

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384
Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до роботи
Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Дослідження впливу динамічних параметрів
гідравлічного обладнання на ефективність
роботи автомобільного маніпулятора

Виконав: студент VI курсу,
групи 601-ММВ
напряму підготовки (спеціальності)
133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Шкаревський Т.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Вірченко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Полтава 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження впливу динамічних параметрів
гідравлічного обладнання на ефективність роботи
автомобільного маніпулятора**

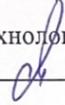
Кваліфікаційна робота магістра

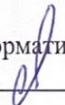
Лист затвердження

ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000 КРМ - ЛЗ

Розробив магістрант групи 601-ММв
 Т.Ю. Шкаревський
„22” 08 2024 р.

Керівник к.т.н., доцент
 В.В. Вірченко
„11” 08 2024 р.

Технологічний контроль к.т.н. доцент
 О.С. Васильєв
„22” 08 2024 р.

Нормативний контроль к.т.н. доцент
 О.С. Васильєв
„22” 08 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.
Микола НЕСТЕРЕНКО
«__» _____ 2024 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедрою
галузевого машинобудування
і мехатроніки, к.т.н, доцент

 О.В. Орисенко

№ строки Формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз.	Примітки
1					
2		Документація загальна			
3					
4		Вперше розроблена			
5					
6	A4	ГММ.601-ММВ.023-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-
7	A4	ГММ.601-ММВ.023-00.00.000А	Анотація	1	-
8	A4	ГММ.601-ММВ.023-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
9					
10		Документація наукова			
11					
12		Вперше розроблена			
13					
14	A4	ГММ.601-ММВ.023-00.00.000ПМ	Презентаційні матеріали		
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

				ГММ.601-ММВ.023-00.00.000 ВР			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ	Лист	Листів
Розроб.		Шкарєвський	<i>Ш</i>	22.08	н		1
Перев.		Вірченко	<i>В</i>	22.08			
Нконтр.		Васильєв	<i>В</i>	22.08	НУП імені Юрія Кондратюка 2024р.		
Затв.		Орисенко	<i>О</i>	22.08			

Дослідження впливу динамічних параметрів на ефективність роботи автомобільного маніпулятора
Відомість кваліфікаційної роботи магістра

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	27.05.2024 р.	
2	Обґрунтування вибраної теми	18.06.2024 р.	
3	Наукові дослідження за вказаною темою, розробка наукових плакатів	10.07.2024 р.	
4	Представлення готової роботи на кафедрі	20.08.2024 р.	

Студент


(підпис)

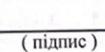
Шкаревський Т.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Вірченко В. В.
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми


(підпис)

Нестеренко М.М.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Т. Ю. Шкаревський. Дослідження впливу динамічних параметрів гідравлічного обладнання на ефективність роботи автомобільного маніпулятора.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», напрям освіти «Механічна інженерія», – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава 2024.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню впливу динамічних параметрів гідравлічного обладнання на ефективність роботи автомобільного маніпулятора. У роботі розглядаються основні динамічні характеристики, такі як швидкість руху, тиск в гідравлічній системі, та їх вплив на продуктивність маніпулятора. Використано методи математичного моделювання та експериментальні дослідження для аналізу залежностей між параметрами гідравлічної системи та загальною ефективністю роботи маніпулятора. Результати дослідження дозволяють визначити оптимальні параметри налаштування гідравлічного обладнання для забезпечення максимальної продуктивності маніпулятора, що може бути застосовано для підвищення ефективності роботи автомобільних кранів у промисловості.

Ключові слова: динамічні параметри, маніпулятор, гідравлічне обладнання, гідравлічна система, продуктивність, автомобільний маніпулятор.

ГММ.601–ММв.023–00.00.000А				
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шкаревський		22.08
Керівн.		Вірченко		22.08
Перевір.		Васильєв		22.08
Н. Контр.		Васильєв		22.08
Затвер.		Орисенко		22.08

Анотація	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 2px;">Лит..</td> <td style="width: 33%; padding: 2px;">Аркуш</td> <td style="width: 33%; padding: 2px;">Аркушів</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">НУПП імені Юрія Кондратюка 2024</p>	Лит..	Аркуш	Аркушів			
Лит..	Аркуш	Аркушів					

The Summary

T. Yu. Shkarevskiyi. Research on the influence of dynamic parameters of hydraulic equipment on the efficiency of the car manipulator.

Master's thesis for obtaining the educational and qualification level "master" in specialty 133 "Industrial mechanical engineering", direction of education "Mechanical engineering", National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava 2024.

The master's thesis is devoted to the study of the influence of dynamic parameters of hydraulic equipment on the efficiency of the car manipulator. The paper considers the main dynamic characteristics, such as movement speed, pressure in the hydraulic system, and their influence on the performance of the manipulator. Mathematical modeling methods and experimental studies were used to analyze the dependencies between the parameters of the hydraulic system and the overall efficiency of the manipulator. The research results make it possible to determine the optimal settings for hydraulic equipment to ensure maximum performance of the manipulator, which can be applied to increase the efficiency of the operation of automotive cranes in industry.

Key words: dynamic parameters, manipulator, hydraulic equipment, hydraulic system, performance, automobile manipulator.

ГММ.601-ММв.023-00.00.000А										
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Анотація			Літ..	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Шкаревський	<i>[Signature]</i>	22.08						
Керівн.		Вірченко	<i>[Signature]</i>	22.08						
Перевір.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	22.08						
Н. Контр.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	22.08						
Затвер.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	22.08	НУПП імені Юрія Кондратюка 2024					

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження впливу динамічних параметрів
гідравлічного обладнання на ефективність роботи
автомобільного маніпулятора**

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра
ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000 ПЗ**

Полтава – 2024 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	10
Розділ 1 АНАЛІЗ АВТОМОБІЛЬНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ	13
1.1 Електромеханічні маніпулятори	16
1.2 Пневматичні маніпулятори.....	21
1.3 Гідравлічні маніпулятори	28
1.4 Гідравлічне обладнання	31
Розділ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ МАНІПУЛЯТОРА	34
2.1 Методи створення динамічної моделі маніпулятора	34
2.2 Розрахунок рівняння динаміки автомобільного маніпулятора	36
2.3 Моделювання перехідних процесів для автомобільного маніпулятора.....	40
2.4 Оптимізація швидкості руху робочого органу автомобільного маніпулятора	49
2.5 Час переміщення робочих органів маніпулятора на коротких відстанях	53
2.6 Розрахунок раціональної швидкості під час досягнення кінцевої точки.....	55
Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МАНІПУЛЯТОРА.....	58
3.1 Дослідження швидкохідності маніпулятора	58
3.2 Аналіз перехідних процесів в автомобільному маніпуляторі	64
3.3 Визначення жорсткості ланок автомобільного маніпулятора.....	67
ВИСНОВКИ.....	70
ЛІТЕРАТУРА	71

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

ВСТУП

Автомобільні маніпулятори відіграють ключову роль у сучасній логістиці, забезпечуючи ефективне та швидке переміщення вантажів. Вони дозволяють зменшити час завантаження і розвантаження транспортних засобів, що, в свою чергу, знижує витрати на логістичні операції та підвищує продуктивність праці. Завдяки своїй мобільності та маневреності, автомобільні маніпулятори можуть працювати у складних умовах, забезпечуючи безперебійну роботу логістичних ланцюгів навіть у найвіддаленіших регіонах.

У будівництві автомобільні маніпулятори є незамінними помічниками. Вони використовуються для підйому, переміщення та встановлення будівельних матеріалів, обладнання та конструкцій. Завдяки високій вантажопідйомності та точності маніпуляцій, вони дозволяють здійснювати складні будівельні операції з мінімальними витратами часу і зусиль. Автомобільні маніпулятори сприяють підвищенню безпеки на будівельних майданчиках, оскільки дозволяють зменшити кількість ручної праці і знизити ризик травматизму.

У промисловості автомобільні маніпулятори використовуються для автоматизації виробничих процесів. Вони забезпечують точне та швидке переміщення деталей і готової продукції між різними виробничими ділянками. Це сприяє підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат на ручну працю та підвищенню якості продукції. Автомобільні маніпулятори також дозволяють зменшити час на переналагодження виробництва, що є важливим фактором для підприємств, які працюють в умовах швидко змінюваного ринку.

					ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шкаревський	<i>[підпис]</i>	22.08	Лім..	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Вірченко	<i>[підпис]</i>	22.08		10	
Перевір.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08	Вступ НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		
Н. Контр.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08			
Затвер.		Орисенко	<i>[підпис]</i>	22.08			

Завдяки інноваційним технологіям, такі маніпулятори можуть бути інтегровані у складні автоматизовані системи управління виробництвом, що забезпечує високу гнучкість і адаптивність до змін у виробничих процесах.

Зростаюча потреба в ефективних і багатофункціональних маніпуляторах обумовлена кількома ключовими факторами, які впливають на сучасну промисловість, логістику та будівництво. Сучасний бізнес прагне до максимальної автоматизації процесів, що дозволяє значно знизити витрати на ручну працю, підвищити продуктивність та забезпечити стабільну якість продукції. Автомобільні маніпулятори здатні виконувати складні завдання з високою точністю і швидкістю, що робить їх незамінними у багатьох галузях.

Зростання обсягу будівельних та логістичних проектів вимагає використання маніпуляторів, які можуть працювати у різних умовах і виконувати широкий спектр завдань. Сучасні маніпулятори повинні бути здатні до роботи у обмежених просторах, на складних ландшафтах та у важких погодних умовах. Багатофункціональні маніпулятори, які можуть швидко переобладнуватися для виконання різних операцій, дозволяють оптимізувати використання техніки та знижувати витрати на її утримання.

Розвиток технологій і впровадження новітніх матеріалів вимагають від маніпуляторів підвищеної надійності та довговічності. Підприємства потребують техніки, яка може працювати безперебійно протягом тривалого часу, мінімізуючи простой і знижуючи витрати на технічне обслуговування. Ефективні маніпулятори, які використовують передові технології, такі як штучний інтелект, робототехніка та інтернет речей (IoT), забезпечують підвищену ефективність і зручність у використанні.

Автомобільні маніпулятори відіграють важливу роль у сучасній промисловості, будівництві, логістиці та багатьох інших сферах. Вони дозволяють автоматизувати та оптимізувати процеси підйому, переміщення та встановлення вантажів, значно знижуючи витрати праці та підвищуючи ефективність роботи. У зв'язку зі зростаючою складністю і масштабами будівельних та виробничих проектів, попит на надійні та багатофункціональні

					ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маніпулятори постійно зростає. Ця тенденція стимулює розробку нових технологій та вдосконалення існуючих конструкцій.

Існує три основні типи автомобільних маніпуляторів: гідравлічні, електромеханічні та пневматичні. Кожен з цих типів має свої особливості конструкції та принципи дії, що обумовлюють їхнє застосування у різних умовах та для різних задач. Особлива увага приділяється інноваціям та новітнім технологіям, що впроваджуються у конструкції маніпуляторів, зокрема інтеграції з системами штучного інтелекту та використанню сучасних матеріалів.

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Розділ 1 АНАЛІЗ АВТОМОБІЛЬНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ

Класифікація автомобільних маніпуляторів є важливим етапом для розуміння їхніх конструкційних особливостей і можливостей застосування у різних галузях. Існує декілька підходів до класифікації маніпуляторів, залежно від їхнього призначення, конструкції та принципу дії. За призначенням автомобільні маніпулятори можна розділити на будівельні, логістичні та промислові. Будівельні маніпулятори використовуються для підйому і переміщення будівельних матеріалів, елементів конструкцій та обладнання. Логістичні маніпулятори забезпечують ефективну роботу з вантажами у сфері транспортування та складування, тоді як промислові маніпулятори здебільшого використовуються у виробничих процесах для автоматизації операцій з деталями і готовою продукцією.

Конструкційні особливості маніпуляторів також дозволяють розділити їх на гідравлічні, електромеханічні та пневматичні. Гідравлічні маніпулятори використовують рідину під тиском для створення сил і рухів, що забезпечує високу вантажопідйомність і плавність роботи. Вони широко застосовуються у будівництві та важкій промисловості, де потрібна велика сила і точність. Електромеханічні маніпулятори використовують електродвигуни і передавальні механізми для забезпечення руху і позиціонування. Вони відзначаються високою точністю і можливістю програмування, що робить їх ідеальними для використання у виробничих процесах і автоматизованих системах. Пневматичні маніпулятори, які працюють за допомогою стисненого повітря, відзначаються простою конструкцією і швидкістю руху, що робить їх ефективними у легкій промисловості та лініях упаковки.

					ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шкаревський	<i>[підпис]</i>	22.08	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Вірченко	<i>[підпис]</i>	22.08		13	
Перевір.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08	Розділ 1 НУП імені Юрія Кондратюка 2024		
Н. Контр.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08			
Затвер.		Орисенко	<i>[підпис]</i>	22.08			

Кожен тип маніпулятора має свої переваги і недоліки, що визначає їхнє застосування у певних умовах. Наприклад, гідравлічні маніпулятори забезпечують велику силу і надійність, але потребують регулярного технічного обслуговування і мають високу вартість. Електромеханічні маніпулятори характеризуються високою точністю і можливістю інтеграції з автоматизованими системами, але мають обмежену вантажопідйомність. Пневматичні маніпулятори прості в обслуговуванні і мають високу швидкість, але залежать від джерела стисненого повітря і мають обмежену силу.

Класифікація автомобільних маніпуляторів за призначенням поділяє різні типи маніпуляторів, що призначені для виконання специфічних завдань у різних галузях. Будівельні маніпулятори використовуються на будівельних майданчиках для підйому, переміщення і встановлення різних матеріалів та конструкцій. Вони мають високу вантажопідйомність і стійкість, що дозволяє працювати з важкими і габаритними вантажами. Такі маніпулятори часто оснащуються спеціалізованими насадками і пристроями для роботи з конкретними типами матеріалів, такими як бетонні блоки, сталеві балки або дерев'яні елементи. Їхнє використання значно знижує витрати часу і зусиль на будівельні операції, підвищуючи продуктивність і безпеку праці.

Логістичні маніпулятори відіграють ключову роль у сфері транспортування та складування товарів. Вони забезпечують ефективно і швидко завантаження та розвантаження транспортних засобів, переміщення вантажів на складах і між різними виробничими ділянками. Завдяки своїй мобільності і маневреності, логістичні маніпулятори можуть працювати у обмежених просторах і складних умовах, що робить їх незамінними у великих логістичних центрах і на складах. Вони також можуть бути оснащені різними типами захватних пристроїв для роботи з різними типами вантажів, включаючи палети, контейнери та великогабаритні предмети.

Промислові маніпулятори використовуються на виробничих підприємствах для автоматизації процесів підйому і переміщення деталей і

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			74

готової продукції. Вони забезпечують високу точність і швидкість виконання операцій, що сприяє підвищенню продуктивності і якості продукції. Промислові маніпулятори можуть бути інтегровані у складні автоматизовані системи управління виробництвом, що дозволяє забезпечити високу гнучкість і адаптивність до змін у виробничих процесах. Вони також можуть бути оснащені сенсорами і системами штучного інтелекту, що підвищує їхню ефективність і знижує потребу у людському втручанні.

Класифікація автомобільних маніпуляторів за конструкцією дозволяє зрозуміти технологічні особливості кожного типу і визначити їхні переваги та недоліки. Одним із основних типів є гідравлічні маніпулятори, які використовують гідравлічні системи для створення рухів і сили. Гідравлічні маніпулятори зазвичай складаються з гідроциліндрів, насосів і моторів, які працюють за рахунок рідини під тиском. Вони відзначаються високою вантажопідйомністю та плавністю рухів, що робить їх ідеальними для важких і точних завдань, таких як підйом і переміщення великогабаритних вантажів у будівництві та промисловості. Проте, гідравлічні маніпулятори мають високу вартість і потребують регулярного технічного обслуговування для забезпечення належної роботи.

Електромеханічні маніпулятори використовують електродвигуни та передавальні механізми для створення руху і забезпечення позиціонування. Вони характеризуються високою точністю, можливістю програмування і автоматизації, що робить їх надзвичайно ефективними у виробничих процесах. Електромеханічні маніпулятори можуть бути інтегровані у складні автоматизовані системи, що дозволяє забезпечити гнучкість і адаптивність виробництва. Їхнє використання знижує витрати на ручну працю і підвищує якість продукції. Однак, вони мають обмежену вантажопідйомність порівняно з гідравлічними маніпуляторами і можуть бути менш надійними у важких умовах експлуатації.

						ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
							15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Пневматичні маніпулятори працюють за допомогою стисненого повітря, яке приводить у дію пневмоциліндри і виконує необхідні рухи. Вони відзначаються простою конструкцією, швидкістю рухів і низькими витратами на обслуговування, що робить їх популярними у легкій промисловості та на лініях упаковки. Пневматичні маніпулятори є економічно вигідними рішеннями для виконання простих і швидких операцій. Проте, вони мають обмежену вантажопідйомність і залежать від наявності джерела стисненого повітря, що може обмежувати їхнє застосування у деяких умовах.

1.1 Електромеханічні маніпулятори

Електромеханічні маніпулятори є важливою складовою сучасних технологічних процесів завдяки своїм унікальним можливостям і широкому спектру застосування. Основним принципом їхньої роботи є використання електродвигунів і механічних передавальних механізмів для створення руху і виконання різних завдань. Електромеханічні системи дозволяють досягти високої точності і контролю над рухами, що робить їх особливо корисними у виробничих процесах, де необхідна висока якість і точність виконання операцій. Ці маніпулятори часто використовуються для автоматизації складальних ліній, де вони можуть виконувати завдання з високою швидкістю і точністю, знижуючи потребу в ручній праці і підвищуючи ефективність виробництва.

Основні компоненти електромеханічних маніпуляторів включають кілька ключових елементів, які забезпечують їхню роботу і функціональність. Електродвигуни є основними джерелами руху в цих системах. Вони можуть бути різних типів, таких як постійного струму, змінного струму або крокові двигуни, в залежності від вимог до продуктивності і точності. Електродвигуни перетворюють електричну енергію на механічну, забезпечуючи рух маніпулятора у відповідь на команди керуючої системи. Зубчасті передачі і

									Арк.
									76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ				

редуктори використовуються для передачі руху від двигунів до робочих органів маніпулятора. Вони забезпечують необхідне співвідношення між швидкістю і моментом, дозволяючи досягти високої точності і контрольованості рухів.

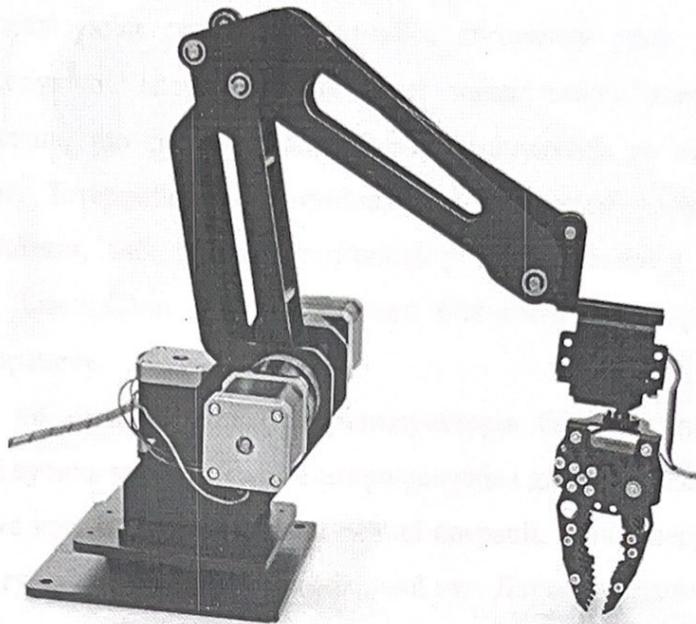


Рисунок 1.1 – Електромеханічний маніпулятор

Датчики положення і сили відіграють важливу роль у забезпеченні точності і надійності роботи маніпулятора. Датчики положення, такі як енкодери або лінійні потенціометри, відстежують позицію робочих органів маніпулятора і передають цю інформацію до керуючої системи. Це дозволяє точно контролювати рухи і виконувати завдання з високою точністю. Датчики сили, такі як тензодатчики, вимірюють зусилля, що діють на маніпулятор, і забезпечують додатковий рівень контролю, дозволяючи уникати перевантажень і пошкоджень. Комбіноване використання датчиків положення і сили дозволяє створювати складні алгоритми керування, які забезпечують плавність і безпеку роботи маніпулятора.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Керуюча система є мозком електромеханічного маніпулятора. Вона складається з мікроконтролерів або програмованих логічних контролерів (PLC), які обробляють сигнали від датчиків і генерують команди для електродвигунів. Керуюча система забезпечує синхронізацію рухів різних компонентів маніпулятора, реалізуючи складні траєкторії і алгоритми руху. Програмне забезпечення керуючої системи може бути налаштоване відповідно до конкретних завдань, що дозволяє адаптувати маніпулятор до різних умов роботи і вимог. Інтерфейси користувача, такі як панелі керування або комп'ютерні системи, забезпечують зручність у налаштуванні і управлінні маніпулятором, дозволяючи операторам легко змінювати параметри роботи і контролювати процеси.

Принцип дії електромеханічних маніпуляторів базується на точному контролі рухів і зусиль за допомогою електродвигунів і датчиків. Коли керуюча система отримує команду на виконання певної операції, вона генерує сигнали для електродвигунів, які створюють необхідний рух. Датчики положення і сили забезпечують зворотний зв'язок, передаючи інформацію про поточний стан маніпулятора до керуючої системи. Це дозволяє коригувати рухи в режимі реального часу, забезпечуючи високу точність і надійність роботи. Наприклад, при виконанні операції складання, маніпулятор може автоматично коригувати свою позицію, щоб забезпечити точне розташування компонентів, або регулювати силу, щоб уникнути пошкодження деталей.

Електромеханічні маніпулятори мають кілька суттєвих переваг, які роблять їх привабливими для різних застосувань у промисловості та інших галузях. Однією з головних переваг є висока точність і повторюваність рухів. Завдяки використанню сучасних електродвигунів і систем керування, ці маніпулятори здатні виконувати складні завдання з високою точністю, що є критично важливим для таких галузей, як автомобільна промисловість, електроніка та медицина. Висока точність дозволяє зменшити кількість помилок і підвищити якість продукції, що виготовляється.

					ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Іншою важливою перевагою електромеханічних маніпуляторів є їхня енергоефективність. Порівняно з гідравлічними системами, електромеханічні маніпулятори споживають менше енергії, що знижує експлуатаційні витрати і вплив на навколишнє середовище. Крім того, вони потребують менше технічного обслуговування, оскільки не мають рідинних компонентів, які можуть вимагати регулярної заміни або технічного обслуговування. Це знижує загальні витрати на експлуатацію і підвищує надійність системи. Вони також характеризуються меншим рівнем шуму порівняно з гідравлічними і пневматичними системами, що робить їх більш комфортними для використання у виробничих середовищах.

Однак, електромеханічні маніпулятори мають і деякі недоліки, які слід враховувати при їх виборі і використанні. Одним із основних недоліків є обмежена вантажопідйомність порівняно з гідравлічними маніпуляторами. Це може обмежити їхнє застосування в завданнях, де необхідно переміщувати великі і важкі вантажі. Крім того, електромеханічні системи можуть бути чутливими до умов навколишнього середовища, таких як пил, волога і температура, що може впливати на їхню продуктивність і довговічність. У таких умовах необхідно забезпечувати додатковий захист і регулярне технічне обслуговування, що може збільшувати витрати.

Ще одним недоліком є складність і вартість програмування і налаштування електромеханічних маніпуляторів. Для ефективної роботи цих систем необхідно мати висококваліфікований персонал, який може програмувати і налаштовувати маніпулятори відповідно до специфічних завдань. Це може збільшити початкові витрати на впровадження системи і вимагати додаткових інвестицій у навчання і підготовку персоналу. Крім того, складні електронні системи можуть бути вразливими до збоїв і помилок, що потребує наявності резервних систем і засобів діагностики для забезпечення безперебійної роботи.

						ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

Електромеханічні маніпулятори знаходять широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїм численным перевагам і високій функціональності. В автомобільній промисловості вони використовуються для автоматизації складальних ліній, де необхідна висока точність і швидкість монтажу компонентів. Маніпулятори виконують завдання з монтажу двигунів, трансмісій, кузовів та інших компонентів, забезпечуючи високу якість складання і знижуючи витрати на ручну працю. Автоматизація цих процесів дозволяє значно підвищити продуктивність і ефективність виробництва, забезпечуючи стабільність і повторюваність операцій.

У виробництві електроніки електромеханічні маніпулятори застосовуються для складання складних електронних пристроїв, таких як мобільні телефони, комп'ютери та інші гаджети. Висока точність і контрольованість рухів маніпуляторів дозволяють виконувати делікатні операції з монтажу мікросхем і компонентів на друковані плати. Це забезпечує високу якість продукції та знижує кількість дефектів. Маніпулятори також використовуються для тестування готових виробів, що дозволяє швидко виявляти і усувати дефекти на ранніх стадіях виробничого процесу.

У медицині електромеханічні маніпулятори відіграють важливу роль у проведенні хірургічних операцій і медичних досліджень. Роботизовані хірургічні системи, оснащені маніпуляторами, дозволяють хірургам виконувати операції з високою точністю і мінімальним втручанням у організм пацієнта. Це знижує ризик ускладнень і скорочує період реабілітації. Маніпулятори також використовуються в лабораторних дослідженнях для автоматизації процесів аналізу і обробки зразків, що підвищує ефективність і точність лабораторних робіт.

У сфері логістики і складування електромеханічні маніпулятори використовуються для автоматизації процесів завантаження і розвантаження вантажів. Вони можуть бути інтегровані у системи автоматизованих складів, де виконують завдання з переміщення і сортування товарів. Це дозволяє значно

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знижувати витрати на ручну працю і підвищувати швидкість обробки замовлень. Маніпулятори також використовуються на виробничих лініях для упаковки і маркування продукції, що забезпечує високий рівень автоматизації і ефективності логістичних процесів.

У дослідницьких і наукових установах електромеханічні маніпулятори використовуються для проведення експериментів і досліджень, що вимагають високої точності і повторюваності рухів. Вони можуть застосовуватися для роботи з мікроскопічними об'єктами, проведення хімічних і біологічних досліджень, а також для тестування нових матеріалів і технологій. Маніпулятори дозволяють автоматизувати рутинні завдання, звільняючи дослідників для виконання більш складних і творчих завдань, що підвищує загальну ефективність дослідницьких робіт.

Таким чином, електромеханічні маніпулятори є важливим елементом сучасних автоматизованих систем завдяки своїм унікальним характеристикам і широкому спектру застосування. Висока точність, енергоефективність і гнучкість роблять їх незамінними в багатьох галузях промисловості, медицини і науки. Однак, при їхньому використанні необхідно враховувати обмеження щодо вантажопідйомності і впливу навколишнього середовища, а також забезпечувати належне обслуговування і кваліфікацію персоналу для максимального використання їхнього потенціалу.

1.2 Пневматичні маніпулятори

Пневматичні маніпулятори є однією з найважливіших категорій робототехнічних пристроїв, які використовуються у промисловості для автоматизації різноманітних завдань. Основним принципом їхньої роботи є використання стисненого повітря для створення руху і виконання різних маніпуляцій. Пневматичні системи відзначаються високою надійністю, простотою конструкції та відносно низькою вартістю, що робить їх

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

привабливими для багатьох промислових застосувань. Вони широко використовуються для завдань, де потрібні швидкі і точні рухи, а також для роботи у середовищах з високими рівнями забруднення або вологи, де інші типи маніпуляторів можуть бути менш ефективними.

Основні компоненти пневматичних маніпуляторів включають кілька ключових елементів, що забезпечують їхню роботу і функціональність. Центральним компонентом є пневматичний циліндр, який перетворює енергію стисненого повітря на механічний рух. Пневматичні циліндри можуть бути односторонньої або двосторонньої дії, залежно від вимог до руху. Односторонні циліндри здійснюють робочий хід лише в одному напрямку, тоді як двосторонні циліндри можуть рухати робочий орган у двох напрямках. Крім циліндрів, важливу роль відіграють клапани, які регулюють потік повітря до і від циліндрів, забезпечуючи точний контроль рухів маніпулятора. Клапани можуть бути електромагнітними або механічними, що визначає їхнє управління і швидкість реагування.

Трубопроводи і фітинги з'єднують всі компоненти пневматичної системи, забезпечуючи надійну подачу стисненого повітря до циліндрів і клапанів. Вони виготовляються з матеріалів, стійких до тиску і зносу, що забезпечує довговічність і надійність системи. Компресор є ще одним ключовим компонентом, який забезпечує необхідний тиск повітря для роботи маніпулятора. Він може бути поршневим, гвинтовим або турбінним, залежно від вимог до продуктивності і тиску. Резервуари для зберігання стисненого повітря використовуються для забезпечення стабільного тиску і компенсації коливань у системі, що дозволяє маніпулятору працювати стабільно і ефективно.

Принцип дії пневматичних маніпуляторів базується на використанні стисненого повітря для створення механічного руху. Коли повітря під тиском подається до циліндра через клапани, воно діє на поршень, змушуючи його рухатися. Цей рух передається через шток до робочого органу маніпулятора,

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який виконує необхідну операцію. Клапани керують напрямком і кількістю повітря, що подається до циліндрів, що дозволяє точно контролювати рухи маніпулятора. Наприклад, відкриття одного клапана може призвести до висунання поршня і підняття вантажу, тоді як відкриття іншого клапана повертає поршень у вихідне положення. Використання датчиків положення і кінцевих вимикачів дозволяє автоматизувати і контролювати процеси, забезпечуючи точність і повторюваність рухів.



Рисунок 1.2 – Пневматичний маніпулятор

Пневматичні маніпулятори також можуть оснащуватися додатковими елементами, такими як вакуумні присоски або захвати, для виконання специфічних завдань. Вакуумні присоски використовуються для підйому і

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

переміщення гладких і непористих об'єктів, таких як скло або пластик, створюючи вакуум між присоскою і об'єктом. Захвати можуть мати різні форми і розміри, залежно від типу об'єктів, які потрібно маніпулювати. Використання різних насадок і інструментів розширює функціональні можливості пневматичних маніпуляторів, дозволяючи їм виконувати широкий спектр операцій у різних галузях промисловості.

Завдяки своїй простоті і надійності, пневматичні маніпулятори є ефективними і економічними рішеннями для автоматизації виробничих процесів. Використання стисненого повітря як основного джерела енергії дозволяє забезпечити високу швидкість і точність рухів, що є важливим для багатьох промислових завдань. Незважаючи на деякі обмеження, такі як залежність від джерела стисненого повітря і обмежена точність у порівнянні з іншими типами маніпуляторів, пневматичні системи залишаються популярними завдяки своїй надійності, довговічності і низьким витратам на експлуатацію.

Пневматичні маніпулятори мають кілька ключових переваг, які роблять їх привабливими для використання у промисловості. Однією з головних переваг є їхня висока швидкість і частота рухів. Завдяки використанню стисненого повітря, пневматичні маніпулятори можуть швидко виконувати повторювані операції, що робить їх ідеальними для завдань, де важлива швидкість виконання. Вони також відзначаються простою конструкцією і низькою вартістю, що знижує загальні витрати на впровадження та обслуговування. Простота конструкції також означає, що ці маніпулятори легко ремонтувати і обслуговувати, що знижує час простою і витрати на технічне обслуговування.

Іншою важливою перевагою є надійність і довговічність пневматичних маніпуляторів. Вони не мають складних електронних компонентів, які можуть вийти з ладу, і можуть працювати в агресивних середовищах, таких як високі рівні забруднення або вологість, без втрати ефективності. Це робить їх придатними для використання у важких умовах, таких як хімічна

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

промисловість або харчова промисловість. Пневматичні маніпулятори також є стійкими до перевантажень і можуть працювати тривалий час без значного зносу, що забезпечує їхню довговічність і надійність у тривалій перспективі.

Однак, пневматичні маніпулятори мають і певні недоліки, які можуть обмежувати їх використання у деяких застосуваннях. Одним з основних недоліків є обмежена точність і контрольованість рухів порівняно з електромеханічними або гідравлічними системами. Це пов'язано з природою стисненого повітря, яке може змінювати свої властивості залежно від температури і вологості, що впливає на точність рухів. Крім того, пневматичні маніпулятори можуть бути відносно шумними через використання стисненого повітря, що може бути проблемою в деяких виробничих середовищах, де важливо знизити рівень шуму.

Ще одним недоліком є необхідність забезпечення постійного джерела стисненого повітря, що може вимагати додаткових витрат на компресори і систему трубопроводів. Це також додає складності у випадках, коли потрібна мобільність системи, оскільки компресори і трубопроводи обмежують можливість переміщення маніпулятора. Крім того, витрати на стиснене повітря можуть зростати, якщо система має багато витоків або потребує високого тиску для роботи, що може підвищити загальні експлуатаційні витрати.

У деяких випадках, пневматичні маніпулятори можуть мати обмежену вантажопідйомність, що обмежує їх використання у завданнях, де необхідно переміщувати великі і важкі вантажі. Це робить їх менш придатними для застосувань, де потрібна висока потужність і вантажопідйомність, і в таких випадках можуть бути кращими гідравлічні або електромеханічні системи. Таким чином, вибір пневматичних маніпуляторів має базуватися на ретельній оцінці вимог до конкретного застосування, враховуючи як їхні переваги, так і обмеження.

Пневматичні маніпулятори знаходять широке застосування в багатьох галузях промисловості завдяки своїй універсальності та надійності. У

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

виробничих процесах вони часто використовуються для автоматизації складальних ліній, де їхня швидкість і точність дозволяють ефективно збирати різні компоненти продукції. Наприклад, в автомобільній промисловості пневматичні маніпулятори можуть застосовуватися для установки дрібних деталей, таких як гвинти або прокладки, на складальних лініях. Це дозволяє значно підвищити продуктивність і знизити витрати на ручну працю, забезпечуючи стабільну якість продукції.

У харчовій промисловості пневматичні маніпулятори використовуються для обробки і пакування продуктів, оскільки вони можуть працювати у середовищах з високим рівнем вологості і забруднень. Наприклад, вони можуть застосовуватися для автоматизації процесів пакування, де їхня здатність швидко і точно переміщувати продукти дозволяє знизити ризик забруднення і підвищити ефективність виробництва. Крім того, у харчовій промисловості пневматичні маніпулятори можуть використовуватися для переміщення і сортування продукції, що забезпечує високу швидкість і точність виконання цих завдань.

У хімічній промисловості пневматичні маніпулятори використовуються для обробки агресивних речовин і матеріалів, де необхідна висока стійкість до корозії і зносу. Вони можуть застосовуватися для завантаження і розвантаження хімічних реакторів, переміщення контейнерів з хімікатами або для автоматизації процесів змішування і дозування. Пневматичні маніпулятори забезпечують безпеку і ефективність цих процесів, знижуючи ризик впливу небезпечних речовин на працівників і підвищуючи точність і повторюваність операцій.

У пакувальній і маркувальній техніці пневматичні маніпулятори часто використовуються для автоматизації процесів пакування, маркування і сортування продукції. Вони можуть забезпечувати високу швидкість і точність нанесення етикеток, пакування товарів у коробки або мішки, а також сортування продукції за різними параметрами. Використання пневматичних

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ

маніпуляторів у цих процесах дозволяє значно знизити витрати на ручну працю і підвищити продуктивність, забезпечуючи високу якість пакування і маркування продукції.

У сфері логістики і складування пневматичні маніпулятори використовуються для автоматизації процесів завантаження і розвантаження вантажів, переміщення товарів на складі і підготовки замовлень до відправки. Вони можуть бути інтегровані у системи автоматизованих складів, де виконують завдання з переміщення і сортування товарів, що дозволяє значно підвищити ефективність логістичних процесів. Крім того, пневматичні маніпулятори можуть використовуватися для автоматизації процесів пакування і маркування на складі, що забезпечує високу швидкість і точність виконання цих завдань.

У медичній галузі пневматичні маніпулятори знаходять застосування у виробництві медичних приладів і обладнання, а також у лабораторних дослідженнях. Вони можуть використовуватися для автоматизації процесів збору і обробки зразків, проведення тестів і аналізів, що підвищує точність і ефективність лабораторних робіт. Крім того, пневматичні маніпулятори можуть застосовуватися у виробництві медичних приладів, де їхня здатність виконувати точні і швидкі рухи забезпечує високу якість і повторюваність виробничих операцій.

Таким чином, пневматичні маніпулятори є важливими інструментами для автоматизації різних виробничих процесів завдяки своїм численним перевагам, таким як висока швидкість, надійність і економічність. Незважаючи на певні обмеження щодо точності і рівня шуму, вони забезпечують ефективне виконання багатьох завдань у різних галузях промисловості. Використання пневматичних маніпуляторів дозволяє підвищити продуктивність і ефективність виробництва, знижуючи витрати на ручну працю і забезпечуючи високу якість виконання операцій.

						ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

вертикальну площину, дозволяючи піднімати вантажі на значну висоту. Така конструкція забезпечує кранам цього типу високу стійкість і дозволяє маніпулювати великими вантажами без ризику перекидання. Завдяки цьому L-подібні маніпулятори часто використовуються у будівництві для монтажу важких конструкцій, підйому бетонних блоків, сталевих балок та інших масивних матеріалів.



Рисунок 1.4 – L-подібний маніпулятор

Ще однією перевагою L-подібних маніпуляторів є їхня здатність працювати на обмежених площах. Завдяки своїй конструкції, стріла маніпулятора може точно позиціонувати вантаж у вертикальній площині, що є особливо корисним при роботах у густо забудованих міських умовах або на майданчиках з обмеженим доступом. Крім того, L-подібні маніпулятори часто обладнуються додатковими секціями стріли, що дозволяє збільшувати висоту підйому та радіус дії без втрати стабільності.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			28

Важливим аспектом використання L-подібних маніпуляторів є їхня універсальність. Ці маніпулятори можуть бути оснащені різними додатковими пристроями, такими як гідравлічні захвати, ковші або магнітні захвати, що розширює спектр завдань, які можуть бути виконані з їх допомогою. Це робить їх придатними для використання не лише в будівництві, але й у інших галузях, таких як лісозаготівля, перевезення лісоматеріалів, металобрухту та навіть робота у портах.

Основною характеристикою Z-подібного маніпулятора є його складна стріла, яка дозволяє мінімізувати простір, необхідний для її розміщення у транспортному положенні. Це значно спрощує транспортування маніпулятора, особливо в умовах міської забудови або на обмежених просторах. У робочому положенні стріла швидко розкладається та дозволяє виконувати вантажно-розвантажувальні операції, переміщення вантажів, а також монтажні роботи з високою точністю та ефективністю.



Рисунок 1.5 – Z-подібний маніпулятор

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

1.3 Гідравлічні маніпулятори

Кран-маніпулятор є важливим механізмом, що поєднує функції крана і навантажувача, забезпечуючи гнучкість і ефективність у виконанні вантажних операцій. Він використовується у багатьох галузях промисловості, включаючи будівництво, логістику, сільське господарство та комунальні послуги. Основною перевагою крана-маніпулятора є його здатність виконувати вантажно-розвантажувальні операції без необхідності додаткового підйомного обладнання, що дозволяє суттєво знизити витрати на транспортні операції та скоротити час виконання завдань.

Кран-маніпулятор зазвичай встановлюється на шасі вантажного автомобіля або іншого транспортного засобу, що дозволяє легко пересуватися між місцями роботи та виконувати широкий спектр завдань. Завдяки можливості обертання стріли та її висуванню на значну довжину, маніпулятор може досягати важкодоступних місць і переміщувати вантажі різної маси та об'єму з високою точністю. До переваг також належать висока мобільність, можливість роботи в обмежених просторах, а також зменшення кількості персоналу, необхідного для виконання операцій.

Застосування кранів-маніпуляторів охоплює широкий спектр завдань: від навантаження та розвантаження будівельних матеріалів до підйому важкої техніки та монтажу інженерних конструкцій. Їхня універсальність і багатофункціональність роблять їх незамінним інструментом в умовах сучасного виробництва та будівництва, де необхідні гнучкі рішення для складних задач.

Кран маніпулятор поділяють на 2 види за їх типом складання – L та Z образною стрілою.

Основною особливістю L-подібного маніпулятора є вертикально-горизонтальна конфігурація стріли. У складеному положенні стріла лежить вздовж шасі транспортного засобу, а під час роботи вона розгортається у

						ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Однією з ключових переваг Z-подібного маніпулятора є його маневреність. Завдяки гнучкості стріли, цей тип маніпулятора може працювати в умовах обмеженого простору, де інші крани можуть бути непридатні або потребуватимуть значно більше місця для роботи. Це робить Z-подібний маніпулятор ідеальним для виконання робіт у міських умовах, на складах, у портах та в інших середовищах, де важливо зберігати компактність і швидкість.

Z-подібні маніпулятори також відзначаються своєю універсальністю. Вони можуть бути оснащені різноманітними допоміжними пристроями, такими як гідравлічні захвати, вила для палет, або навіть спеціалізовані інструменти для специфічних завдань, наприклад, роботи з деревиною або металобрухтом. Це дозволяє використовувати їх у різних галузях, від будівництва до лісозаготівлі, забезпечуючи широкий спектр застосування і високу продуктивність.

Ще однією важливою особливістю Z-подібних маніпуляторів є їхня здатність до швидкого переходу між робочим та транспортним положенням. Це знижує час простою між завданнями та підвищує загальну ефективність роботи. До того ж, завдяки компактній конструкції у складеному стані, Z-подібні маніпулятори можуть легко маневрувати в умовах інтенсивного руху, що є важливим фактором для використання в міських районах та інших середовищах з високою щільністю забудови.

1.4 Гідравлічне обладнання

Гідравлічне обладнання, яке використовується на автомобільних маніпуляторах, відіграє ключову роль у забезпеченні їхньої функціональності, потужності та точності. Одним із основних компонентів гідравлічної системи маніпулятора є гідравлічний насос. Він перетворює механічну енергію двигуна в гідравлічну енергію, створюючи потік гідравлічної рідини під високим тиском. Існує кілька типів гідравлічних насосів, таких як шестеренні, поршневі

					ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та лопатеві насоси, кожен з яких має свої переваги та недоліки залежно від конкретних умов експлуатації.

Гідравлічні циліндри є іншим критично важливим елементом гідравлічної системи маніпулятора. Вони використовуються для перетворення тиску гідравлічної рідини в лінійний або обертальний рух. Гідравлічні циліндри складаються з циліндра, поршня і штока, і можуть бути одно- або двосторонньої дії. Циліндри одно-сторонньої дії здійснюють робочий хід тільки в одному напрямку, тоді як циліндри двосторонньої дії можуть виконувати рухи в обох напрямках, що забезпечує більшу гнучкість і контроль над рухами маніпулятора. Використання гідравлічних циліндрів дозволяє досягти високої сили підйому і точності позиціонування вантажу.



Рисунок 1.6 – Обладнання гідравлічного маніпулятора

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк. 32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Гідравлічні клапани також є невід'ємною частиною системи. Вони використовуються для керування потоком гідравлічної рідини, регулювання тиску і напрямку її руху в системі. Серед гідравлічних клапанів можна виділити запобіжні клапани, які захищають систему від надмірного тиску; розподільчі клапани, які контролюють напрямок потоку рідини; і дросельні клапани, які регулюють швидкість руху гідроциліндрів. Ці компоненти забезпечують безпеку і ефективність роботи гідравлічної системи, дозволяючи точно налаштувати параметри її роботи відповідно до вимог конкретного завдання.

Гідравлічні баки є резервуарами для зберігання гідравлічної рідини. Вони забезпечують постійний запас рідини для системи і допомагають охолоджувати її під час роботи. Баки можуть бути оснащені фільтрами для очищення гідравлічної рідини від забруднень, що продовжує термін служби всіх компонентів системи. Крім того, гідравлічні баки часто мають індикатори рівня і температури рідини, що дозволяє контролювати її стан і вчасно виконувати технічне обслуговування.

Шланги і трубопроводи є транспортними каналами для гідравлічної рідини, які з'єднують всі компоненти гідравлічної системи. Вони повинні бути виготовлені з матеріалів, які витримують високий тиск і температурні коливання. Важливими характеристиками шлангів і трубопроводів є їх гнучкість, міцність і стійкість до зношування. Належне технічне обслуговування цих елементів, включаючи регулярні перевірки і заміну при необхідності, є критичним для забезпечення безперебійної і безпечної роботи гідравлічної системи.

Таким чином, гідравлічне обладнання є комплексом взаємопов'язаних компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у функціонуванні автомобільного маніпулятора. Від правильної роботи гідравлічних насосів, циліндрів, клапанів, баків і трубопроводів залежить ефективність, точність і безпека виконання різноманітних завдань маніпулятором.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Розділ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ МАНІПУЛЯТОРА

2.1 Методи створення динамічної моделі маніпулятора

Закони ньютонівської чи лагранжевої механіки можна використовувати для створення динамічної моделі маніпулятора. Застосування цих законів призводить до створення рівнянь, які пов'язують сили та моменти, що діють у зчленуваннях, з параметрами, пов'язаними з кінематичними характеристиками та рухом ланок. Отже, традиційні методи Лагранжа-Ейлера та Ньютона-Ейлера можуть бути використані для виведення рівнянь динаміки руху автомобільного маніпулятора. Ці дві методи створили різноманітні форми рівнянь руху, які є еквівалентними, оскільки вони окреслюють динаміку руху спільної фізичної системи.

Підхід Лагранжа-Ейлера для аналізу рівнянь динаміки руху маніпулятора є простим і універсальним. Цей метод зазвичай призводить до створення системи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, припускаючи, що ланки маніпулятора є твердими тілами. Рівняння Лагранжа-Ейлера можна використовувати для розробки вдосконалених законів керування в просторі приєднаних змінних, оскільки вони надають детальне відтворення динаміки стану маніпулятора. Вони менш поширені для вирішення задач прямої та зворотної динаміки. Пряме завдання полягає у визначенні узагальнених прискорень за заданими силами та моментами; інтегрування цих прискорень дає можливість одержати значення узагальнених координат та швидкостей. Зворотне завдання динаміки полягає у визначенні сил та моментів, що діють у зчленуваннях маніпулятора, за відомими узагальненими координатами, швидкостями та прискореннями.

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 2		
Розроб.		Шкаревський	<i>[підпис]</i>	22.08			
Керівн.		Вірченко	<i>[підпис]</i>	22.08	Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08		34	
Н. Контр.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	22.08	НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		
Затвер.		Орисенко	<i>[підпис]</i>	22.08			

Рівняння Ньютона-Ейлера можна використовувати для створення обчислювально ефективніших алгоритмів. Виведення рівнянь руху маніпулятора використовуючи метод Ньютона-Ейлера є змістовно простим, але потребує значних обчислювальних зусиль. Цей метод генерує систему рекурентних рівнянь, як прямих, так і зворотних, які послідовно застосовуються до ланок маніпулятора. Кінематичні параметри руху ланок, такі як лінійні та кутові швидкості й прискорення, а також лінійні прискорення центрів мас ланок, обчислюються за допомогою прямих рівнянь, що використовуються послідовно від основи до захвату. Сили та моменти, що діють на кожен ланку, можна обчислити за допомогою зворотних рівнянь, які застосовуються послідовно від захвату до основи. Найважливішим результатом цього підходу є те, що час, необхідний для визначення узагальнених сил і моментів, прямо пропорційний кількості зчленувань і не залежить від конфігурації маніпулятора під час руху.

Використання матриць перетворення однорідних координат з опису кінематичного ланцюга є основною причиною низької обчислювальної ефективності рівнянь Лагранжа-Ейлера. У зв'язку з їхньою рекурентною природою рівняння Ньютона-Ейлера демонструють більшу обчислювальну ефективність. Але такі рекурентні рівняння не мають «аналітичності», що робить їх надзвичайно корисними для синтезу управління в просторі станів. Для синтезу законів управління необхідно мати замкнуту систему диференціальних рівнянь, яка описує динаміку руху автомобільного маніпулятора.

Вирішено використовувати метод Лагранжа-Ейлера для одержання рівнянь динаміки, оскільки побудова моделі динаміки перехідних процесів вимагає аналітичної форми.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2.2 Розрахунок рівняння динаміки автомобільного маніпулятора

Рівень Лагранжа другого роду для голономної системи з n ступенями свободи, які відповідають узагальненим координатам q_i ($j=1,2,\dots,n$), має вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_{jd} \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (2.1)$$

де $L = (T - \Pi)$ – функція Лагранжа, відмінності між потенційною Π і кінетичною T енергіями системи;

Q_{jd} – сили керуючих приводів вказуються на узагальнену координату j : та мають розмірність моментів, в тому випадку якщо q_i – кут обертання або сили, або q_i – лінійне переміщення.

Зважаючи на те, що $L = T - \Pi$ та $\partial \Pi / \partial \dot{q}_j = 0$, перепишемо рівняння (2.1) у такий

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j \quad (2.2)$$

де $Q_j = Q_{jd} + Q_{jв}$, $Q_{jв} = -\partial \Pi / \partial q_j$.

В останніх виразах через $Q_{jв}$ позначені загальні сили ззовні, спричинені вагою ланцюгів і вантажем, утримуючим у захватному пристрої. За наявності впливу ззовні – сили F_b , прикріплений до захватного пристрою у правій стороні виразу для Q_j потрібно додати значення Q_{jF} , що описує цей вплив:

$$Q_j = Q_{jd} + Q_{jв} + Q_{jF} \quad (2.3)$$

Для одержання рівнянь динаміки маніпулятора використовуємо вираз (2.2). Якщо ми розглядаємо механізм маніпулятора як систему, що складається

					ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з n твердих тіл, ми можемо записати кінетичну енергію T як суму кінетичних енергій ланок:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.4)$$

Відповідно, величина T_i розраховується за формулою

$$T_i = \frac{1}{2} m_i v_{0i}^2 + m_i (v_{0i} \cdot \varpi_i) \cdot r_{ic} + \frac{1}{2} \varpi_i^T \cdot \Theta_{0i} \cdot \varpi_i \quad (2.5)$$

де v_{0i} – швидкість точки ланки O_i , яка приймається за полюс;

m_i – маса ланки i ;

r_{ic} – радіус центру інерції ланки в системі пов'язаних осей, де початок збігається з полюсом O_i ;

ϖ_i – вектор кутової швидкості ланки в тій системі координат, яка використовується;

Θ_{0i} – датчик інерції ланки в точці O_i .

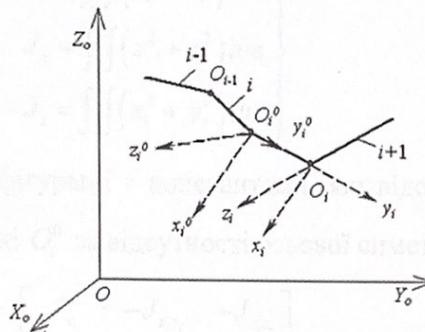


Рисунок 2.1 – Зв'язкові системи координат із центрами кінематичної пари (O_i, x_i, y_i, z_i) та інерції $(O_i^0, x_i^0, y_i^0, z_i^0)$

Використовуючи полюс ланки як центр інерції, вираз (2.5) набуває найпростішого вигляду. Величина r_{ic} буде дорівнювати нулю, а вираз (2.5) спроститься:

					ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$T_i = \frac{1}{2} m_i v_{0i}^2 + \frac{1}{2} \omega_i^T \cdot \Theta_{0i} \cdot \omega_i \quad (2.6)$$

Крім того, ланки маніпулятора зазвичай є твердими тілами, симетричними відносно трьох ортогональних осей, що проходять через центр інерції. Враховуючи правило визначення осей координатних систем, пов'язаних із ланками, при якому одна з осей системи збігається з віссю ланки (вектором $\overline{O_{i-1}O_i}$), а дві інші осі утворюють праву триаду з нею, можна зробити висновок, що коли точка O_i знаходиться в центрі інерції O_i^0 (рис. 2.1) системи $O_i^0 x_i^0 y_i^0 z_i^0$, то її осі стають головними осями, а тензор вектора в цій точці O_i^0 набуває вигляду діагональної матриці:

$$\Theta_{O_i^0}^0 = \begin{bmatrix} J_{x_i} & 0 & 0 \\ 0 & J_{y_i} & 0 \\ 0 & 0 & J_{z_i} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

моменти, коли вирази змінюються відповідно до осей

$$\left. \begin{aligned} J_x &= \iiint (y_i^2 + z_i^2) dm_i \\ J_y &= \iiint (x_i^2 + z_i^2) dm_i \\ J_z &= \iiint (x_i^2 + y_i^2) dm_i \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

і ланки заданої конфігурації є константами, які відомі. Матриця описує тензор інерції ланки в точці O_i^0 за відсутності осьової симетрії:

$$\Theta_{O_i^0} = \begin{bmatrix} J_{x_i} & -J_{x_i y_i} & -J_{x_i z_i} \\ -J_{y_i x_i} & J_{y_i} & -J_{y_i z_i} \\ -J_{z_i x_i} & -J_{z_i y_i} & J_{z_i} \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

відцентрові моменти в якій розраховуються виразами

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

$$\left. \begin{aligned} J_{x_i y_i} = J_{y_i x_i} &= \iiint x_i y_i dm_i \\ J_{x_i z_i} = J_{z_i x_i} &= \iiint x_i z_i dm_i \\ J_{y_i z_i} = J_{z_i y_i} &= \iiint y_i z_i dm_i \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

і є відомими константами.

З'ясуємо вектор швидкості центру інерції ланки та проекцію його на осі системи координат

$$v_{iц} = (v_{ixц}, v_{iyц}, v_{izц})^T \quad (2.11)$$

або шляхом проектування на нерухомі осі системи осей у вигляді

$$v_{0iц} = (v_{0ixц}, v_{0iyц}, v_{0izц})^T. \quad (2.12)$$

Відповідно до $v_{iц}$ додамо вектор кутової швидкості ланки

$$\omega_i = (\omega_{ix}, \omega_{iy}, \omega_{iz})^T \quad (2.13)$$

і розглянемо рівність (2.6) у розгорнутій формі, якщо ланки маніпулятора симетричні щодо головних осей інерції. Для досягнення цього ми підставимо вирази Θ_{0i}^0 , $v_{iц}$, ω_i з (2.7), (2.11), (2.13) в (2.6) та отримаємо

$$T_i = 0,5m_i (v_{ixц}^2 + v_{iyц}^2 + v_{izц}^2) + 0,5(J_{x_i} \omega_{ix}^2 + J_{y_i} \omega_{iy}^2 + J_{z_i} \omega_{iz}^2). \quad (2.14)$$

Використовуючи вектор швидкості центру інерції у вигляді (2.14), вираз

$$T_i = 0,5m_i (v_{0ixц}^2 + v_{0iyц}^2 + v_{0izц}^2) + 0,5(J_{x_i} \omega_{ix}^2 + J_{y_i} \omega_{iy}^2 + J_{z_i} \omega_{iz}^2), \quad (2.15)$$

Враховуючи це, рівність (2.4) виглядає

$$T_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[m_i (v_{0ixц}^2 + v_{0iyц}^2 + v_{0izц}^2) + (J_{x_i} \omega_{ix}^2 + J_{y_i} \omega_{iy}^2 + J_{z_i} \omega_{iz}^2) \right]. \quad (2.16)$$

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2.3 Моделювання перехідних процесів для автомобільного маніпулятора

Модель перехідного процесу для автомобільного маніпулятора

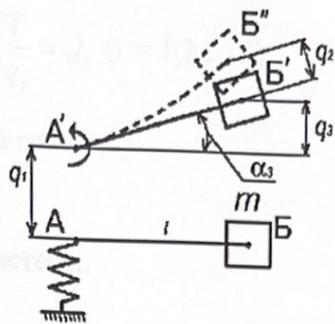


Рисунок 2.2 – Модель автомобільного маніпулятора:

q_1, q_2, q_3 – зсув ланок маніпулятора внаслідок деформації;

α – кут вигину основи консолі через деформацію;

m – зосереджена маса;

l – плече, яке прикладає зосереджену масу;

На рис. 2.2 показана модель автомобільного маніпулятора. Елементи, які деформуються в маніпуляторі, включають пружинний зубчастий ремінь і консольну частину, де знаходиться зосереджена маса m . Схема кута α_3 показує деформацію поперечної консолі. Для розрахунку такої моделі будуть використані наступні дані: значення рухомої маси m ; плече застосування цієї маси l ; і коефіцієнт натягу зубчастого ремня, що розраховується як залежність прогину ремня до його довжини, а також демпфування модуля лінійного переміщення.

Під час зупинки електроприводів інерційні сили продовжуватимуть рух рухомих мас, що призведе до того, що точки А і Б займуть положення і в

						ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
							40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

результаті зупиняться, і сили пружної деформації почнуть коливальний рух балки та пружини.

Зафіксуємо незалежні координати як три рівні свободи, які існують у розглянутій моделі q_1 , q_2 та q_3 . Скористаємось рівнянням Лагранжа другого роду, щоб описати цю модель:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j \quad (j = 1, 2, \dots, k), \quad (2.17)$$

де k – кількість ступенів свободи;

Q – узагальнена сила;

T – кінетична енергія системи.

Однією квадратичною формою узагальнених швидкостей є кінетична енергія системи з трьома ступенями свободи:

$$T = \frac{1}{2} (A_{11} \dot{q}_1^2 + 2A_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + A_{22} \dot{q}_2^2 + 2A_{23} \dot{q}_2 \dot{q}_3 + A_{33} \dot{q}_3^2 + 2A_{13} \dot{q}_1 \dot{q}_3), \quad (2.18)$$

Коефіцієнти A_{ik} є функціями координат q_1 , q_2 та q_3 .

Припустимо, що відраховуються узагальнені координати від положення рівноваги, в якій $q_1 = q_2 = q_3 = 0$.

Маючи коефіцієнти $A_{ik}(q_1, q_2, q_3)$ за ступенями та пологі для спрощення запису $A_{ik}(0, 0, 0) = a_{ik} = a_{ki}$, отримаємо:

$$T = \frac{1}{2} (a_{11} \dot{q}_1^2 + 2a_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + a_{22} \dot{q}_2^2 + 2a_{23} \dot{q}_2 \dot{q}_3 + a_{33} \dot{q}_3^2 + 2a_{13} \dot{q}_1 \dot{q}_3) \quad (2.19)$$

Потенціальна енергія $\Pi(q_1, q_2, q_3)$ системи:

$$\Pi = \frac{1}{2} (C_{11} q_1^2 + 2C_{12} q_1 q_2 + C_{22} q_2^2 + 2C_{23} q_2 q_3 + C_{33} q_3^2 + 2C_{13} q_1 q_3) \quad (2.20)$$

Враховуємо, що в стані рівноваги $\Pi(0, 0, 0) = 0$ узагальнені сили також дорівнюють нулю

В (2.20) для спрощення використовуються такі позначення:

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_1^2} = C_{11}, \quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_1 \partial q_2} = C_{12} = C_{21}, \quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_2^2} = C_{22},$$

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_2 \partial q_3} = C_{23} = C_{32}, \quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_3^2} = C_{33}, \quad \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_1 \partial q_3} = C_{13} = C_{31}.$$

Для того, щоб отримати диференціальні рівняння вільних коливань у типу рівнянь Лагранжа другого роду, ми повинні використовувати узагальнені координати для визначення потенційної енергії. Розглянемо, як сили F_1, F_2, \dots, F_n впливають на систему, щоб вона була в рівновазі. В стані стійкої рівноваги потенційна енергія має мінімум, що дорівнює нулю, і її відхилення F_i від цього виражається квадратичним видом (2.20).

Принцип можливих переміщень передбачає, що елементарна робота всіх сил, що діють на систему, повинна дорівнювати нулю:

$$-\delta \Pi + \sum_{s=1}^n F_s \delta r_s = 0. \quad (2.21)$$

Помічаючи, що

$$\delta \Pi = \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} \delta q_1 + \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} \delta q_2 + \frac{\partial \Pi}{\partial q_3} \delta q_3,$$

$$\delta r_s = \frac{\partial r_s}{\partial q_1} \delta q_1 + \frac{\partial r_s}{\partial q_2} \delta q_2 + \frac{\partial r_s}{\partial q_3} \delta q_3,$$

Крім того, прирівнюючи коефіцієнти незалежних варіацій до нуля δq_1 , δq_2 і δq_3 , ми отримуємо три рівняння:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} = \sum_{s=1}^n F_s \frac{\partial r_s}{\partial q_1} = Q_1^* \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} = \sum_{s=1}^n F_s \frac{\partial r_s}{\partial q_2} = Q_2^*, \\ \frac{\partial \Pi}{\partial q_3} = \sum_{s=1}^n F_s \frac{\partial r_s}{\partial q_3} = Q_3^* \end{cases} \quad (2.22)$$

Тут Q_1^* , Q_2^* та Q_3^* – узагальнені сили для системи сил F_1, F_2, \dots, F_n , врівноважують потенційні сили, які виникають, коли система виходить із

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	

положення рівноваги ($q_1 = q_2 = q_3 = 0$). Замінюючи в (2.22) похідні потенційної енергії рівняннями відповідно до (2.20), отримуємо систему рівнянь, які визначають значення координат q_1 , q_2 та q_3 у положенні рівноваги:

$$\begin{cases} C_{11}q_1 + C_{12}q_2 + C_{13}q_3 = Q_1^* \\ C_{21}q_1 + C_{22}q_2 + C_{23}q_3 = Q_2^* \\ C_{31}q_1 + C_{32}q_2 + C_{33}q_3 = Q_3^* \end{cases} \quad (2.23)$$

причому $C_{12} = C_{21}$, $C_{23} = C_{32}$ та $C_{13} = C_{31}$.

Рішення системи (2.23) має вигляд:

$$\begin{cases} q_1 = \alpha_{11}Q_1^* + \alpha_{12}Q_2^* + \alpha_{13}Q_3^* \\ q_2 = \alpha_{21}Q_1^* + \alpha_{22}Q_2^* + \alpha_{23}Q_3^* \\ q_3 = \alpha_{31}Q_1^* + \alpha_{32}Q_2^* + \alpha_{33}Q_3^* \end{cases} \quad (2.24)$$

де

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \frac{C_{22}C_{33} - C_{23}^2}{\alpha} & \alpha_{12} &= \frac{C_{13}C_{32} - C_{12}C_{33}}{\alpha} & \alpha_{13} &= \frac{C_{12}C_{23} - C_{13}C_{23}}{\alpha} \\ \alpha_{21} &= \frac{C_{23}C_{31} - C_{21}C_{33}}{\alpha} & \alpha_{22} &= \frac{C_{11}C_{33} - C_{13}^2}{\alpha} & \alpha_{23} &= \frac{C_{13}C_{21} - C_{11}C_{23}}{\alpha} \\ \alpha_{31} &= \frac{C_{21}C_{32} - C_{31}C_{22}}{\alpha} & \alpha_{32} &= \frac{C_{12}C_{31} - C_{11}C_{32}}{\alpha} & \alpha_{33} &= \frac{C_{11}C_{22} - C_{12}^2}{\alpha} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\alpha = \frac{1}{C_{11}C_{22}C_{33} + C_{21}C_{32}C_{13} + C_{31}C_{22}C_{12} - C_{11}C_{23}^2 - C_{12}^2C_{33} - C_{22}C_{13}^2}$$

Інерційні сили та сили опору руху є узагальненими силами, які впливають на систему. Щоб спростити складні системи сил опору зазвичай збільшують пропорційно першому ступеню швидкості руху. Умовимося, так як кут α_3 не великий і координати маси m можна відмітити як для спрощення $q = q_1 + q_2 + q_3$. Таким чином, на основі кінестатики ми можемо записати:

$$Q^* = -(m\ddot{q} + \beta\dot{q}), \quad (2.26)$$

де β – коефіцієнт опору рівний першій ступені швидкості руху маси m ;

Q^* – узагальнена сила.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			43

Для спрощення приймемо умову, що точка, в якій досліджуються коливання (фактично робочий орган маніпулятора), співпадає з точкою прикладання зосередженої маси m , тому що маса консолі автомобільного маніпулятора менша за масу робочих головок, захватів та деталей, закріплених на ній.

Всі ланки маніпулятора керуються силою, отже:

$$Q^* = Q_1^* = Q_2^* = Q_3^* \quad (2.27)$$

Згідно з (2.27), ланки можливо розглядати окремо один від одного, що впливає з коефіцієнтів C_{ij} (2.23). Покладемо, що Q^* діє лише за координатою q_1 , потім лише за координатою q_2 і нарешті, лише за координатою q_3 , що дозволяє змінити вираз (2.23):

$$\begin{cases} C_{11}q_1 + 0 \cdot q_2 + 0 \cdot q_3 = Q^* \\ 0 \cdot q_1 + C_{22}q_2 + 0 \cdot q_3 = Q^* \\ 0 \cdot q_1 + 0 \cdot q_2 + C_{33}q_3 = Q^* \end{cases} \quad (2.28)$$

таким чином $C_{12} = C_{21} = C_{23} = C_{32} = C_{13} = C_{31} = 0$, за допомогою (2.25) знаходимо:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \frac{1}{C_{11}} & \alpha_{12} &= 0 & \alpha_{13} &= 0 \\ \alpha_{21} &= 0 & \alpha_{22} &= \frac{1}{C_{22}} & \alpha_{23} &= 0 \\ \alpha_{31} &= 0 & \alpha_{32} &= 0 & \alpha_{33} &= \frac{1}{C_{33}} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Коефіцієнти α_{11} , α_{22} та α_{33} визначають податливість ланок маніпулятора відповідно до координат q_1 , q_2 та q_3 . Висловлюючи податливість ланок через їх жорсткість, позначимо:

$$\alpha_{11} = \frac{1}{C_1} \quad \alpha_{22} = \frac{1}{C_2} \quad \alpha_{33} = \frac{1}{C_3}, \quad (2.30)$$

де C_1 , C_2 та C_3 жорсткості ланок відповідно до координат q_1 , q_2 та q_3 .

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

Підставляючи (2.30), (2.27) та (2.26) у (2.24) отримаємо:

$$\begin{cases} q_1 = -\frac{1}{C_1}(m\ddot{q} + \beta\dot{q}) \\ q_2 = -\frac{1}{C_2}(m\ddot{q} + \beta\dot{q}) \\ q_3 = -\frac{1}{C_3}(m\ddot{q} + \beta\dot{q}) \end{cases} \quad (2.31)$$

Для вирішення цієї системи швидкість і прискорення маси m повинні бути виражені через їх складові:

$$\begin{aligned} \ddot{q} &= \ddot{q}_1 + \ddot{q}_2 + \ddot{q}_3 \\ \dot{q} &= \dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_3 \end{aligned} \quad (2.32)$$

Зважаючи на те, що сумарну жорсткість маніпулятора легко експериментально визначити, застосовуючи необхідне зусилля до його робочого органу, також в кінцевому підсумку слід характеризувати положення маси m , координата яка виражається як $q = q_1 + q_2 + q_3$, то для цього вдалось скласти рівняння, яке представлено у виразі (2.15):

$$q = -\frac{C_1 + C_2 + C_3}{C_1 C_2 C_3}(m\ddot{q} + \beta\dot{q}) \quad (2.33)$$

або:

$$q = -\frac{1}{C}(m\ddot{q} + \beta\dot{q}), \quad (2.34)$$

де C – сукупна жорсткість ланок маніпулятора.

На основі аналізу було виявлено, що величина C є змінною та залежить від плеча додатку і зосередженої маси m .

Рівняння, які описують перехідний процес у системі, можна знайти шляхом перетворення (2.34):

$$\frac{m}{C}\ddot{q} + \frac{\beta}{C}\dot{q} + q = 0. \quad (2.35)$$

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

Рівняння (2.35) легко вирішується класичним методом за наступними початковими умовами:

$$q_0 = 0, \dot{q}_0 = v_0, \quad (2.36)$$

де v_0 - швидкість роботи маніпулятора, коли він виходить на кінцеву точку.

Лінійне диференціальне рівняння другого порядку представлено виразом (2.35). Шукаємо приватне рішення рівняння, використовуючи:

$$q(t) = C_1^* e^{k_1 t} + C_2^* e^{k_2 t}, \quad (2.37)$$

де C_1^* та C_2^* - постійні, які можна визначити за допомогою початкових умов: при $t = 0$; k_1 та k_2 - коріння характеристичного рівняння:

$$\frac{m}{C} k^2 + \frac{\beta}{C} k + 1 = 0. \quad (2.38)$$

Рішення рівняння (2.38) виглядатиме:

$$k_{1,2} = \frac{-\frac{\beta}{C} \pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}} \quad (2.39)$$

Визначимо довільні постійні C_1^* та C_2^* , вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} q(0) = C_1^* + C_2^* \\ \dot{q}(0) = k_1 C_1^* + k_2 C_2^* \end{cases} \quad (2.40)$$

Рішення системи (2.40) виглядатиме:

$$\begin{cases} C_1^* = \frac{\dot{q}(0) - k_2 q(0)}{k_1 - k_2} \\ C_2^* = q(0) - C_1^* \end{cases}, \quad (2.41)$$

якщо взяти до уваги (2.36) то:

					ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$\begin{cases} C_1^* = \frac{v_0}{k_1 - k_2} \\ C_2^* = -\frac{v_0}{k_1 - k_2} \end{cases} \quad (2.42)$$

підставляючи (2.42) у (2.37) та враховуючи (2.39) маємо:

$$q(t) = \frac{v_0}{\frac{C}{m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}} e^{\frac{\frac{\beta}{C} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}} t} - \frac{v_0}{\frac{C}{m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}} e^{\frac{\frac{\beta}{C} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}} t} \quad (2.43)$$

де $\frac{\pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}}$ — уявна частина, $-\frac{\beta}{2m}$ — реальна частина.

Розділивши реальну та уявну частини в (2.43) отримаємо:

$$q(t) = \frac{v_0}{\frac{C}{m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}} e^{-\frac{\beta}{2m} t} \left(e^{\frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}} t} - e^{-\frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{2\frac{m}{C}} t} \right). \quad (2.44)$$

Враховуючи що:

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x, \quad (2.45)$$

маємо:

$$q(t) = \frac{v_0}{i \frac{C}{m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}} e^{-\frac{\beta}{2m} t} \left(\cos \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} t + i \sin \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} t - \right. \\ \left. - \cos \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} t + i \sin \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} t \right). \quad (2.46)$$

Перетворюючи (2.46) отримаємо рішення рівняння (2.35):

$$q(t) = \frac{v_0}{\frac{C}{2m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}} e^{-\frac{\beta}{2m} t} \times \sin \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} t \quad (2.47)$$

Для початку прологарифмуємо вираз (2.47), підставивши значення потенційної похибки позиціонування:

$$\ln \Delta_{\text{тр}} = \ln v_0 - \ln \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{2 \frac{m}{C}} - \frac{\beta}{2m} t, \quad (2.48)$$

де $\Delta_{\text{тр}}$ – потенційна похибка позиціонування.

Перетворивши рівняння (2.48) отримаємо вираз визначення часу перехідного процесу:

$$t_{\text{пр}} = \frac{\ln v_0 - \ln \Delta_{\text{пр}} - \ln \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{\frac{\beta}{2m}} \quad (2.49)$$

Коефіцієнт демпфування β та жорсткість C моделі обчислюються за допомогою залежностей, отриманих під час експерименту. Коефіцієнт демпфування, зокрема, визначається за допомогою осцилограми загасання коливань робочого органу.

Отже, вираз (2.49) показує час перехідного процесу для конкретного типу маніпулятора при певній масі положення робочого органу. У цьому випадку коефіцієнти жорсткості та демпфування були попередньо визначені експериментально.

2.4 Оптимізація швидкості руху робочого органу автомобільного маніпулятора

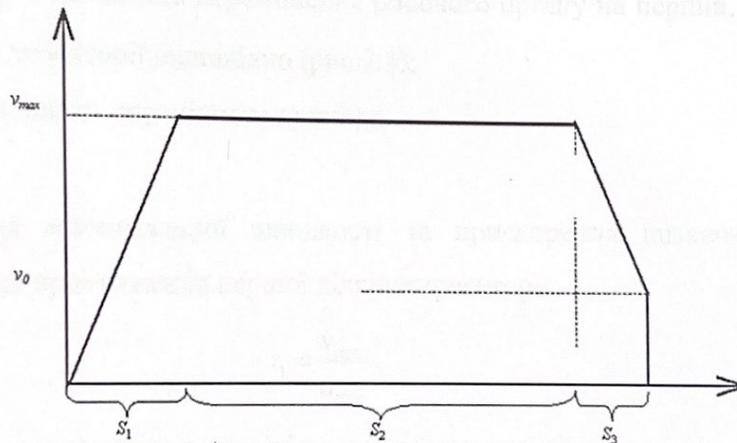


Рисунок 2.3 – Графік зміни руху робочого органу автомобільного маніпулятора, коли він переміщується між двома робочими точками

Траєкторія руху робочого органу автомобільного маніпулятора складається з окремих ділянок, де відбувається переміщення з постійною швидкістю, а також ділянок, де відбувається розгін і гальмування. Очевидно, що максимально можливі значення швидкості та прискорення можна досягти використовуючи загальні механічні характеристики маніпулятора. Крім того, зауважимо, що час переміщення залежить від швидкості на момент виходу з кінцевої точки v_0 (рис. 2.3). Середня швидкість руху робочого органу зростає, коли довжина ділянки S_2 збільшується, а протяжність ділянки S_3 зменшується. При збільшенні швидкості час перехідного процесу припиняється. Таким чином, необхідно визначити оптимальну швидкість виходу на кінцеву точку v_0 , щоб скоротити час переміщення.

Час переміщення визначається максимальними значеннями швидкості й прискорення робочого органу та швидкістю на момент досягнення кінцевої точки. Він складається з таких факторів:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_{\text{пр}}, \quad (2.50)$$

де t – тривалість переміщення робочого органу;

t_1, t_2, t_3 – тривалість переміщення робочого органу на першій, другій та третій ділянці траєкторії відповідно (рис 2.3);

$t_{\text{пр}}$ – тривалість перехідного процесу.

Значення максимальної швидкості та прискорення визначають час, необхідний для проходження першої ділянки траєкторії:

$$t_1 = \frac{v_{\text{max}}}{a_{\text{max}}}, \quad (2.51)$$

де v_{max} – максимальна швидкість переміщення робочого органу;

a_{max} – максимальне прискорення робочого органу.

						Арк.
					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На другій частині траєкторії робочий орган рухається постійно з максимальною швидкістю, а час переміщення становитиме:

$$t_2 = \frac{S - (S_1 + S_3)}{v_{\max}}, \quad (2.52)$$

де S – відстань між двома кінцевими точками: $S = S_1 + S_2 + S_3$;
Час, необхідний для переміщення на третій ділянці траєкторії:

$$t_3 = \frac{v_{\max} - v_0}{a_{\max}}, \quad (2.53)$$

де v_0 – швидкість робочого органу маніпулятора після виходу на кінцеву точку.

Швидкість v_{\max} визначає довжину першої ділянки, яку отримуємо в кінці цієї ділянки, а також прискоренням a_{\max} , і визначається як:

$$S_1 = \frac{v_{\max}^2}{2a_{\max}}. \quad (2.54)$$

Початкова швидкість v_{\max} , прискорення a_{\max} та кінцева швидкість v_0 визначають довжину третьої ділянки:

$$S_3 = \frac{v_{\max}^2 - v_0^2}{2a_{\max}}. \quad (2.55)$$

Підставивши рівняння (2.54) і (2.55) у (2.52), визначимо час руху на другій ділянці:

$$t_2 = \frac{S}{v_{\max}} - \frac{v_{\max}}{a_{\max}} + \frac{v_0^2}{2v_{\max}a_{\max}}. \quad (2.56)$$

Підставляючи (2.51), (2.53), (2.56) і (2.49) отримаємо загальний час руху з урахуванням перехідного процесу:

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

$$t = \frac{S}{v_{\max}} + \frac{v_0^2}{2v_{\max}a_{\max}} - \frac{v_0}{a_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a_{\max}} + \frac{2m \ln v_0}{\beta} - \frac{\ln \Delta_{\text{тр}} + \ln \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{\frac{\beta}{2m}} \quad (2.57)$$

Графік часу руху робочого органу автомобільного маніпулятора з урахуванням перехідного процесу можна отримати, аналізуючи вираз (2.57) стосовно швидкості виходу кінцевої точки v_0 (рис. 2.4). Перехідний процес суттєво впливає на час руху робочого органу маніпулятора, що видно з графіка:

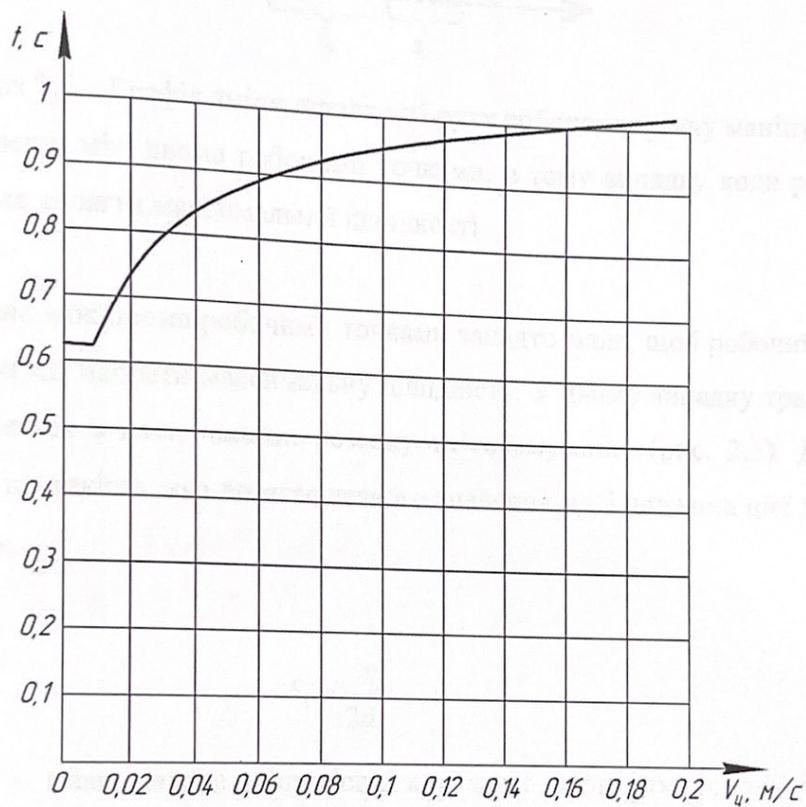


Рисунок 2.4 – Час, необхідний для переміщення робочого органу через перехідний процес, визначається швидкістю під час досягнення кінцевої точки при, $S=20$ см

2.5 Час переміщення робочих органів маніпулятора на коротких відстанях

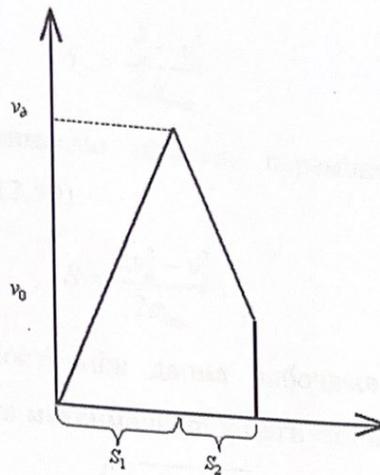


Рисунок 2.5 – Графік зміни швидкості руху робочого органу маніпулятора при переміщенні між двома робочими точками, в тому випадку коли робочий орган не може досягти максимальної швидкості

Відстань між двома робочими точками занадто мала, щоб робочий орган маніпулятора міг набрати максимальну швидкість. У цьому випадку траєкторія руху складається з двох частин: розгону та гальмування (рис. 2.5). Ділянка розгону має швидкість, яка досягає деякого значення v_0 , і довжина цієї ділянки становитиме:

$$s_1 = \frac{v_0^2}{2a_{\max}}, \quad (2.58)$$

де v_0 – максимальна швидкість, яку може отримати робоча частина маніпулятора;

a_{\max} – максимальне прискорення механізму маніпулятора.

					ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк. 53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки після досягнення кінцевої точки швидкість повинна мати значення v_0 , на другій ділянці траєкторії не потрібно гальмувати робочий орган:

$$S_2 = \frac{v_d^2 - v_0^2}{2a_{\max}}, \quad (2.59)$$

Після цього ми отримаємо загальне переміщення робочого органу, складаючи вирази (2.58) та (2.59):

$$S = \frac{2v_d^2 - v_0^2}{2a_{\max}}. \quad (2.60)$$

Ураховуючи відмінності між двома робочими точками, ми можемо знайти вираз для визначення максимальної досягнутої швидкості (2.60):

$$v_d = \sqrt{a_{\max}S + \frac{1}{2}v_0^2}. \quad (2.61)$$

Розрахуємо час переміщення робочого органу на першому етапі за допомогою рівняння (2.61):

$$t_1 = \frac{v_d}{a_{\max}}, \quad (2.62)$$

та другій ділянці:

$$t_2 = \frac{v_d - v_0}{a_{\max}}. \quad (2.63)$$

Якщо робочий орган не встигає досягти максимальної швидкості, можна підсумувати вирази 2.62, 2.63 і 2.49 для визначення часу переміщення:

$$t = \frac{2\sqrt{a_{\max}S + \frac{1}{2}v_0^2} - v_0}{a_{\max}} + \frac{2m \ln v_0}{\beta} - \frac{\ln \Delta_{\text{тр}} + \ln \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{\frac{\beta}{2m}} \quad (2.64)$$

Використовуючи вираз (2.64) щодо швидкості виходу кінцевої точки, ми можемо знайти графік часу переміщення робочого органу маніпулятора. Ми

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

також можемо використовувати перехідний процес (рис. 2.6) для малих переміщень робочого органу.

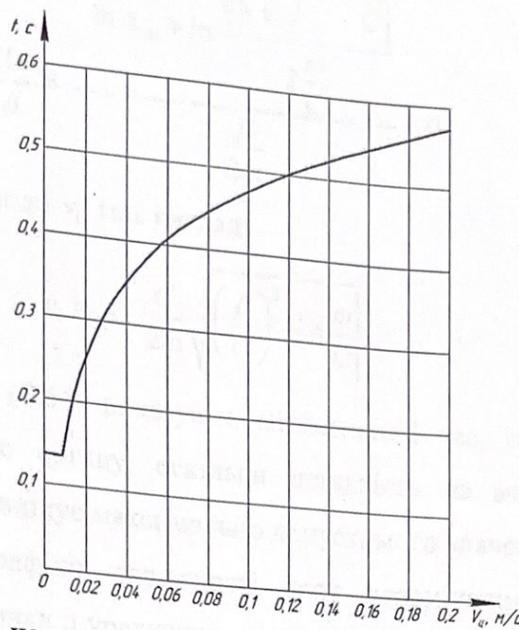


Рисунок 2.6 – час, необхідний для переміщення робочого органу, враховуючи перехідний процес, який залежить від швидкості, коли робота досягає кінцевої точки, при $S=1 \text{ см}$

2.6 Розрахунок раціональної швидкості під час досягнення кінцевої точки

Коли в системі відсутній перехідний процес, час переміщення робочого органу буде мінімальним за певного значення швидкості v_0 , як показано у виразах (2.57) та (2.64) (рис. 2.4, 2.6). Таким чином максимальна амплітуда коливань не перевищує допустиму похибку позиціонування $\Delta_{\text{тр}}$. Щоб визначити швидкість v_0 , достатньо прирівняти вираз до нуля (2.49):

				ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ		Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	55	

$$\frac{2m \ln v_0}{\beta} - \frac{\ln \Delta_{\text{тр}} + \ln \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}}{\frac{\beta}{2m}} = 0. \quad (2.65)$$

Рішення (2.65) щодо v_0 має вигляд:

$$v_0 = \Delta_{\text{тр}} \frac{C}{2m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4\frac{m}{C}}. \quad (2.66)$$

Вирази (2.57) і (2.64) показують мінімальний час, який потрібен для переміщення робочого органу, оскільки швидкість на момент досягнення кінцевої точки не перевищує максимально допустимого значення.

Як видно з графіків залежності часу переміщення від швидкості досягнення кінцевої точки з урахуванням перехідного процесу (рис. 2.4 та 2.6), швидкість виходу має значний вплив на час переміщення робочого органу. Як наслідок збільшення тривалості перехідного процесу, значне відхилення швидкості веде до значних втрат часу.

Згідно з виразами допустимої похибки позиціонування $\Delta_{\text{тр}}$ (2.57) та (2.64) можна дійти висновку, що зі збільшенням допустимої похибки позиціонування (рис. 2.7 та 2.8) спостерігається зменшення часу переміщення, який можна використовувати на операціях з низькою вимогою до точності; однак це зменшення дуже незначне.

						ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			56

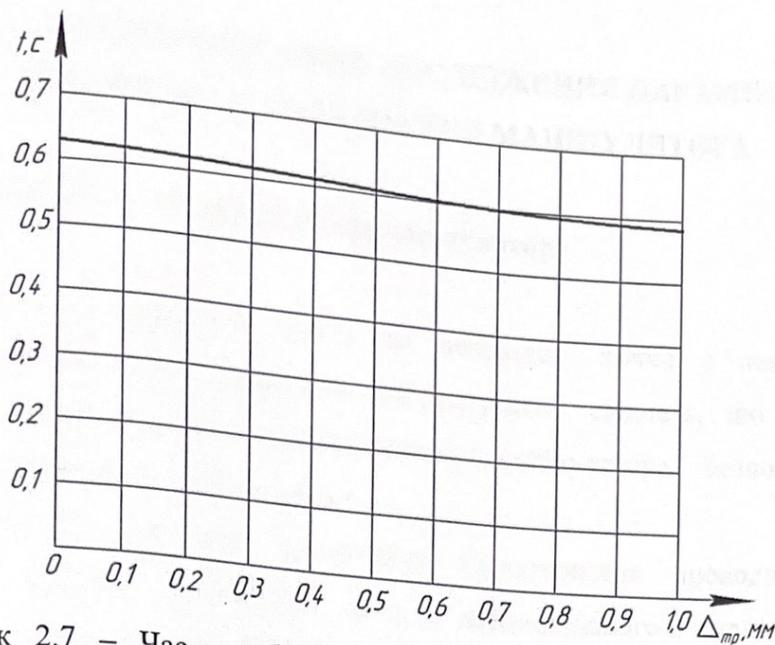


Рисунок 2.7 – Час, необхідний для переміщення робочого органу, враховуючи перехідний процес в залежності від точності позиціонування, при $S=20\text{см}$

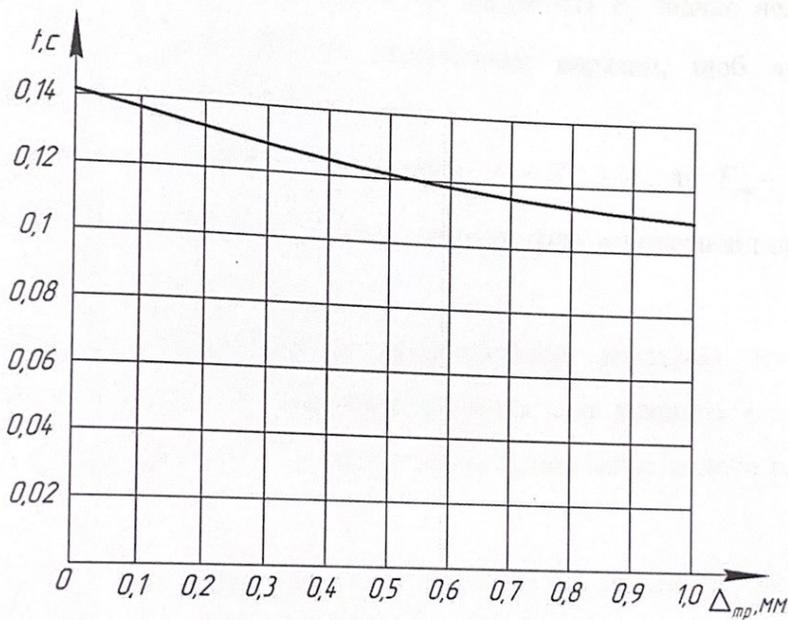


Рисунок 2.8 – Час, необхідний для переміщення робочого органу, враховуючи перехідний процес в залежності від точності позиціонування, при $S=1\text{см}$

						Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	

Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МАНІПУЛЯТОРА

3.1 Дослідження швидкохідності маніпулятора

Переміщення робочого органу до необхідної точки є показником швидкості маніпулятора. Теоретичні обґрунтування свідчать, що загальні механічні характеристики електроприводів маніпулятора безпосередньо впливають на тривалість цього процесу.

Дослідження загальних механічних характеристик проводилося за допомогою аналізу тахограм руху автомобільного маніпулятора, зареєстрованого самописцем НЗ38Д/1. Результати експериментів статистично опрацьовані в таблиці 3.1.

Як показав аналіз даних експерименту, зв'язок сили тяги, тому допустимого прискорення a_i та досягнутої швидкості V_i значно нелінійний. Параметри a та V слід зв'язати аналітичним виразом, щоб визначити квазіоптимальні режими руху маніпулятора.

Уявімо кожне значення F_i як різницю $F_i = F_{cm} - A_i$, де F_{cm} – статична тягова синхронізуюча сила, а A_i – втрата тягової сили залежать від швидкості переміщення маніпулятора.

Основною перевагою такого представлення загальних механічних характеристик є можливість уточнення формули для кожного конкретного зразка маніпулятора цієї моделі шляхом вимірювання лише одного параметра F_{cm} .

Основною перевагою такого представлення загальних механічних характеристик є можливість уточнення формули для кожного конкретного

ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шкаревський	<i>[Підпис]</i>	22.08
Керівн.		Вірченко	<i>[Підпис]</i>	22.08
Перевір.		Васильєв	<i>[Підпис]</i>	22.08
Н. Контр.		Васильєв	<i>[Підпис]</i>	22.08
Затвер.		Орисенко	<i>[Підпис]</i>	22.08
Розділ 3				
			Лім..	Аркуш
			58	Аркушів
НУПП імені Юрія Кондратюка 2024				

зразка манипулятора цієї моделі шляхом вимірювання лише одного параметра F_{cm} .

Таким чином, визначення емпіричної формули загальних механічних характеристик призводить до виявлення залежності $A = f(V)$. Легко помітити, що експериментальні точки A_i найточніше відображають лінійну залежність на напівлогарифмічній функціональній координатній сітці, використовуючи метод пошуку емпіричних формул. З цього випливає, що логарифмічна функція може описувати вираз $A = f(V)$.

Таблиця 3.1 Результати досліджень загальних механічних характеристик автомобільного манипулятора

Маса вантажу m_i кг.	Число паралельних дослідів	Чисельні значення синхронної швидкості, м/с		
		середнє арифметичне	середнє квадратичне відхилення	прийняте значення
2	10	0,80	0,013	
3	10	0,74	0,017	0,8±0,04
4	10	0,67	0,016	0,74±0,05
5	10	0,59	0,007	0,67±0,05
6	10	0,49	0,013	0,59±0,02
7	10	0,38	0,012	0,49±0,04
8	10	0,29	0,010	0,38±0,04
9	10	0,24	0,013	0,29±0,03
10	10	0,20	0,011	0,24±0,04
11	10	0,16	0,013	0,20±0,03
12	10	0,12	0,006	0,16±0,04
13	10	0,05	0,003	0,12±0,02
				0,05±0,01

Коефіцієнти її рівняння, вид якого $y = ax + b$ легко знайти з лінійної залежності, наведеної на рис. 3.2. У результаті маємо:

$$A = 113,3 \cdot \lg 100V, \quad (3.1)$$

					Арк.
					57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ

Однак слід зауважити, що з ростом значення експерименту точки A_i дещо віддаляються від прямої, описаної в рівнянні (3.1). Отже, щоб уточнити залежність, було внесено поправку. З цією поправкою емпірична формула буде мати вигляд:

$$F_m = F_{cm} - 113,33 \cdot \lg 100V - 10V, \quad (3.2)$$

або

$$a_i = \frac{F_{cm} - 113,33 \cdot \lg 100V_i - 10V_i}{m}, \quad (3.3)$$

де: a_i, V_i – дозволені миттєві значення прискорення та швидкості, які знаходяться в діапазоні від 0,1 м/с до 0,8 м/с.

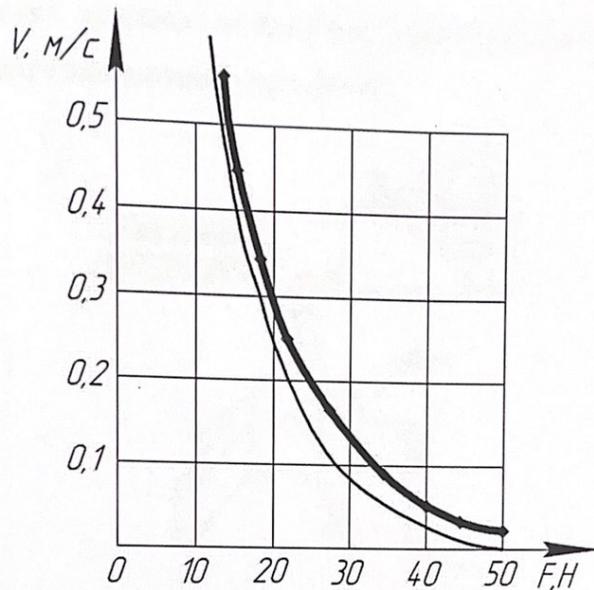


Рисунок 3.1 – Загальні механічні дані автомобільного маніпулятора:

- крива емпіричної залежності;

- середнє значення, виміряне разом із довірчим інтервалом

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

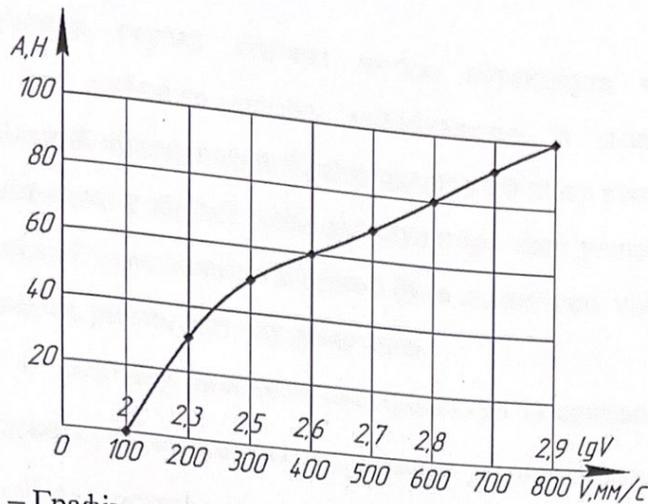


Рисунок 3.2 – Графік тягової сили автомобільного маніпулятора

Для дослідження загальних механічних характеристик автомобільного маніпулятора методика вимірювань є наступною.

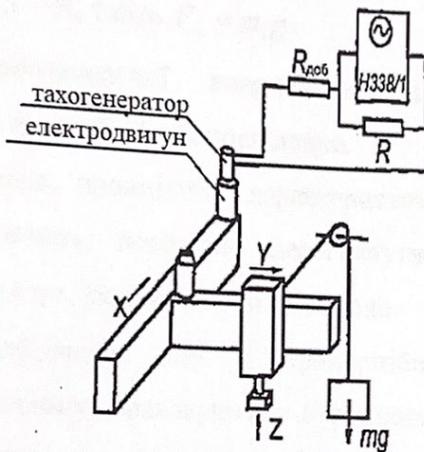


Рисунок 3.3 – Стенд для дослідження механізмів автомобільного маніпулятора

На вільний кінець вала електродвигуна ШД 5Д1МУ3 був прикріплений тахогенератор, електричний вихід якого підключався до вимірювальної схеми вольтметра, як показано на рис. 3.3. Пристрій управління 2Р22 забезпечував сталі значення швидкості руху робочого органу маніпулятора. В цьому випадку електродвигун був повністю відключений від навантаження.

				ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ		Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		С1

Після тарування гнучка сталевя нитка, перекинута через ролик, прикріплювалася до робочого органу маніпулятора, а змінний вантаж підвішувався на вільний кінець нитки. Електродвигун починав рівноприскорено обертатися, переміщуючи робочий орган маніпулятора, щоб уникнути протидії вантажу. На фіксованій самописцем тахограмі було відзначено, що коли двигун вийшов із синхронізму, рівень сигналу різко впав.

Зміна маси m_i вантажу виводило електродвигун із синхронізму вже за іншого значення досягнутої швидкості v_{i+1} . Отже, в усьому робочому діапазоні було знайдено співвідношення ваги вантажу, що протидіє, і критичної синхронної швидкості ШД.

Щоб зменшити вплив інерційності системи було визначено $a \ll g$, що у момент виходу ШД із синхронізму вся сила F_m витрачається на утримання вантажу $m_i g$ з точністю 5–7%, тобто $F_m = m_i g$.

Для кожної програмованої координати загальних механічних характеристик маніпулятора визначався послідовно.

Для вивчення інших динамічних характеристик, які впливають на продуктивність маніпулятора, необхідно переглянути перехідний процес позиціонування маніпулятора, який було описано вище.

Коефіцієнти демпфування, що є пропорційними до швидкості переміщення робочого органу, враховуються в рівнянні руху маніпулятора. Використовуючи розрахункову формулу, коефіцієнт демпфування можна визначити за допомогою осцилограми загасання коливань робочого органу маніпулятора:

$$\beta = \frac{2m\nu}{T}, \quad (3.4)$$

де m – маса рухомої частини маніпулятора;

ν – логарифмічний декремент, який характеризує згасання коливального потоку;

					ГМІМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ	Арк. 62
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T – період коливань.

У результаті дослідження жорсткості та демпфуючих властивостей маніпулятора було визначено час перехідного процесу під час позиціонування (рис. 3.4).

Як показано на графіку, розрахункова крива знаходиться в межах експериментальних значень, що означає, що модель має достатню точність, щоб її можна було використовувати на практиці.

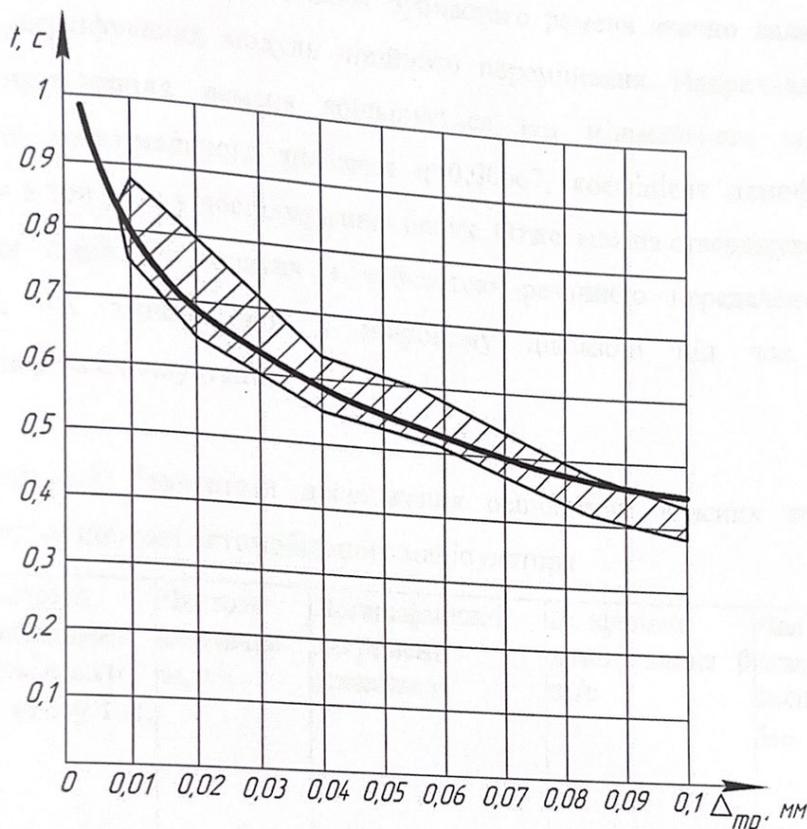


Рисунок 3.4 – Час перехідного процесу автомобільного маніпулятора за необхідною точністю позиціонування при

- розрахункове значення
- середнє вимірне значення з довірчим інтервалом

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ГМіМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ

Арк.

63

3.2 Аналіз перехідних процесів в автомобільному маніпуляторі

Перехідні процеси в автомобільному маніпуляторі виникають через зубчасту ремінну передачу лінійного модуля та вільну консоль.

Під час етапу зондувальних експериментів проводились дослідження парних залежностей коефіцієнта демпфування від зняття робочого органу вздовж консолі та натягу зубчастого ремня. Таблиця 3.2 містить результати аналізу отриманих осцилограм.

Результати показують, що натяг зубчастого ремня значно впливає на коефіцієнти демпфування модуля лінійного переміщення. Наприклад, коли початкове натягування ремня збільшується від мінімального значення $\eta=0,03778$ до максимального значення $\eta=0,00667$, коефіцієнт демпфування зменшується в три рази у досліджуваних болях. Отже, можна стверджувати, що демпфування лінійного модуля з зубчастою ремінною передачею може змінюватися та змінюватися в широкому діапазоні під час етапів конструювання та експлуатації.

Таблиця 3.2 Результати дослідження осцилограм власних коливань робочого органу консолі автомобільного маніпулятора

Величина усунення робочого органу вздовж консолі l_u , мм	Період коливань робочого органу T , с.	Частота коливань ω , s^{-1}	Логарифмічний декремент згасання ν	Коефіцієнт демпфування β кг/с	Час згасання коливань $t_{пл}$, с.
0	0,057	17,54	0,956	369	0,6
175	0,067	15	0,693	227,55	0,9
350	0,08	12,5	0,446	122,65	1,2

Результати дослідження показують, що усунення робочого органу автомобільного маніпулятора вздовж вільної консолі та збільшення

					Арк.
					64
№	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ

За результатами експерименту була проведена повна статистична обробка. Це дозволило створити достатню модель залежності коефіцієнтів демпфування від досліджуваних факторів у вигляді:

$$Y = 290,5 + 179,5\tilde{X}_1 - 138\tilde{X}_2 - 92\tilde{X}_1\tilde{X}_2 \quad (3.5)$$

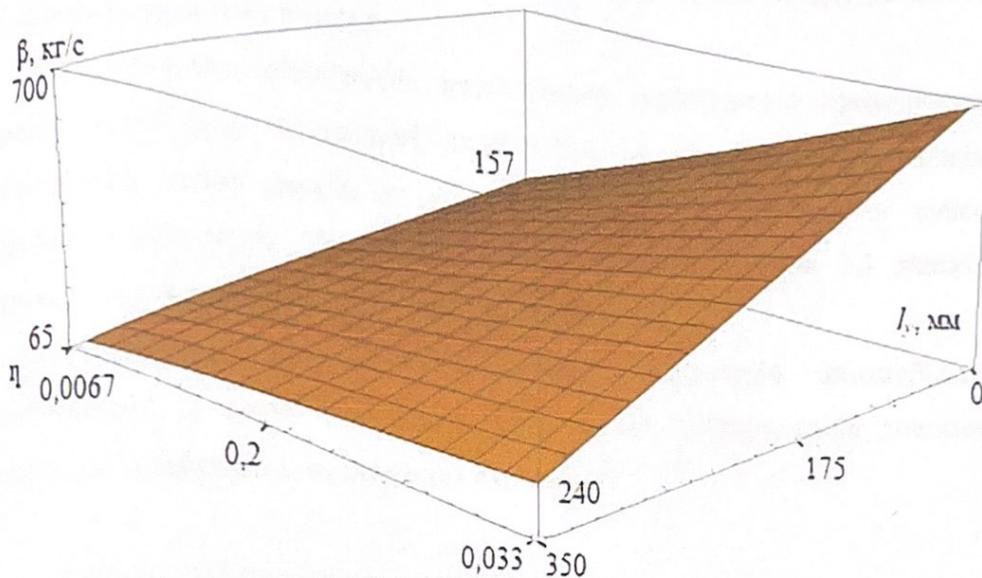


Рисунок 3.5 – Коефіцієнт демпфування β автомобільного маніпулятора залежить від початкового натягу ремня η та зміщення l_y робочої частини вздовж консолі

Поверхня відгуку показана на рис. 3.5. Чисельне значення коефіцієнта демпфування, необхідний для визначення тривалості перехідного процесу при позиціонуванні, можна знайти за допомогою формули (3.5).

початкового натягу ременя призводять до зменшення коефіцієнтів демпфування. Це призводить до значного (в 2–3 рази) збільшення часу повного згасання власних коливань робочого органу (табл. 3.2). Як наслідок, реальна продуктивність маніпулятора зменшується.

Зменшення частоти власних коливань автомобільного маніпулятора, пов'язаних із його використанням у технологічних процесах, пов'язаних із резонансними явищами, пояснюється зміщенням робочого органу до підстави та збільшенням натягу ременя.

Дослідження демпфуючих властивостей маніпулятора проводилося з метою визначення залежності коефіцієнта демпфування від величини початкового натягу ременя та усунення робочого органу вздовж консолі. Лінійна модель була обрана для функції відгуку. Таблиця 3.3 діапазони варіювання для побудови плану експериментів.

Дослідження жорсткості та точних параметрів автомобільного маніпулятора, а також результати зондувальних експериментів допомогли визначити основні рівні та інтервали варіювання

Таблиця. 3.3 Діапазони варіювання змінними експерименту

Найменування фактору	Умовне позначення	Область визначення	Основний рівень	Інтервал варіювання
Початковий натяг ременя ρ	X_1	0...0,04	0,02	0,013
Величина усунення робочого органу маніпулятора вздовж консолі l_y , мм	X_2	0...350	175	175

Таблиця 3.4 містить зведення результатів експерименту та матрицю планування.

Таблиця 3.4 Результати та матриця планування для комплексного дослідження демпфуючих властивостей автомобільного маніпулятора

Номер досліджу	\tilde{X}_0	\tilde{X}_1	\tilde{X}_2	\tilde{X}_1, \tilde{X}_2	Середнє значення коефіцієнта демпфування, кг/с	Дисперсія середнього арифметичного	Обчислене значення
1	+1	+1	+1	+1	240		
2	+1	+1	-1	-1	700	64	240
3	+1	-1	+1	-1	65	49	700
4	+1	-1	-1	+1	157	4	65
						16	157

Дослідження часу перехідного процесу проводилося за допомогою набору вібровимірювальних пристроїв АВ-44, вібродатчик яких кріпився на робочому органі маніпулятора.

3.3 Визначення жорсткості ланок автомобільного маніпулятора

Вимірювання деформації консолі маніпулятора під впливом певного зусилля були використані для визначення жорсткості ланок автомобільного маніпулятора.

Таблиця 3.5 містить результати дослідження жорсткості. На основі цих даних були розроблені графіки залежності деформації від усунення робочого органу (рис. 3.6) і від натягу зубчастого ременя (рис. 3.7).

Рисунок 3.6 - Жорсткість трапецієвидної консолі

1 - деформація по осі X при Y=0, Z=0

2 - деформація по осі Y при X=0, Z=0

3 - деформація по осі Z при X=0, Y=0

Таблиця 3.5 Вплив збуджуючих сил, на ланки автомобільного маніпулятора

Збуджуюча сила	Деформація ланок системи маніпулятора, мм			Вісь Y
	Вісь X			
	Y=0	$Y = \frac{Y_{\max}}{2}$	$Y = Y_{\max}$	
0	0	0	0	0
10	0,111	0,135	0,178	0,111
20	0,206	0,234	0,390	0,206
30	0,265	0,334	0,560	0,265
40	0,302	0,418	0,750	0,302
50	0,345	0,507	0,930	0,348
60	0,390	0,580	1,090	0,393
70	0,418	0,658		0,421
80	0,460	0,745		0,465
90	0,498	0,825		0,505
100	0,534	0,902		0,540

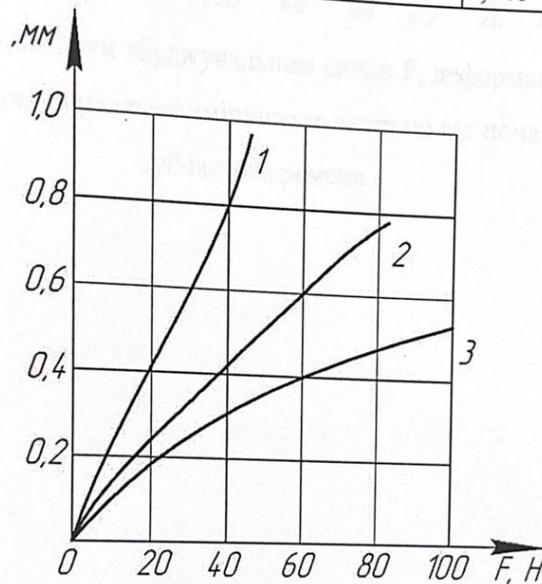


Рисунок 3.6 – Жорсткість кінематичної схеми робота маніпулятора

- 1 – деформація по осі X при $Y = Y_{\max}$
- 2 – деформація по осі X при $Y = Y_{\max}/2$
- 3 – деформація по осі X при $Y = 0$ і по осі Y

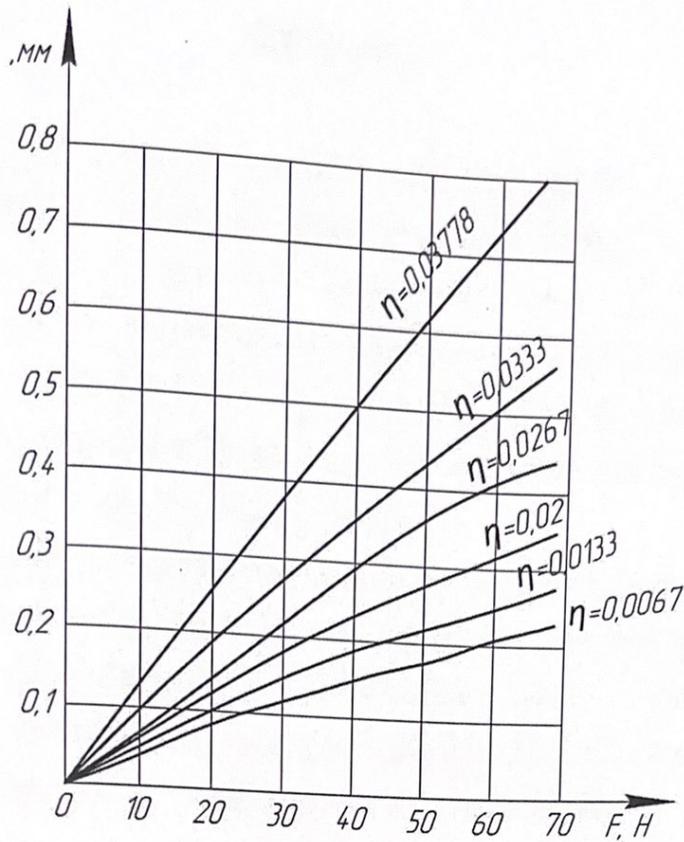


Рисунок 3.7 – Завдяки збуджувальним силам F , деформація δ модуля ПР із зубчастою ремінною передачею змінюється залежно від початкового натягу η зубчастого ременя

ВИСНОВКИ

При виконанні даної магістерської дипломної роботи було проведено дослідження впливу динамічних параметрів гідравлічного обладнання у автомобільному маніпуляторі, було проаналізовано існуючі автомобільних маніпуляторів та їх обладнання та визначено, що розуміння основних характеристик, принципів дії, а також переваг і недоліків кожного типу дозволяє зробити обґрунтований вибір, що сприятиме ефективній автоматизації і підвищенню продуктивності у різних галузях..

На основі цих досліджень було запропоновано математичну модель, що описує динамічну модель маніпулятора. Ця модель дозволяє прогнозувати швидкість переміщенню робочого органу маніпулятора в залежності від режимів роботи та умов експлуатації. Проведені експериментальні дослідження перехідних процесів в маніпуляторі та швидкохідності обладнання маніпулятора.

Встановлено, що динамічні характеристики гідравлічної системи, зокрема, швидкість переміщення робочих органів та стабільність їх руху, мають значний вплив на точність і швидкість виконання операцій маніпулятором. Зміни в динамічних параметрах можуть суттєво вплинути на загальну ефективність роботи маніпулятора, особливо при виконанні високоточних завдань. Завдяки оптимізації динамічних параметрів вдалося підвищити загальну швидкість виконання операцій на 12%, а також зменшити відхилення від заданих траєкторій на 8%

Аналіз та моделювання різних режимів роботи дозволили визначити оптимальні параметри гідравлічної системи для забезпечення максимальної продуктивності маніпулятора.

				ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ		
№	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Шкаревський	<i>[Signature]</i>	22.08	Літ.	Аркуш
Перевір.		Вірченко	<i>[Signature]</i>	22.08		70
Перевір.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	22.08	ВИСНОВКИ НУПП імені Юрія Кондратюка 2024	
Н. Коопт.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	22.08		
Завер.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	22.08		

Оптимізовано швидкість подачі гідравлічної рідини, що дозволило знизити втрати тиску на 15% і підвищити енергоефективність системи на 10%.

Експериментальні дослідження запропонованих рішень та їхній позитивний вплив на загальну продуктивність автомобільного маніпулятора. Результати експериментів демонструють зниження витрат енергії на 12% та підвищення точності виконання маніпуляцій на 9%, що сприяє збільшенню терміну служби обладнання та зменшенню експлуатаційних витрат.

					ГМІМ.601-ММв.023-00.00.000.ПЗ	Арк.
№	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М., Корольов І.М. Гідравліка та гідроприводи мобільних машин. – Київ: НАУ, 2014. – 384 с.
2. Баладінський В.Л., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Будівельна техніка - Київ-Полтава: КНУБА-ПНТУ, 2002 – 320 с.
3. Онищенко О.Г., Онищенко В.О., Коробко Б.О., Вірченко В.В. Будівельна техніка. – Київ. Кондор-Видавництво, 2017 – 320 с.
4. Баладінський В.Л., Лівінський О.М., Хмара Л.А., Фомін А.В., Гаркавенко О.М. Будівельна техніка. – Київ. Либідь, 2001 – 320 с.
5. Германчук П.М., Мигаль В.В. Гідравлічні та пневматичні приводи і системи. – Київ: Ліра-К, 2016. – 440 с.
6. Давиденко В.П., Тараненко О.М. Основи гідравліки і гідроприводу. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 302 с.
7. Корнієнко П.М. Гідравліка та гідроприводи: Підручник для студентів технічних спеціальностей. – Київ: Видавництво КПІ, 2013. – 320 с.
8. Скрипник Г.І., Лебедев В.В. Гідравлічні машини і гідроприводи автомобільної техніки. – Київ: Знання, 2018. – 312 с.
9. John Watton. Fundamentals of Fluid Power Control. – Cambridge: Cambridge University Press, 2012. – 450 p.
10. D.W. Smith, B.T. Kulakowski. Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 294 p.

					ГМіМ.601–ММв.023–00.00.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Література	Літ..	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Шкаревський		22.08				
Керівн		Вірченко		22.08			71	
Перевір.		Васильєв		22.08				
Н. Контр.		Васильєв		22.08				
Затвер.		Орисенко		22.08				
						НУПІ імені Юрія Кондратюка 2024		

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Магістерська робота на тему:
**Дослідження впливу динамічних параметрів
гідравлічного обладнання на ефективність
роботи автомобільного маніпулятора**

Виконав: студент групи 601-ММ
Шкарєвський Тарас
Керівник: к.т.н., доцент
Вірченко Віктор

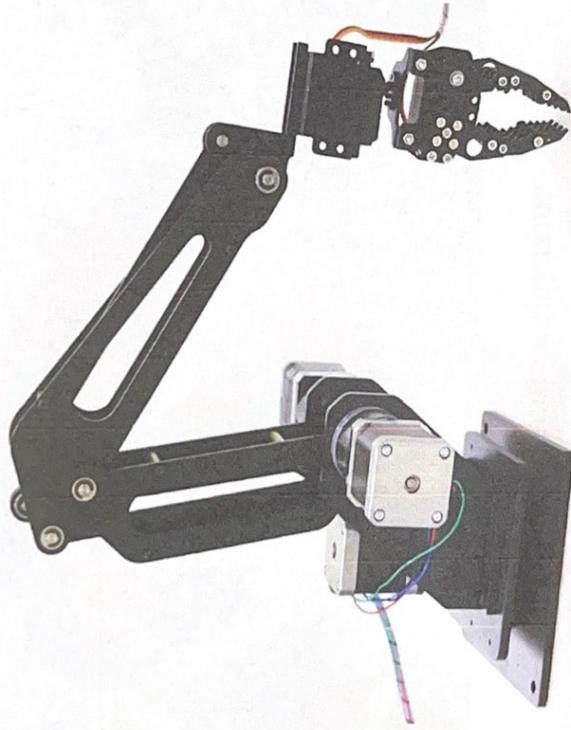
Полтава 2024

Актуальність: З розвитком технологій зростанням вимог до продуктивності та надійності техніки, виникає необхідність у детальному вивченні цих параметрів з метою оптимізації роботи маніпуляторів. Дослідження впливу динамічних характеристик гідравлічних систем дозволяє підвищити точність, швидкість і безпеку операцій, що є надзвичайно важливим для сучасних промислових і будівельних процесів.

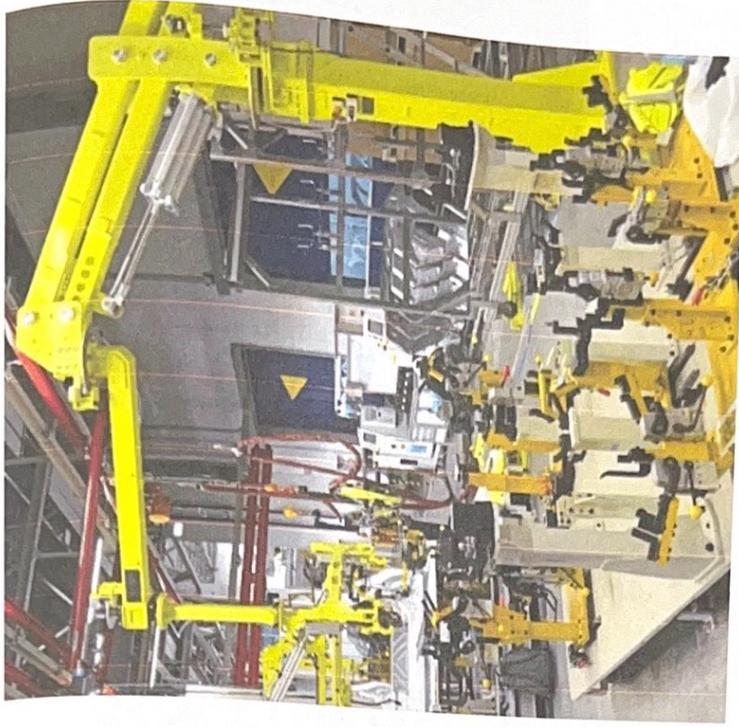
Об'єкт – Вплив динамічних параметрів гідравлічного обладнання на ефективність роботи автомобільного маніпулятора

Предмет – Автомобільні маніпулятори

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ



Електро механічний маніпулятор



Пневматичний маніпулятор



L-подібний маніпулятор



Z-подібний маніпулятор



Гідравлічне обладнання маніпулятора

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ МАНІПУЛЯТОРА

Принцип постійних переміщень $-\delta\Pi + \sum_{s=1}^n F_s \delta r_s = 0$

$$\ln \Delta_{\text{пр}} = \ln v_0 - \ln \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}}{\frac{\beta}{2m}} - \frac{\beta}{2m} t$$

потенційна похибка позиціонування

Загальне переміщення робочого органу $S = \frac{2v_0^2 - v_0^2}{2a_{\text{max}}}$

$$v_0 = \sqrt{a_{\text{max}} S + \frac{1}{2} v_0^2}$$

Максимальна досягнута швидкість

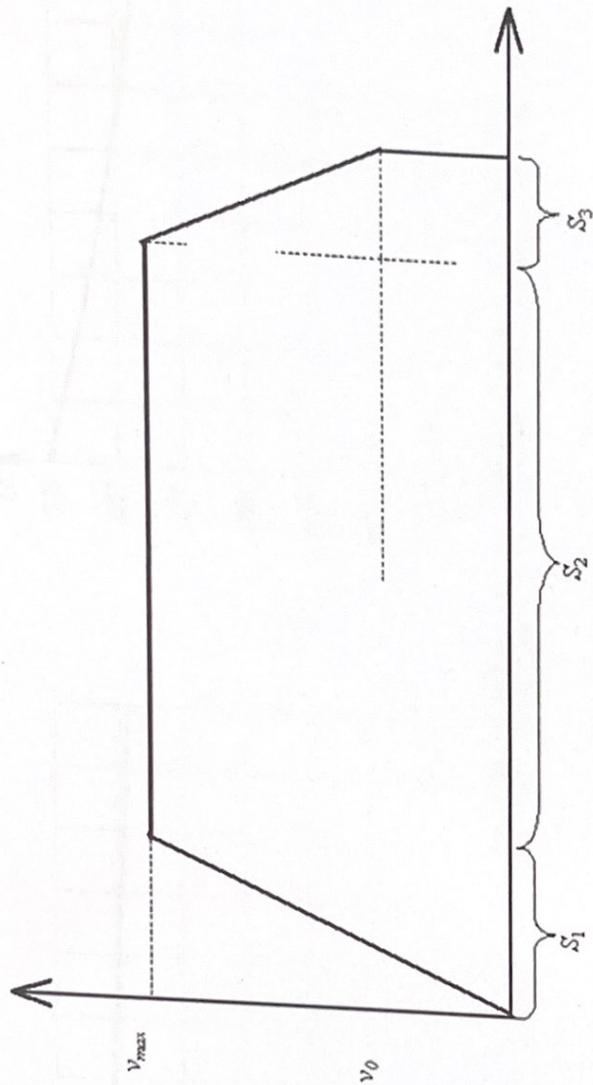
$$v_0 = \sqrt{a_{\text{max}} S + \frac{1}{2} v_0^2}$$

$$t = \frac{2\sqrt{a_{\text{max}} S + \frac{1}{2} v_0^2} - v_0}{a_{\text{max}}} + \frac{2m \ln v_0}{\beta} - \frac{\beta}{2m} \left(\ln \Delta_{\text{пр}} + \ln \frac{m}{2C} \right)$$

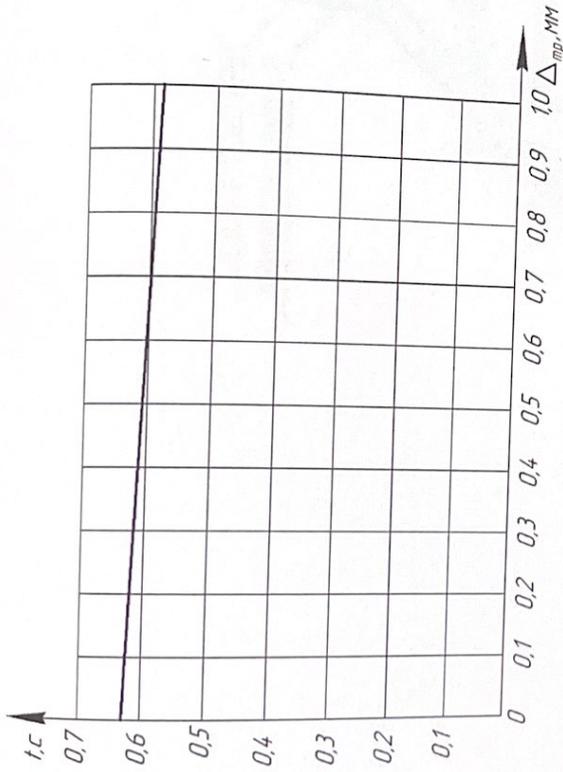
Час переміщення

$$v_0 = \Delta_{\text{пр}} \frac{C}{2m} \sqrt{\left(\frac{\beta}{C}\right)^2 - 4 \frac{m}{C}}$$

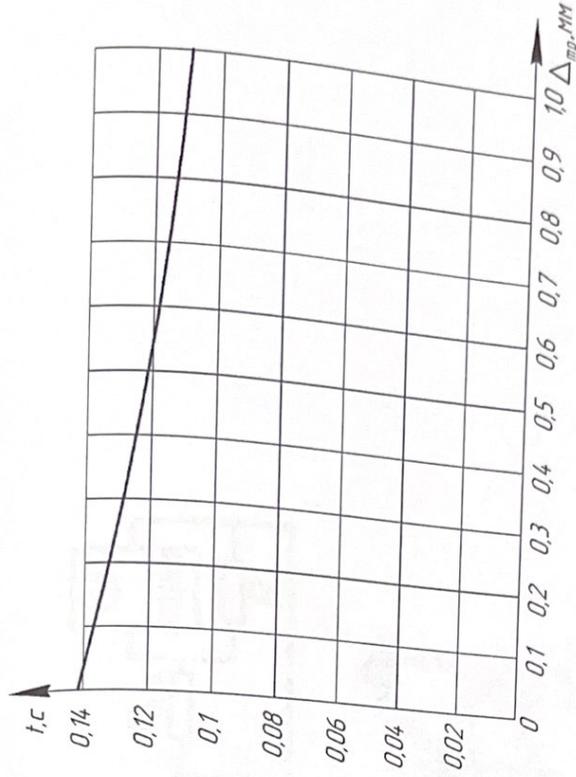
Рациональна швидкість для досягнення кінцевої точки



Графік зміни руху робочого органу автомобільного маніпулятора, коли він переміщується між двома робочими точками

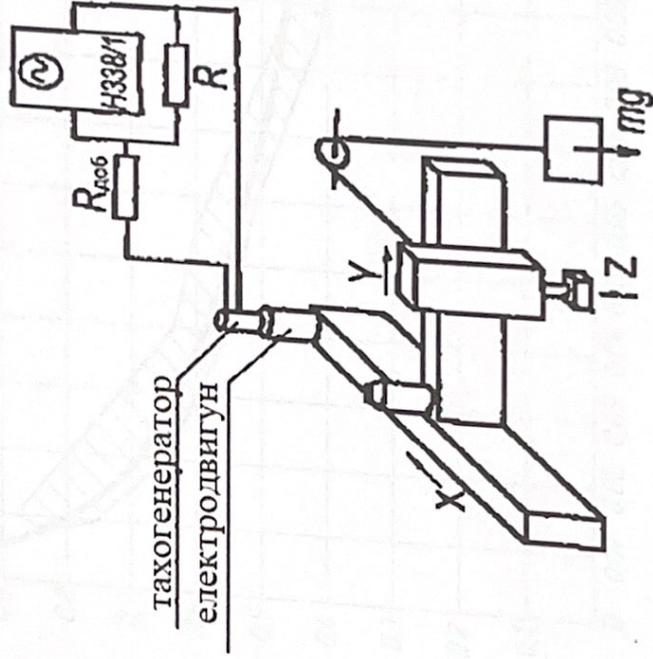


Час, необхідний для переміщення робочого органу, враховуючи перехідний процес в залежності від точності позиціонування, при $S=20$ см

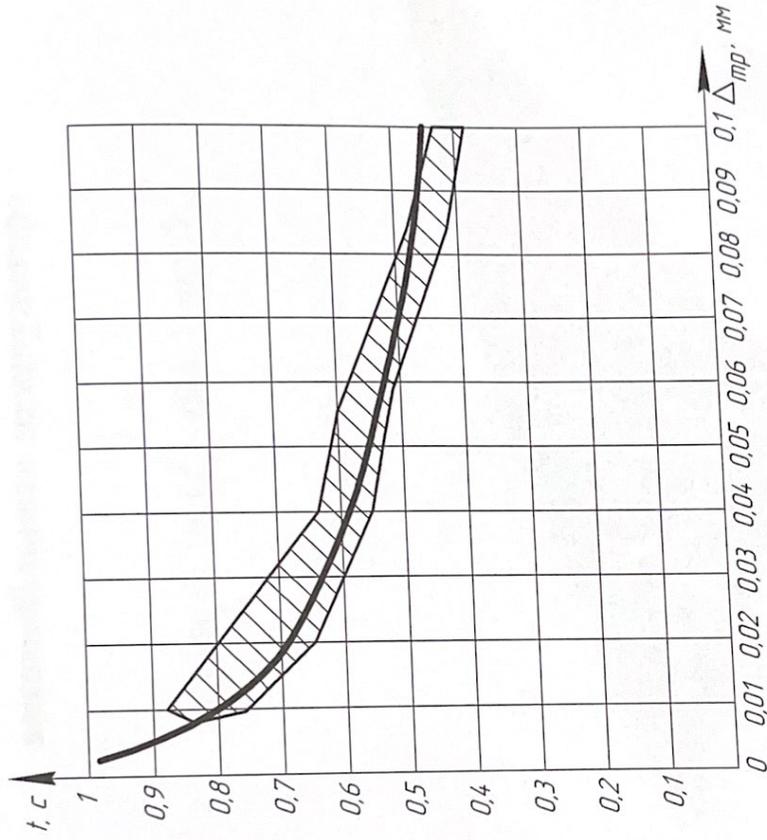


Час, необхідний для переміщення робочого органу, враховуючи перехідний процес в залежності від точності позиціонування, при $S=1$ см

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МАНІПУЛЯТОРА



Стенд для дослідження механізмів
автомобільного маніпулятора



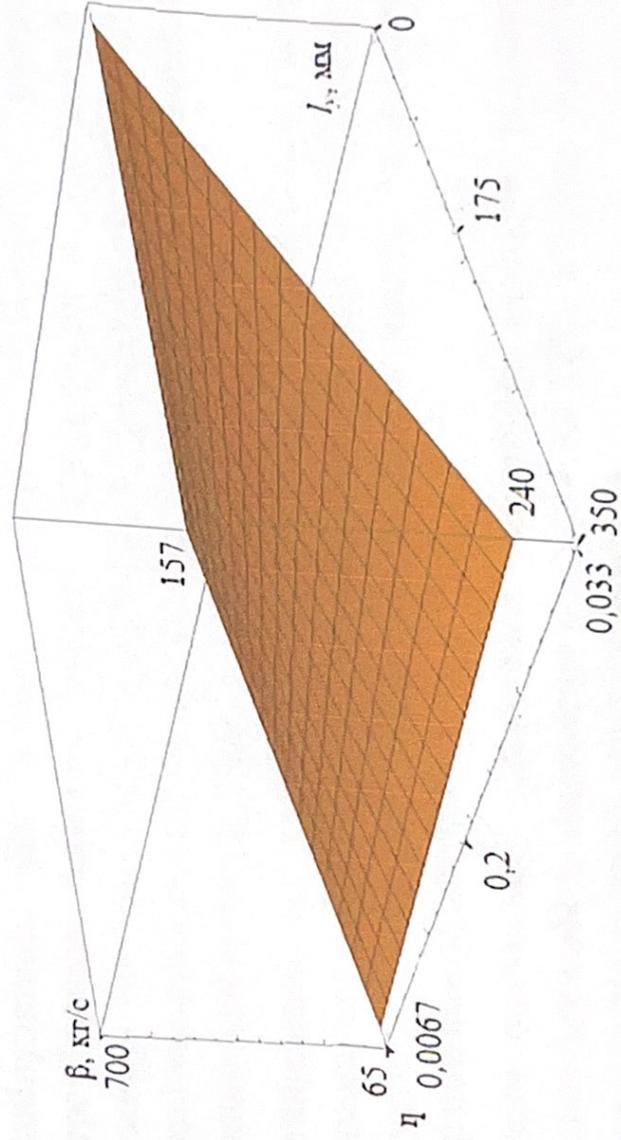
Час перехідного процесу автомобільного
маніпулятора за необхідною точністю позиціонування при:

- розрахункове значення

- середнє виміряне значення з довірчим інтервалом

Результати дослідження осцилограм власних коливань робочого органу консолі автомобільного маніпулятора

$$Y = 290,5 + 179,5\tilde{X}_1 - 138\tilde{X}_2 - 92\tilde{X}_1\tilde{X}_2$$



ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих конструкцій маніпуляторів, а також визначено їх переваги і недоліки.
2. Запропоновано математичну модель, що описує динамічну модель маніпулятора. Ця модель дозволяє прогнозувати швидкість переміщення робочого органу маніпулятора в залежності від режимів роботи та умов експлуатації. Проведені експериментальні дослідження перехідних процесів в маніпуляторі та швидкохідності обладнання маніпулятора.
3. Встановлено, що динамічні характеристики гідравлічної системи, зокрема, швидкість переміщення робочих органів та стабільність їх руху, мають значний вплив на точність і швидкість виконання операцій маніпулятором.
4. Завдяки оптимізації динамічних параметрів можливо підвищити загальну швидкість виконання операцій на 12%, а також зменшити відхилення від заданих траєкторій на 8%.