

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ
РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED
CONTROL SYSTEM FOR AN INDUSTRIAL
ROBOT MANIPULATOR**

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Системи керування та діагностування технологічного
устаткування»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи СКДТУМ-21
ПАВЛОВИЧ
Артем Олександрович

(підпис)

Керівник:
д.т.н., професор
ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ
Богдан Олексійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
д.т.н., професор
Гарант освітньої програми:
ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ Богдан Олексійович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: *магістр*

Галузь знань: *17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації*

Спеціальність: *174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка*

Освітня програма: *«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. Ю. Повстяной

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Павловича Артема Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Розробка та дослідження автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором*

Керівник роботи: *д.т.н., професор Пальчевський Богдан Олексійович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «27» червня 2025 року №304/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: *«1» грудня 2025 року*

3. Вихідні дані до роботи: *існуючі технічні рішення та основні функціональні характеристики промислових роботів-маніпуляторів*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз сучасного стану проблеми.

2. Математичне моделювання захоплюючих пристроїв.

3. Аналіз пристроїв автоматичної заміни захватів та модулів захоплювачів роботів-маніпуляторів.

4. Експериментально-дослідна частина.

5. Перелік графічного матеріалу :

графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Пальчевський Б.О.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Пальчевський Б.О.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Пальчевський Б.О.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Пальчевський Б.О.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

N з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка задач</i>	<i>01.09.2025 р.</i>	
<i>2</i>	<i>Аналіз і вибір напрямків дослідження</i>	<i>10.09.2025 р.</i>	
<i>3</i>	<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	<i>20.09.2025 р.</i>	
<i>4</i>	<i>Опис засобів розробки об'єкта проектування</i>	<i>01.10.2025 р.</i>	
<i>5</i>	<i>Загальні висновки та рекомендації</i>	<i>20.10.2025 р.</i>	
<i>6</i>	<i>Оформлення роботи</i>	<i>10.11.2025 р.</i>	
<i>7</i>	<i>Оформлення презентації</i>	<i>20.11.2025 р.</i>	
<i>8</i>	<i>Задача чистового варіанту кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	<i>01.12.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Павлович А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Пальчевський Б.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Павлович А.О. Розробка та дослідження автоматизованої системи управління промисловим роботом-маніпулятором. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Системи керування та діагностування технологічного устаткування» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження комбінованих захоплюючих пристроїв промислового робота-маніпулятора з аналізом його автоматизованої роботи.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню ефективної роботи робота-маніпулятора та його конструктивних елементів – захоплювальні пристроїв. Захоплювальні пристрої, від конструктивних і функціональних характеристик яких значною мірою залежать надійність маніпулювання об'єктами, визначаються точністю позиціонування. Досліджено фактори конструктивного та кінематичного характеру роботів-маніпуляторів, а також математичні моделі захоплюючих пристроїв з можливістю застосування на технологічному устаткуванні. У зв'язку з цим дане наукове дослідження спрямоване на удосконалення конструкцій і підвищення ефективності роботів-маніпуляторів та їх захоплювальних пристроїв, що є актуальним та має важливе наукове й практичне значення.

Ключові слова: технологічне устаткування, захоплюючий пристрій, магнітні потоки, струменеві захоплювачі, промисловий робот-маніпулятор.

ABSTRACT

Pavlovych A. Development and research of an automated control system for an industrial robot-manipulator. Manuscript.

Master's qualification work OP "Control systems and diagnostics of technological equipment" specialty 174 Automation, computer-integrated technologies and robotics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of sources used, appendices.

The purpose of the qualification work is to develop and study combined gripping devices for an industrial robot-manipulator with an analysis of its automated operation.

The qualification work is devoted to the development and research of the effective operation of a robot-manipulator and its structural elements - gripping devices. Grasping devices, on the structural and functional characteristics of which the reliability of object manipulation largely depends, are determined by the accuracy of positioning. Factors of the constructive and kinematic nature of robot manipulators, as well as mathematical models of gripping devices with the possibility of application on technological equipment, have been investigated. In this regard, this scientific research is aimed at improving the designs and increasing the efficiency of robot manipulators and their gripping devices, which is relevant and has important scientific and practical significance.

Keywords: technological equipment, gripping device, magnetic fluxes, jet grippers, industrial robot manipulator.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Огляд існуючих технічних рішень.....	10
1.2 Можливості розширення функціональних характеристик.....	17
Висновки по розділу.....	24
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХОПЛЮЮЧИХ ПРИБОРІВ.....	25
2.1 Математична модель безконтактних магнітно-струменевих захоплювачів.....	25
2.1.1.1 Основні вимоги до проектування і експлуатації магнітно-струменевих захоплювачів.....	25
2.1.1.2 Огляд магнітних потоків і заміщення магнітної системи еквівалентною електричною схемою.....	28
2.2 Розрахунок магнітної провідності потоків розсіювання.....	30
2.2.1 Розрахунок магнітної провідності робочих повітряних зазорів із врахуванням “випинання” магнітного поля.....	30
2.2.2 Розрахунок магніторушійної сили котушки.....	33
2.3 Результати досліджень магнітно-струменевих захоплювачів.....	38
Висновки по розділу.....	40
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРИБОРІВ АВТОМАТИЧНОЇ ЗАМІНИ ЗАХВАТІВ ТА МОДУЛІВ ЗАХОПЛЮВАЧІВ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ.....	41
3.1 Безконтактні струменеві захоплювачі деталей з наскрізним циліндричним отвором.....	41
3.2 Безконтактні струменеві захоплювачі деталей з внутрішнім глухим отвором.....	47
Висновки по розділу.....	50
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	51
4.1 Особливості проектування комбінованих захоплюючих пристроїв.....	51

4.1.1 Технічні вимоги до струменевих захоплювачів.....	51
4.1.2 Технічні характеристики струменевих захоплювачів.....	53
4.2 Проектування стикувального пристрою руки промислового робота.....	58
4.3 Проектування магнітно-струменевого захвату.....	59
Висновки по розділу.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Актуальність удосконалення технологічних операцій на сучасних промислових підприємствах зумовлена необхідністю забезпечення високого рівня якості продукції, підвищення її конкурентоспроможності на вітчизняному та світовому ринках, а також низкою інших важливих виробничо-економічних чинників. У цьому контексті особливого значення набувають розроблення та дослідження сучасних автоматизованих пристроїв завантаження і розвантаження робочих машин штучними об'єктами до та після їх обробки, які можуть функціонувати як окремі механізми або у складі комплексних систем.

Накопичений досвід проєктування й експлуатації таких технічних засобів створює передумови для розроблення конструкцій, що характеризуються простотою будови, високою надійністю, універсальністю застосування, довговічністю, працездатністю та економічною доцільністю. Водночас актуальність даного напрямку досліджень зумовлена потребою у збільшенні обсягів виробництва, розширенні асортименту та покращенні якості продукції, а також у зниженні рівня браку шляхом упровадження сучасного технічного оснащення підприємств.

Основними засобами автоматизації технологічних процесів є пристрої завантаження та транспортування виробів, серед яких захоплювальні пристрої відіграють ключову роль. Захоплювальні пристрої є одним із базових конструктивних елементів маніпуляторів, промислових роботів і живильників та призначені для надійного захоплення і утримування заготовок і деталей у процесі їх переміщення та маніпулювання.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження комбінованих захоплюючих пристроїв промислового робота-маніпулятора з аналізом його автоматизованої роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Проаналізувати інформацію щодо конструкцій і принципів дії захоплювальних пристроїв.
2. Виконати комплексне дослідження існуючих схем роботів,

конструктивних рішень та окремих елементів захоплювальних механізмів роботів-маніпуляторів.

3. Оцінити вплив основних характеристик механізмів і структури конструктивних елементів на техніко-економічні показники роботів-маніпуляторів.

4. Узагальнити результати досліджень з метою розроблення рекомендацій щодо впровадження удосконалених захоплювальних пристроїв для їх ефективного використання у складі відповідного технологічного устаткування.

Об'єкт досліджень – фактори конструктивного та кінематичного характеру, математичні моделі захоплюючих пристроїв з можливістю застосування на технологічному устаткуванні.

Предмет дослідження – механізми захоплюючих пристроїв роботів-маніпуляторів, що працюють в певному технологічному обладнанні для певних цілей.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра: XIII-та Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління» (30 листопада 2025 року).

Особистий внесок магістранта. Основні результати та положення, рекомендації отримані автором самостійно з відповідним консультуванням наукового керівника.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

1.1 Огляд існуючих технічних рішень

Захоплювальні пристрої за принципом дії поділяються на механічні, пневматичні, магнітні, адгезійні та електростатичні. Кожен із зазначених типів має свої конструктивні особливості, сферу застосування, переваги та певні обмеження.

У механічних захоплювачах утримування об'єкта здійснюється виключно за рахунок контактних сил, що виникають у процесі притискання робочих елементів до поверхні деталі. Даний принцип не передбачає використання додаткових фізичних полів чи середовищ.

Пневматичні захоплювальні пристрої саме і поділяються на вакуумні, камерні та струменеві. Вони переважно застосовуються для переміщення об'єктів малої маси. Камерні захоплювачі з еластичними камерами використовуються для транспортування крихких виробів невеликої маси, що мають неправильну форму або значні відхилення геометричних параметрів. Такі пристрої забезпечують рівномірний розподіл зусиль затиску та необхідну жорсткість утримування завдяки деформації еластичної камери під дією тиску повітря або рідини. Вони можуть здійснювати захоплення як за зовнішню, так і за внутрішню поверхню об'єкта.

Однак, камерні захоплювачі характеризуються рядом недоліків, серед яких низька довговічність, обмежені силові характеристики, а також неможливість ефективного захоплення забруднених або нагрітих деталей.

Вакуумні захоплювальні пристрої використовують присоски, зазвичай конічної форми, виготовлені з гуми або пластмаси. Принцип їх роботи ґрунтується на створенні розрідження в порожнині присоски внаслідок відсмоктування повітря, що забезпечує притискання об'єкта до робочого елемента. Вакуум може створюватися за допомогою вакуумного насоса або ежекторів, які працюють на енергії стисненого повітря. Такі захоплювачі придатні для маніпулювання як плоскими, так і криволінійними поверхнями.

Ефективність вакуумних захоплювачів істотно залежить від герметичності контакту по контуру присоски, оскільки різниця тисків зазвичай не перевищує кількох десятих атмосферного. Для роботи з деталями складної форми або з наявністю отворів застосовують декілька присосок, закріплених на шарнірних з'єднаннях, що дозволяє компенсувати перекося та деформації, зокрема при захопленні тонколистових елементів. Загальним недоліком вакуумних захоплювачів є низька надійність утримування замаслених або вологих об'єктів, що змушує обмежувати швидкість маніпулювання й негативно впливає на продуктивність технологічних операцій.

Магнітні захоплювальні пристрої поділяються на пристрої з постійними магнітами та електромагнітні й застосовуються для маніпулювання феромагнітними об'єктами. Електромагнітні захоплювачі конструктивно мають в собі корпус із низьковуглецевої сталі з розміщеними всередині котушками, захищеними від механічних пошкоджень. Для підвищення несучої здатності електромагніти виконують багатополюсними або зі спеціальною формою робочої поверхні.

При маніпулюванні тонкостінними об'єктами електромагніти можуть монтуватися на спільній рамі з еластичним або шарнірним закріпленням для запобігання надмірним деформаціям деталі. Перевагою електромагнітних захоплювачів є можливість дистанційного захоплення, а також використання змінного струму для обмеження глибини проникнення магнітного поля і створення індукційного нагріву, що може бути корисним при розділенні замаслених заготовок.

До недоліків електромагнітних захоплювачів відносять можливе порушення орієнтації деталі під час вмикання та вимикання живлення, зниження надійності утримування при зволоженні або замасленні поверхні, прилипання стружки при металообробних операціях, а також імовірність намагнічування деталі в процесі транспортування.

Адгезійні та електростатичні захоплювачі застосовуються переважно для маніпулювання об'єктами малої маси, виготовленими з немагнітних матеріалів, і використовуються для захоплення невеликих неметалевих виробів.

Загалом електромагнітний захват (рис. 1.1) складається з корпусу 1 і вкручуваного в нього осердя 2 з упором 3 на кінці, каркаса 4 з немагнітного матеріалу, що вільно переміщається уздовж осердя 2 і має виточку під упор 3.

На каркасі 4 міститься обмотка збудження 5 і обмотка розмагнічування 6 відповідно для захоплення і скидання феромагнітної деталі 7.

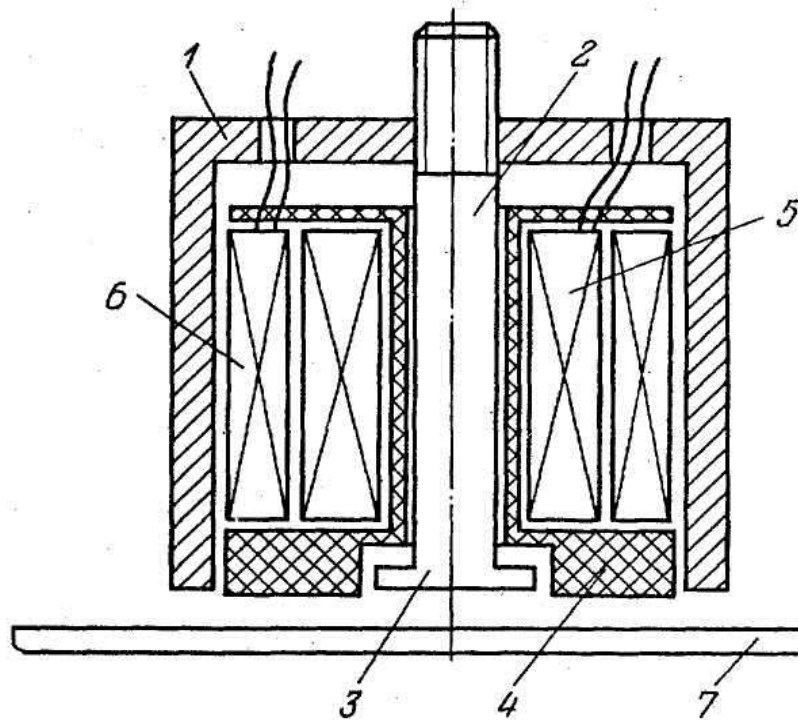


Рисунок 1.1 – Електромагнітний захват

Захоплення деталі здійснюється шляхом подачі постійної напруги на обмотку 5. Сформований при цьому магнітний потік, проходячи через корпус 1 та осердя 2, замикається через деталь 7, у результаті чого забезпечується її надійне фіксування. Під дією магнітного поля каркас 4 з обмотками 5 і 6 переміщується вгору до упору в корпус 1, що дозволяє усунути механічний вплив каркаса 4 на деталь 7.

Відокремлення деталі 7 від захоплювального пристрою здійснюється шляхом зняття постійної напруги з обмотки 5 та одночасної подачі імпульсу напруги на іншу обмотку. Магнітний потік, створений цією обмоткою, компенсує залишкову магнітну індукцію феромагнітної деталі 7 і формує силу,

яка разом із силою тяжіння котушки зумовлює її переміщення вниз. У результаті торець каркаса 4 впливає на деталь 7, утворюючи додатковий повітряний зазор між електромагнітом і деталлю, що сприяє її від'єднанню (рис. 1.2).

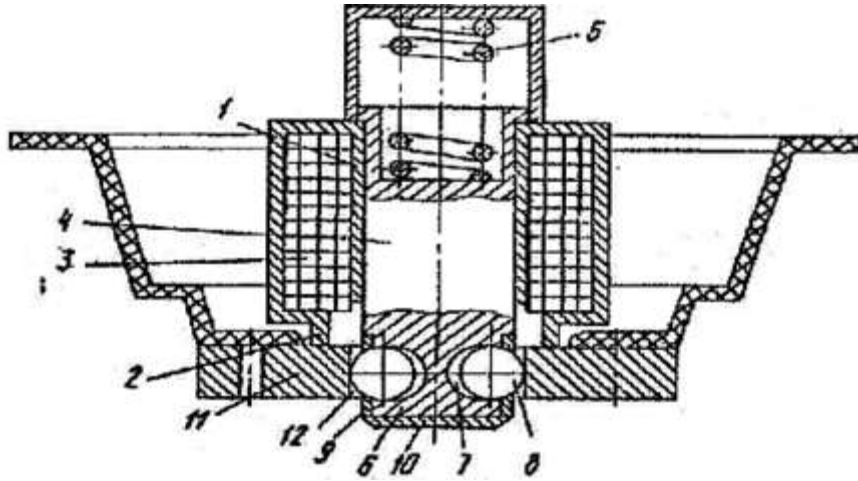


Рисунок 1.2 – Електромагнітний захват в положенні захвату деталі

Для захвату деталі 11 з отвором 12 захват опускається і при цьому осердя 4 входить в отвір 12 із зазором. Включається катушка 3, а кульки 8 під дією магнітного поля переміщуються в зазорі до контакту з поверхнею. У результаті того, що кульки 8 заповнюють простір зазора, магнітний потік значно зростає і відбуваються надійне захоплення деталі 11 (рис. 1.3).

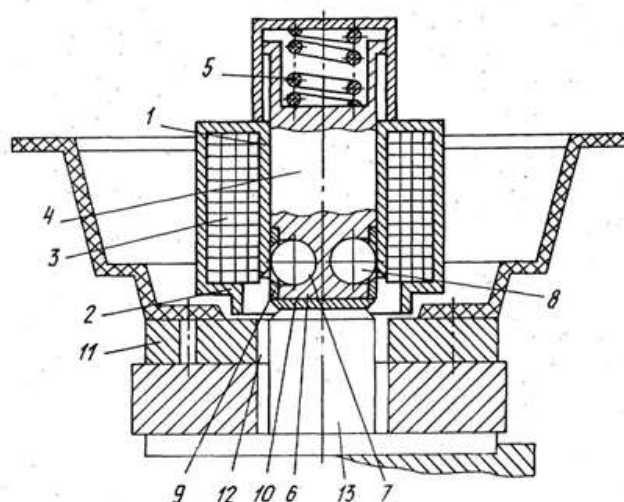


Рисунок 1.3 – Електромагнітний захват в положенні встановлення деталі на основу

Після цього деталь 11 транспортується до позиції її встановлення на основу 13, після чого захват опускається. У процесі взаємодії з основою 13 осердя 4 втоплюється, внаслідок чого кульки 8 виходять з отвору 12 деталі 11. За цих умов магнітний потік послаблюється, і після вимкнення котушки 3 захват повністю звільняє деталь 11. Деталь залишається на основі 13, а захват підіймається у вихідне положення.

Електромагнітний захват (рис. 1.4) містить обмотку, встановлену на корпусі, та осердя, розміщене всередині корпусу в межах обмотки. Відмітною особливістю даного захвата є розширення технологічних можливостей шляхом реалізації операції з'єднання захоплюваних деталей, для чого на торцевій поверхні осердя виконано паз, призначений для формування головки кріпильного елемента. При цьому осердя встановлене в корпусі вільно та підпружинене відносно нього.

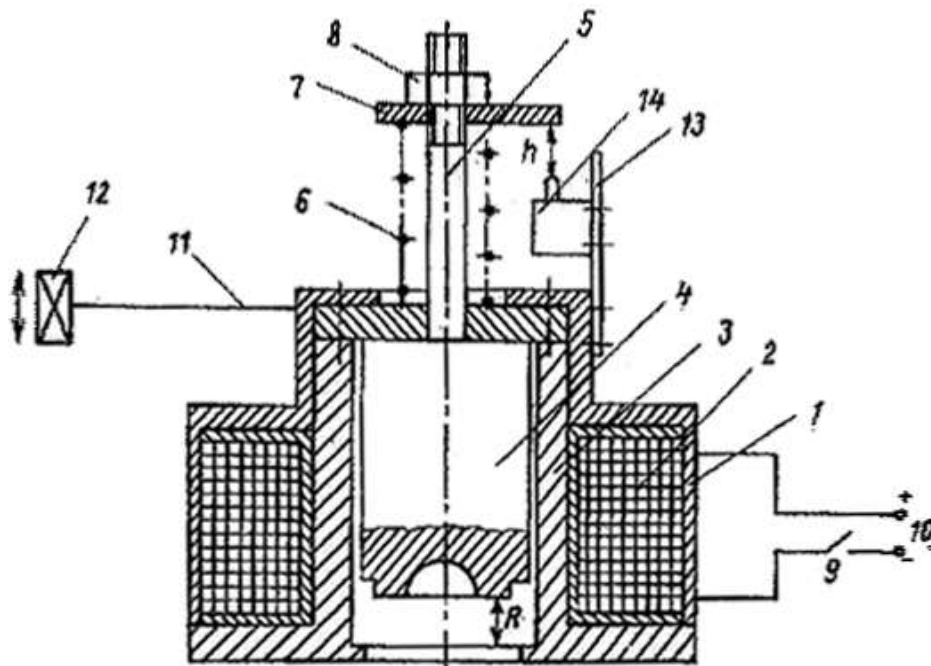


Рисунок 1.4 – Електромагнітний захват

Даний захват складається з корпусу 1, котушки з обмоткою 2, розміщеної на каркасі 3, та осердя 4, один з торців якого жорстко з'єднаний зі штоком 5 і підпружинений відносно корпусу 1 пружиною 6 через шайбу 7 та регулювальний гвинт 8. На протилежному торці осердя 4 виконано паз, призначений для

формування кріпильного елемента. Обмотка 2 через керуючий контакт 9 підключена до джерела постійного струму 10. Корпус 1 встановлений на кінцевій ланці 11 маніпуляційного робота, з'єднаної з приводом 12. На корпусі 1 за допомогою тримача 13 закріплено датчик кінцевого положення 14.

Деталь, що підлягає складанню, містить пластмасовий вкладиш 15 із кріпильним елементом у вигляді циліндричного виступу 16, який входить у круговий паз металевої обойми 17. Пластмасовий вкладиш 15 розміщений на опорній площині 18 (рис. 1.4).

У початковому положенні керуючий контакт 9 розімкнений, а осердя 4 перебуває у верхньому положенні. За допомогою приводу 12 рука робота 11 переміщує електромагніт до зони розташування металевої обойми 17. При цьому контакт 9 замикається, і з джерела 10 на обмотку 2 подається струм. Внаслідок цього осердя 4 втягується в порожнину каркаса 3 до нижнього упору, а його торцева поверхня розміщується на рівні нижнього торця корпусу 1. За цих умов осердя 4 намагнічується та піддається нагріванню.

У момент контакту намагніченого осердя 4 з металевою обоймою 17 відбувається процес захоплення. Далі обойма 17 переміщується та встановлюється на пластмасовий вкладиш 15, розташований у заданому положенні на опорній площині 18. При цьому за допомогою приводу 12 електромагніт переміщується на визначену відстань до упору. Циліндричний виступ 16 вкладиша 15 взаємодіє з осердям 4 і зміщує його на необхідну величину.

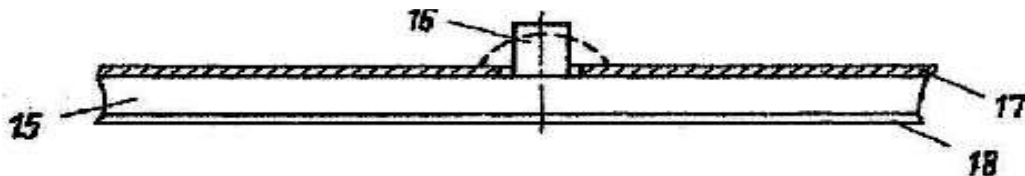


Рисунок 1.5 – Деталі в зборці

Під час взаємодії з виступом 16 осердя 4 здійснює його нагрівання та пластичну деформацію відповідно до формуютьовальної поверхні торцевої частини осердя. При цьому осердя 4 зміщується на відстань, що відповідає його початковому положенню. Шайба 7 передає зусилля на контактний датчик 14, який спрацьовує. Сигнал з виходу датчика фіксує завершення процесу розвальцьовування кріпильного елемента. Після цього керуючий контакт 9 розмикає коло живлення обмотки 2, унаслідок чого осердя 4 розмагнічується та звільняє обойму 17. Під дією пружини 6 осердя 4 повертається у вихідне положення. Надалі робочий цикл повторюється.

За допомогою регульовального гвинта 8 здійснюється налаштування оптимального режиму нагрівання та формування кріпильного елемента 16 пластмасового вкладиша 15 методом тиску.

Відомий електромагнітний захват (рис. 1.6) містить корпус із проточкою на робочій поверхні, відповідну котушку живлення, розміщену у зазначеній проточці, а також систему керування переміщенням захвата.

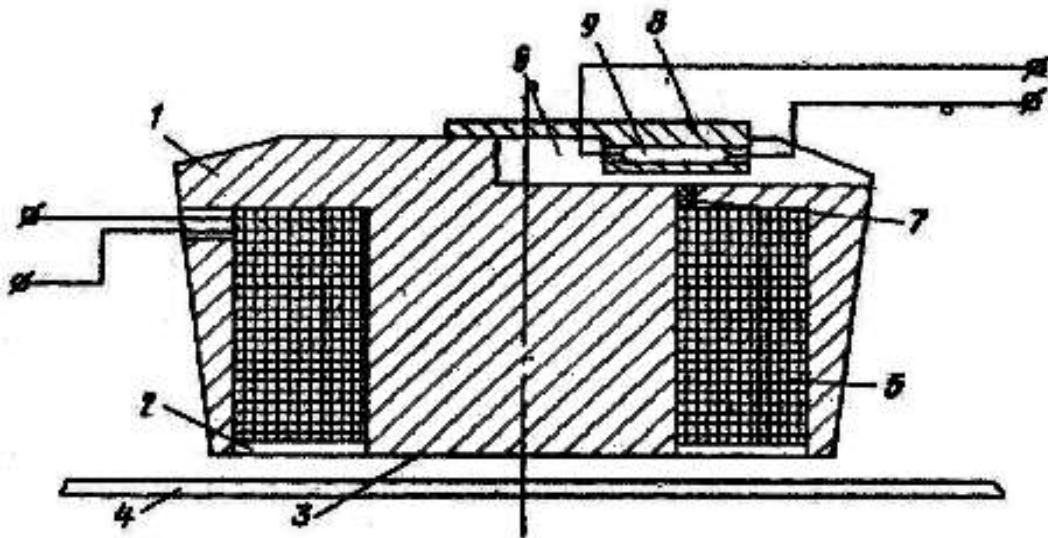


Рисунок 1.6 – Електромагнітний захват, загальний вигляд

Недолік даного захвату – необхідність введення додаткового контролю кількості подаваних заготовок, що обумовлена розсіянням магнітного поля і неможливістю встановлення його порогового значення для забезпечення відповідного контролю.

Найближчим до винаходу є електромагнітний захват (рис. 1.7) для плоских заготовок. Він складається з корпусу з проточкою на робочій поверхні, котушку живлення, яка розміщена в проточці корпусу та систему управління переміщенням корпусу.

Недолік – це можливість захоплення декількох залиплих заготовок, подача їх в робочу зону технологічного обладнання, що обумовлене відсутністю пристрою для контролю такої кількості заготовок.

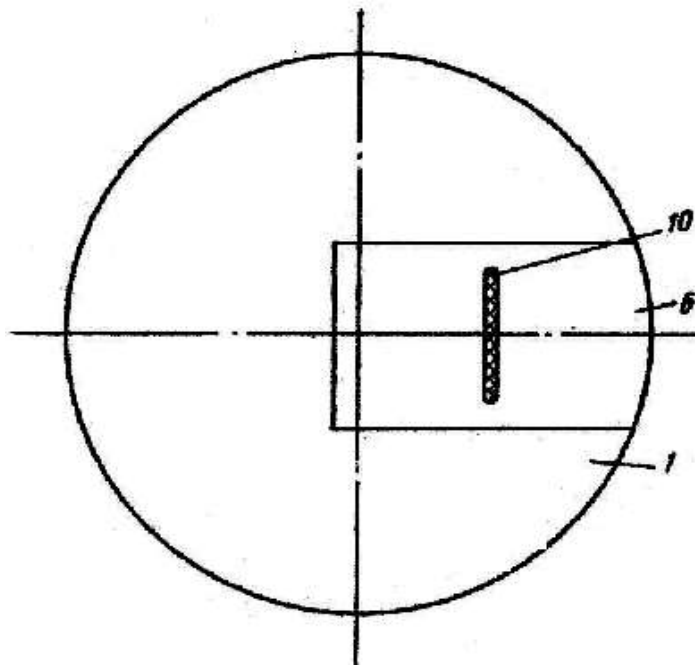


Рисунок 1.7 – Електромагнітний захват, вигляд зверху

1.2 Можливості розширення функціональних характеристик

Розширення функціональних характеристик захвату досягається за рахунок конструктивного виконання, призначеного для маніпулювання плоскими заготовками. Захват містить корпус із проточкою на робочій поверхні, у якій розміщено котушку живлення, а також систему керування переміщенням корпусу. У корпусі виконано паз, а між зазначеним пазом і котушкою живлення сформовано додатковий наскрізний проріз. У пазі корпусу встановлено пластину з немагнітного матеріалу з можливістю осьового переміщення герметизованого

магнітокерованого контакту. Крім того, захват оснащений наповнювачем з немагнітного матеріалу, розміщеним у наскрізному прорізі.

Електромагнітний захват для плоских заготовок містить корпус 1 з проточкою 2 на робочій поверхні 3, призначеній для утримання заготовки 4. У проточці 2 розміщена котушка живлення 5. Захват з'єднаний із системою керування (умовно не показана), яка забезпечує переміщення корпусу 1. У корпусі 1 над котушкою 5 виконано паз 6, а між пазом 6 і котушкою 5 — наскрізний проріз 7. У пазі 6 розташована пластина 8 з немагнітного матеріалу, на якій із можливістю переміщення вздовж осі захвату встановлено герметизований магнітокерований контакт 9, підключений до системи керування переміщенням корпусу 1. У прорізі 7 розміщений наповнювач 10 з немагнітного матеріалу.

Під час подачі постійної напруги на котушку 5 виникають магнітні сили, які притягують заготовку 4 до робочої поверхні 3 корпусу 1, замикаючи магнітний потік через заготовку. Частина магнітного потоку проходить через проріз 7, що характеризується підвищеним магнітним опором. Над цим прорізом формується розсіяне магнітне поле, яке реєструється герметизованим магнітокерованим контактом 9.

У випадку одночасного захоплення двох або більше заготовок сумарний магнітний опір магнітного кола змінюється, що призводить до збільшення магнітного потоку. Відповідно посилюється деформація магнітного поля в зоні над прорізом 7. Регулюванням положення магнітокерованого контакту 9 відносно корпусу 1 задають необхідну відстань між контактом 9 і прорізом 7, що забезпечує формування сигналу заданої величини для відключення переміщення захвату через систему керування.

Зазначене конструктивне рішення дозволяє розширити функціональні можливості захвату та забезпечити надійні умови експлуатації технологічного устаткування (рис. 1.8).

Магнітно-вакуумний захват містить електромагніт 1 та вакуумну камеру, яка складається з корпусу 2 і закріпленої на ньому гумової присоски 3.

Корпус 2 вакуумної камери встановлений на бічній поверхні електромагніту 1 та надає можливість вертикального переміщення відносно останнього.

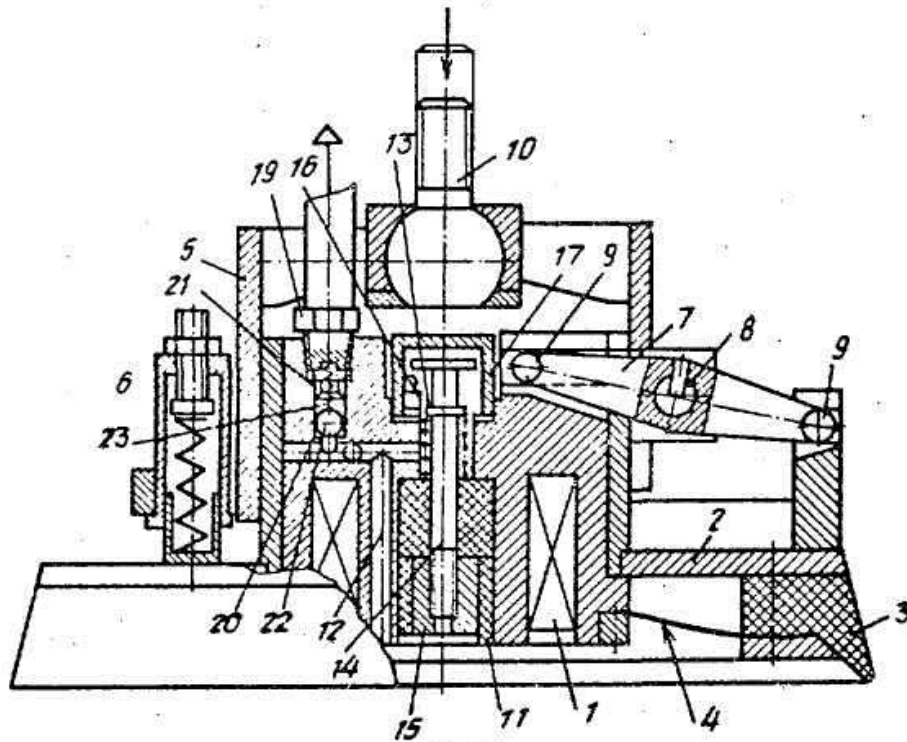


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд захвату

До електромагніту 1 та вакуумної присоски 3 приєднана діафрагма 4, яка забезпечує герметизацію стику сполучених поверхонь електромагніту і корпусу 2 вакуумної камери. На бічній поверхні електромагніту 1 встановлено стакан 5 з можливістю вертикального переміщення відносно нього. Стакан 5 підпружинений відносно корпусу 2 вакуумної камери пружинами 6. У стакані 5 змонтовані коромисла 7, які мають можливість обертання у вертикальних площинах навколо осей 8, жорстко з'єднаних із відповідними коромислами. Коромисла 7 кінематично пов'язані з електромагнітом 1 та корпусом 2 вакуумної камери. На кінцях важелів коромисел 7 виконані циліндричні виступи 9, а в корпусах передбачені пази для розміщення важелів коромисел і горизонтальні пази для розміщення їх виступів.

У стакані 5 виконано кулькову опору з пальцем 10, за допомогою якої захват з'єднується з вантажонесучим пристроєм. В електромагніті 1 встановлено

давач 11 контролю магнітних властивостей матеріалу деталі. Даний давач містить втулку 12 з немагнітного матеріалу, у якій розміщено стержень 14 із закріпленим на ньому постійним магнітом 15, а також мікроперемикач 16, встановлений з можливістю взаємодії зі стержнем 14. Мікроперемикач 16 сполучений із системою увімкнення електромагніту 1. Давач 11 герметично закритий ковпачком 17.

В електромагніті 1 виконані сполучені між собою повітрепровідні канали 18. В одному з них встановлено підвідний штуцер 19 і зворотний клапан, який складається з нижнього сідла 20, верхнього сідла 21, кульки 22 та пружини 23, розміщеної між кулькою 22 і штуцером 19.

В іншому повітрепровідному каналі 18 розміщений давач контролю форми поверхні деталі, що містить корпус 24 з установленою в ньому діафрагмою 25 та штоком 27, підпружиненим пружиною 26. На корпусі 24 з можливістю взаємодії зі штоком 27 встановлений мікроперемикач 28, сполучений із системою керування подачею вакууму.

На стакані 5 встановлений давач контролю наявності деталі, виконаний у вигляді потенціометра 29. У процесі роботи захват встановлюється на відповідну деталь, що підлягає захопленню. Корпус 2 вакуумної камери переміщується вгору і через коромисла 7 передає переміщення стакану 5, опускаючи електромагніт 1 до моменту контакту з деталлю. Поворот коромисел 7 спричиняє поворот рухомого елемента потенціометра 29, унаслідок чого змінюється подана на нього напруга і формується сигнал для системи керування про те, що корпус 2 вакуумної камери та електромагніт 1 контактують з деталлю.

Під час опускання електромагніту 1 об'єм вакуумної камери зменшується. У разі утворення герметичної системи між поверхнею деталі та вакуумною присоскою 3 повітря під підвищеним тиском деформує діафрагму 25, внаслідок чого шток 27 діє на мікроперемикач 28, пов'язаний з колом керування вакуумною системою. Якщо ж деталь має отвори, підвищений тиск у камері не створюється, давач контролю форми поверхні не спрацьовує і в систему керування не надходить сигнал, що дозволяє захоплення деталі вакуумною присоскою (рис. 1.9).

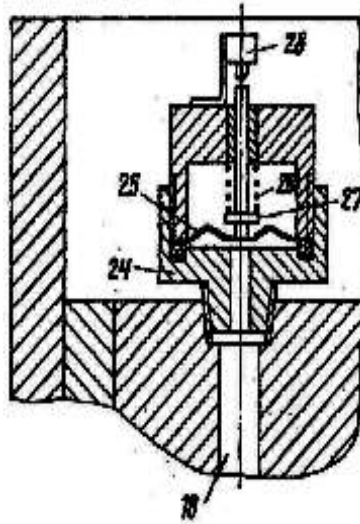


Рисунок 1.9 – Розріз Б-Б вакуумної присоски

Після встановлення електромагніту 1 на деталь постійний магніт 15 притягується до її поверхні, унаслідок чого стержень 14 діє на мікроперемикач 16, який формує в системі керування сигнал, що підтверджує можливість захоплення деталі електромагнітом 1. У разі немагнітного матеріалу деталі постійний магніт 15 залишається нерухомим, а мікроперемикач 16 не спрацьовує. За наявності сигналу від датчика контролю форми поверхні така деталь захоплюється вакуумною присоскою 3.

У випадку надходження до системи керування сигналів від обох датчиків можливий вибір будь-якого способу захоплення, при цьому пріоритет надається електромагнітному захвату як більш економічному. Якщо ж система керування отримує сигнал лише від датчика контролю форми поверхні, активується вакуумна система. Під дією вакууму кулька 22 відкриває прохідний отвір, що з'єднує порожнину присоски 3 з вакуумною системою.

Деталь, захоплена вакуумною присоскою 3 або електромагнітом 1, піднімається вантажозахватним пристроєм і транспортується до необхідної позиції. Якщо в системі керування зафіксовано, що деталь є феромагнітною та має суцільну плоску поверхню, але з певних причин не була захоплена електромагнітом, захват повторно опускається на деталь. Після цього додатково вмикається вакуумна система, і деталь захоплюється одночасно електромагнітом 1 та вакуумною присоскою 3. Кінематичний зв'язок електромагніту 1 з корпусом

2 вакуумної камери, реалізований через коромисла, встановлені на стакані 5, забезпечує можливість їхньої одночасної роботи.

Привід захвата виконаний у вигляді пневмоциліндра 1, на штоку якого закріплений корпус 2. Захват оснащений вакуумною присоскою 3, робоча порожнина 4 якої через канал 5 сполучена з ежектором. Вхід 6 ежектора через пневмоклапан 7 та електропневмоклапан 8 з'єднаний з джерелом 9 стисненого повітря. Пневмоклапан 7 перебуває у відкритому стані, а за наявності деталі переходить у закритий стан під дією постійного магніту 11. Корпус 2 також обладнаний магнітом 12, призначеним для захоплення феромагнітних деталей. Захват додатково оснащений електропневмоклапаном 13, з'єднаним з джерелом 9 стисненого повітря та з порожнинами 14 і 15 пневмоциліндра (рис. 1.10).

За відсутності керуючих сигналів на електропневмоклапани 8 і 13 поршнева порожнина 14 пневмоциліндра 1 сполучена з атмосферою, тоді як штокова порожнина 15 з'єднана з джерелом 9 стисненого повітря.

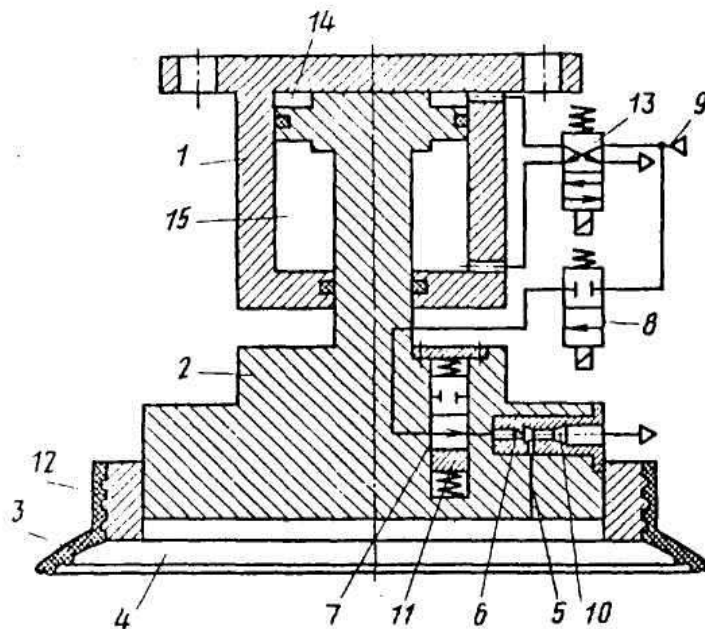


Рисунок 1.12 – Магнітно-вакуумний захват

При подачі керуючого сигналу на електропневмоклапан 13 поршнева порожнина 14 з'єднується з джерелом 9 стисненого повітря, тоді як штокова

порожнина 15 сполучається з атмосферою. У разі виготовлення деталі з немагнітного матеріалу постійний магніт 11 зберігає своє початкове положення.

За наявності команди на електропневмоклапан 8 джерело 9 стисненого повітря через клапани 7 та 8 з'єднується з входом ежектора. Унаслідок дії ежекції в каналі 5 та робочій порожнині 4 формується вакуум, який забезпечує притискання деталі до вакуумної присоски 3 або, відповідно, притискання захвата до поверхні деталі.

Якщо деталь виготовлена з феромагнітного матеріалу, постійний магніт 11 переміщується у напрямку до її поверхні, а пневмоклапан 7 переходить у друге стійке положення «Закрито». За таких умов витрата стисненого повітря відсутня, а утримання деталі здійснюється за допомогою магніту 12.

У разі необхідності від'єднання захвата від поверхні деталі послідовно знімають керуючі сигнали з електропневмоклапанів 8 та 13. Для немагнітної деталі робоча порожнина 4 сполучається з атмосферою, після чого відбувається переміщення вакуумної присоски 3. У випадку феромагнітної деталі порожнина 4 постійно з'єднана з атмосферою, і пневмоциліндр 1 повинен створити зусилля, достатнє для відриву магніту 12 від поверхні. При цьому деталь має бути жорстко закріплена у захваті (рис. 1.13).

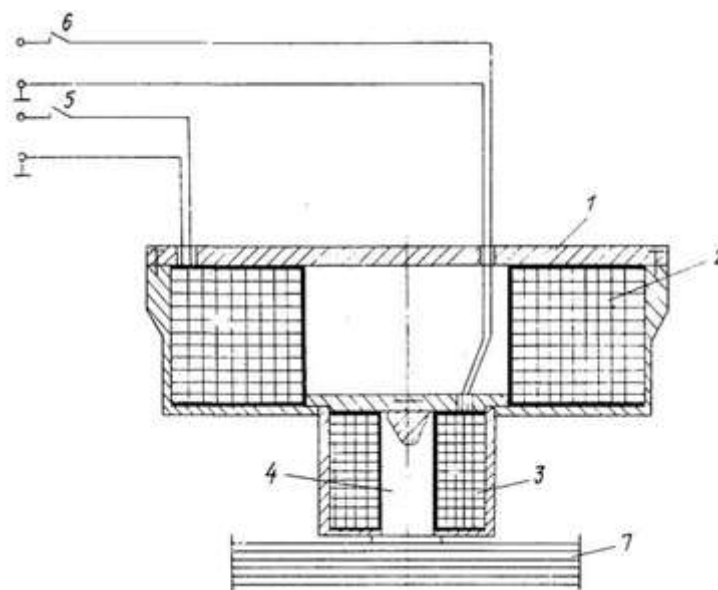


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд захвату

Даний захват містить в корпусі 1 циліндричну обмотку 2, додаткову обмотку 3, осердя 4, яке розташоване в корпусі 1. Обмотки 2 і 3 через контакти 5 і 6 вимикачів з'єднані з джерелом електричної енергії.

Контакти 5 і 6 розімкнені, осердя 4 з обмоткою 3 знаходиться в нижньому положенні на поверхні заготовки 7. При підключенні обмотки 3 за допомогою контакту 6 заготовка 7 намагнічується до осердя 4. Потім замикається контакт 5 і осердя 4 з обмоткою 3 втягується в обмотку 2, піднімаючи заготовку 7. Далі відбувається посилення зовнішнього магнітного поля за рахунок підсумовування магнітних потоків, на які при перенесенні впливає інерційна сила.

Після перенесення заготовки 7 розмикається контакт 5 і осердя 4 із заготовкою 7 опускається до упору, потім відбувається розмикання контакту 6 і заготовка 7 звільняється від захвату.

Висновки по розділу

Проведено аналіз сучасного стану проблеми щодо проектування та використання сучасних роботів-маніпуляторів та здійснено відповідний огляд існуючих технічних рішень для вирішення даного питання.

Можливості розширення функціональних характеристик надало здійснити можливий вибір будь-якого способу захоплення, при цьому пріоритет буде надаватися електромагнітному захвату як більш економічному.

Визначені конструктивні рішення дозволяють розширити функціональні можливості захвату роботу-маніпулятора та забезпечити надійні умови експлуатації технологічного устаткування на будь-якому технічному виробництві.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХОПЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

2.1 Математична модель безконтактних магнітно-струменевих захоплювачів

2.1.1 Основні вимоги до проектування і експлуатації магнітно-струменевих захоплювачів. Сила притягування захоплювачем заготовки визначається рівнянням (2.1):

$$Q = Q_{em} + Q_{ст}, \quad (2.1)$$

де Q_{em} , $Q_{ст}$ – сили викликані електромагнітом і присмоктуючою дією кільцевого повітря.

Надійне утримування заготовки в процесі маніпулювання забезпечується при умові (2.2):

$$Q_{em} \geq kQ_n, \quad (2.2)$$

де Q_n –вантажопідіймальність, яка враховує масу, положення осі заготовки в процесі маніпулювання;

$k = 1,6 \dots 2,2$ – коефіцієнт запасу.

Для забезпечення в процесі експлуатації без ударного захоплення заготовок з відстані, необхідно, щоб виконувалась умова (2.3):

$$Q_{n\max} > Q_{em\max} + m_3(a_{\max} - g), \quad (2.3)$$

де $Q_{n\max}$ – максимальна несуча здатність повітряної подушки ($h_1 < 0,05$ мм);

$Q_{em\max}$ – максимальна електромагнітна сила;

m_3 – маса заготовки;

$a_{\max} = 8 \dots 15$ м/с² – прискорення демпфування удару захоплюваної заготовки;

$g = 9,8$ м/с².

Для забезпечення такого безударного захоплення заготовок потрібно, щоб момент часу вмикання котушки електромагніта здійснювався із затримкою $0,2 \dots 0,5$ с відносно вмикання живлення захоплювача.

Максимальна несуча здатність повітряної подушки визначається наступним рівнянням (2.4):

$$Q_{n\max} = \pi r_0^2 (P_\kappa - P_a) + 2\pi \int_{r_0}^{R_1} \left(\sqrt{P_\kappa^2 - \frac{P_\kappa^2 - P_a^2}{\ln(R_1/r_0)} \ln(R_1/r)} - P_a \right) r dr, \quad (2.4)$$

де P_κ, P_a – абсолютний тиск живлення захоплювача і атмосферний;

r_0 – радіус конічної вставки;

R_1 – зовнішній радіус осердя електромагніта

Даний аналітичний метод розрахунку електромагнітної системи використовується для визначення магніторушійної сили (МРС) котушки, яка забезпечує підведення магнітного потоку до робочих зазорів. Вихідними даними при такому аналітичному методі розрахунку МРС F_0 є:

- конструкція і геометричні розміри магнітної системи захоплювача, включаючи деталь;
- зусилля притягування Q_{em} , яке повинен забезпечити захоплювач (2.2);
- експериментальні криві намагнічування матеріалів сталюого осердя $B_{cm}=f(H_{cm})$ і деталі $B_d=f(H_d)$, де B, H – відповідно магнітна індукція і напруженість магнітного поля; величина робочого зазору h_1 .

2.1.2 Огляд магнітних потоків і заміщення магнітної системи еквівалентною електричною схемою. На рисунку 2.1, а зображено осердя і схему магнітних потоків системи «захоплювач – деталь».

Магнітні потоки проходять як по сталюому магнітному проводу, так і по повітрю, що оточує магнітну систему (рис. 2.1, б). В сумі ці частини потоків складають повний магнітний потік Φ_0 .

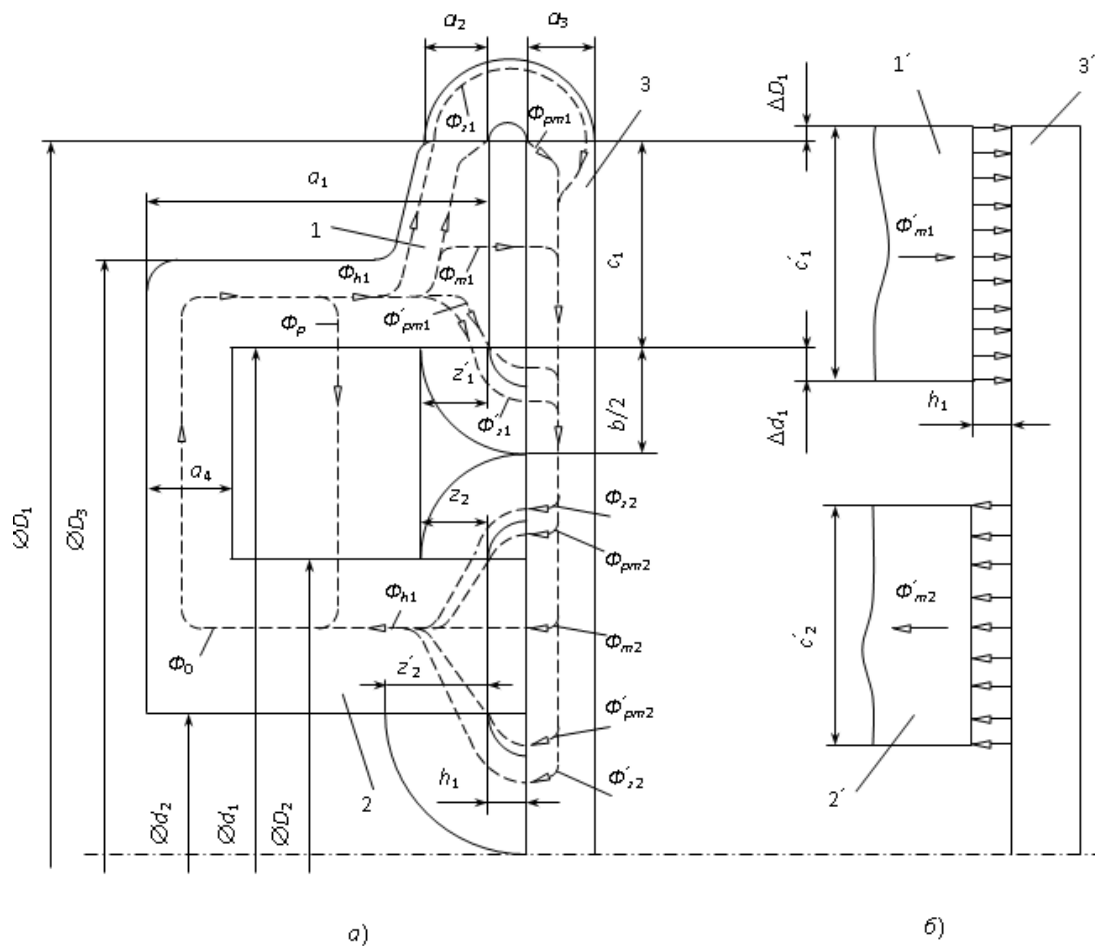


Рисунок 2.1 – Осердя (а) та схема магнітних потоків системи
«захоплювач – деталь» (б)

Більша частина магнітного потоку проходить по магнітному проводу і досягає зазорів h_1 . Цей потік Φ_{h1} виконує роботу на притягування деталі і проходить від полюса 1 через робочі зазори h_1 , деталь і до полюса 2.

По інших повітряних шляхах проходить менша частина магнітного потоку. Ці потоки є потоками розсіювання Φ_p . Потоки розсіювання пронизують внутрішній простір між проводом і деталлю. Причому потоки між зовнішніми поверхнями полюсів у подальших розрахунках не будуть враховуватися.

Слід враховувати і потоки «випинання» (Φ_{z1} , Φ'_{z1} , Φ_{z2} , Φ'_{z2} , Φ_{pm1} , Φ'_{pm1} , Φ_{pm2} , Φ'_{pm2}) зазорів h_1 , які при великих значеннях цих зазорів стають співрозмірними з основними робочими потоками Φ_{m1} і Φ_{m2} . Картина магнітного поля «випинання» зазору h_1 у зоні зовнішнього ребра полюса 1 залежить від діаметра деталі.

Усі шляхи проходження магнітного потоку можна представити як магнітні провідності з'єднані по відповідній схемі. Еквівалентна електрична схема заміщення електромагнітної системи захоплювача показана на рисунку 2.2.

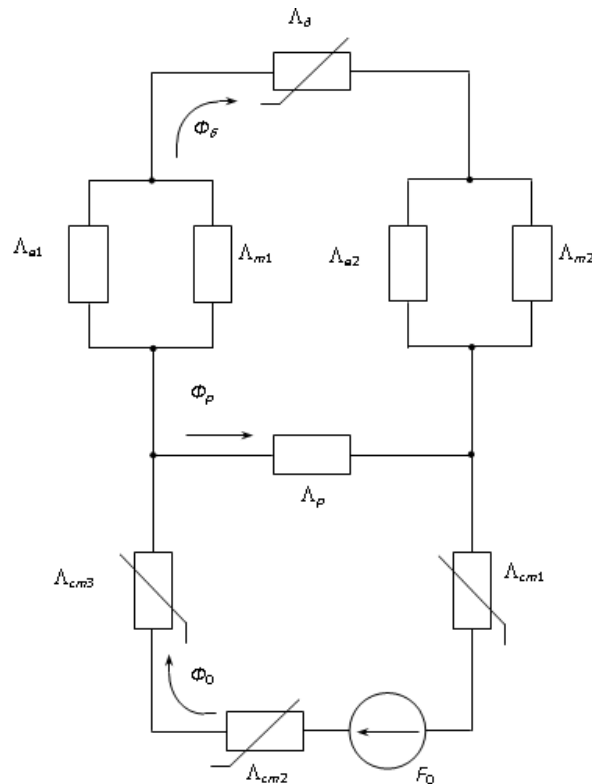


Рисунок 2.2 – Еквівалентна електрична схема заміщення електромагнітної системи захоплювача

Позначення магнітних провідностей за цією схемою:

1. Λ_{cm1} , Λ_{cm2} , Λ_{cm3} – провідності сталевих ділянок осердя.
2. Λ_{δ} – провідність ділянки деталі по якій проходить магнітний потік.
3. Λ_p – провідність потоку розсіювання.
4. Λ_{m1} , Λ_{m2} – провідності робочих повітряних зазорів у зоні торців полюсів.
5. $\Lambda_{\delta 1}$, $\Lambda_{\delta 2}$ – провідності потоків «випинання».

2.2 Розрахунок магнітної провідності потоків розсіювання

Магнітна провідність повітряних шляхів пропорційна геометричним розмірам ділянок. Для приведеної на рисунку 2.1, а електромагнітної системи

захоплювача провідність простору розташованого між полюсами можна підрахувати за рівнянням (2.5):

$$\Lambda_p = \mu_0 \frac{\pi(d_1 + D_2)(a_1 - a_4)}{d_1 - D_2}, \quad (2.5)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м – магнітна проникність повітря.

Дана формула (2.5) справедлива у припущенні, що поле розсіювання плоскопаралельне, тобто у площинах, перпендикулярних осі обмотки, картини магнітного поля однакові.

2.2.1 Розрахунок магнітної провідності робочих повітряних зазорів із врахуванням «випинання» магнітного поля. Магнітне поле, що оточує магнітом провід захоплювача має осьову симетрію, його можна розбити на частини, кожна з яких є об'ємною фігурою, які отримані обертанням простої плоскої фігури навколо осі захоплювача.

Прості фігури в перерізі захоплювача площиною, що проходить через вісь симетрії, показані на рисунку 2.1, а.

Повний потік Φ_{h1} через полюс 1 розбитий на потоки фігур: Φ_{z1} половини кільця із зовнішнім радіусом $(a_2 + a_3 + h_1)/2$ і внутрішнім $h_1/2$; Φ_{pm1} половини круга діаметром h_1 ; Φ_{m1} прямокутника зі сторонами $c_1 = (D_1 - d_1)/2$ і h_1 ; Φ'_{z1} чверті кільця з зовнішнім радіусом $h_1 + z'_1$ і внутрішнім h_1 .

Повний потік Φ_{h2} через полюс розбитий на потоки фігур: Φ_{z2} чверті кільця з зовнішнім радіусом $z_2 + h_1$ і внутрішнім h_1 ; Φ_{pm2} і Φ'_{pm2} четвертей круга радіусом h_1 ; Φ_{m2} прямокутника зі сторонами h_1 і $c_2 = (D_2 - d_2)/2$ і Φ'_{z2} чверті кільця з зовнішнім радіусом $h_1 + z'_2$ і внутрішнім h_1 .

Якщо позначити ці магнітні провідності, що відповідають усім цим потокам, буквами Λ з тими ж індексами, з якими позначені потоки, то для провідностей повітряних зазорів h_1 у зоні полюсів 1 і 2 одержимо вирази (див. рис. 2.1 а і рис. 2.2.), що і показано у рівнянні (2.6).

$$\begin{cases} \Lambda_1 = \Lambda_{m1} + \Lambda_{\epsilon1} = \Lambda_{m1} + \Lambda_{z1} + \Lambda_{pm1} + \Lambda'_{pm1} + \Lambda'_{z1}; \\ \Lambda_2 = \Lambda_{m2} + \Lambda_{\epsilon2} = \Lambda_{m2} + \Lambda_{z2} + \Lambda_{pm2} + \Lambda'_{pm2} + \Lambda'_{z2}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Магнітні провідності між торцями циліндричних полюсів 1 і 2 і торцем заготовки 3 визначаються за рівнянням (2.7):

$$\begin{cases} \Lambda_{m1} = \mu_0 S_1 / h_1 = \mu_0 \pi (D_1^2 - d_1^2) / (4h_1); \\ \Lambda_{m2} = \mu_0 S_2 / h_1 = \mu_0 \pi (D_2^2 - d_2^2) / (4h_1), \end{cases} \quad (2.7)$$

де D_1, d_1, D_2, d_2 – діаметри циліндричних поверхонь полюсів 1 і 2 (рис. 2.1);

S_1, S_2 – площі торців полюсів 1 і 2.

Магнітні провідності між «ребрами» і торцевою поверхнею заготовки визначається рівнянням (2.8):

$$\Lambda_{pm2} = \mu_0 \pi D_2 \lambda_{pm2}; \quad \Lambda'_{pm1} = \mu_0 \pi d_1 \lambda'_{pm1}; \quad \Lambda'_{pm2} = \mu_0 \pi d_2 \lambda'_{pm2}, \quad (2.8)$$

де $\lambda'_{pm1} = \lambda_{pm2} = \lambda'_{pm2} = 0,52$ – питомі магнітні провідності.

Магнітні провідності шляхів потоків Φ'_{z1}, Φ_{z2} і Φ'_{z2} «випинання» зазорів h_1 визначається рівнянням (2.9):

$$\Lambda'_{z1} = \mu_0 \pi d_1 \lambda'_{z1}; \quad \Lambda_{z2} = \mu_0 \pi D_2 \lambda_{z2}; \quad \Lambda'_{z2} = \mu_0 \pi d_2 \lambda'_{z2}, \quad (2.9)$$

Віповідно провідності Λ_{pm1} і Λ_{z1} розраховують за рівнянням (2.10):

$$\Lambda_{pm1} = \mu_0 \pi D_1 \lambda_{pm1}, \quad \Lambda_{z1} = \mu_0 \pi D_1 \lambda_{z1}, \quad (2.10)$$

Картина магнітного у зоні зовнішньої циліндричної поверхні буде змінюватися від діаметра заготовки D . Для визначення питомих провідностей λ_{pm1} і λ_{z1} розглянемо два наступні випадки, які представлені рівнянням (2.11):

$$\begin{aligned} \text{при } D = D_1 & \begin{cases} \lambda_{pm1} = 0,26; \\ \lambda_{z1} = [a_2 \ln(1 + 2a_3/h_1) + a_3 \ln(1 + 2a_2/h_1)] / [\pi(a_2 + a_3)] \end{cases} \\ \text{при } D > D_1 & \begin{cases} \lambda_{pm1} = 0,52; \lambda_{z1} = 4z_1 / [\pi h_1 (2 + z_1/h_1)] \text{ при } h_1 \geq 3z_1 \\ \text{і } \lambda_{z1} = [2/\pi \ln(1 + z_1/h_1)] \text{ при } h_1 < 3z_1; \\ z_1 = D - D_1 \text{ при } D - D_1 < a_2 \text{ і } z_1 = a_2 \text{ при } D - D_1 > a_2. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.2.2 Розрахунок магніторушійної сили котушки. Магнітне поле (рис. 2.1, а) у зоні зазорів h_1 можна замінити полями між розрахунковими полюсами 1' і 2' і заготовкою 3' (рис. 2.1, б).

При заміні полюса 1 допускається, що довжина зазору h_1 та індукція B_{m1} ділянки однорідного поля зазору h_1 вихідної системи (рис. 2.1, а) рівні величинам розрахункової системи (рис. 2.1, б). Загальний потік Φ'_{m1} розрахункового полюса дорівнює повному потоку Φ_{h1} .

При дотриманні аналогічних умов замінимо розрахунковим і полюс 2. Тоді магнітні провідності зазорів визначається рівнянням (2.12):

$$\Lambda_1 = \mu_0 S_{1p} / h_1; \quad \Lambda_2 = \mu_0 S_{2p} / h_1 \quad (2.12)$$

Описані вище умови (2.11 та 2.12) заміни реальної системи дають змогу передбачити, що в обох системах створюються однакові електромагнітні сили. Тому можна визначити за розрахунковою без потоків «випинання» (рис. 2.1, б). Це було перевірено при порівнянні сил для полюсів, розрахункові розміри яких визначались з урахуванням «випинання».

Тоді результуюча електромагнітна сила визначається рівнянням (2.13):

$$Q_{em} = Q_{em1} + Q_{em2} = \Phi_{h1}^2 (S_{1p} + S_{2p}) / (2\mu_0 S_{1p} S_{2p}) \quad (2.13)$$

Виразимо магнітний потік Φ_{h1} через магнітну напругу U_{mh1} та їх сумарну магнітну провідність через рівність (2.14):

$$\Lambda_{h1} = \Lambda_1 \Lambda_2 / (\Lambda_1 + \Lambda_2), \quad (2.14)$$

у котру Λ_1 і Λ_2 підставимо з (2.13). Далі отримаємо наступну рівність (2.15):

$$\Phi_{h1} = U_{mh1} \Lambda_{h1} = U_{mh1} \mu_0 S_{1p} S_{2p} / (h_1 (S_{2p} + S_{1p})) \quad (2.15)$$

Потім отримаємо загальні значення електромагнітної сили за рівністю (2.16):

$$Q_{em} = \frac{U_{mh1}^2 \mu_0 S_{1p} S_{2p}}{2h_1^2 (S_{2p} + S_{1p})} \quad (2.16)$$

Далі можна визначити падіння магнітної напруги на відрізках робочих зазорів через рівність (2.17):

$$U_{mh1} = \sqrt{\frac{2Q_{em} h_1^2 (S_{2p} + S_{1p})}{\mu_0 S_{1p} S_{2p}}} \quad (2.17)$$

Визначивши падіння магнітної напруги на відрізках робочих зазорів, можна знайти потік рівнянням (2.18):

$$\Phi_{h1} = U_{mh1} \Lambda_{h1}, \quad (2.18)$$

Припускаючи, що потік Φ_{h1} повністю проходить через деталь, можна визначити індукцію в деталі рівністю (2.19):

$$B_{\partial} = \frac{\Phi_{h1}}{S_{cp.\partial}}, \quad (2.19)$$

де $S_{cp.\partial} = \pi \frac{D_1 + d_1 + D_2 + d_2}{4} a_3$ – середня площа кільцевого перерізу деталі.

У результаті визначається повна МРС електромагнітної котушки наступним рівнянням (2.20):

$$F_0 = U_{мст} + U_{mh1} + U_{м\partial}, \quad (2.20)$$

Можна підрахувати необхідне значення струму (рівняння 2.21) і напруги живлення обмотки (рівняння 2.22):

$$I = F_0 / \omega, \quad (2.21)$$

$$U = IR = I \frac{2\rho\omega(d_1 + D_2)}{d_{\partial p}^2} = F_0 \frac{2\rho(d_1 + D_2)}{d_{\partial p}^2}, \quad (2.22)$$

де ω – кількість витків котушки;

$\rho = 1,75 \times 10^{-8}$ Ом·м – питомий опір міді;

$d_{\partial p}$ – діаметр жили мідного дроту.

2.3 Результати досліджень магнітно-струменевих захоплювачів

На рисунку 2.1 представлено графіки залежності електромагнітної сили від напруги живлення котушки для різних матеріалів, а на рисунку 2.4 – графіки залежності електромагнітної і результуючої сил від робочого зазору h_1 .

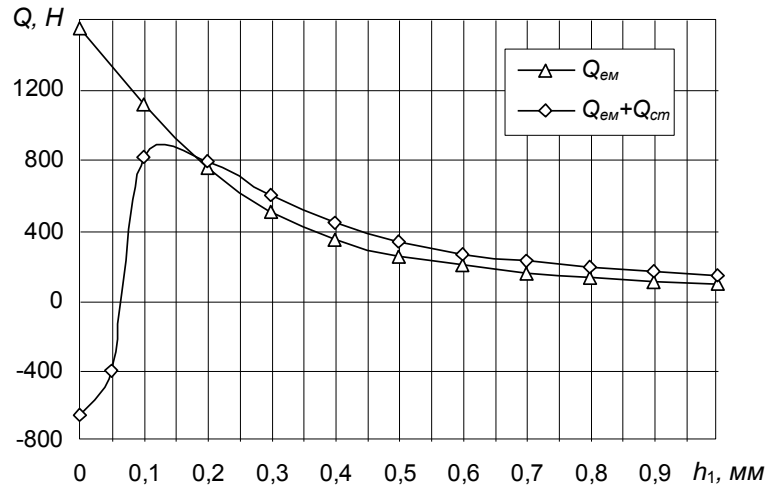


Рисунок 2.1 – Графіки залежності електромагнітної і результуючої сил від робочого зазору h_1 .

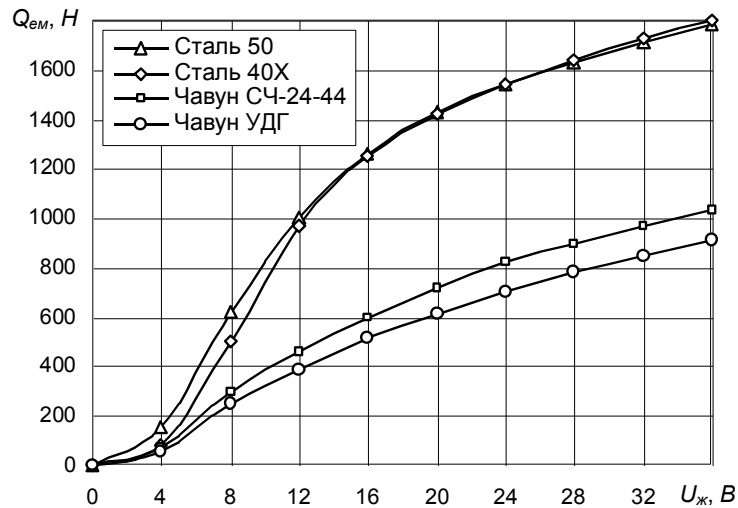


Рисунок 2.4 – Графіки залежності електромагнітної сили від напруги живлення котушки для різних матеріалів

Розрахунки проводились для захоплювача з осердям із сталі Ст3 і конструктивними параметрами: $r_0=25$ мм; $d_1=56$ мм; $D_1=110$ мм; $d_2=52$ мм; $D_2=68$ мм; $a_1=30$ мм; $a_2=5$ мм; $a_3=5$ мм; $a_4=8$ мм; $h_0=0,1$ мм; $d_{op}=0,3$ мм; $\omega=1350$.

Аналіз рисунку 2.3 показує, що електромагнітна сила залежить від матеріалу деталі, а з рисунку 2.4 видно, що при відстані $h_1=1$ мм електромагнітна сила зменшується в 17 раз відносно максимальної.

Тому поєднання магнітного захоплювача із струменевим не тільки забезпечує безконтактне утримання деталей і заготовок, але і дозволяє їх захоплення з відстані більше 1 мм. Максимальна вантажопідіймальність магнітно-струменевого захоплювача проявляється в діапазоні $h_1 = 0,1 \dots 0,16$ мм.

Висновки до розділу

Розроблена математична модель безконтактних магнітно-струменевих захоплювачів робота-маніпулятора дає можливість підрахувати необхідне значення струму і напруги живлення обмотки.

Проведений розрахунок магнітної провідності потоків розсіювання показав, що поєднання магнітного захоплювача із струменевим не тільки забезпечує безконтактне утримання деталей і заготовок, але і дозволяє їх захоплення на відстані більше 1 мм.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ ЗАМІНИ ЗАХВАТІВ ТА МОДУЛІВ ЗАХОПЛЮВАЧІВ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

3.1 Безконтактні струменеві захоплювачі деталей з наскрізним циліндричним отвором

Особливістю струменевого захоплювача заготовок із наскрізним циліндричним отвором, який представлений на рисунку 3.1 є те, що під час його налагодження перед введенням в експлуатацію за допомогою спеціальних регульовальних пристроїв задається таке значення тиску, яке забезпечує необхідну величину вакууму. За цих умов усувається перетікання повітря, що, своєю чергою, дає змогу зменшити сумарні витрати повітря до мінімально необхідного рівня.

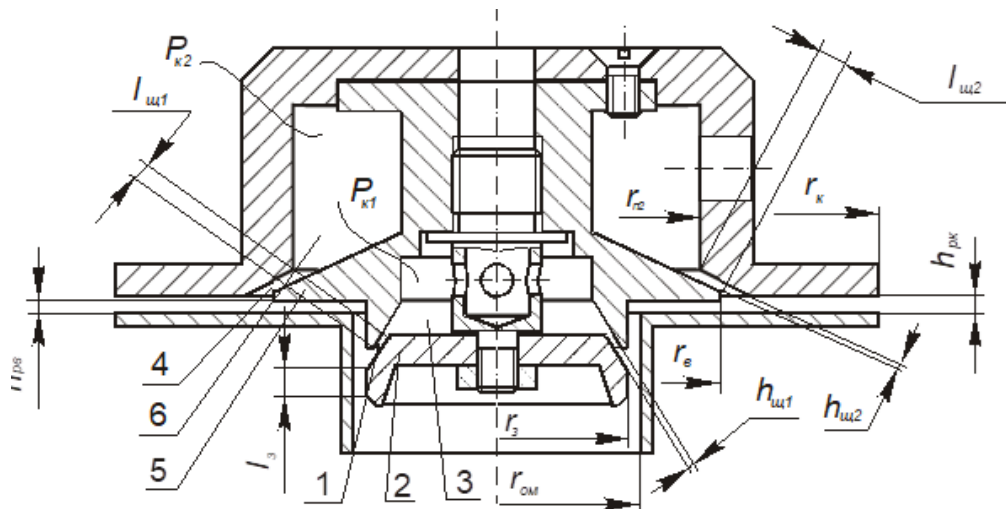


Рисунок 3.1 – Струменевий захоплювач заготовок із наскрізним циліндричним отвором

Для визначення абсолютного тиску у камері захоплювача доцільно скласти рівняння імпульсу сил для вихідних перерізів кільцевої конічної щілини та кільцевого зазору, утвореного циліндричними поверхнями захоплювача і об'єкта маніпулювання.

Припускаючи, що розподіл швидкостей в цих перерізах рівномірний, рівняння імпульсів сил запишеться у вигляді рівняння (3.1):

$$G_{ц1} (V_{ц1} - V_3) = S_3 (P_a - P_{m2}) + F_{mp1}, \quad (3.1)$$

де $S_3 = 2\pi r_3 h_3$ – площа поперечного перерізу кільцевого зазору деталі і захоплювача;

$h_3 = r_{om} - r_3$ – кільцевий зазор між циліндричними поверхнями захоплювача і заготовки;

r_{om}, r_3 – радіуси отвору у заготовці і захоплювача;

$G_{ц1} = V_{ц1} \rho_{ц1} h_{ц1}$ – масові витрати повітря через щілину;

$V_{ц1}, V_3$ – швидкості потоку повітря на виході із кільцевої конічної щілини та кільцевого зазору;

F_{mp1} – сила тертя потоку до внутрішньої поверхні захоплювача і бічної поверхні заготовки.

Сила тертя потоку повітря до бічної поверхні об'єкту маніпулювання і внутрішньої поверхні захоплювача буде визначається з рівняння (3.2):

$$F_{mp} = 2\tau_{cp1} S_{бз}, \quad (3.2)$$

де $S_{бз} = 2\pi r_3 l_3$ – площа активної бічної поверхні об'єкта;

l_3 – довжина активного зазору захоплювач-деталь;

$\tau_{cp1} = \frac{\rho_a V_3^2}{8} \lambda_{cp1}$ – середнє напруження тертя, що діє на циліндричні поверхні

захоплювача та заготовки;

λ_{cp1} – середнє значення коефіцієнта тертя повітря до активних поверхонь захоплювача і заготовки.

Виражаючи з рівняння нерозривності потоку його швидкість у вихідному сиченні кільцевого зазору отримаємо наступну рівність (3.3):

$$F_{mp1} = \frac{V_{uy1}^2 \rho_{uy1}^2 S_{uy1}^2}{2 \rho_a S_3} \pi l_3 \lambda_{cp1} r_3 \quad (3.3)$$

де $S_{uy1} = 2\pi r_3 h_{uy1}$ – площа поперечного перерізу кільцевої конічної щілини;

ρ_{uy1} – густина потоку повітря на виході.

Підставляючи в рівняння (3.1) рівність (3.3) і згрупувавши члени отримаємо, отримаємо наступну рівність (3.4):

$$V_{uy1}^2 \rho_{uy1} \left[S_{uy1} - \frac{\rho_{uy1}}{\rho_a} \left(\frac{S_{uy1}^2}{S_3} + \frac{\pi S_{uy1}^2 l_3}{2 S_3^2} \lambda_{cp1} r_3 \right) \right] = (P_a - P_{m2}) S_3 \quad (3.4)$$

Підставивши в (3.4) відношення $\rho_{uy1}/\rho_a \approx 1$, отримаємо формулу (3.5) для визначення $P_{\kappa1}$:

$$P_{\kappa1} = \left[\left((P_a - P_{m2}) \frac{(k-1)h_3}{2\varphi_{uy1}^2 k h_{uy1} \left(1 - \frac{h_{uy1}}{h_3} \left(1 + \frac{l_3 \lambda_{cp1}}{4h_3} \right) \right)} + P_{m2} \right)^{\frac{-1}{k-1}} P_{m2}^{\frac{k}{k-1}} \right], \quad (3.5)$$

де φ_{uy1} – коефіцієнт швидкості;

h_{uy1} – висота кільцевої конічної щілини;

$h_3 = r_{om} - r_3$ – кільцевий зазор між циліндричними поверхнями захоплювача і заготовки;

r_{om}, r_3 – радіуси отвору у заготовці і захоплювача;

λ_{cp1} – значення коефіцієнта в'язкого тертя потоку.

Силу притягання F струменевим захоплювачем циліндричної заготовки з наскрізним отвором можна визначити за рівнянням (3.6):

$$F = \pi(P_a - P_{m2})(r_6^2 - r_{om}^2) + 2\pi \int_{r_6}^{r_k} P_r r dr, \quad (3.6)$$

де P_r – розподіл тиску

Для визначення характеру розподілу тиску P_r в зазорі h_{pk} складемо рівняння Бернуллі для радіусів r і r_k , яке представлено рівністю (3.7):

$$\frac{P_r}{\rho_a} + \frac{V_r^2}{2} = \frac{P_a}{\rho_a} + \frac{V_k^2}{2} + E_{r-rk}, \quad (3.7)$$

де V_r, V_k – швидкості потоку повітря на радіусах r і r_k ;

E_{r-rk} – втрати питомої енергії потоку на проміжку від r до r_k .

Елементарні втрати питомої енергії потоку dE на елементарному відрізку dr знайдемо:

$$dE = \lambda_{cp2} \frac{dr}{D_z} \frac{V_r^2}{2}, \quad D_z = 2h_{pk} \quad (3.8)$$

Швидкості потоку повітря визначаються рівністю (3.9):

$$V_r = V_{uz2} \frac{r_6 h_{uz2} \rho_{uz2}}{r h_{pk} \rho_a}; \quad V_k = V_{uz2} \frac{r_6 h_{uz2} \rho_{uz2}}{r_k h_{pk} \rho_a}, \quad (3.9)$$

Якщо проінтегрувати рівняння (3.9), можемо тримати рівність (3.10):

$$E_{r-rk} = \lambda_{cp2} \frac{r_6^2 h_{uz2}^2 \rho_{uz2}^2}{4 h_{pk}^3 \rho_a^2} V_{uz2}^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_k} \right), \quad (3.10)$$

Підставивши результат (3.10), після певних перетворень отримаємо рівність (3.11):

$$P_r = P_a + \frac{\rho_{u2}^2 r_6^2 h_{u2}^2}{2\rho_a h_{pk}^2} V_{u2}^2 \left[\frac{1}{r_k^2} - \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda_{cp2}}{2h_{pk}} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_k} \right) \right], \quad (3.11)$$

Для визначення абсолютного тиску P_{m2} на торці захоплювача проведемо газодинамічний аналіз процесу витікання потоку та складемо рівняння імпульсів сил в проекціях на вісь x для виділеного елемента $d\varphi$ радіального зазору h_{pk} на проміжку часу, яке можемо представити у вигляді рівняння (3.12):

$$\begin{aligned} dG_{u2} V_{u2} \cos \varphi + P_{m2} h_{pk} r_6 d\varphi \cos \varphi + 2h_{pk} \int_{r_6}^{r_k} P_r dr \sin \frac{d\varphi}{2} \cos \varphi = \\ = dG_{u2} V_k \cos \varphi + P_a h_{pk} r_k d\varphi \cos \varphi + dF_{mp2} \end{aligned}, \quad (3.12)$$

де $dG_{u2} = V_{u2} \rho_{u2} h_{u2} r_6 d\varphi$ – масові витрати повітря через щілину;

dF_{mp2} – елементарна сила в'язкого тертя потоку повітря до торцевих поверхонь захоплювача і об'єкта.

Диференціал від сили тертя $d^2 F_{mp2}$ на елементарній площадці визначається рівнянням (3.13):

$$d^2 F_{mp2} = 2dS \tau_{cp2} \cos \varphi = 2\tau_{cp2} r dr \cos \varphi d\varphi \quad (3.13)$$

Напруження тертя на радіусі r буде визначатися рівнянням (3.14):

$$\tau_{cp2} = \frac{\rho_a V_r^2}{8} \lambda_{cp2}, \quad (3.14)$$

Проінтегрувавши рівняння (3.14), отримаємо наступну рівність (3.15):

$$dF_{mp2} = \frac{\lambda_{cp2}}{4} \frac{V_{u2}^2 \rho_{u2}^2 r_6^2 h_{u2}^2}{\rho_a h_{pk}^2} \cos \varphi d\varphi \int_{r_{нд}}^{r_k} \frac{dr}{r} = \frac{\lambda_{cp2}}{2} \frac{V_{u2}^2 \rho_{u2}^2 r_6^2 h_{u2}^2}{\rho_a h_{pk}^2} \ln \frac{r_k}{r_{нд}} \cos \varphi d\varphi, \quad (3.15)$$

Якщо проінтегрувати рівняння (3.15), отримаємо рівняння (3.16):

$$P_r = P_a + \frac{\rho_{ц2}^2 r_\epsilon^2 h_{ц2}^2}{2\rho_a h_{рк}^2} V_{ц2}^2 \left[\frac{1}{r_\kappa^2} - \frac{1}{r^2} + \frac{\lambda_{сп2}}{2h_{рк}} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_\kappa} \right) \right], \quad (3.16)$$

У межах від $r_{нд}$ до r_κ визначимо наступну рівність (3.17):

$$\int_{r_\epsilon}^{r_\kappa} P_r dr = P_a (r_\kappa - r_\epsilon) + \frac{V_{ц2}^2 \rho_{ц2}^2 r_\epsilon^2 h_{ц2}^2}{2\rho_a h_{рк}^2} \left[\frac{r_\kappa - r_\epsilon}{r_\kappa^2} + \frac{1}{r_\kappa} - \frac{1}{r_\epsilon} + \frac{\lambda_{сп2}}{2h_{рк}} \left(\ln \frac{r_\kappa}{r_\epsilon} - \frac{r_\kappa - r_\epsilon}{r_\kappa} \right) \right], \quad (3.17)$$

Підставивши рівняння (3.16) в рівняння (3.17), отримаємо наступне рівняння (3.18):

$$V_{ц2}^2 \rho_{ц2} \left[r_\epsilon h_{ц2} - \frac{\rho_{ц2} r_\epsilon^2 h_{ц2}^2}{2\rho_a h_{рк}} \left(\frac{r_\epsilon^2 + r_\kappa^2}{r_\kappa^2 r_\epsilon} + \frac{\lambda_{сп2}}{2h_{рк}} \frac{r_\kappa - r_\epsilon}{r_\kappa} \right) \right] = (P_a - P_{m2}) r_\epsilon h_{рк}, \quad (3.18)$$

Після перетворень отримаємо рівняння (3.19):

$$\frac{2k\varphi_{ц2}^2}{k-1} \left(P_{\kappa2}^{\frac{k-1}{k}} P_{m2}^{\frac{1}{k}} - P_{m2} \right) \left[r_\epsilon h_{ц2} - \frac{\rho_{ц2} r_\epsilon^2 h_{ц2}^2}{2\rho_a r_\kappa h_{рк}} \left(\frac{r_\epsilon}{r_\kappa} + \frac{r_\kappa}{r_\epsilon} + \frac{\lambda_{сп2} (r_\kappa - r_\epsilon)}{2h_{рк}} \right) \right] =, \quad (3.19)$$

$$= (P_a - P_{m2}) r_\epsilon h_{рк}$$

Далі отримаємо рівняння (3.20):

$$P_{\kappa2} = \left[\left(\frac{(P_a - P_{m2}) h_{рк} (k-1)}{2k\varphi_{ц2}^2 h_{ц2} \left[1 - \frac{h_{ц2}}{2h_{рк}} \left(1 + \frac{r_\epsilon^2}{r_\kappa^2} + \frac{\lambda_{сп2} (r_\epsilon - r_\epsilon^2/r_\kappa)}{2h_{рк}} \right) \right]} + P_{m2} \right)^{\frac{1}{k}} P_{m2}^{\frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.20)$$

де $P_{к2}$ – тиск у камері захоплювача;

$r_в, r_к$ – радіуси конічної вставки і корпусу захоплювача;

$h_{ц2}$ – висота кільцевої конічної щілини;

$h_{рк}$ – радіальний зазор між торцевими поверхнями корпусу захоплювача і заготовки;

$\lambda_{сп2}$ – значення коефіцієнта в'язкого тертя потоку

Максимальна сила притягування захоплювачем заготовки буде при оптимальному значенні радіального зазору. При цьому зазорі для заданого $P_{к2}$, значення вакууму буде наймаксимальнішим.

Взявши від $A(h_{рк})$ похідну по $h_{рк}$ і розв'язавши отримане рівняння (3.20) знайдемо значення зазору, яке запишеться як рівняння (3.21):

$$h_{рк} = \frac{h_{ц2} (r_в^2 + r_к^2)}{2r_к^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{3\lambda_{сп2} (r_к - r_в) r_к^3 r_в}{h_{ц2} (r_в^2 + r_к^2)^2}} \right), \quad (3.21)$$

Враховуючи функцію розподілу тиску та використовуючи рівняння адіабати, рівняння стану ідеального газу після перетворень буде визначатися наступним рівнянням (3.22):

$$F = \pi (P_a - P_{м2}) (r_в^2 - r_{ом}^2) - \frac{\pi \varphi_{ц2}^2 k \left(P_{к2}^{\frac{2k-2}{k}} P_{м2}^{\frac{2}{k}} - P_{к2}^{\frac{k-1}{k}} P_{м2}^{\frac{k+1}{k}} \right) r_в^2 h_{ц2}^2}{(k-1) \rho_a R T_a r_к^2 h_{рк}^2} \times \left[r_к^2 - r_в^2 - 2r_к^2 \ln \frac{r_к}{r_в} + \frac{\lambda_{сп2}}{4h_{рк}} r_к (r_к - r_в)^2 \right], \quad (3.22)$$

де $\varphi_{ц2}$ – коефіцієнт швидкості враховуючий втрати питомої енергії потоку

3.2 Безконтактні струменеві захоплювачі деталей з внутрішнім глухим отвором

Для розрахунку силових характеристик струменевого захоплювача використовують наступну формулу (3.23):

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \quad (3.23)$$

де $F_1 = \pi(P_a - P_{m1})r_{om}^2$ – сила викликана розрідженням у заготовці;

F_2 – сила викликана розрідженням на торці заготовки;

F_3 – сила викликана розрідженням на поверхні заготовки в зоні торця корпуса захоплювача.

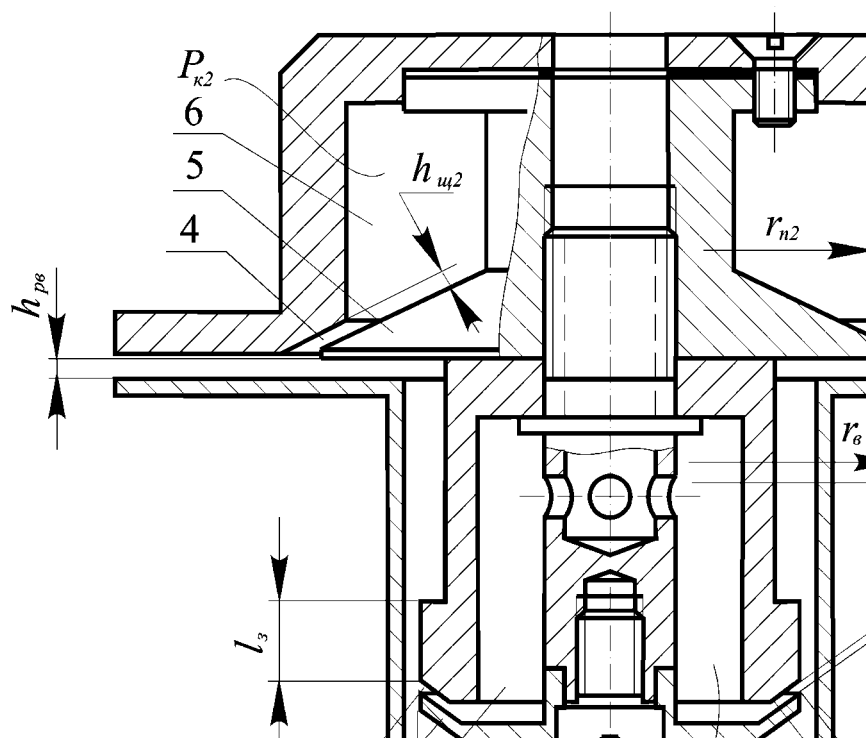


Рисунок 3.2 – Схема безконтактного струменевого захоплювача об'єктів з глухим отвором

Складові F_2 і F_3 визначаються наступними рівняннями (3.24) та (3.25):

$$F_2 = \pi(r_\epsilon^2 - r_{ом}^2)(P_a - P_{m2}) + \frac{G_{у1}^2 RT_a}{8\pi P_{m2} h_{p\epsilon}^2 r_\epsilon^2} \times \left(2r_\epsilon^2 \ln \frac{r_\epsilon}{r_{ом}} + r_{ом}^2 - r_\epsilon^2 - \frac{\lambda_{cp2}}{2h_{p\epsilon}} (r_\epsilon (r_\epsilon - r_{ом})^2) \right), \quad (3.24)$$

$$F_3 = \frac{(G_{у1} + G_{у2})^2}{8\pi \rho_a h_{p\kappa}^2 r_\kappa^2} \left(2r_\kappa^2 \ln \frac{r_\kappa}{r_\epsilon} + r_\epsilon^2 - r_\kappa^2 - \frac{\lambda_{cp2}}{2h_{p\kappa}} (r_\kappa (r_\kappa - r_\epsilon)^2) \right), \quad (3.25)$$

де $G_{у1}$, $G_{у2}$ – масова витрата стиснутого повітря, яка витікає з щілин 1 і 4 відповідно;

λ_{cp2} – коефіцієнт в'язкого тертя потоку до торців вставки і заготовки.

Абсолютні тиски P_{m2} і P_{m1} визначають з рівнянь (3.26) та (3.27):

$$G_{у2} V_{у2} + \frac{G_{у1}^2 RT_a}{2\pi P_{m2} r_\epsilon h_{p\epsilon}} + \frac{(G_{у1} + G_{у2})^2}{4\pi \rho_a h_{p\kappa} r_\kappa} \times \left[\frac{r_\epsilon}{r_\kappa} + \frac{r_\kappa}{r_\epsilon} + \frac{\lambda_{cp2}}{2h_{p\kappa}} (r_\kappa - r_\epsilon) \right] - 2\pi h_{p\kappa} r_\epsilon (P_a - P_{m2}) = 0, \quad (3.26)$$

$$P_{\kappa 1} = \left[\left((P_{m2} - P_{m1}) \frac{(k-1)h_3}{2\varphi_{у1}^2 k h_{у1} \left(1 - \frac{h_{у1}}{h_3} \left(1 + \frac{l_3 \lambda_{cp1}}{4h_3} \right) \right)} + P_{m1} \right) P_{m1}^{\frac{-1}{k}} \right]^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.27)$$

Масові витрати повітря G_{uz1} і G_{uz2} , а також швидкість потоку V_{uz2} на виході з щілини визначають з рівнянь (3.28 – 3.30) відповідно:

$$V_{uz} = \varphi_{uz} \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left(\frac{P_{\kappa}}{\rho_{\kappa}} - \frac{P_m}{\rho_{uz}} \right)}, \quad (3.28)$$

$$G_{uz} = \mu_{uz} S_{uz} P_{\kappa} \sqrt{\frac{2}{RT_{\kappa}} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_m}{P_{\kappa}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_m}{P_{\kappa}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (3.29)$$

$$G_{uz} = \mu_{uz} S_{uz} P_{\kappa} \sqrt{\frac{2}{RT_{\kappa}} \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \quad (3.30)$$

Результати розрахунку величини вакууму P_{e1} на торці конічної вставки представлені на рисунку 3.3. Графіки залежності складових F_1 , F_2 і результуючої сили F показані на рисунку 3.4.

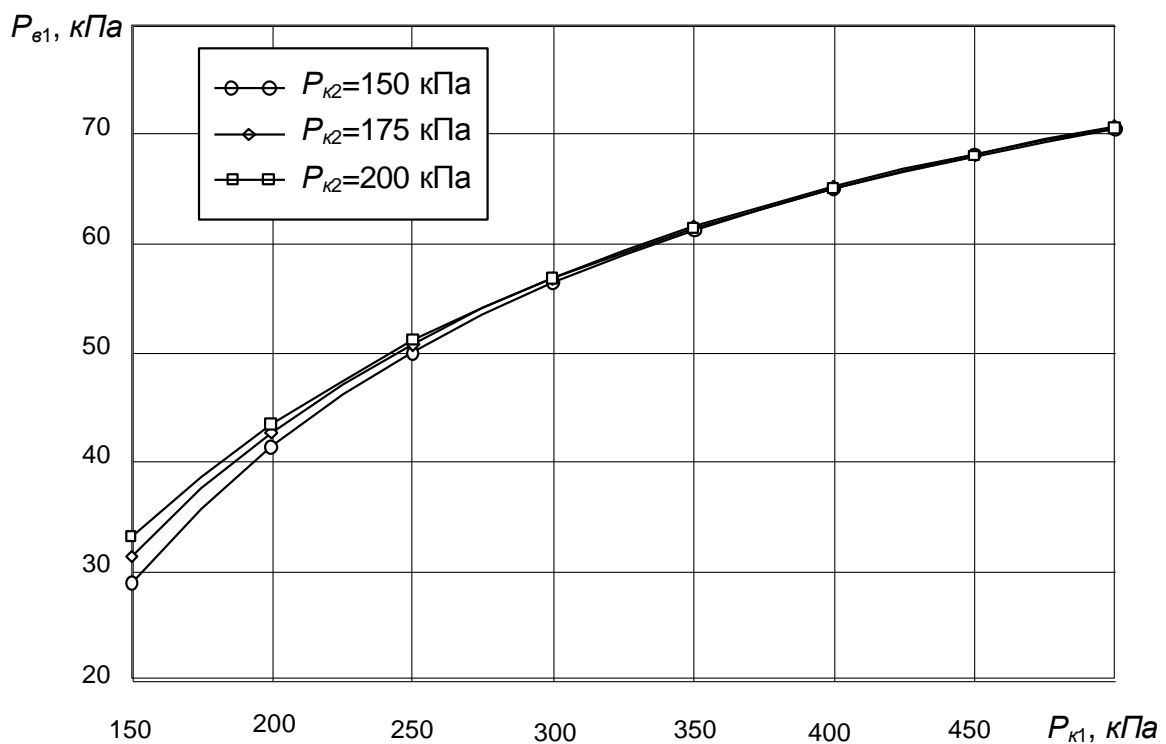


Рисунок 3.3 – Залежність величини вакууму на торці конічної вставки від абсолютного тиску живлення

Приведені графіки відповідають таким параметрам: $h_{ц1} = 0,08$ мм; $h_{ц2} = 0,12$ мм; $h_{рв} = h_{рк} = 0,35$ мм; $r_3 = 20$ мм; $r_{ом} = 20,3$ мм; $r_в = 30$ мм; $r_к = 40$ мм; $l_3 = 10$ мм; $\mu_{ц1} = \varphi_{ц1} = 0,92$; $\mu_{ц2} = \varphi_{ц2} = 0,9$; $\lambda_{сп1} = \lambda_{сп2} = \lambda_{сп3} = 0,04$.

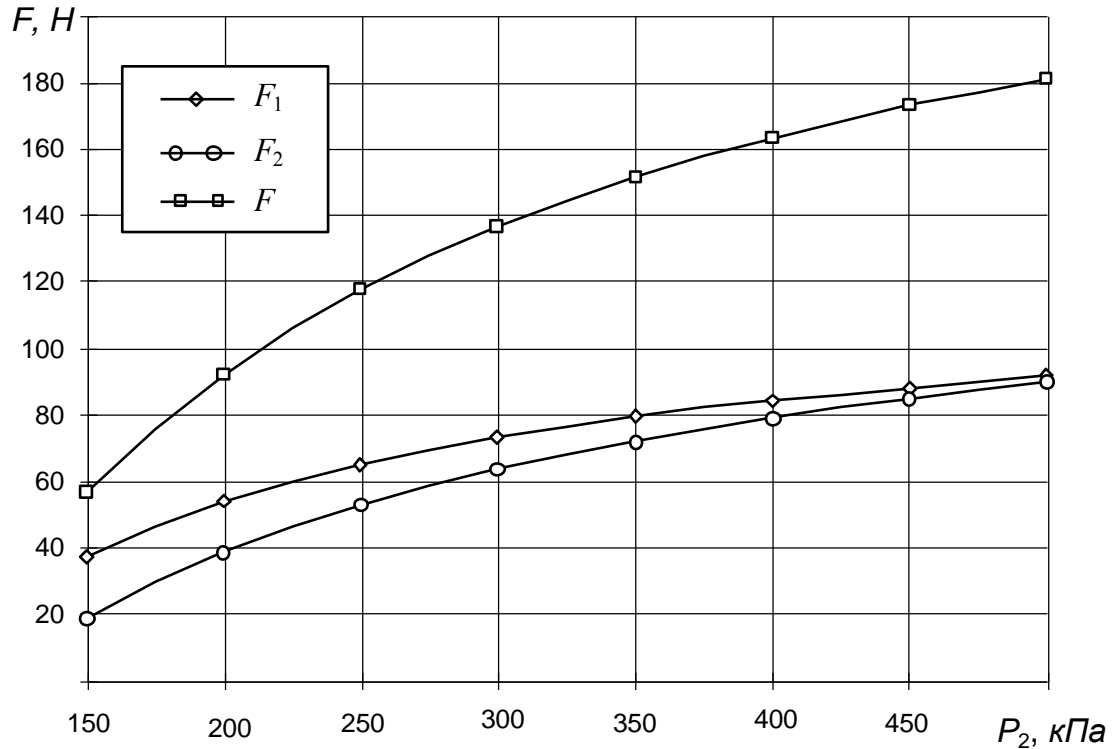


Рисунок 3.4 – Графік залежності складових F_1 , F_2 і результуючої присмоктуючої сили F

Висновки до розділу

Для визначення абсолютного тиску у камері захоплювача робота-маніпулятора доцільно скласти рівняння імпульсу сил для вихідних перерізів кільцевої конічної щілини та кільцевого зазору, які утворені циліндричними поверхнями захоплювача і об'єкта маніпулювання.

Побудована залежність величини вакууму на торці конічної вставки від абсолютного тиску живлення, яка показує характер її руху та напрямку.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Особливості проектування комбінованих захоплюючих пристроїв

Струменеві захоплювачі (СЗ) відрізняються між собою за рівнем конструктивної складності та функціональним призначенням, однак існує низка вимог, які є спільними практично для всіх їх типів.

Однією з основних вимог є мінімальна маса струменевого захоплювача, оскільки вона істотно впливає на динамічні характеристики промислового робота. Значення допустимого граничного навантаження включає власну масу захоплювача, а величина навантаження безпосередньо визначає швидкість виконання робочих рухів: зі зменшенням навантаження зростає швидкодія маніпулятора. З метою виконання цієї вимоги струменеві захоплювачі доцільно виготовляти з легких матеріалів та застосовувати конструктивні рішення, що передбачають видалення надлишкового матеріалу.

Важливою є також вимога щодо мінімальних габаритних розмірів захоплювача. Зменшення габаритів дозволяє не лише знизити його масу, а й більш ефективно використовувати робочий простір роботизованої комірки. Для промислових робіт розрахунок граничного навантаження пов'язаний із визначенням моменту інерції кінцевої ланки маніпулятора, тому чим менші габарити струменевого захоплювача, тим кращими є динамічні та точнісні показники роботи робота.

Струменевий захоплювач повинен забезпечувати можливість маніпулювання об'єктами різної форми, що дозволяє зменшити потребу в його заміні та, відповідно, знизити витрати на придбання додаткового оснащення. Водночас зменшення габаритів захоплювача певною мірою обмежує номенклатуру утримуваних об'єктів маніпулювання. Для усунення цього недоліку в конструкції СЗ доцільно передбачати можливість швидкого ручного переналадження під об'єкти різних розмірів, наприклад, шляхом використання змінних кілець, накладок або насадок. Також можливе застосування

автоматичної зміни захоплювачів залежно від класу оброблюваних об'єктів маніпулювання, що сприяє зменшенню маси та габаритів окремого захоплювача.

Ще однією важливою вимогою до конструкції струменевого захоплювача є забезпечення максимальної приєднувальної жорсткості, яка в сукупності визначає робочі характеристики промислового робота. Оскільки точність позиціонування забезпечується безпосередньо маніпулятором, недостатня жорсткість захоплювача призводить до виникнення додаткових похибок позиціонування. За умов низької точності виготовлення деталей це може спричинити істотне зниження надійності виконання технологічних операцій.

Нежорстке закріплення СЗ на приєднувальному фланці може викликати відносну вібрацію, яка може призвести до його пошкодження або руйнування. Використання жорстких конструкцій дозволяє уникнути таких вібрацій.

Конструкція струменевого захоплювача повинна забезпечувати достатні силові характеристики з урахуванням вимог безпеки експлуатації. Під час обертання об'єкта маніпулювання навколо осі промислового робота на нього діють відцентрові сили, а під час переміщення між робочими позиціями — сили прискорення та гальмування, зумовлені динамікою маніпулятора. Зазначені чинники необхідно враховувати під час розрахунку конструктивних параметрів СЗ з метою забезпечення надійного утримання об'єкта маніпулювання. Водночас силові характеристики захоплювача не повинні перевищувати допустимі значення, щоб уникнути деформації або руйнування об'єкта.

Під час проектування технологічної оснастки доцільно враховувати зручність її технічного обслуговування. Конструкція СЗ має передбачати можливість швидкої заміни елементів із підвищеним зносом, а також доцільно використовувати уніфікований тип кріпильних деталей, що сприяє зменшенню номенклатури інструментів для обслуговування.

Матеріал та фізико-механічні властивості об'єкта маніпулювання істотно впливають на конструктивне виконання струменевого захоплювача. На основі аналізу цих характеристик здійснюється вибір типу СЗ, визначається аеродинамічний ефект утримання, кількість і розташування контактних зон, а також доцільність застосування додаткових давачів і допоміжних пристроїв.

Після цього встановлюється кількість і координатне розміщення точок контакту, які забезпечують надійне перенесення об'єкта, а статичні та динамічні навантаження узгоджуються з робочими характеристиками захоплювача.

Аналіз чистоти поверхні та геометричної форми об'єкта маніпулювання є необхідним для уточнення типу струменевого захоплювача. У разі складної форми об'єкта доцільно застосовувати комбінацію двох і більше незалежних захоплювачів.

Поряд із аналізом характеристик об'єкта маніпулювання для визначення оптимальних параметрів оснащення необхідно виконати аналіз самого технологічного процесу. Такий підхід дозволяє поєднувати операції маніпулювання з іншими технологічними операціями, зокрема миттям, сушінням або нагріванням деталей у процесі транспортування. За потреби струменеві захоплювачі також забезпечують можливість пневматичного контролю та орієнтації об'єктів під час маніпулювання.

Для забезпечення роботи з об'єктами маніпулювання різних габаритів заміна струменевих захоплювачів здійснюється в автоматичному режимі. З метою скорочення часу переналагодження доцільно передбачати конструктивні рішення, що забезпечують зручне та швидке роз'єднання і суміщення елементів захоплювача.

Потреба в контролі перебігу технологічного процесу обробки деталі суттєво впливає на конструктивне виконання струменевого захоплювача. Це обумовлює вимоги до системи керування СЗ, а також до складу та розміщення давачів і вимірювальних пристроїв. Залежно від умов обробки деталі конструкція СЗ може передбачати інтеграцію декількох давачів різного призначення.

На конструкцію струменевого захоплювача також істотно впливають зовнішні умови експлуатації. Необхідно враховувати можливу дію підвищених або знижених температур, вологості, агресивних середовищ (кислот і лугів), а також вібраційних і ударних навантажень. На підставі результатів такої оцінки здійснюється обґрунтований вибір матеріалів, типів давачів, елементів оснащення, механічних з'єднань і захисних пристроїв.

Під час визначення положення захоплення об'єкта маніпулювання відомої геометричної форми необхідно забезпечити виконання таких основних вимог:

— виключення можливості пошкодження струменевого захоплювача під час захоплення об'єкта та в момент його вивантаження;

— забезпечення можливості підведення СЗ промисловим роботом у зону захоплення, а також подальшого беззіткненнєвого переміщення із захопленим об'єктом маніпулювання до зони розвантаження;

— гарантування надійного утримання захопленого об'єкта із протидією силам, що виникають у процесі переміщення та виконання складальних операцій.

Більшість відомих методик вибору положення захоплення ґрунтується на послідовному виконанні трьох етапів. На першому етапі формується множина допустимих положень захоплювача відносно об'єкта маніпулювання. На другому етапі з цієї множини вилучаються положення, які не можуть бути реалізовані конкретним промисловим роботом або призводять до виникнення зіткнень із елементами робочого середовища. На третьому етапі з решти допустимих положень обирається одне, що в заданому сенсі є оптимальним.

Початкове формування множини можливих положень захоплення здійснюється з урахуванням геометричної форми об'єкта, обраного способу захоплення та похибок позиціонування промислового робота. Для струменевих захоплювачів паралельної дії вибір положення захоплення визначається умовою паралельності поверхонь захоплювача і об'єкта маніпулювання. Додатковим критерієм, який враховується під час вибору місця захоплення, є мінімізація моментів інерції відносно осі СЗ. Як критерій оптимальності може використовуватися показник надійності базування, що фактично зводиться до визначення зміщення центра мас об'єкта маніпулювання.

Під час обслуговування технологічних процесів механічної обробки виникає потреба в підвищеній точності встановлення об'єктів. У цьому випадку до них висувається низка спеціальних вимог, зокрема щодо точності базування заготовок на власному торці та точності їх центрування відносно осі захоплювача за допомогою потоку стисненого повітря.

Аналіз процесу встановлення об'єктів у затискні пристрої технологічного обладнання свідчить, що точність і надійність виконання відповідних операцій визначаються такими основними складовими похибок:

- сумарною похибкою позиціювання всіх виконавчих механізмів маніпулятора;
- похибкою базування об'єкта відносно торцевої поверхні струменевого захоплювача;
- похибкою встановлення затискного пристрою.

Всі ці складові частини являють собою систему «робот – захоплювач – об'єкт». В ідеальному випадку – відповідні похибки $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0$. У реальному випадку – точність позиціювання маніпулятора δ_1 є величиною відмінною від.

При розташуванні осей СЗ та затискного пристрою у одній площині, похибки δ_1 , δ_2 і δ_3 додаються і складають максимальну похибку.

При нормальному законі розподілу похибок густина розподілу визначається рівнянням (4.1):

$$P_p(x) = \frac{1}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_p^2}}, \quad (4.1)$$

де $P_p(x)$ – ймовірність для випадкової величини попасти в точку x ;

σ_p – середнє квадратичне відхилення розподілу похибок позиціювання ПР, тобто, та точка в якій повинен знаходитись ОМ.

Густина розподілу похибок базування ОМ відносно осі СЗ визначається з рівняння (4.2):

$$P_o(x) = \frac{1}{\sigma_o \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_o^2}}, \quad (4.2)$$

де σ_o – середнє квадратичне відхилення похибок базування об'єкту у захоплювачі.

Сумарна похибка від дії трьох факторів буде визначатися з рівняння (4.3):

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_0^2 + \sigma_3^2}, \quad (4.3)$$

де σ_3 – середнє квадратичне відхилення похибок установки затискного пристрою.

Величина зміщення осі об'єкта відносно осі СЗ була перевірена двома індикаторами годинникового типу МКГ ДСТУ 9696–95 з ціною поділки 1мкм.

Зміщення об'єкта визначалось у вигляді рівняння (4.7):

$$\delta_2 = \sqrt{\delta_{2x}^2 + \delta_{2y}^2}, \quad (4.7)$$

де δ_{2x} , δ_{2y} – похибки центрування по осях x і y .

Результати дослідження дозволили встановити, що середнє значення похибки центрування об'єктів струменевими захоплювачами становить близько $\delta_2=22$ мкм.

Похибка базування об'єктів на торці СЗП залежить від жорсткості розташованих базуючих елементів та їх сумарної площі. Її можна підрахувати, використовуючи формулу (4.8):

$$\delta_\delta = \frac{Fh}{ES_{\text{сум}}}, \quad (4.8)$$

де F – величина присмоктуючої сили;

h – висота базуючих елементів;

E – модуль поздовжньої пружності матеріалу базуючих елементів;

$S_{\text{сум}}$ – сумарна площа поперечного перерізу базуючих елементів.

Вимоги до конструктивного виконання базуючих елементів на торці СЗ попереджають утворення вихрових зон при обтіканні їх потоком стисненого повітря. Кількість базуючих елементів обмежена, бо їх зростання приводить до зниження силових характеристик захоплювача.

Якщо вихідна площа S_e зменшується при розташуванні базуючих елементів на 10%, то силові характеристики захоплювача не змінюються.

4.2 Проектування стикувального пристрою руки промислового робота-маніпулятора

Розроблений пристрій промислового робота-маніпулятора (рис. 4.1) для стискувальних операцій містить стикувальний вузол маніпулятора, стикувальні вузли робочих органів, із закріпленими робочими органами. Стикувальні вузли маніпулятора і робочих органів мають стикувальні робочі площини. Стикувальний пристрій промислового робота-маніпулятора містить роз'ємні елементи.

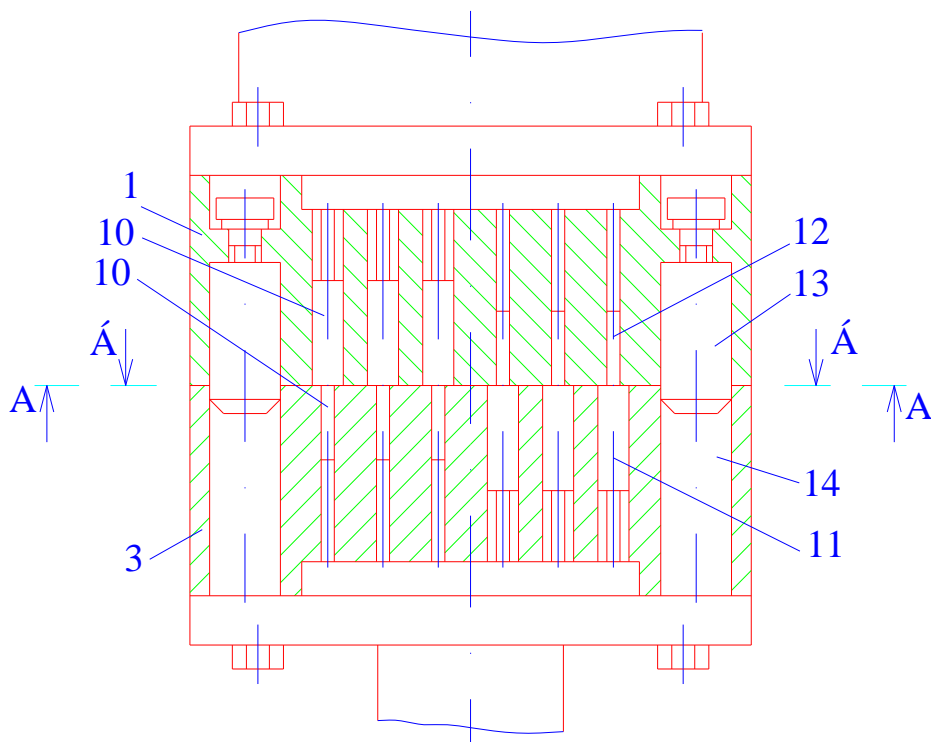


Рисунок 4.1 – Фронтальний розріз стикувального пристрою

Стикувальний вузол маніпулятора містить направляючі штифти 13, а стикувальні вузли мають направляючі отвори 14 під штифти 13. Стикувальний пристрій (рис. 4.2) має стиковані пневматичні і гідравлічні лінії 15, електромагніти 16, магнітопроводи 17 з вихідними обмотками 18.

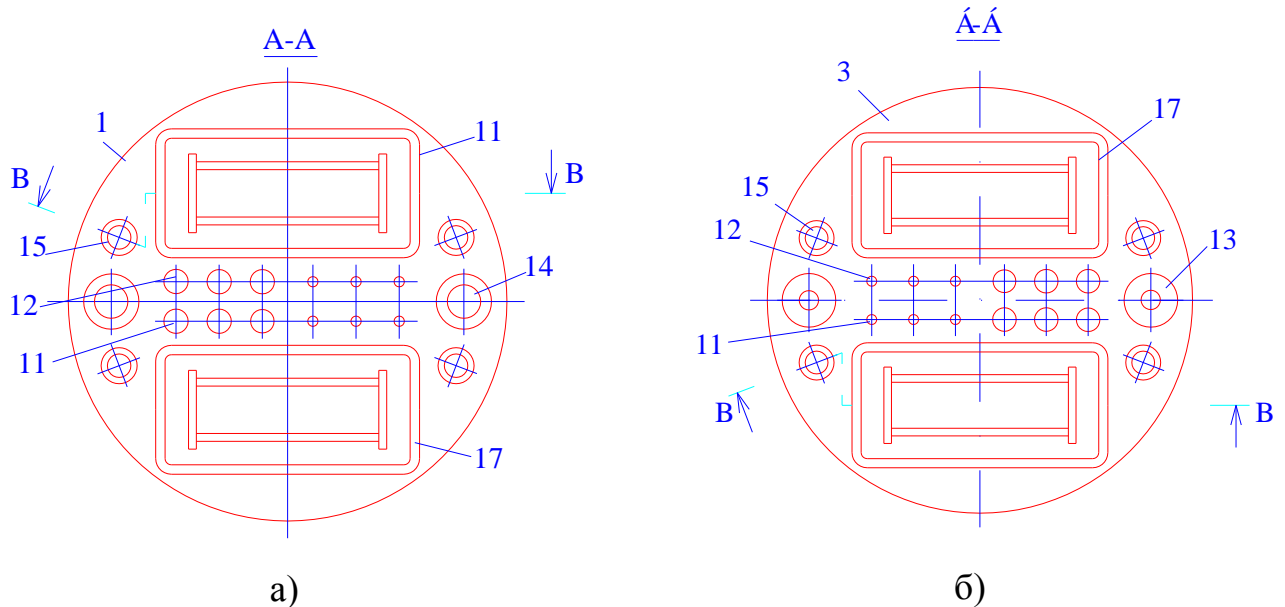


Рисунок 4.2 – Переріз А-А по стикованій площині (а),
переріз Б-Б по роз’ємній площині (б)

Електромагніти 16 містять внутрішні полюсники 19 і зовнішні охоплюючі полюсники 20, входні обмотки 21, закріплені між внутрішніми 19 і зовнішніми охоплюючими 20.

Корпуси стикувальних вузлів маніпулятора і робочих органів виконані з немагнітного матеріалу. Внутрішні полюсники 19 електромагнітів 16 містять постійні магніти 22. Полюси 19 і 20 виконані з електротехнічної сталі з низьким коефіцієнтом залишкової намагніченості. Магнітопроводи 17 містять додаткові вихідні обмотки 23 в корпусах стикувальних вузлів робочих органів 3. Електромагніти 16 і магнітопроводи 17 утворюють роз’ємні трансформатори з входними обмотками 21 і вихідними обмотками 18.

Стикувальний вузол маніпулятора (рис. 4.3) оснащений джерелами постійної 24 і змінної 25 напруг. Виходи джерел напруг 24 і 25 сполучені з

входом комутатора 26, виходи комутатора 26 – з вхідними обмотками 21 роз’ємних трансформаторів. Джерела постійної 24 і змінної 25 напруг через комутатор 26 живлять вхідні обмотки 21 пульсуючою напругою.

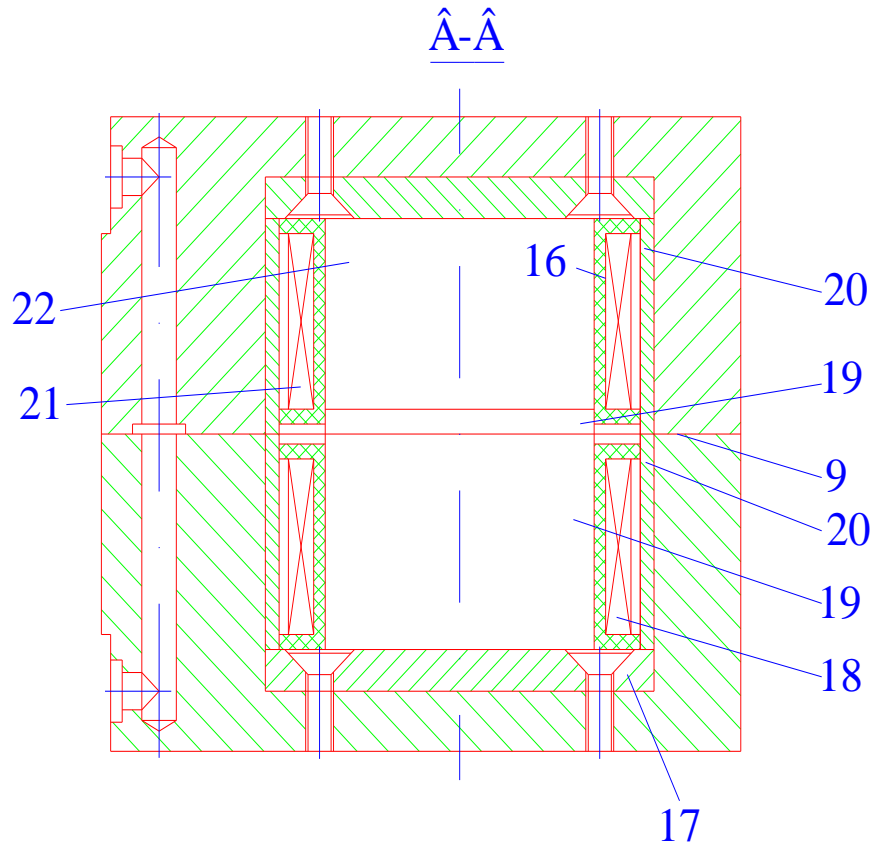


Рисунок 4.3 – Переріз В-В

Джерело постійної напруги 24 необхідне для збільшення стикувального зусилля. Джерело змінної напруги 25 служить для передачі енергії до робочих органів.

Стикувальний пристрій промислового робота може мати варіант з роздільною передачею електричної енергії, коли є два типи електромагнітів 16 - з постійними магнітами 22 і без постійних магнітів (рис. 4.4). До електромагнітів 16 з постійними магнітами 22 стикувального вузла маніпулятора приєднані магнітопроводи 29 у вигляді пластин, закріплені в стикувальних вузлах робочих органів.

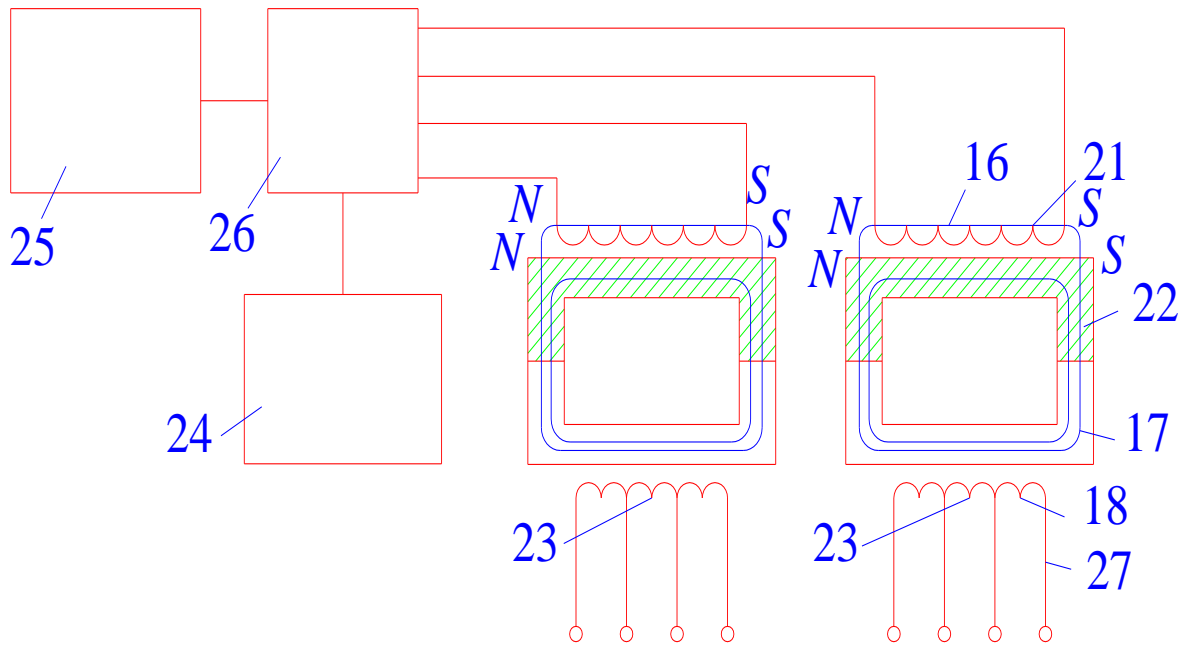


Рисунок 4.4 – Схема пристрою при роботі в режимі
максимального зусилля

До електромагнітів 16 приєднані магнітопроводи 17 з внутрішніми 19 і зовнішніми 20 полюсами і додатковими обмотками 23. Причому магнітопроводи 29 виконані з електротехнічної сталі. Електромагніти 16 без постійних магнітів утворюють також роз'ємні трансформатори (рис. 4.5).

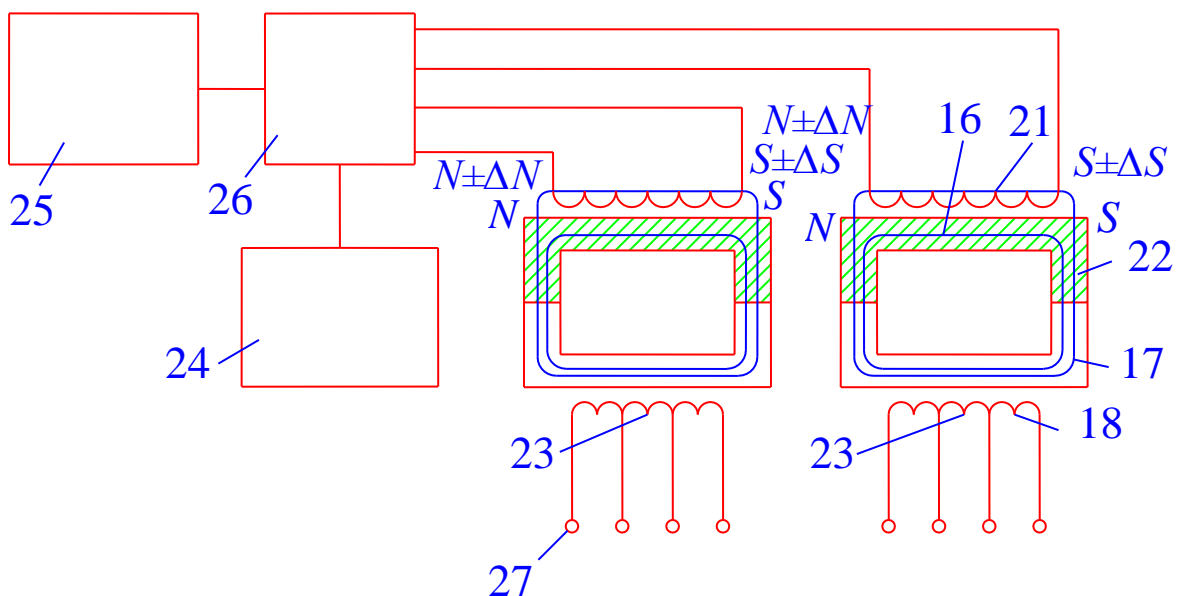


Рисунок 4.5 – Схема пристрою при роботі електромагнітів

Джерело змінної напруги 25 для конструктивного виконання роз'ємних трансформаторів без постійних магнітів (рис. 4.6) живить вхідні обмотки 21 струмом.

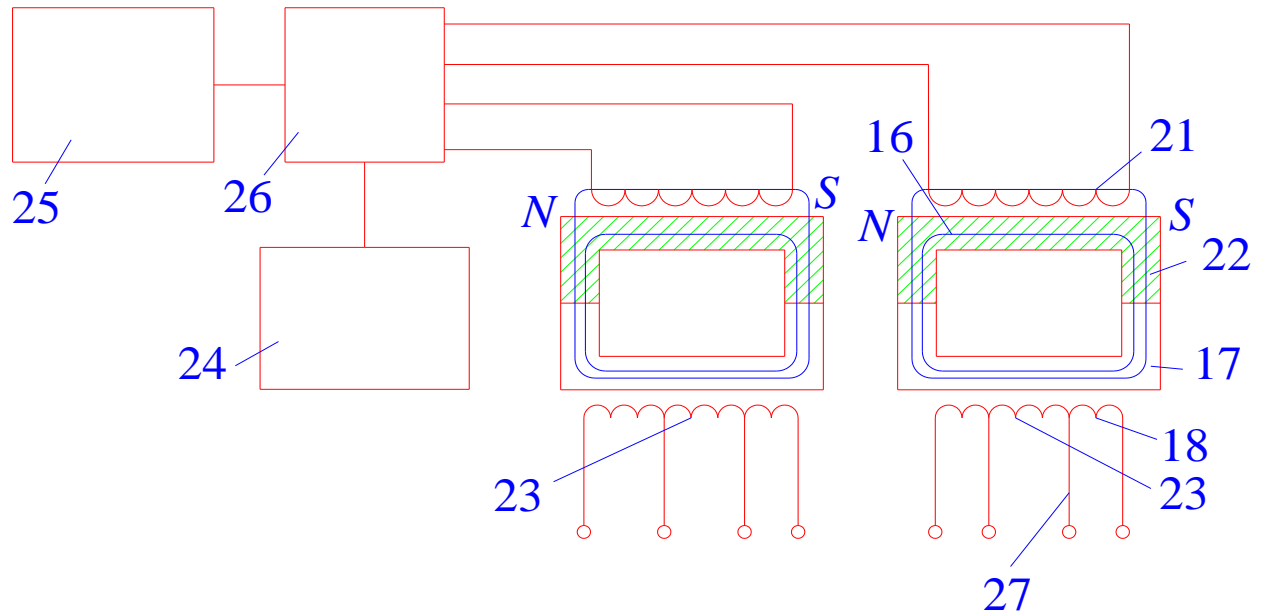


Рисунок 4.6 – Схема пристрою при відключених обмотках

Стикувальний вузол маніпулятора за допомогою руки маніпулятора 2 стикується шляхом введення направляючих штифтів 13 у отвори 14 стикувальних вузлів робочих органів до робочих площин 9. При цьому роз'ємні пари 10 служать для передачі зустрічної інформації. Потім стикуються пневматичні і гідравлічні лінії 15. Стикувальний вузол робочого органу притягується до стикувального вузла маніпулятора 2 і утримується за допомогою роздільної або сумісної дії постійних магнітів 22 і електромагнітів 16.

Стикувальний пристрій промислового робота-маніпулятора має декілька режимів роботи:

1. Захват і утримання робочого органу електромагнітами 16 і постійними магнітами 22.
2. Захват і утримання робочого органу електромагнітами 16 і постійними магнітами 22 з передачею електричної енергії вихідним обмоткам 18.
3. Захват і утримання робочого органу постійними магнітами 22, відстикування робочого органу.

Захват і утримання робочого органу постійними магнітами 22 проводиться таким чином. Стикувальний вузол маніпулятора 1 підводиться до стикувального вузла робочого органу 3 в стані, коли поле постійних магнітів 22 нейтралізовано полем електромагнітів 16. Після стулення робочих площин 9 комутатор 26 відключає живлення (рис. 4.8). Магнітні потоки постійних магнітів 22 притягають магнітопроводи 17 і утримують його. Переваги цього режиму виявляються у разі аварійного відключення електроенергії.

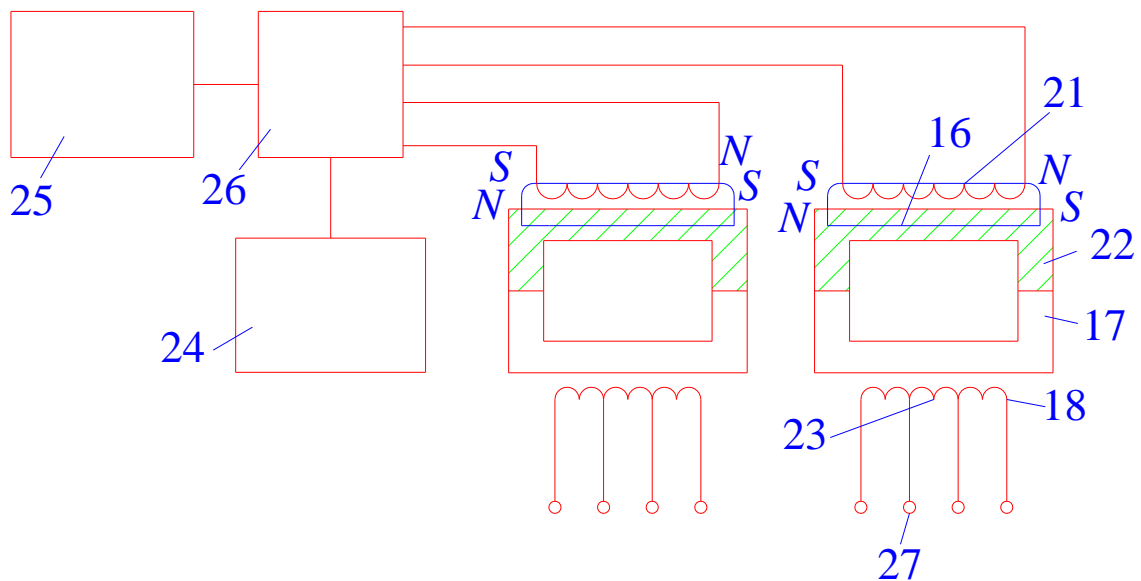


Рисунок 4.8 – Схема пристрою при роботі електромагнітів

Відстикування робочого органу проводиться за рахунок подачі напруги зворотної полярності від джерела постійної напруги 24 через комутатор 26. Протікаючий електричний струм по обмоткам 21 електромагнітів 16 викликає магнітний потік, який нейтралізує магнітний потік постійних. Електромагніти 16 стикувального вузла маніпулятора більше не утримують магнітопроводи 17 стикувального вузла робочого органу 3 і розстикування проводиться без зусиль.

Варіант стикувального пристрою промислового робота (рис.4.8) також працює в розглянутих режимах від джерела змінної напруги 25 через комутатор 26 на обмотки 21 подається змінна напруга. Можна збільшити зусилля утримання магнітопроводів 17.

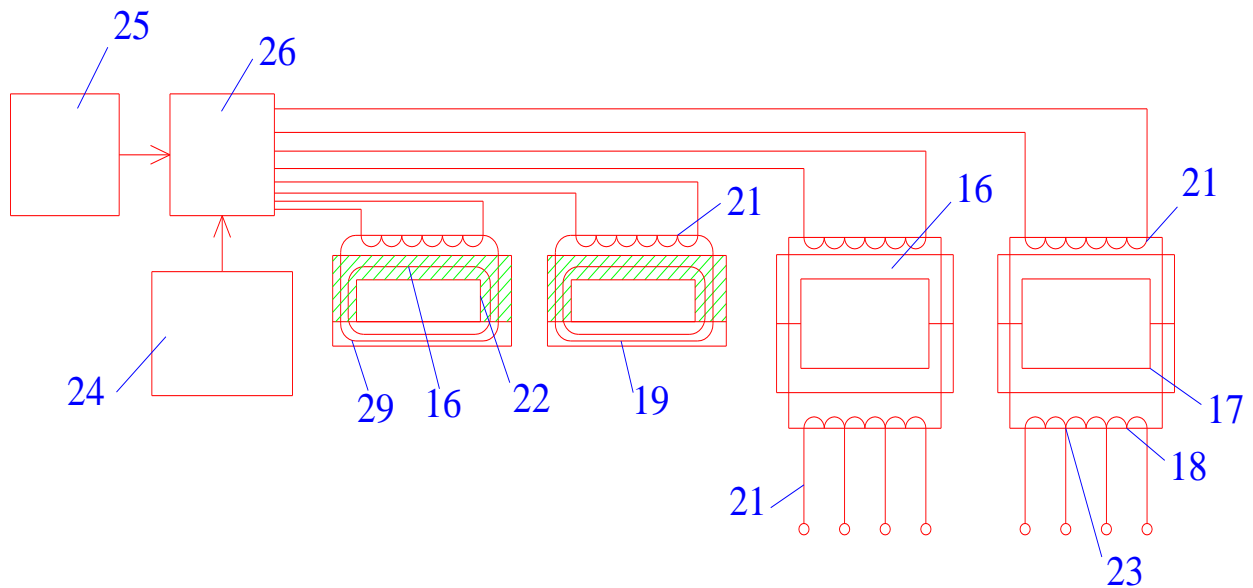


Рисунок 4.8 – Схема пристрою з роздільною передачею електричної енергії

Безконтактна передача інформаційних сигналів і силової електроенергії покращує заводозахищеність і підвищує надійність передачі. Застосування такої магнітної фіксації сприяє процесу стиковки за рахунок зменшення довжини направляючих штифтів.

Застосування магнітної фіксації стикувальних вузлів спрощує конструкцію пристрою за рахунок відсутності механічної фіксації та переміщення направляючих штифтів в стикувальний вузол маніпулятора.

4.3 Проектування магнітно-струменевого захвата

Розроблений захоплювач складається з корпусу 1 у якому змонтована конічна вставка 2. Вони виконані з немагнітного матеріалу на основі алюмінію. Корпус і вставка утворюють камеру 3, для підводу стисненого повітря і кільцеву конічну щілину 4. До корпусу 1 кріпиться осердя 5 з розташованою котушкою 6. Котушка обмотується ізоляційним матеріалом. Виводи котушки приєднуються до електромережі з напругою 24...36 В. Для усунення залишкового магнетизму необхідно в процесі його виготовлення провести відпалювання осердя з нагріванням до 600...700° С.

В камеру 3 подається стиснене повітря від магістралі. В процесі витікання із щілини 4 повітряний струмінь заломлюється до поверхні заготовки. При увімкненому живленні котушки на заготовку діє електромагнітна сила. Зближення торців захоплювача і заготовки до величини 0,2 мм, що призводить до значного зростання втрат енергії потоку повітря на тертя в радіальному напрямі. При зближенні 0,005...0,01 мм пружна дія пневматичної подушки зрівноважить електромагнітну силу.

Цей розроблений захват дозволяє приєднувати модулі. Це дозволяє захоплювати не тільки плоскі деталі, а й деталі з глухими і наскрізними отворами. Для приєднання модулів в конічній вставці змонтована котушка 7, яка приєднується до електромережі. При увімкненому живленні модуль переміщається вздовж центрального отвору конічної вставки і утримується в такому положенні до відключення живлення. Для уникнення аварійних ситуацій, при раптовому відключенні живлення, в розробленому захваті змонтовані котушки 8, при подачі напруги на які, виникає електромагнітна сила яка втягує фіксатори 9 всередину камери 10. При відключенні живлення пружина 11 виштовхує фіксатори 9 з камери і вони запобігають випаданню його зі захвату (рис. 4.9).

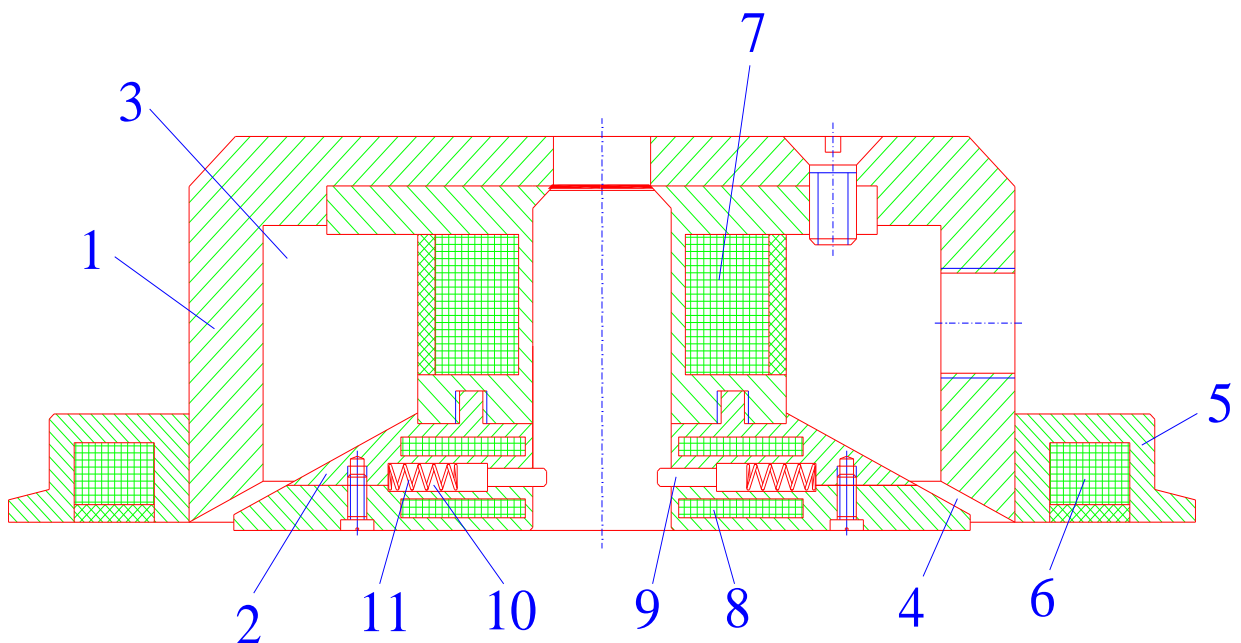


Рисунок 4.9 – Схема безконтактного магнітно-струменевого захвату

Висновки по розділу

Доведено, що безконтактна передача інформаційних сигналів і силової електроенергії покращує захищеність від завад та значно підвищує надійність передачі цього сигналу. Застосування такої магнітної фіксації сприяє процесу стиковки при роботі робота-маніпулятора за рахунок зменшення довжини направляючих штифтів

Застосування магнітної фіксації стикувальних вузлів показало спрощення конструкції пристрою робота-маніпулятора за рахунок відсутності механічної фіксації та переміщення направляючих штифтів в стикувальний вузол маніпулятора

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було удосконалено комбіновані захоплюючі пристрої промислового робота-маніпулятора, а також:

1. Проведений аналіз літературних джерел щодо захоплюючих пристроїв;
2. Проведені комплексні дослідження схем, конструкцій і елементів відомих захоплюючих пристроїв роботів-маніпуляторів.

3. Отримано результати щодо вдосконалення, дослідження та експлуатації захоплюючих пристроїв та показаний вплив характеристик механізмів структури конструктивних елементів захоплюючих пристроїв.

4. Схема безконтактного магнітно-струменевого захвату показала, що при увімкненому живленні модуль переміщається вздовж центрального отвору конічної вставки і утримується в такому положенні до відключення живлення

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компонок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2020. – С.40-45.
2. Бороzeneць Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. Деталі машин : Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
3. Головня В.Д. САПР технологічних процесів: конспект лекцій / В.Д. Головня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2019. – 200 с.
4. В. Боярчук Особливості проектування комбінованих захоплюючих пристроїв // Тези IV студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ” (16 листопада 2024 року). – Луцьк: ЛНТУ – 2023 – С.6-9.
5. Ямпольский Л.С. та ін. Елементи роботи технічних пристроїв і модулі ГВС: Підручник / Л.С. Ямпольський, М.М. Поліщук, М.М. Ткач; За заг. ред. Л.С. Ямпольського. – К.: Вища шк., 2022. – 431 с.: іл
6. Патент США №3343864 Material handling apparatus and the like / BAER JAMES/ Опубліковано 1967-09-26. 8.
7. Патент США №2002157388A1 Pump-integrated flexible actuator /SETO TAKESHI, TAKAGI KUNIHICO/ Опубліковано 2002-10-31. 9.
8. Патент США №4815782A Grappling device /CRAIG PRESTON S, FISHER JEFFREY/ Опубліковано 1989-03-28.
9. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технічні комплекси / Под ред. Павленко І.І. - Навчальний посібник 2012 - 393с.
10. Khalifa H. Harib, Kamal A.F. Moustafa, A.M.M. Sharif Ullah and Salah Zenieh: Parallel, Serial and Hybrid Machine Tools and Robotics Structures: Comparative Study on Optimum Kinematic Designs - 110-124p.
11. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навчальний посібник / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцько; За ред. З.А. Стоцька. – Львів: Бескид БІТ, 2018. – 466с.

12. Павленко І.І., Мажара В.А. Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв // Прогресивні технології і системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. – Вип. 30 – Донецьк: ДонНТУ, 2015. – С. 170 – 175.

13. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Вип. 19 – Краматорськ – Київ, 2006. – С. 104 – 109.

14. Антонюк В.С., Клименко С.А., Клименко С.А. Теплові явища при обробці різанням: навч. посібник. – К.: НТУ України «КП», 2014. – 156 с.