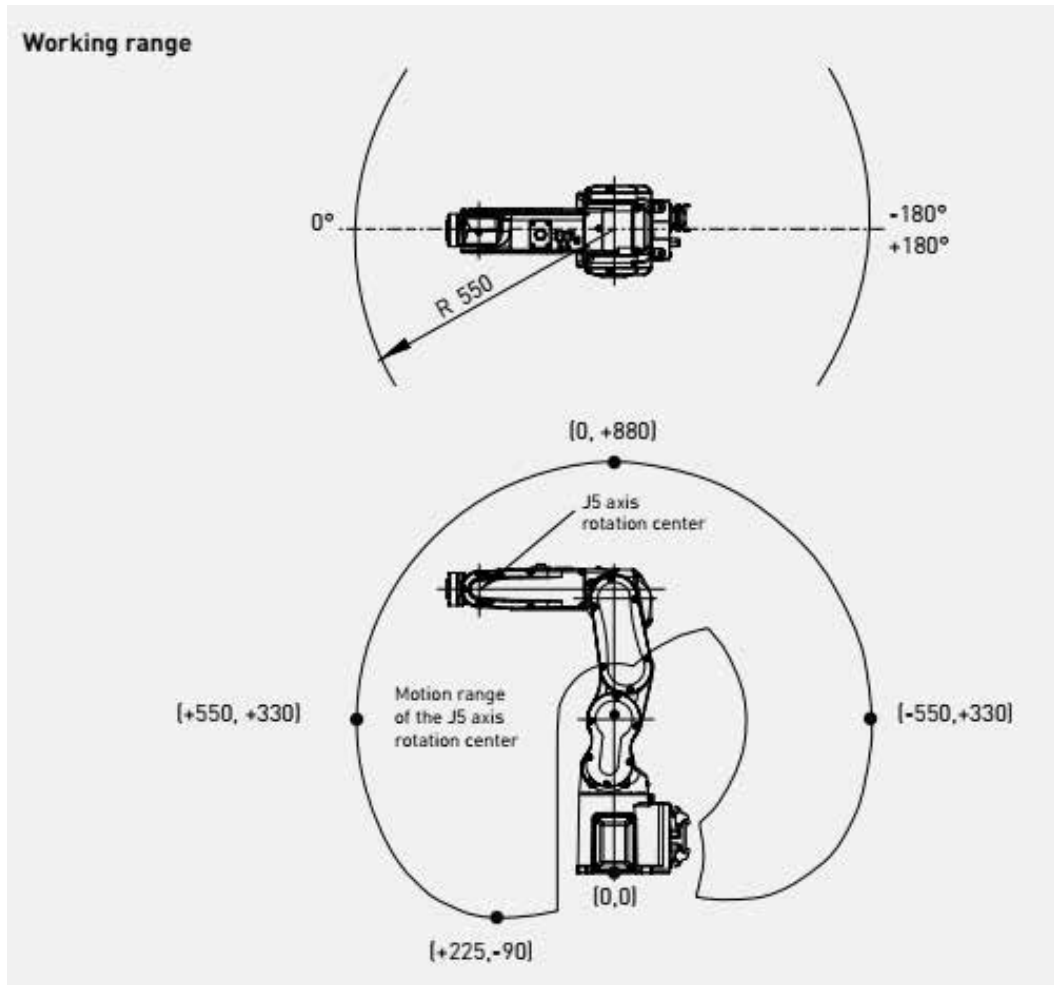


Рис. 1.7. Робоча зона та геометричні параметри робота Fanuc LR Mate 200iD/4S

1.2 Опис кінематичної структури шестиосьового маніпулятора

Можливості робота значною мірою визначаються конструктивним виконанням його маніпуляційної системи, та кінематичної структури (рис. 1.8) [5].

Для конструкції розроблювального маніпулятора прийнято рішення виконати маніпуляційну систему, яка працює у сферичній системі координат [6].

Для визначення точок положення робочого органу в тривимірному скористаємося методом однорідних перетворень. Такий підхід передбачає

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

створення однорідної матриці перетворення розмірністю 4x4, яка окреслює положення координатної системи кожної ланки відносно попередньої [7].

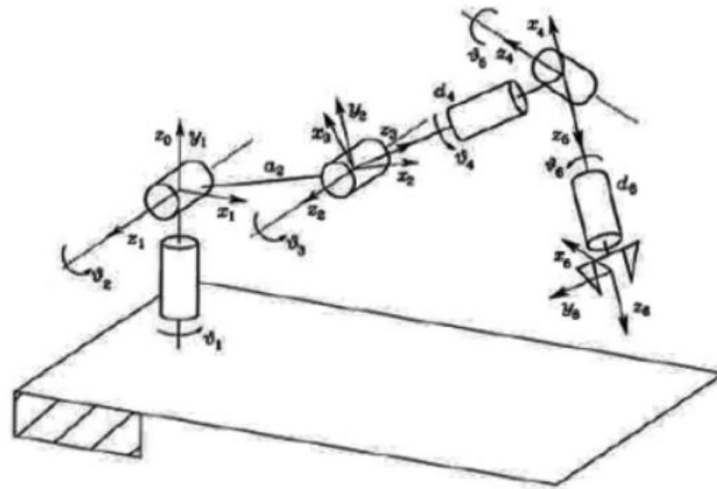


Рис. 1.8. Кінематична структура шестиосьового маніпулятора

Цей спосіб дозволяє поступово перетворювати координати робочого органу робота-маніпулятора з системи відліку, пов'язаної з останньою ланкою, у базову систему відліку, що є інерціальною системою координат [8].

Однорідна матриця перетворення має наступний вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & L_{3 \times 1} \\ P_{1 \times 3} & M \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де: $R_{3 \times 3}$ - матриця повороту Ейлерових кутів 3x3;

$L_{3 \times 1}$ - матриця положення початку координат повернутої системи відліку відносно абсолютної;

$P_{1 \times 3}$ – матриця перетворення перспективи;

M – масштабний коефіцієнт.

Матриці повороту Ейлерових кутів для обертання навколо осей OX , OY , OZ , записуються у наступному вигляді [9]:

- у випадку повороту навколо осі OX на кут α :

$$R_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}; \quad (2)$$

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

для повороту навколо осі OY на кут β :

$$R_\beta = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}; \quad (3)$$

для повороту навколо осі OZ на кут θ :

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Геометричні параметри кожної ланки промислового робота найлегше записати у матричній формі у декартовій системі координат. Так кожна матриця описує положення ланки маніпулятора відносно абсолютної системи координат X, Y, Z відповідно[10].

Приймемо для розроблювальної конструкції шість ступенів вільності. Оскільки ланки можуть виконувати обертові рухи відносно абсолютної системи відліку, для кожної з ланок слід визначити координатну систему, що зв'язує ланки між собою. Кутове переміщення кожної ланки маніпуляційної системи робота в декартовій системі координат опишемо наступними матрицями[11]:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & L_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & L_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & L_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (7)$$

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & L_5 \cos \theta_5 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & L_5 \sin \theta_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$A_6^5 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (10)$$

Пряма задача полягає у визначенні положення сегментів маніпулятора на основі заданих кутів повороту з'єднань та розмірів сегментів [12].

Для отримання координат положення робочого органу крана маніпулятора необхідно перемножити матриці (5) - (10). В результаті чого отримаємо матрицю, яка описує положення та орієнтацію робочого органу в абсолютній системі координат [13]:

$$T_7 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 A_4^3 A_5^4 A_6^5 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

де – $\vec{n}, \vec{o}, \vec{a}, \vec{p}$ проекції одиничних векторів на осі інерціальної системи координат.

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА

2.1. Розрахунок циліндричної передачі приводу ланки маніпулятора

2.1.1. Початкові дані для розрахунку

Передаточне відношення $U=3,6$;

Частота обертання шестерні $n_1=960 \text{ хв}^{-1}$;

Частота обертання колеса $n_2=266,7 \text{ хв}^{-1}$;

Крутний момент на шестерні $T_1=75 \text{ Нм}$.

Термін служби передачі при трьох змінній роботі 5 років.

2.1.2. Вибір матеріалів та термічної обробки коліс

Для шестерні виберемо сталь 45, термообробка – поліпшення, твердість 269–302 НВ, середня твердість $HB_{01} = 285$;

Для колеса виберемо сталь 45, термообробка – поліпшення, твердість 235–262 НВ, середня твердість $HB_{02} = 250$.

2.1.3. Визначення допустимих контактних напружень

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} Z_N / S_H, \text{ МПа}; \quad (13)$$

де: σ_{Hlim} – межа контактної витривалості при базовому числі циклів напружень NH_0 , S_H – коефіцієнт запасу міцності, $S_H = 1,1$, Z_N – коефіцієнт

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Дмитренко В.В.</i>				<i>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ РОБОТА</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сподоба О.О.</i>						21	52
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБіП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

довговічності.

Для шестерні:

$$\sigma_{Hlim1} = 2 HB01 + 70 = 2 \cdot 285 + 70 = 640 \text{ МПа};$$

Для колеса:

$$\sigma_{Hlim2} = 2 HB02 + 70 = 2 \cdot 250 + 70 = 570 \text{ МПа};$$

Базове число циклів напружень.

Для шестерні:

$$NH01 = 30 (HB01)^{2,4} = 30 \cdot 285^{2,4} \approx 2,3 \cdot 10^7;$$

Для колеса:

$$NH02 = 30 (HB02)^{2,4} = 30 \cdot 250^{2,4} \approx 1,7 \cdot 10^7.$$

Розрахункове число циклів напружень за весь строк служби передачі при постійному режимі навантаження

$$NK = 60 n c Lh; \quad (14)$$

де n – частота обертання шестерні, колеса, об/хв; c – число зачеплень зуба за один оберт колеса; Lh – строк служби передачі.

$$Lh = 2920 L K\gamma Kc, \quad (15)$$

де L – число років роботи передачі, $L = 5$ років; $K\gamma$ – коефіцієнт річного використання передачі, $K\gamma = 0,85$; Kc – число змін роботи передачі за добу, $Kc=3$.

$$L_h = 2920 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 3 = 37230.$$

Розрахункове число циклів напружень.

Для шестерни:

$$NK_1 = 60 n_1 c L_h = 60 \cdot 960 \cdot 1 \cdot 37230 = 214 \cdot 10^7;$$

Для колеса

$$NK_2 = 60 n_2 c L_h = 60 \cdot 266,7 \cdot 1 \cdot 37230 = 59 \cdot 10^7.$$

Для довго працюючих передач при $NK > N_{H0}$ коефіцієнт довговічності дорівнює

$$Z_n = 20 \sqrt{\frac{N_{H0}}{N_K}} \geq 0,75 \quad (16)$$

Для шестерні:

$$Z_n = 20 \sqrt{\frac{2,3 \cdot 10^7}{214 \cdot 10^7}} = 0,8 ;$$

Для колеса:

$$Z_n = 20 \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^7}{59 \cdot 10^7}} = 0,84$$

Визначимо допустимі контактні напруження.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Для шестерні:

$$[\sigma_H]1 = 640 \cdot 0,8 / 1,1 = 465,4 \text{ МПа} ;$$

Для колеса

$$[\sigma_H]2 = 570 \cdot 0,84 / 1,1 = 435,3 \text{ МПа} .$$

Розрахункове допустиме контактне напруження $[\sigma_H] = [\sigma_H]2 = 435,3$ МПа .

2.1.4. Визначення допустимих напружень згину

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flim} Y_R Y_Z Y_A Y_N / S_F , \text{ МПа} , \quad (17)$$

де σ_{Flim} – межа витривалості зубів при згині, яка відповідає базовому числу циклів напружень. S_F – коефіцієнт запасу міцності, $S_F = 1,7$; Y_R – коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості перехідної поверхні між зубами, $Y_R = 1$; Y_Z – коефіцієнт, який враховує спосіб отримання заготовки шестерні і колеса. Для поковок та штамповок $Y_Z = 1$; Y_A – коефіцієнт, який враховує вплив двостороннього прикладення навантаження. При нереверсивній передачі $Y_A = 1,0$;

Y_N – коефіцієнт довговічності

Для шестерни:

$$\sigma_{Flim1} = 1,75 \text{ HB01} = 1,75 \cdot 285 = 498,7 \text{ МПа};$$

Для колеса:

$$\sigma_{Flim2} = 1,75 \text{ HB02} = 1,75 \cdot 250 = 437,5 \text{ МПа};$$

$$Z_n = q \sqrt{\frac{N_{F0}}{N_K}} \geq 1 \quad (18)$$

де N_{F0} – базове число циклів напружень. Для сталей $N_{F0} = 4 \cdot 10^6$. Так як розрахункове число циклів напружень для шестерні $N_{K1} = 214 \cdot 10^7$ и для колеса $N_{K2} = 59 \cdot 10^7$ більше базового числа циклів $N_{F0} = 4 \cdot 10^6$, то приймаємо $Y_N = 1,0$.

Визначимо допустимі напруження згину.

Для шестерні:

$$[\sigma_F]_1 = 498,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 / 1,7 \approx 293 \text{ МПа};$$

Для колеса

$$[\sigma_F]_2 = 437,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 / 1,7 \approx 257 \text{ МПа}.$$

2.1.5. Визначення міжосьової відстані

$$a_w \geq K_a (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_H}{u \psi_{ba} [\sigma_H]^2}} \quad (19)$$

де $K_a = 450$ МПа; u – передаточне число, $u = 3,6$; T_1 – крутний момент на шестерні, $T_1 = 75$ Н·м; K_H – коефіцієнт навантаження. Для прямозубої передачі попередньо приймаємо $K_H = 1,3$; ψ_{ba} – коефіцієнт ширини вінця колеса. При симетричному розміщенні прямозубих коліс відносно опор вибираємо $\psi_{ba} = 0,315$.

$$a_w \geq 450 (3,6 + 1) \sqrt[3]{\frac{75 \cdot 1,3}{3,6 \cdot 0,315 \cdot 435,3^2}} = 159,1 \text{ мм}$$

Приймаємо з ряду стандартних чисел $a_w = 160$ мм.

2.1.6. Визначення модуля передачі

Мінімальне значення модуля з умови міцності на згин

$$m \geq \frac{K_m T_1 (u+1)}{a_w b_2 [\sigma_F]_2}, \quad (20)$$

де $K_m = 6,8 \cdot 10^3$ – для прямозубої передачі; b_2 – ширина вінця колеса

$$b_2 = \psi_b a_w = 0,315 \cdot 160 = 50,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b_2 = 50$ мм.

$$m \geq \frac{6,8 \cdot 10^3 \cdot 75(3,6+1)}{160 \cdot 50 \cdot 257} = 1,14$$

Максимально допустимий модуль передачі:

$$m_{\max} \approx 2 a_w / [17(u+1)] = 2 \cdot 160 / [17(3,6+1)] \approx 4,0 \text{ мм.} \quad (21)$$

Приймаємо по ГОСТ 9563-80 стандартне значення модуля $m = 2$.

2.1.7. Визначення числа зубів шестерні та колеса

Визначимо загальну кількість зубів в передачі

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

$$z_S = 2 a_w / m = 2 \cdot 160 / 2 = 160. \quad (22)$$

Визначимо кількість зубів шестерні:

$$z_1 = z_S / (u + 1) = 160 / (3,6 + 1) = 34,8. \quad (23)$$

Приймаємо $z_1 = 35$.

Так як $z_1 = 35 > z_{1\min} = 17$, то зубчаті колеса виготовляються без зміщення початкового контура ($x_1 = x_2 = 0$).

Визначимо число зубів колеса

$$z_2 = z_S - z_1 = 160 - 35 = 125 \quad (24)$$

Уточнення передаточного числа

$$u_\phi = z_2 / z_1 = 125/35 = 3,57. \quad (25)$$

Визначимо відхилення від заданого передаточного числа

$$\Delta u = \frac{|u_\phi - u|}{u} 100 = \frac{|3,57 - 3,6|}{3,6} 100 = 0,83\% < [\Delta u] = 3\%. \quad (26)$$

2.1.8. Визначення розмірів зубчатих коліс

Ділильні діаметри:

Шестерні:

$$d_1 = m z_1 = 2 \cdot 35 = 70 \text{ мм}; \quad (27)$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Колеса:

$$d_2 = m z_2 = 2 \cdot 125 = 250 \text{ мм.} \quad (28)$$

Діаметри вершин зубів:

Шестерні

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 70 + 2 \cdot 2 = 74 \text{ мм ;} \quad (29)$$

Колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 250 + 2 \cdot 2 = 254 \text{ мм.} \quad (30)$$

Діаметри впадин зубів:

Шестерні:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 70 - 2,5 \cdot 2 = 65 \text{ мм;} \quad (31)$$

Колеса:

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 250 - 2,5 \cdot 2 = 245 \text{ мм .} \quad (32)$$

Ширина зубчатого вінця:

Колеса

$$b_2 = 50 \text{ мм ;}$$

Шестерні

$$b_1 = b_2 + 5 = 50 + 5 = 55 \text{ мм .} \quad (33)$$

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		28

2.1.9. Розміри заготовок

Діаметр заготовки шестерні:

$$D_{\text{заг}} = da_1 + 6 = 74 + 6 = 80 \text{ мм.} \quad (34)$$

Для колеса з виточками:

Товщина диска

$$S_{\text{заг}} = 0,5 b_2 = 0,5 \cdot 50 = 25 \text{ мм;} \quad (35)$$

Товщина ободу заготовки колеса

$$S_{\text{заг}} = 8m = 8 \cdot 2 = 16 \text{ мм.} \quad (36)$$

Граничні розміри заготовок для сталі 45:

$$D_{\text{пр}} = 80 \text{ мм;} S_{\text{пр}} = 80 \text{ мм.} \quad (37)$$

Умови придатності заготовок виконуються, оскільки:

$$D_{\text{заг}} = D_{\text{пр}};$$

$$S_{\text{заг}} < S_{\text{пр}}$$

$$S_{\text{заг}} < S_{\text{пр}} .$$

2.1.10. Визначення сил в зачепленні

Колова сила:

$$F_t = 2000 T1 / d1 = 2000 \cdot 75 / 70 \approx 2142,9 \text{ Н.} \quad (38)$$

Радіальна сила:

$$F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha = 2142,9 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 780 \text{ Н} \quad (39)$$

2.1.11. Перевірочний розрахунок передачі на контактну міцність

$$\sigma_H = Z_E Z_\varepsilon Z_H \sqrt{\frac{F_t K_H (u+1)}{d_1 b_2 u}} \leq [\sigma_H], \quad (40)$$

де $Z_E = 190 \text{ МПа}$ Z_ε – коефіцієнт, який враховує сумарну довжину контактних ліній.

Для прямозубих коліс.

$$Z_\varepsilon = \sqrt{(4 - \varepsilon_\alpha)/3} = \sqrt{(4 - 1,76)/3} = 0,864 ; \quad (41)$$

ε_α – коефіцієнт торцевого перекриття

$$\varepsilon_\alpha \approx [1,88 - 3,2 (1/z_1 + 1/z_2)] = [1,88 - 3,2(1/35 + 1/125)] = 1,76 ; \quad (42)$$

Z_H – коефіцієнт, який враховує форму спряжених поверхонь зубів. Для прямозубих передач $Z_H \approx 2,49$; $u = 3,57$ – фактичне передаточне число; K_H – коефіцієнт навантаження.

$$K_H = K_{H\beta} K_{H\nu}, \quad (43)$$

де $K_{H\beta}$ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу навантаження по довжині контактних ліній.

При $\psi_{bd} = b_2 / d_1 = 50/70 = 0,7$, твердості зубів коліс ≤ 350 НВ і симетричному розміщенні коліс відносно опор $K_{H\beta} = 1,03$; $K_{H\nu}$ – коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження.

Колова швидкість коліс:

$$v = \pi d_1 n_1 / 60000 = \pi \cdot 70 \cdot 960 / 60000 = 3,5 \text{ м/с}. \quad (44)$$

Для прямозубої передачі назначаємо 8-ю ступінь точності виготовлення. При $v = 3,5$ м/с та 8-й ступені точності виготовлення передачі $K_{H\nu} = 1,17$
 $K_H = 1,03 \cdot 1,17 \approx 1,2$.

Відповідно розрахункове контактне напруження:

$$\sigma_H = 190 \cdot 0,864 \cdot 2,49 \sqrt{\frac{2142,9 \cdot 1,2 \cdot (3,57 + 1)}{70 \cdot 50 \cdot 3,57}} = 396,4 \text{ МПа} \quad (45)$$

$$\sigma_H = 396,4 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 435,3 \text{ МПа}$$

Відхилення розрахункового напруження від допустимих контактних напружень:

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

$$\Delta\sigma_H = (396,4 - 435,3) 100 / 435,3 = - 8,9 \% .$$

Недовантаження передачі складає 8,9 %, що допустимо.

2.1.12. Перевірочний розрахунок передачі на витривалість при згині

$$\sigma_F = \frac{F_t K_F}{b_2 m} Y_{FS} Y_\beta Y_\epsilon \leq [\sigma_F] \quad (46)$$

де K_F – коефіцієнт навантаження; Y_{FS} – коефіцієнт, який враховує форму зуба

$$Y_{FS} = 3,47 + 13,2 / z_v - 27,9 x / z_v + 0,092 x^2, \quad (47)$$

z_v – еквівалентне число зубів коліс; x – коефіцієнт зміщення; Y_β – коефіцієнт, який враховує нахил зуба, $Y_\beta = 1$; Y_ϵ – коефіцієнт, який враховує перекриття зубів, $Y_\epsilon = 1$. Для прямозубих передач без зміщення ісходного контура $x_1 = x_2 = 0$ і $z_v = z$.

Для шестерні:

$$Y_{FS1} = 3,47 + 13,2 / 35 = 3,85;$$

Для колеса

$$Y_{FS2} = 3,47 + 13,2 / 125 = 3,57.$$

Коефіцієнт навантаження:

$$K_F = K_{Fv} K_{F\beta}, \quad = \quad (48)$$

де KF_v – коефіцієнт який враховує динамічне навантаження. При $v = 3,5$ м/с и 8-й ступені точності $KF_v = 1,34$; KF_β – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення навантаження по довжині контактних ліній.

$$KF_\beta = 1 + 1,5 (KH_\beta - 1) = 1 + 1,5 (1,03 - 1) \approx 1,05. \quad (49)$$

Тоді $KF = 1,34 \cdot 1,05 = 1,4$. Розрахункове напруження згину в зубах колеса

$$\sigma_{F2} = \frac{2142,9 \cdot 1,4}{50 \cdot 2} \cdot 3,57 \cdot 1 \cdot 1 = 107 \text{ МПа} < [\sigma_F]_2 = 257 \text{ МПа}.$$

Розрахункове напруження згину в зубах шестерні

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} Y_{FS1}/Y_{FS2} = 107 \cdot 3,85/3,57 = 115,5 \text{ МПа} < [\sigma_F]_1 = 293 \text{ МПа}. \quad (50)$$

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі було проведено оцінку безпеки та екологічності дипломного проекту.

Варто зазначити, що на етапі проекту здійснюється основна частина заходів безпеки. Безпека обладнання відповідає вимогам ГОСТ 12.0.001-2013, ГОСТ 12.0.003-2015, ГОСТ 12.1.019-2017, ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.3.002-2014 і досягається [14]:

- вибором принципів дії, схем, безпечних структурних елементів тощо;
- використанням в конструкції безпечних матеріалів, інструментів автоматизації та дистанційного управління;
- впровадженням ергономічних та естетичних рішень;
- вибором безпечних органів управління;
- використанням в розробці захисного обладнання;
- дотриманням вимог безпеки під час роботи, установки, транспортування та зберігання;
- розміщенням обладнання на ділянці;
- вибором електричного обладнання та конструкцій обладнання, враховуючи пожежну безпеку;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію для встановлення, експлуатації, ремонту, транспортуванню та зберіганню;
- контролем за дотриманням вимог безпеки, правил роботи та законодавства про охорону праці

Обладнання робота-маніпулятора під час роботи та в умовах, встановлених експлуатаційною та ремонтною документацією відповідно до вимог ГОСТ 2.601-2013 и ГОСТ 2.602-2013, не повинно створювати небезпеки в надзвичайних ситуаціях внаслідок високої вологості, температури, сонячного випромінювання, механічних вібрацій, агресивних речовин, навантажень вітру та інших

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Дмитренко В.В.</i>			<i>РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сподоба О.О.</i>					34	52
<i>Н. контр.</i>					<i>НУБіП України</i>			
<i>Затверд.</i>								

негативних факторів, що мають місце в надзвичайних ситуаціях [15].

3.1 Безпека елементів робота-маніпулятора

Робот-маніпулятор включає в себе:

- корпусні та елементи для кріплення;
- сервоприводи;
- контролери;
- провідники;
- приймачі та передавачі бездротового сигналу.

Усі елементи робота-маніпулятора не представляють високої пожежної небезпеки (ГОСТ 12.1.004) та небезпеку вибуху (ГОСТ 12.1.010) [16].

Корпусні та елементи для кріплення.

Робот-маніпулятор містить корпусні елементи, виготовлені з пластику, а також елементи кріплення (гвинти, гайки).

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.019, корпусні та елементи кріплення відповідного робота-маніпулятора не мають високої електричної небезпеки, оскільки продукти корпусу, виготовлені з PLA-пластику, не проводять струм, а елементи кріплення не контактують з різними частинами роботів. У той же час PLA-пластик є екологічно чистим, виготовлений з цукрового буряка. Масова концентрація пилу не перевищує $0,07\text{мг/м}^3$, хоча норми становить $0,50\text{мг/м}^3$. Норми описані в документах:

- ГН 2.1.6.1338. «Гранично допустимі концентрації (ГПК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених районів. Гігієнічні стандарти».

- ГН 2.1.6.1983 05 «Гранично допустимі концентрації (ГПК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених районів. Додавання та зміни N 2к»

- ГН 2.1.6.1338-03 ГОСТ Р ІСО 16000-1-2007 «Повітря закритих приміщень. Частина 1. Вибір зразків. Загальні положення»

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

Сервоприводи.

Сервоприводи робота-маніпулятора забезпечують рух ланок маніпулятора.

Сервоприводи забезпечують безпеку роботи під час введення в експлуатацію та експлуатацію відповідно до вимог, передбачених експлуатаційною документацією. Відповідність вимогам безпеки ГОСТ 12.1.019 і ГОСТ 12.1.038 також забезпечуються такими властивостями сервоприводів:

- сервоприводи мають пластикові корпуси, які виключають контакт людини з його внутрішніми частинами в нормальному режимі роботи;
- максимальне значення напруги в електричних ланцюгах сервоприводів - 6В, що не перевищує граничного значення напруги постійного струму в звичайному режимі електричної установки - 8В;
- структурні елементи сервоприводів не мають гострих куточків, країв та поверхонь з нерівностями, які є небезпекою травми для людини;
- конструкція сервоприводу виключає спонтанне ослаблення або розділення кріплень деталей за рахунок їх надійного кріплення.

Контролер

Контролер отримує електричну енергію від джерела живлення, яка постачається на сервоприводи, датчики та прийомники бездротового сигналу, а також здійснюють управління та обмін інформацією.

Контролер забезпечує безпеку роботи під час введення в експлуатацію та експлуатацію відповідно до вимог, передбачених експлуатаційною документацією. Відповідність вимогам безпеки ГОСТ 12.1.019 і ГОСТ 12.1.038 також забезпечується наступними властивостями контролерів [17]:

- контролер має пластиковий корпус, які виключають контакт людини з його внутрішніми частинами у звичайному режимі роботи;
- максимальне значення напруги в електричних ланцюгах контролера становить 12 В, що відповідно до вимог ГОСТ 12.1.038 не перевищує максимально допустимої напруги дотику 1 с або більше у разі аварійного режиму роботи електричної установки ;
- елементи конструкції контролера не мають гострих куточків, країв та

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

- поверхонь з нерівностями, які є небезпекою травми для людини;
- конструкція контролера виключає спонтанне ослаблення або розділення розділення кріплень деталей за рахунок їх надійного кріплення.

Кабелі

Комплекти мають дво- та тривимірні кабелі сили та зв'язку. Електрична безпека під час поводження з кабелями забезпечується наступними властивостями :

- наявність робочої ізоляції;
- максимальне значення напруги між кабельними жилами, за винятком силових кабелів, становить 5В, що відповідно до вимог ГОСТ 12.1.038, не перевищує максимальне значення напруги управління в звичайному режимі електричної установки - 8В;
- напруга між жилами кабелю робота-маніпулятора становить 12В, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.038 не перевищує максимально допустимої напруги дотику 1с або більше при аварійній роботі електричної установки;
- кінці проводів оснащені з'єднувачами, які виключають можливість спонтанного короткого замикання.

Бездротові приймачі сигналу та передавачі.

Усі прийомники та передавачі бездротового сигналу використовують постійний струм з напругою не більше 5В, що відповідає вимогам GOST 12.1.038, не перевищує максимального значення дотику постійного струму з нормальним режимом електричної установки - 8В.

3.2 Безпека вихідних матеріалів

Безпека робота-маніпулятора забезпечується використанням переважно безпечних матеріалів та речовин у конструкції. Відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002:

					<i>01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		37

- матеріали робота-маніпулятора не мають шкідливого впливу на працівників. При використанні матеріалів, які можуть мати шкідливий ефект, надаються відповідні засоби захисту працівників [18];
- використання нових речовин та матеріалів дозволено лише після відповідного затвердження гігієнічних стандартів у встановленому порядку.

Таблиця 3.1.

Матеріали, що входять до елементів робота-маніпулятора

Назва матеріала	Клас небезпеки
Інженерний PLA-пластик (корпусні елементи, редуктори сервоприводів, корпуса датчиків і контролера)	4
Сталь (вироби кріплення)	4
Мідь (кабелі живлення та зв'язку)	4
Склотекстоліт, фольга, напівпровідникові матеріали та інше	4

Усі речовини та матеріали пройшли гігієнічну перевірку та перевірку безпеки пожежі. Матеріали конструкції обладнання (табл. 3.1) не мають небезпечного та шкідливого впливу на людський організм і не створюють пожежно -експресивних ситуацій при виконанні наданих умов експлуатації [19].

3.3 Безпека органів управління

Конструкція управління роботом забезпечують оптимальні умови праці та були виконані відповідно до вимог ГОСТ 12.2.064, ГОСТ 12.2.061, ГОСТ 12.2.003:

- органи управління мають засоби екстреного (аварійного) відключення;

- відстань між органом управління виключає можливість змінити його при маніпуляції з сусіднім органом управління[20].

3.4 Безпека захисного обладнання, що входить в конструкцію

Інструменти захисту забезпечують безпеку під час роботи робота-маніпулятора та сконструйовані з урахуванням вимог ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.049, ГОСТ 12.2.061:

- захисне обладнання постійно виконує своє призначення в процесі функціонування елементів робота-маніпулятора або в разі небезпечної ситуації;
- конструкція та розташування захисного обладнання не обмежують технологічні можливості обладнання та забезпечують зручність експлуатації та обслуговування[21].

3.5 Безпека під час монтажу та ремонту

Безпека під час встановлення та ремонтних робіт забезпечується захисним обладнанням, інструментами та пристроями, які відповідають вимогам державних стандартів.

Захисні елементи, інструменти та пристрої піддаються огляду та тестуванню.

Особи, які пройшли спеціальний інструктаж та вивчали цей технічний опис та інструкції з експлуатації допускаються до обслуговування.

Під час монтажу та експлуатації потрібно виконувати:

- правил електричних установок;
- правил безпеки для експлуатації споживчих електричних установок [22].

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

3.6 Безпека під час транспортування та зберігання

Маса робота не перевищує кг, тому він не потребує додаткових вантажопідійомних елементів під час монтажу, транспортування, зберігання та ремонту.

Необхідна умова зберігання - це температурний режим (від -10 до +40°C) та відносна вологість 40-60%. Робот розташований на підставці із ДСП, і транспортується у коробці суворо у вертикальному положенні [23].

3.7 Безпека при розміщенні

Відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002, СНиП 31-01-03:

- лабораторні (робочі, монтажні) площадки на яких проводяться робота, відповідають вимогам існуючих будівельних норм та правил, а також правилами, затвердженими державними органами нагляду;
- організація робочих місць відповідає вимогам безпеки з урахуванням ергономічних вимог, встановлених у державних стандартах конкретних виробничих процесів, виробничого обладнання та робочих місць [24].

3.8 Вимоги до безпеки до вибору персоналу

Для обслуговування допускаються особи, що:

- пройшли інструктаж, навчання та тестування знань по охороні праці;
- не мають медичних протипоказань.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

3.9 Пожежна безпека

Пожежна безпека обладнання повинна забезпечуватися відповідно до вимог цих стандартів, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07. Враховуючи ці показники вибрали тип виконання, тип вибухозахисту електричного обладнання та ступінь його захисту від пилу та вологи.

Щоб забезпечити пожежну безпеку об'єкта, в зоні експлуатації робота-маніпулятора, необхідно використовувати заходи щодо запобігання пожежам:

- організаційні (інструктаж персоналу, розробка плану евакуації тощо);
- технічні (елементи з негорючих перепон);
- режимні (куріння та прийом їжі в спеціальних місцях);
- експлуатаційні (профілактичні обстеження) [25].

3.10 Контроль за виконанням вимог безпеки

Контроль за виконанням вимог безпеки під час роботи робота-маніпулятора призначається відповідальними особами відповідно до юридичних та нормативних документів для створення безпеки та нормальних умов праці.

3.11. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Якщо трапляється надзвичайна ситуація, то необхідно:

- 1) вимкнути електроенергію в лабораторії;
- 2) дотримуватись порядку посадових інструкцій;
- 3) вийти з будівлі і керуватись розпорядження головною цивільної оборони та надзвичайних ситуацій.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		41

3.12 Екологічна безпека робота-маніпулятора

Одним із екологічних показників є екологічна безпека вихідних матеріалів та речовин, що входять до конструкції обладнання.

При виробництві та експлуатації робота-маніпулятора всі нормативні екологічні вимоги були виконані. Конструкція використовує переважно безпечні та екологічно чисті відповідно до стандартів захисту та навколишнього середовища, сертифікованих матеріалів та речовин, які пройшли гігієнічну перевірку та пожежну небезпеку.

					<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>	Лист
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		42

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Розрахунок повної собівартості необхідний для визначення величини витрат, пов'язаних з виробництвом робота.

Розрахунок собівартості здійснюється за статтями калькуляції, на підставі якого здійснюється планування та облік витрат.

Повна собівартість виробу складається за такими статтями витрат:

- 1) Витрати на матеріали (М).
- 2) Витрати на комплектуючі вироби та напівфабрикати (К).
- 3) Основна заробітна плата (Зо).
- 4) Відрахування до страхових фондів (Вс.ф.).
- 5) Загальновиробничі витрати (Вз.в.).
- 6) Загальногосподарські витрати (Вз.г.).
- 7) Комерційні витрати (Вк) [26].

4.1. Розрахунок затрат на матеріали

В таблиці 4.1. наведено оптові ціни на основні матеріали

Таблиця 4.1.

Витрати на закупівлю матеріалів та комплектуючі

№	Найменування	Кількість	Ціна за одиницю продукції, грн	Сума, грн
1	Метал, кг	50	46	2300
2	Лакофарбове покриття, шт	1	1700	980

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Лім.	Лист	Листів
						43	52
Розроб.		Дмитренко В.В.			РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ НУБІП України		
Перевір.		Сподаба О.О.					
Н. контр.							
Затверд.							

Продовження таблиці 4.1.

№	Найменування	Кількість	Ціна за одиницю продукції, грн	Сума, грн
2	Серводвигуни, шт	6	17490,00	104940,00
3	Драйвер, шт	1	23210,00	23210,00
4	Підшипники, шт	15	407,00	6105,00
5	Болти М10х30, шт	50	12,90	645,00
6	Шайби М10, шт	50	3,60	180,00
7	Разом	-	-	138360,00

4.2. Розрахунок заробітної плати основних працівників

Розмір заробітної плати залежить від розряду роботи, професії робітника, норми штучного часу та тарифної ставки. Погодинні тарифні ставки визначаються відповідно до даних тарифних сіток згідно законодавства України. Дані щодо розрахунку основної заробітної плати виробничих робітників наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Витрати на заробітну плату

№	Технологічний процес	Норматив на 1-цю виробу		Трудо-місткість, год	Заробітна плата, грн
		Погодинна тарифна ставка, грн	Розряд		
1	Виготовлення заготовок	75,37	4	5	376,85

розмірі 36,3% від суми основної та додаткової заробітних плат виробничих робітників

$$\text{Вс.ф.} = 0,363 \times 30 \quad (51)$$

$$\text{Вс.ф.} = 0,363 \times 3705,72 = 1345,18$$

4.4. Розрахунок загальноновиробничих затрат

Загально виробничі витрати становлять 90% від суми основної заробітної плати виробничих робітників:

$$\text{Вз.в.} = 0,9 \times 30 \quad (52)$$

$$\text{Вз.в.} = 0,9 \times 3705,72 = 3335,15$$

Знайдемо цехову собівартість:

$$\text{Сцех} = \text{М} + 30 + \text{Вс.ф.} + \text{Вз.в.} \quad (53)$$

$$\text{Сцех} = 138360,00 + 3705,72 + 1345,18 + 3335,15 = 146746,05$$

4.5. Розрахунок загальногосподарських затрат

Загальногосподарські витрати, тобто витрати загально-заводського значення, складаються з витрат на випробування, досліди, дослідження, витрат на раціоналізацію, витрат, пов'язаних з підготовкою та перепідготовкою кадрів, послуг сторонніх підприємств, витрат на транспортування працівників до місця роботи та назад, витрат, пов'язаних із утриманням та експлуатацією обладнання та ін.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Загальногосподарські витрати становлять 90% від основної заробітної плати виробничих робітників:

$$\text{Вз.г.} = 0,9 \times 30 \quad (54)$$

$$\text{Вз.г.} = 0,9 \times 3705,72 = 3335,15$$

Виробнича собівартість знаходиться, як сума цехової собівартості та загальногосподарських витрат:

$$\text{Св} = \text{Сцех} + \text{Вз.г.} \quad (55)$$

$$\text{Св} = 146746,05 + 3335,15 = 150081,20$$

4.6. Розрахунок комерційних витрат

Комерційні витрати складаються з витрат на упаковку, послуги банків відповідно до укладених договорів, витрати на транспортування готової продукції тощо. Комерційні витрати становлять 5% від виробничої собівартості:

$$\text{Вк} = 0,05 \times \text{Св} \quad (55)$$

$$\text{Вк} = 0,05 \times 150081,20 = 7504,06$$

4.1. Розрахунок повної собівартості виробу

Повна собівартість визначається як сума виробничої собівартості та поза виробничих витрат.

$$\text{Сп} = \text{Св} + \text{Вк} \quad (56)$$

$$\text{Сп} = 150081,20 + 7504,06 = 157585,26$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

4.7. Розрахунок оптової ціни виробу

Оптова ціна продукції складається з повної собівартості продукції та нормативного прибутку, взятого у відсотках від повної собівартості.

Нормативний прибуток визначається за формулою:

$$П_H = \frac{C_{II} \cdot H_P}{100} \quad (57)$$

$$П_H = \frac{157585,26 \cdot 23}{100} = 36244,61$$

Податок на додану вартість (ПДВ) обчислюємо у відсотках від суми повної собівартості та прибутку:

$$ПДВ = \frac{(П_H + C_{II}) \cdot 20}{100} \quad (58)$$

$$ПДВ = \frac{(36244,61 + 157585,26) \cdot 20}{100} = 38\,765,97$$

Відпускна вартість:

$$Ц_{опт} = C_{II} + П_H + ПДВ \quad (59)$$

$$Ц_{опт} = 157585,26 + 36244,61 + 38765,97 = 232595,84$$

Середня вартість готового виробу 232595,84

Середня вартість аналогу 295595,84

Тобто економія становить 63000 грн.

Підп. і дата	
Інв. № дудл.	
Взам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ

Лист

48

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (дипломного проєкту бакалавра) було проведено:

Огляд існуючих шестиосьових маніпуляторів. Розглянуто конструктивне виконання маніпуляційної системи та їх технічні характеристики.

Розглянуто та обрано оптимальну кінематичну структуру побудови маніпуляційної системи. Вирішено задачу положення ланок маніпуляційної системи методом неоднорідних перетворень сферичної системи координат маніпуляційної системи розроблювального робота.

В другому розділі проведено розрахунок циліндричної прямозубої передачі з можливістю компенсування зазору в зачепленні.

В третьому розділі наведено методику безпеки створення та використання шестиосьового маніпулятора.

В четвертому розділі наведена методика розрахунку економічної доцільності розробки та виготовлення шестиосьового маніпулятора. Розраховані витрати на матеріали, витрати на комплектуючі вироби та напівфабрикати, витрати на основну заробітну плату, відрахування до страхових фондів, загальновиробничі витрати, загальногосподарські витрати, комерційні витрати та розраховано кінцеву вартість товару що становить 18%.

Підп. і дата							
Інв. № дудл.							
Взам. Інв. №							
Підп. і дата							
<i>01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розроб.		Дмитренко В.В.					
Перевір.		Сподоба О.О.					
Н. контр.							
Затверд.							
Інв. № ориг.	<i>ВИСНОВКИ</i>				Літ.	Лист	Листів
						49	52
					<i>НУБіП України</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:

Підп. і дата									
Інв. № дубл.									
Взам. Інв. №									
Підп. і дата									
Інв. № ориг.									
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата	<i>01.09 — КР. 2265 “С” 2024.12.16. 010 ПЗ</i>				
Розроб.	Дмитренко В.В.				СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ				
Перевір.	Сподоба О.О.								
Н. контр.									
Затверд.									
					Літ.	Лист	Листів		
						50	52		
					<i>НУБІП України</i>				

<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., Гаврилук І.П. К.: НУБіП України, 2022. С. 61