МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІМТ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
Блатенко С.І.
(підпис) (ім'я та прізвище)
«24» листопада 2025р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Криволяс-Володіна Л.О.
(підпис) (ім'я та прізвище)
«24» листопада 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Модернізація та оптимізація функціональних характеристик заколювальних модулів роботехнічних систем

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 1
Яцик Владислав Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Криволяс-Володіна Людмила Олександрівна
(прізвище , ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)
_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)
_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Ярослов Слєпцов
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІПІ ім. академ. І.С. Гулого
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і назва)
Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
Криворляс-Володіна Л.О.
«06» жовтня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Яцик Владислав Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація та оптимізація функціональних характеристик запопнювальних модулів робототехнічних систем

керівник роботи Криворляс-Володіна Людмила Олександрівна, к.т.н, пулор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» 09 2025 року № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 08.12.2025

3. Вихідні дані до роботи конвеєр для підведення пакетів з цукром конвеєр для підведення ящиків, мотор редуктор 1МП32-40, робот маніпулятор, пневмозахват, стиснене повітря 4-8 бар.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат українською. Реферат англійською. Вступ. Розділ 1. Розділ 2. Розділ 3. Розділ 4. Висновок. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу
3 креслення формату А1, 3 креслення специфікації формату А4

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 17.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат українською	06.10 2025	Виконано
2	Реферат англійською	09 10 2025	Виконано
3	Вступ	13 10 2025	Виконано
4	Розділ 1	15 10 2025	Виконано
5	Розділ 2	24 10 2025	Виконано
6	Розділ 3	07 11 2025	Виконано
7	Розділ 4	25 11 2025	Виконано
8	Висновок	26 11 2025	Виконано
9	Список використаної літератури	28 11 2025	Виконано
10	Підготовка презентації	29 11 2025	Виконано
11	Креслення 1	24 10 2025	Виконано
12	Креслення 2	24 10 2025	Виконано
13	Креслення 3	24 10 2025	Виконано
14			
15			
16			
17			

Здобувач освіти _____ Владислав ЯЦИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____ Людмила КРИВОРУЧКО-ВОЛОДІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«11» грудня 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему : «Модернізація та оптимізація функціональних характеристик захоплювальних модулів робототехнічних систем»

Мета роботи: Розробка концепції та конструктивних рішень для модернізації захоплювальних модулів промислових роботів, спрямованих на підвищення їх адаптивності, енергоефективності та надійності у складі автоматизованих пакувальних ліній.

Об'єкт дослідження: Захоплювальні модулі промислових роботів-маніпуляторів, що використовуються в системах автоматизованого пакування.

Предмет дослідження: Конструктивні особливості, функціональні характеристики та технології оптимізації захоплювальних пристроїв для робототехнічних систем.

Проведено комплексний аналіз існуючих захоплювальних модулів для робототехнічних систем, визначено їх класифікацію за принципом дії, конструктивними особливостями та технічними характеристиками.

Запропоновано інноваційну концепцію гібридного адаптивного захвата, що поєднує механічний та вакуумний принципи дії, що дозволяє значно підвищити універсальність та адаптивність робототехнічних систем.

Розроблено конструктивні рішення модернізованих захоплювальних модулів, що передбачають:

Використання стандартизованого адаптера ISO 9409-1

Систему швидкого перемикання модулів (Quick-Change)

Комбінацію самоцентруючих пальців з сервоприводом та гнучких вакуумних чашок

Вбудовану систему тактильного контролю

Обґрунтовано техніко-економічну ефективність запропонованих рішень:

Зниження маси захоплювальних модулів на 42%

Підвищення енергоефективності на 45-60%

Скорочення часу зміни об'єктів з 5-10 до 2 хвилин

Підвищення точності позиціювання до ±0.1 мм

Розраховано термін окупності розробки - 4.3 роки при загальній річній економії 8800 € на один захват.

Розроблено систему багаторівневої безпеки, що інтегрується з KUKA.SafeOperation, та систему предиктивної діагностики для профілактичного обслуговування.

Практичне значення: Результати дослідження можуть бути використані для модернізації існуючих та розробки нових захоплювальних систем промислових роботів, що застосовуються в автоматизованих пакувальних лініях. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити продуктивність, гнучкість та економічну ефективність виробничих процесів.

Ключові слова: робот-маніпулятор, захоплювальний модуль, адаптивний захват, пакувальні лінії, оптимізація, модернізація, промислова робототехніка, автоматизація виробництва.

ABSTRACT

Qualification work on the topic: "Modernization and Optimization of Functional Characteristics of Gripping Modules for Robotic Systems"

Objective of the work: Development of a concept and design solutions for the modernization of gripping modules for industrial robots, aimed at increasing their adaptability, energy efficiency, and reliability within automated packaging lines.

Object of research: Gripping modules of industrial robot manipulators used in automated packaging systems.

Subject of research: Design features, functional characteristics, and optimization technologies for gripping devices in robotic systems.

A comprehensive analysis of existing gripping modules for robotic systems was conducted, determining their classification based on the principle of operation, design features, and technical characteristics.

An innovative concept of a hybrid adaptive gripper has been proposed, which combines mechanical and vacuum principles of operation, significantly enhancing the versatility and adaptability of robotic systems.

Design solutions for modernized gripping modules have been developed, incorporating:

Use of a standardized ISO 9409-1 adapter.

A Quick-Change module switching system.

A combination of self-centering servo-driven fingers and flexible vacuum cups.

A built-in tactile control system.

The technical and economic effectiveness of the proposed solutions has been substantiated:

Reduction in the weight of gripping modules by 42%.

Increase in energy efficiency by 45-60%.

Reduction of object changeover time from 5-10 minutes to 2 minutes.

Improvement in positioning accuracy to ±0.1 mm.

The payback period for the development was calculated to be 4.3 years, with a total annual savings of €8,800 per gripper.

A multi-level safety system integrated with KUKA.SafeOperation and a predictive diagnostic system for preventive maintenance have been developed.

Practical significance: The research results can be used for modernizing existing and developing new gripping systems for industrial robots used in automated packaging lines. The proposed technical solutions enable increased productivity, flexibility, and economic efficiency of manufacturing processes.

Keywords: robot manipulator, gripping module, adaptive gripper, packaging lines, optimization, modernization, industrial robotics, production automation.

Зміст

ВСТУП 6

Розділ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РОБОТІВ МАНІПУЛЯТОРІВ 8

1.1 Класифікація роботів за призначенням та сферою застосування 8

1.2 Різновиди захватних пристроїв 26

1.3 Аналіз існуючих конструкцій пневматичних захватів 39

Розділ 2 РОЗРАХУНКИ ЛІНІЇ, ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА МЕХАНІЗМІВ 51

2.1 Розрахунок параметрів роликового конвеєра для транспортування ящиків 51

2.2 Розрахунок ланцюгової передачі 58

2.4 Розрахунки для вибору підшипників 64

2.5 Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання 65

2.6 Розрахунок роликового конвеєра для подачі пакетів із цукром 67

2.7 Розрахунок пневматичного захоплювача (Пневмозахват) 68

Розділ 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ 70

3.1 Концепція модернізації захоплювальних модулів 70

3.2 Конструктивні рішення модернізованих захоплювальних модулів 71

3.3 Оптимізація маси та жорсткості 72

3.4 Оптимізація енергоефективності 72

3.5 Система моніторингу та діагностики 73

3.6 Проектування системи безпеки 73

3.7 Економічне обґрунтування розробки 74

Розділ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ 75

4.1 Регламент технічного обслуговування 75

4.2 Виправлення несправностей у роботизованих системах 76

4.3 Забезпечення стабільності роботи вакуумної систем 77

ВИСНОВОК 81

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 83

ВСТУП

Роботи типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) мають високу точність, повторюваність дій та обмежену робочу зону зі зменшеною кількістю ступенів свободи. Ці роботи призначені для виконання вузькоспеціалізованих задач, де ключовою є точність, наприклад, у процесах складання продукції. Їх конструкція забезпечує стабільність і надійність, навіть за умов обмеженого робочого простору. Кожен із цих типів роботів-маніпуляторів має свої переваги, які роблять їх оптимальним рішенням для конкретних виробничих завдань і галузей, забезпечуючи ефективність, точність та продуктивність технологічних процесів.

З розвитком технологій роботи стають доступнішими, що пояснюється низкою переваг. Один робот може замінити працю кількох людей, суттєво підвищуючи продуктивність. Крім того, такі інвестиції окуповуються протягом 12–15 років, що робить роботизацію економічно вигідною. Подальший розвиток цієї галузі значною мірою пов'язаний із прогресом у сфері штучного інтелекту. Їх ефективність уже підтверджена в багатьох виробничих процесах, і вони мають низку суттєвих переваг. Використання роботів дозволяє значно знизити витрати, включаючи витрати на оплату праці, підвищити точність виробничих операцій і зменшити кількість дефектів.

Роботизація прискорює процеси виробництва, сприяє економії ресурсів та енергії, знижує експлуатаційні витрати, а

також забезпечує швидке переключення виробничих ліній на нові проєкти. Отже, роботи-колаборанти є важливим інструментом для оптимізації виробничих процесів, забезпечуючи високу ефективність, гнучкість і економічну вигідність у різних галузях промисловості.

Роботи поділяються на декілька категорій залежно від їх функціональних можливостей і умов експлуатації. Звичайні роботи-маніпулятори працюють за допомогою сервоприводів і мають обмеження в рухах, які визначаються розмірами їх руки маніпулятора та прикріпленого інструменту. Вони здатні виконувати складні рухи завдяки різним конструктивним рішенням. Дельта-роботи відзначаються високою швидкістю та точністю виконання завдань. Їх унікальна конструкція дозволяє ефективно виконувати пакувальні й монтажні операції. Завдяки цим характеристикам дельта-роботи активно застосовуються у фармацевтичній, електронній та харчовій промисловості. Вони є оптимальним вибором для завдань, що потребують високої точності та швидкості, особливо у швидкоплинних виробничих процесах.

Розділ 1
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РОБОТІВ МАНІПУЛЯТОРІВ

1.1 Класифікація роботів за призначенням та сферою застосування

Універсальні роботи - ці роботи здатні виконувати широкий спектр операцій і можуть використовуватись у різних сферах виробництва. Вони адаптуються до багатьох завдань, завдяки чому є надзвичайно гнучкими у використанні.

Спеціальні роботи - призначені для роботи в несприятливих умовах або виконання специфічних завдань. Ці роботи мають спеціальні конструктивні особливості, що забезпечують їх

функціонування в екстремальних середовищах, наприклад, при високих температурах, підвищеній вологості або низьких температурах.

Спеціалізовані роботи - дані роботи розроблені для виконання конкретних виробничих завдань, таких як монтаж, різання, зварювання, фарбування, палетування.

Ось декілька прикладів таких роботів:

Роботи-палетувальники - призначені для вантажно-розвантажувальних робіт і укладання продукції на піддони за визначеною схемою. Наприклад, машини серії Fanuc M410 ефективно працюють при середніх і великих навантаженнях. Інший приклад - візок KUKA KR QUANTEC PA Arctic, який здатний працювати за температури до -30°C.

Роботи для фарбування та нанесення покриттів - автоматизовані маніпулятори з розпилювачами, що рівномірно фарбують кузова автомобілів у герметичних камерах, запобігаючи вдиханню людиною шкідливих речовин. Наприклад ABB (IRC5 PaintRobot) спеціальна серія роботів, призначена для роботи в вибухонебезпечних зонах. Оснащуються пневматичним розпилювачем або системою нанесення покриттів "за обертанням" (RapidRot). Використовуються для фарбування автомобілів, літаків (наприклад, фюзеляжів), побутової техніки. Інший приклад - Fanuc P-250iB потужний робот з великим радіусом дії, призначений для фарбування великих об'єктів - автобусів, вагонів потягів, кузових елементів. А також KUKA (KR AGILUS paint) компактні та швидкі роботи для точного нанесення покриттів на менші деталі: мотоциклетні рами, диски коліс, корпуси електроніки або меблі.

Зварювальні роботи - високоточні роботи для дугового, точкового або лазерного зварювання на конвеєрних лініях, що працюють з іскрами, високою температурою та димом. Наприклад KUKA KR CYBERTECH nano - високошвидкісні роботи для точкового контактного зварювання у автомобільній промисловості. Вони за долі секунди притискають електроди до металу, створюючи тисячі зварних точок на кузові. Інший приклад - ANUC Arc Mate - одна з найпопулярніших серій для дугового зварювання (MIG/MAG). Роботи цієї серії відомі своєю високою

швидкістю, точністю та стійкістю до впливу зварювальних сплесків.

Роботи для лиття під тиском - роботи, що працюють біля гарячих форм, виймають готові деталі, обрізають литвики та переносять розжарені заготовки. Наприклад швидкісні портальні роботи (Servo Sprue Pickers), моделі від Wittmann Battenfeld (Wittmann Robot) або ENGEL (viper). Вони закріплені над пресом, за лічені секунди встромляються в форму, хапають готове виливання разом з литниковою системою, виймають і кладуть на конвеєр або в тару. Основне завдання — виймання. Інший приклад - шарнірні роботи для обслуговування ТПА: Fanuc Roboshot або KUKA KR QUANTEC. Це більш універсальні роботи, які можуть не лише виймати деталь, але й виконувати додаткові операції в окремій робочій зоні:

- Обрізання литвиків та облою спеціальними кліщами.
- Перевертання та укладання деталей.
- Контроль якості за допомогою вбудованої відеокамери.
- Установка металевих вставок у форму перед наступним циклом лиття.
- Пакування готових виробів.

Роботи-сортувальники (Sortation robots) - оснащені швидкодіючими захватами або вакуумними присосками, вони ідентифікують та сортирують посилки, коробки на стрімких

конвеєрах (наприклад, в сортувальних центрах пошти чи інтернет-магазинів). Наприклад роботи на базі швидкісних дельта-роботів: ABB FlexPicker / OmniCore дельта-робот з трьома паралельними важелями розміщений над конвеєром. Камера сканує об'єкт, розраховує його позицію, швидкість і тип, а робот за мить перехоплює його вакуумною присоскою і перекидає у потрібний відвідний лоток або кошик. Ідеально для дрібних посилок, конвертів, фармацевтичної продукції. Інший приклад FANUC M-1iA/2A "Рука-хамелеон" — надшвидкий дельта-робот, здатний сортувати до 150 об'єктів на хвилину. Може бути оснащений двома "пальцями" для захоплення. А також автономні мобільні сортувальники - Boston Dynamics "Stretch". Він самостійно під'їжджає до штабелю посилок, вакуумним захватом на своїй "руці" бере одну коробку, сканує її штрих-код і кладе в призначену для неї клітку або контейнер. Це сортування не на конвеєрі, а в статичному середовищі.

Роботи для вантаження/розвантаження вантажівок: Потужні роботи з комп'ютерним зором, які можуть автоматично завантажувати коробки різних розмірів у фури, оптимізуючи простір. Наприклад Fanuc M-2000iA це один з найпотужніших промислових роботів у світі, здатний піднімати до 2300 кг. Його можна інтегрувати в систему автоматичного вантаження контейнерів, де він переміщує цілі палети.

Хірургічні роботи (Da Vinci): Найвідоміший приклад. Дозволяють хірургу проводити операції через мініатюрні розрізи

з підсиленням точності, 3D-зображенням та фільтрацією тремтіння рук.

Роботи для лабораторної автоматизації: Спеціалізовані руки-маніпулятори для пробіркових панелей, що виконують тисячі однакових операцій: перенесення мікролітрів рідини, змішування, сортування проб для досліджень ДНК або аналізу крові.

Кожна з цих категорій роботів має свої переваги, залежно від конкретних виробничих потреб, і сприяє підвищенню продуктивності, якості та економічності процесів.

Одним з найпопулярніших виробників маніпуляторів є фірма Fanuc, ця японська компанія є світовим лідером у виробництві промислових роботів. Вони пропонують широкий спектр роботизованих маніпуляторів, включаючи програмне забезпечення для програмування та керування роботами, різноманітні датчики. Виробничий центр включає кілька частин обладнання, таких як зварювальні роботи, фарбування та пакетування. За даними 2018 року, у всьому світі встановлено 400 000 роботів FANUC.

Рисунок 1 – CRX-25iA Fanuc

CRX-25iA — це модель промислового робота, виготовленого японською компанією FANUC, яка спеціалізується на робототехніці, системах ЧПК і рішеннях для автоматизації виробництва. CRX-25iA — це колаборативний робот, також відомий як кобот, призначений для роботи разом із працівниками на виробництві та в інших промислових сферах. Особливістю CRX-25iA є його здатність до спільної роботи з операторами, без необхідності встановлення окремої охоронної сітки або бар'єрів. Він має вбудовані безпечні сенсори і систему керування, які дозволяють роботу дати відповідь на рухи оператора та уникати стику з ним, що забезпечує безпеку працівників.

CRX-25iA має гнучку конструкцію та широкий радіус дії, що дозволяє йому виконувати різноманітні завдання у промислових середовищах. Він може бути програмований для виконання різних операцій, включаючи збирання, упаковку, монтаж, фрезерування та багато інших. Завдяки використанню CRX-25iA промислові підприємства можуть отримати переваги від автоматизації своїх

процесів, зниження витрат на працю, підвищення продуктивності та поліпшення якості виробництва. Колаборативні роботи, такі як CRX-25iA, стають все більш популярними у промислових галузях завдяки своїм можливостям співпраці з людьми і покращенню ефективності робочих процесів. CRX-25iA — це шестиосьовий робот, який здатний піднімати корисні вантажі вагою до 25 кілограмів із максимальним радіусом дії 1833 міліметри. Він оснащений передовими датчиками та функціями безпеки, включаючи датчики сили та систему виявлення зіткнень, щоб гарантувати, що він може безпечно працювати в безпосередній близькості від людей.

Однією з ключових особливостей CRX-25iA є простота використання. Його можна швидко та легко запрограмувати за допомогою інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу програмування FANUC, який дозволяє навіть нефахівцям швидко навчити робота новим завданням. Це робить його надзвичайно універсальним і гнучким рішенням для широкого діапазону виробничих застосувань, від складання та пакування до обробки матеріалів і обслуговування машин. Автоматизована система транспортування вантажів в зоні ускладненого проходження (АСТ УП) є технологією, яка дозволяє автоматизувати процес транспортування вантажів у важкодоступні або небезпечні зони, де земний транспорт є недостатньо ефективним або неможливим. Такі системи можуть використовуватись в таких галузях, як

гірничодобувна, нафтова та газова промисловість, лісова галузь, будівництво та рятувальні операції.

Рисунок 2 – LR Mate 200iD/14L

LR Mate 200iD/14L — це маніпулятор, виготовлений компанією FANUC, провідним виробником промислових роботів. Ця рука робота розроблена для різноманітних застосувань у таких галузях, як автомобілебудування, електроніка, харчова промисловість і виробництво напоїв.

LR Mate 200iD/14L має вантажопідйомність 14 кг і радіус дії 911 мм, що робить його придатним для таких завдань, як транспортування матеріалів, складання та пакування. Він має шість осей руху, які дозволяють йому рухатися в широкому діапазоні напрямків і кутів. Рука робота також оснащена системою бачення з високою роздільною здатністю, яка дозволяє виконувати прецизійні завдання з точністю.

Деякі з ключових особливостей LR Mate 200iD/14L включають:

Компактний дизайн: рука робота розроблена таким чином, щоб займати мінімальну площу, що робить її ідеальною для використання на переповнених виробничих лініях.

Висока швидкість: рука робота здатна до швидких і точних рухів, що дає змогу швидко й ефективно виконувати завдання.

Легко програмувати: руку робота можна програмувати за допомогою власної мови програмування FANUC, яка розроблена так, щоб бути зручною для користувача та легкою для вивчення.

Гнучкі варіанти монтажу: руку робота можна встановити в різних положеннях, включаючи підлогу, стелю та стіну.

Загалом, LR Mate 200iD/14L — це універсальна та надійна роботизована рука, яка може допомогти оптимізувати виробничі процеси та підвищити ефективність у багатьох галузях промисловості. Завдяки своїй вантажопідйомності в 14 кг і радіусу дії 911 мм, LR Mate 200iD/14L здатний виконувати різні завдання перенесення та маніпулювання великими та важкими предметами.

Його компактний дизайн дозволяє ефективно використовувати простір на виробничих лініях, а висока швидкість та точність рухів забезпечують ефективну та продуктивну роботу.

Легкість програмування є ще однією перевагою LR Mate 200iD/14L. Використовуючи мову програмування FANUC, користувачі можуть легко програмувати робота для виконання різних завдань зі збірки, пакування, обробки та інших операцій.

Це дозволяє швидко налаштовувати робота під конкретні вимоги виробництва.

Додатково, гнучкі варіанти монтажу дозволяють встановлювати робота у різних положеннях, що робить його універсальним для різних виробничих середовищ. Завдяки цим характеристикам, LR Mate 200iD/14L знаходить застосування в багатьох галузях, включаючи автомобілебудування, електроніку, харчову промисловість та виробництво напоїв.

Усі ці особливості робота LR Mate 200iD/14L роблять його потужним інструментом для підвищення ефективності та продуктивності у промислових процесах. Використання автоматизованих маніпуляторів, таких як LR Mate 200iD/14L, допомагає покращити якість продукції, знизити витрати та підвищити загальну ефективність виробництва.

Швейцарська компанія ABB — провідна європейська компанія, заснована в Берні, яка до 2024 року виготовила понад 160 000 роботів. Роботи ABB активно застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема харчовій, меблевій, фармацевтичній, електронній та багатьох інших. Компанія є визнаним піонером у сфері робототехніки.

Ще 40 років тому ABB створила першого у світі електричного промислового робота, що стало революційним проривом у галузі автоматизації. Також ABB була першою серед інших компаній, хто розробив робота, спеціалізованого на

фарбувальних операціях. Завдяки інноваційним підходам, багаторічному досвіду та широкому спектру застосувань, ABB залишається одним із лідерів у сфері промислової автоматизації, забезпечуючи надійність, ефективність і передові рішення для сучасного виробництва.

Рисунок 3 – IRB 6650S

IRB 6650S є моделлю промислового робота, виготовленого ABB, багатонаціональною компанією, що спеціалізується на робототехніці, автоматизації та енергетичних технологіях.

Робот IRB 6650S призначений для роботи у важких умовах у різних галузях промисловості, таких як автомобілебудування, металообробка та ливарне виробництво. Це шестиосьовий робот з максимальною вантажопідйомністю 300 кг і максимальним радіусом дії 3,5 метра. Буква «S» у назві може означати, що це швидкісна версія моделі IRB 6650.

IRB 6650S є шестиосьовим роботом, що забезпечує йому гнучкість та маневреність у виконанні завдань. Він призначений для використання у різних сферах, зокрема автомобілебудування, металообробка та ливарне виробництво. Його конструкція

розрахована на роботу в навколишньому середовищі з важкими умовами та великими навантаженнями. Крім того, зазначена літера "S" у назві може вказувати на швидкісну версію моделі, що означає, що робот може виконувати рухи з високою швидкістю, забезпечуючи ефективність та продуктивність виробничих процесів.

IRB 6650S є потужним інструментом для автоматизації важких завдань у промислових секторах. Його висока вантажопідйомність, гнучкість та швидкість рухів дозволяють забезпечити оптимальну продуктивність та результативність виробничих ліній. Крім вантажопідйомності, радіусу дії та швидкості рухів, модель IRB 6650S має й інші важливі характеристики, які забезпечують його ефективну роботу:

Висока точність: Робот має високу точність позиціонування, що дозволяє виконувати прецизійні операції і завдання з високою якістю.

Гнучкість програмування: IRB 6650S може бути програмований для виконання різних завдань і складних рухових сценаріїв. Компанія ABB надає потужне програмне забезпечення для програмування та керування роботом.

Колізійна безпека: Робот оснащений системою безпеки, яка виявляє перешкоди та уникне зіткнень з людьми або об'єктами у своєму навколишньому середовищі.

Легкість утримання та обслуговування: Модель IRB 6650S має конструкцію, яка спрощує обслуговування та технічне

обслуговування робота, забезпечуючи зниження часу простою та витрат на обслуговування.

Висока надійність: Компанія ABB відома своїми високоякісними промисловими роботами, і модель IRB 6650S не є винятком. Вона має довгу експлуатаційну довговічність та високу стійкість до різних умов роботи.

Ці характеристики робота IRB 6650S дозволяють використовувати його в різних промислових секторах для автоматизації складних виробничих процесів, підвищення продуктивності та забезпечення якості виготовлюваних продуктів.

Компанія KUKA є провідним виробником промислових роботів, які виконують широкий спектр завдань, включаючи пакетування, завантаження, пакування, зварювання, складання та виготовлення. Завдяки своїй надійності та ефективності, роботи KUKA встановлені більш ніж у 80 000 точок по всьому світу.

Зокрема, роботи KUKA з автоматичним дуговим зварюванням демонструють високий рівень продуктивності та точності. Вони активно використовуються на виробничих лініях, таких як завод Gestamp у Бельфельді, де роботи залучені до виготовлення ступінчастих рам для автомобілів Volkswagen. Ці рішення забезпечують стабільність роботи та високий рівень автоматизації, що сприяє підвищенню ефективності та якості продукції. Роботи KUKA є прикладом інноваційного підходу до

автоматизації, що дозволяє оптимізувати виробничі процеси та відповідати високим стандартам сучасної промисловості.

Рисунок 4 – KR 10 R1100-2

KR 10 R1100-2 відноситься до типу промислового робота, виробленого KUKA Robotics. Він є частиною серії KR AGILUS і призначений для високошвидкісного транспортування та складання в промислових умовах. «10» у назві означає максимальну вантажопідйомність робота, яка становить 10 кг (22 фунти). Буква «R» у назві вказує на те, що це вертикально шарнірний робот, а «1100» вказує на максимальний радіус дії руки робота, який становить 1100 мм (43,3 дюйма). «-2» у назві означає, що це модель другого покоління робота KR 10 R1100. Робот оснащений передовими датчиками та програмним забезпеченням для точної та ефективної роботи, і його можна програмувати за допомогою різних мов програмування та інтерфейсів.

KR 10 R1100-2 відноситься до серії промислових роботів KR AGILUS, вироблених компанією KUKA Robotics. Ця модель робота призначена для використання в різних промислових

додатках, зокрема для високошвидкісного транспортування та складання.

Основні характеристики робота KR 10 R1100-2 включають:

Вантажопідйомність: Робот може піднімати вантажі масою до 10 кг (22 фунти), що робить його придатним для різноманітних завдань, які вимагають обробки та переміщення вантажів середньої ваги.

Радіус дії: Рука робота має максимальний радіус дії 1100 мм (43,3 дюйма), що дозволяє йому працювати в обмеженому просторі та виконувати різні операції в зручних для виробництва місцях.

Висока швидкість: Робот має високу швидкість руху, що дозволяє виконувати завдання швидко та ефективно. Це особливо корисно для застосувань, де вимагається висока продуктивність і швидкість виконання операцій.

Висока точність: Робот оснащений передовими датчиками та системами контролю, що забезпечують високу точність рухів і позиціонування. Це дозволяє роботу виконувати прецизійні завдання з високою якістю.

Програмованість: Робот можна програмувати за допомогою різних мов програмування та інтерфейсів, що надає багато варіантів для його інтеграції в системи автоматизації та управління виробництвом.

Робот KR 10 R1100-2 від KUKA Robotics є надійним, гнучким та продуктивним рішенням для промислових

застосувань, де потрібно здійснювати швидке транспортування, складання та маніпулювання вантажами. Його передові функції та програмованість дозволяють пристосувати його до різних виробничих потреб і покращити ефективність виробничих процесів.

Рисунок 5 – KR 6 R900-2

KR 6 R900-2 — ще один тип промислового робота від KUKA Robotics, що належить до серії KR AGILUS. Цифра «6» у назві означає, що максимальна вантажопідйомність робота становить 6 кг (13,2 фунта). Буква «R» вказує на те, що це вертикально шарнірний робот, а «900» вказує на максимальний радіус дії руки робота, який становить 900 мм (35,4 дюйма).

Подібно до KR 10 R1100-2, «-2» у назві означає, що це модель другого покоління робота KR 6 R900. Цей робот призначений для складання дрібних деталей, обробки та пакування, а також має високу повторюваність і точність. Він також оснащений різними датчиками та програмним забезпеченням для забезпечення безпечної та ефективної роботи.

Як і інші роботи KUKA, його можна програмувати за допомогою різних мов програмування та інтерфейсів для задоволення конкретних промислових потреб.

Основні особливості KR 6 R900-2 включають:

Вантажопідйомність: Робот може піднімати вантажі вагою до 6 кг (13,2 фунта), що робить його ідеальним для обробки і складання дрібних деталей та компонентів.

Радіус дії: Рука робота має максимальний радіус дії 900 мм (35,4 дюйма), що дозволяє роботу маніпулювати об'єктами в обмеженому просторі.

Висока повторюваність та точність: Робот володіє високою повторюваністю рухів і точністю позиціонування, що дозволяє йому виконувати завдання з високою якістю і надійністю.

Забезпечення безпеки: Робот оснащений датчиками безпеки і програмним забезпеченням, що дозволяють забезпечити безпечну роботу в промислових умовах та уникнути колізій з людьми або оточуючими предметами.

Гнучкість програмування: Робот можна програмувати за допомогою різних мов програмування та інтерфейсів, що дозволяє легко налаштовувати його для виконання різноманітних завдань в залежності від потреб виробництва.

KR 6 R900-2 є надійним і продуктивним роботом, який забезпечує ефективну автоматизацію процесів складання, пакування та обробки в промислових умовах.

KR 6 R900-2 та попередній маніпулятор, як KR 10 R1100-2, мають свої унікальні характеристики та переваги, які можуть залежати від конкретних вимог і потреб виробництва. Ось деякі аспекти, в яких KR 6 R900-2 може бути кращим:

Вантажопідйомність: KR 6 R900-2 має максимальну вантажопідйомність 6 кг, що робить його більш підходящим для роботи з дрібними деталями і компонентами, в порівнянні з KR 10 R1100-2, який має максимальну вантажопідйомність 10 кг. Таким чином, якщо потрібен робот для менших вантажів, то KR 6 R900-2 може бути оптимальним вибором.

Радіус дії: KR 6 R900-2 має максимальний радіус дії 900 мм, що означає, що він може працювати в обмеженому просторі, де потрібен маніпулятор з компактними розмірами і невеликим радіусом дії. У порівнянні з цим, KR 10 R1100-2 має більший радіус дії 1100 мм, що може бути корисним для завдань, де потрібно досягти віддалених місць.

Висока повторюваність і точність: Обидва роботи, KR 6 R900-2 і KR 10 R1100-2, володіють високою повторюваністю і точністю рухів, але точні характеристики можуть відрізнятися в залежності від конкретної моделі та застосування. Важливо враховувати вимоги до точності та повторюваності при виборі маніпулятора для конкретного завдання.

Враховуючи всі вищезазначені фактори, вибір між KR 6 R900-2 та KR 10 R1100-2 залежить від конкретних потреб

виробництва, розміру та ваги об'єктів, які потрібно маніпулювати, а також від умов простору, в якому буде використовуватися робот.

1.2 Різновиди захватних пристроїв

Захватні пристрої є ключовими робочими органами мехатронних систем, призначеними для захоплення та утримання об’єктів виробництва або предметів. Відповідно пакувальне обладнання з програмованими роботами може включати різні типи захоплювачів: механічні, вакуумні, магнітні тощо.

Робочі елементи захватного пристрою безпосередньо контактують із предметами, забезпечуючи їх утримання. Наприклад, у магнітних утримувачах робочими елементами є частини магнітної системи, які забезпечують притягування предметів. У вакуумних системах утримання об’єктів здійснюється за рахунок створення розрідження: присоска притискається до поверхні об’єкта, перешкоджаючи потоку повітря.

У літературі для опису виконавчих елементів часто використовуються антропоморфні терміни, такі як «губка», «палець» або «цифра». Механічні тягові пристрої працюють за принципом утримання об’єкта в зоні контакту за рахунок реакції сили, ваги чи руху робочих органів двигуна.

Ці пристрої поділяються на:

Рукоятки та з'єднувальні пристрої, які затискають і утримують об'єкт під час його переміщення.

Допоміжні елементи — статичні утримувачі, що працюють під дією сили тяжіння.

До таких належать гаки, штирі, призматичні опорні елементи, колодки тощо.

Вакуумні захвати забезпечують утримання предметів за рахунок розрідження повітря, створюваного всередині присоски, що забезпечує щільний контакт із поверхнею об’єкта.

Магнітні захвати використовуються для утримання об'єктів із феромагнітних матеріалів. Робочі елементи магнітної системи забезпечують надійне притягування і утримання предметів навіть під час переміщення.

Захватні пристрої, такі як вакуумні та магнітні, широко застосовуються в мехатронних системах пакувальних ліній. Вони забезпечують високу ефективність роботи, дозволяють автоматизувати процеси захоплення, утримання й транспортування об’єктів, що сприяє підвищенню продуктивності виробництва та якості продукції.

Вакуумні захватні пристрої є ключовим елементом мехатронних систем пакувальних ліній. Вони утримують розріджене повітря в закритій порожнині робочого елемента (присоски), що забезпечує надійне захоплення продукції різної форми.

Вакуумні пристрої поділяються на два типи:

Активні вакуумні пристрої – генерують розрідження за допомогою вакуумного насоса або спеціальних відкачувальних механізмів.

Пасивні вакуумні пристрої – створюють розрідження в результаті деформації робочого органу, наприклад, за допомогою еластичних присосок.

Магнітні захватні пристрої використовуються для утримання металевих об'єктів під дією постійної магнітної сили. Вони є ефективними у застосуванні для роботи з об'єктами з феромагнітних матеріалів.

Сучасні пакувальні лінії вимагають від захватних пристроїв:

• надійного утримування предметів, незалежно від їхньої форми та ваги;

• запобігання падінню об’єктів під час переміщення;

• компактних розмірів і малої ваги для зниження навантаження на маніпулятор;

• стійкості конструкції та високої надійності з’єднань між захватним пристроєм і робочим органом робота-маніпулятора.

Тягові пристрої промислових роботів є функціональними елементами, призначеними для переміщення, захоплення та утримання продуктів або предметів під час роботи пакувальної лінії.

Відповідно захватні пристрої класифікуються за принципом дії:

• Механічні – для захоплення об’єктів за допомогою затискних механізмів.

• Вакуумні – для роботи з легкими або плоскими об'єктами, використовуючи розрідження повітря.

• Магнітні – для захоплення феромагнітних об’єктів.

• Комбіновані – які поєднують у собі декілька типів дії.

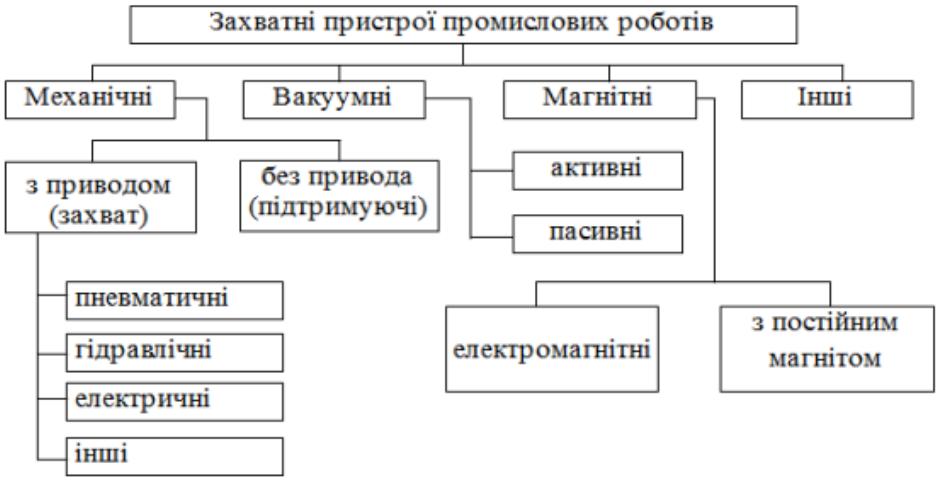


Рисунок 6 – Різновиди захватних пристроїв маніпулятора

Оптимізація захватних пристроїв дозволяє підвищити продуктивність та адаптивність мехатронної системи до роботи з різноманітною продукцією.

Використання сучасних засобів автоматизованого проектування, таких як SolidWorks, дозволяє створювати інноваційні конструкції, які відповідають високим вимогам сучасної автоматизації.

Вакуумні захватні пристрої є основними елементами автоматизованих пакувальних ліній, що утримують предмети за допомогою розрідження повітря в закритій порожнині робочого елемента (присоски).

Існують два основні типи вакуумних захватних пристроїв:

Активні вакуумні пристрої, де розрідження створюється примусово за допомогою вакуумного насоса або спеціального відкачувального механізму.

Пасивні вакуумні пристрої, у яких розрідження виникає внаслідок зміщення або деформації робочого елемента.

Рисунок 8 – Приклади вакуумних захватів

Магнітні захватні пристрої використовують магнітні сили, створювані постійними або електромагнітами, для надійного утримання предметів. Вони ефективні при роботі з феромагнітними матеріалами, особливо у виробництвах, де обробляються металеві компоненти.

Захватні пристрої поділяються за способом роботи на:

Ручні – вимагають участі оператора для виконання операцій із захоплення або заміни.

Автоматичні – працюють без участі людини, що забезпечує безперервність та швидкість роботи на пакувальних лініях.

Кріплення захватного пристрою до маніпулятора виконується через механічний інтерфейс, який є важливим елементом конструкції, що впливає на стабільність і точність роботи системи.

Основні технічні характеристики захватних пристроїв:

• Номінальна вантажопідйомність.

• Сила утримання.

• Максимально допустимі значення зусиль.

• Час утримання об’єкта.

• Маса та габаритні розміри пристрою.

• Різноманітність захватних пристроїв.

Сучасні захватні пристрої значно відрізняються за конструкцією, принципами дії та технічними характеристиками. Це ускладнює класифікацію виключно на основі ієрархічних принципів. Однак, в окремих класифікаційних групах можна виділити пристрої, що орієнтовані на виконання схожих завдань. Оптимізація вибору та використання захватних пристроїв є важливим завданням при розробці ефективної мехатронної системи для автоматизації пакувальних процесів.

Захватні пристрої відіграють ключову роль у роботі мехатронних систем, забезпечуючи надійне утримання та переміщення продукції. Залежно від конструктивних особливостей і принципу дії, вони поділяються на кілька типів. Ці пристрої мають різні форми робочих елементів, що взаємодіють із предметом за допомогою сили затиску.

Приклади:

Кліщові захвати – працюють за принципом затиску предмета між двома або більше поверхнями.

Камери з деформованими елементами – використовують гнучкі або пальцеві елементи, які деформуються під дією стисненого повітря чи рідини, що впорскується всередину.

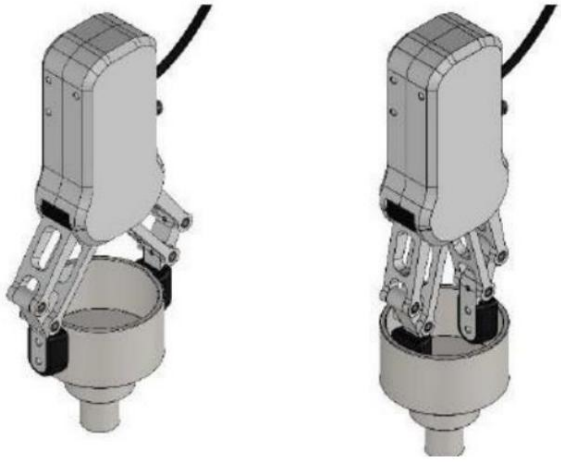


Рисунок 9 – Варіанти захватних пристроїв фірми Schmalz

Підтримуючі захватні пристрої призначені для утримання об'єктів знизу або за допомогою виступів, отворів чи інших елементів форми. Вони забезпечують мінімальне втручання у

робочий простір і не перешкоджають доступу до інших елементів системи.

До таких пристроїв належать:

• Гачки.

• Петлі.

• Ручки для захоплення та подачі предметів.

Ці захватні пристрої забезпечують додаткову підтримку і використовуються у випадках, коли об'єкт має нестандартну форму.

Притяжні захватні пристрої застосовують різні фізичні явища для утримання об'єктів. Основні варіанти:

• Вакуумні пристрої – створюють розрідження для утримання предмета.

• Магнітні пристрої – використовують магнітну силу для роботи з феромагнітними матеріалами.

• Електростатичні захвати – застосовують сили електростатичного притягання.

• Адгезійні пристрої – працюють за рахунок молекулярного прилипання.

• Захвати з клейовими накладками – тимчасово утримують об'єкт за допомогою спеціального клею.

Притяжні захватні пристрої особливо ефективні у роботі з гладкими, легкими або нестандартними за формою об'єктами. Їхнє впровадження дозволяє розширити функціональні можливості мехатронної системи, забезпечуючи високу точність і надійність

роботи на пакувальних лініях. Ці типи захватних пристроїв дозволяють адаптувати мехатронні системи до широкого спектра виробничих завдань, підвищуючи ефективність та універсальність пакувального обладнання.

Самозатискні захватні пристрої використовуються для надійного утримання об'єктів за рахунок конструктивних особливостей, які забезпечують автоматичне затискання предмета під впливом сил гравітації або зовнішнього навантаження. Вони характеризуються простотою конструкції, високою надійністю та економічністю.

Такий тип захвату поєднує у собі примусове затискання вантажу з ефектом самозатискання, що значно покращує надійність утримання. Ця конструкція має низький рівень механізації, але забезпечує стабільність процесу захоплення.

Самозатискний захват без передавального механізму Найпростіший тип цієї підгрупи представлений у вигляді вигнутого кулачка або силового корпусу, який забезпечує самостійне затискання предмета.

Напівавтоматичні варіанти – використовують затискну шайбу і стопорний механізм. У цьому випадку затискний елемент рухається по похилій напрямній та підвішується на тязі до важеля.

Важільна конструкція – важіль оснащений фіксатором, який забезпечує фіксацію затискного корпусу у відкритому положенні.

Примусове затискання вантажу забезпечує надійність захоплення, навіть у випадках нерівностей або нестандартних форм об'єкта.

Самозатискний ефект дозволяє зменшити навантаження на мехатронну систему, виключаючи потребу в додаткових приводах. Простота конструкції робить ці захвати економічно вигідними для використання в автоматизованих пакувальних лініях.

Переваги самозатискних захватів :

• Низька вартість виробництва та експлуатації.

• Простота конструкції з мінімальною кількістю рухомих елементів.

• Надійність у роботі навіть при високих навантаженнях.

• Можливість адаптації до об'єктів різної форми та розмірів.

Самозатискні захватні пристрої є важливими елементами у мехатронних системах пакувальних ліній завдяки своїй ефективності, універсальності та простоті інтеграції в автоматизовані процеси. Кривизна кулачка в самозатискних захватах дозволяє ефективно працювати з аркушами товщиною понад 50 мм, забезпечуючи стабільний кут затиску 10-15°. Це запобігає зсуву матеріалу та надмірному навантаженню, зберігаючи цілісність об’єкта.

Конструкція передбачає використання пружинного механізму, оснащеного важелем для створення початкової сили

тертя, що дозволяє стабільно утримувати об’єкт. Важіль підвіски може переміщатися у відкриті або закриті положення, спрощуючи управління захватним пристроєм. Пружинний механізм також виконує роль запірного елемента, що підвищує надійність конструкції.

Особливу увагу в цих пристроях приділено вирішенню проблеми розділення м’яких і плоских деталей, таких як аркуші або пластини. Для цього розроблено значну кількість варіантів захватних пристроїв, які базуються на різних принципах взаємодії між корпусом і об’єктом захоплення.

Взаємодія між захватним пристроєм та об’єктом стала ключовою ознакою класифікації таких конструкцій. Використання цих принципів дозволяє підвищити ефективність роботи пакувальних ліній, забезпечуючи надійне утримання, швидкість виконання операцій і мінімальне пошкодження матеріалів.

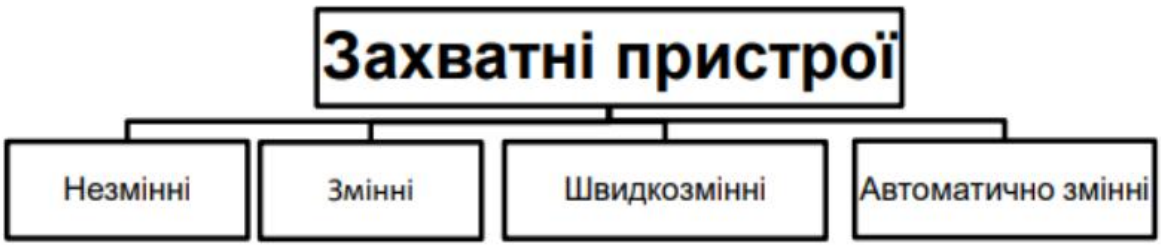


Рисунок 7 – Класифікація захватних пристроїв

Захватні пристрої можна класифікувати на кілька груп залежно від принципу їхньої дії та взаємодії з об’єктами.

До першої групи належать пристрої, які впливають на об'єкти за допомогою активних повітряних потоків або електростатичних зарядів. Цей підхід забезпечує безконтактний метод утримання, що підходить для роботи з легкими або чутливими матеріалами, зменшуючи ризик пошкоджень.

Друга група захватів поділяється на три підтипи залежно від методу взаємодії з об’єктами.

Перший підтип базується на фрикційній взаємодії між робочим органом і заготовкою, що забезпечує надійне утримання за рахунок сили тертя.

Другий підтип використовує невеликі отвори в корпусі захватного пристрою, які активуються під впливом діючої речовини, наприклад, повітря або рідини, забезпечуючи стабільність захоплення.

Третій підтип використовує передові матеріали, здатні взаємодіяти з компонентами на молекулярному рівні завдяки силам Ван-дер-Ваальса. Цей підхід забезпечує високий рівень точності та ефективності роботи з різними об'єктами.

Додатково, ці групи можуть бути розділені на інструменти, що викликають незворотні зміни в об'єктах. Наприклад, матеріали першої групи можуть змінювати площу поверхні об’єкта, тоді як пристрої другої групи здатні викликати зміни товщини матеріалу. Система управління обладнанням першої групи може впливати на компоненти, які містять прикріплений матеріал, забезпечуючи інтеграцію з іншими частинами механізму. Такі рішення

дозволяють створювати ефективні, адаптивні захватні системи, що відповідають вимогам сучасних пакувальних ліній.

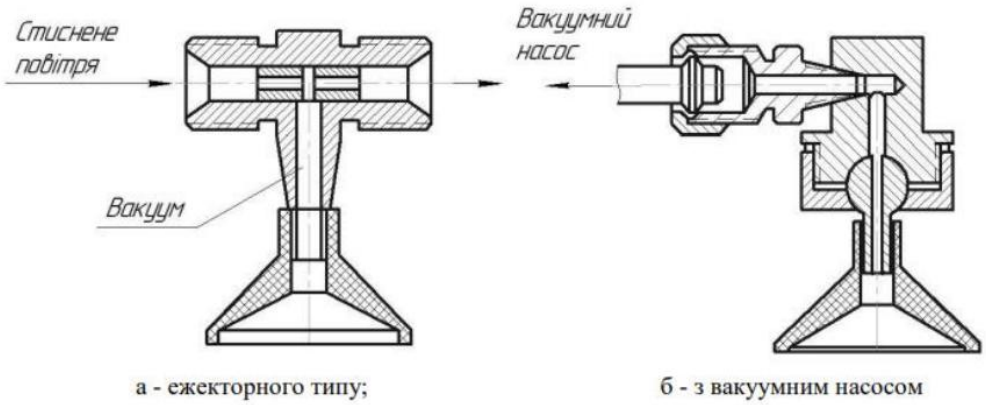


Рисунок 10 – Пристрій для створення вакууму

Ежектори — це прості та ефективні пристрої для створення вакууму, які широко використовуються у промислових системах. Вони забезпечують розрідження повітря за рахунок енергії стисненого повітря, що надходить із заводської пневматичної мережі.

Основною перевагою ежекторів є відсутність потреби в окремому насосному агрегаті, що значно спрощує конструкцію системи та зменшує витрати на її обслуговування. Конструкція ежектора зазвичай включає корпус, у якому проходить повітряний потік, створюючи зону низького тиску.

Однією з популярних моделей є конструкція, де основа екстрактора виготовлена з матеріалу, до якого прикріплена пробка з невеликим отвором. Такий підхід дозволяє ефективно генерувати вакуум навіть у компактних системах.

Ежектори широко застосовуються в пакувальних лініях завдяки їхній простоті, надійності та економічності. Вони ідеально підходять для використання у вакуумних захватах роботизованих маніпуляторів, забезпечуючи швидку і точну роботу без значних витрат на енергію чи складне технічне обслуговування.

1.3 Аналіз існуючих конструкцій пневматичних захватів

За типом розкриття пневматичні захвати можуть бути:

• кутові (важільного) із синхронним розкриттям під потрібними кутами;

• паралельні (дво- або триточкові пневматичні захвати) - губки яких здійснюють лінійне переміщення по напрямній;

• радіальні – кут захвату до 180°;

• поворотно-затискні – комбінація неповноповоротного приводу та захоплення.

• центричні – з клиновим механізмом.

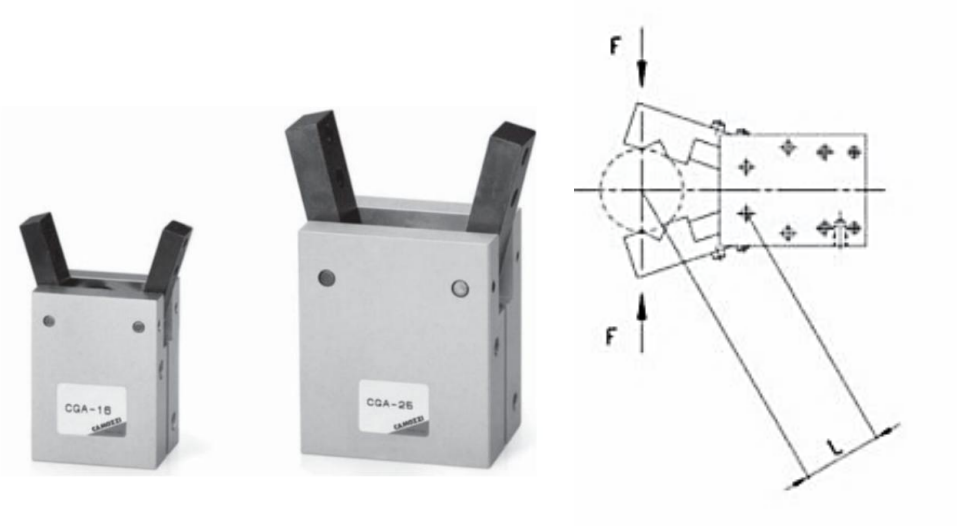


Рисунок 11 – Пневматичний захват важільного типу розкриття фірми «AirCrafter» модель серії CGA.

Таблиця 1. Технічні характеристики пневматичного захвату важільного типу розкриття

Діаметр (мм)	Ø 10, 16, 20, 25, 32 мм
Ресурс	5 000 000 циклів без навантаження
Тип дії	Подвійної дії, кутовий
Робоча температура	от 0°C до 80°C
Робочий тиск	1,5 – 7 бар
Max. робоча частота	180 циклів/хв
Мастило	Важільного механізму (потрібна мастило всіх рухомих частин)

Максимальна довжина до точки захвату L (см)	3,0; 4,0; 6,0, 7,0; 8,5
Вага	Ø 10 = 40 гр. Ø 16 = 100 гр. Ø 20 = 200 гр. Ø 25 = 330 гр. Ø 32 = 540 гр.
Кут відкриття/ закриття	-10° - +30°
Визначення положення	*Магніт на поршні для функціонування магнітних датчиків положення*
Середовище	Стиснене повітря зі ступенем фільтрації не менше 40 мікрон, з розпиленням олії або без олії. При швидкості вище 1 м/с рекомендується мастило. Якщо вже використовується маслорозпилення, то подачу масла припиняти не можна.

Перевагами пневматичних захватів моделі CGA важільного типу є наявність 5 типорозмірів. Кут розкриття губок лежить у межах між -10° та + 30°. Поршень оснащений постійним магнітом, що дає змогу використовувати датчики положення моделей CSB.

Датчики положення можуть бути вставлені у спеціальні U-подібні канавки на корпусі пневмозахвату. По їх спрацьовування можна визначати розкриття та закриття губок.

Мають високий утримуючий момент. Високий рівень захисту від забруднень.

Рисунок 12 – Пневматичний захват паралельного типу розкриття фірми «AirCrafter» модель серії CGP.

Таблиця 2. Технічні характеристики пневматичного захвату паралельного типу розкриття.

Діаметр	Ø 10, 16, 20, 25, 32 мм
Ресурс	20 000 000 без навантаження
Тип дії	Подвійної дії, паралельного типу
Робоча температура	0°C ÷ 80°C
Робочий тиск	1,5 - 7 бар
Max. робоча частота	180 циклів/хв

Мастило	Важільного механізму (потрібна мастило всіх рухомих частин)
Максимальна довжина до точки захвату L	3.0 см, 4.0 см, 6.0 см, 7.0 см, 8.5 см при тиску 5 бар
Вага	Ø 10 = 50 гр; Ø 16 = 140 гр; Ø 20 = 250 гр; Ø 25 = 410 гр; Ø 32 = 680 гр.
Хід трубок захвату	Ø 10 = 4мм; Ø 16 = 8мм; Ø 20 = 12мм; Ø 25 = 14мм; Ø 32 = 16мм При давлении 5 бар и длине точки захвата 30 мм
Середовище	Стиснене повітря зі ступенем фільтрації не менше 40 мікрон, з розпиленням олії або без олії. При швидкості вище 1 м/с рекомендується мастило. Якщо вже використовується маслорозпилення, то подачу олії припиняти не можна

Переваги: підходять для використання в обмеженому просторі. Забезпечують великі зусилля затискання та утримання. Представлені в стандартному варіанті ходу губок, а також притискання до нерухомої губки, можуть мати подовжений хід губок;

Пневматичні захвати моделі CGP мають 5 типорозмірів. Рух затиску забезпечується прямим перебігом поршня, що збільшує зусилля захоплення.

Пневмозахват оснащений підшипниками ковзання, що підвищує термін його служби.

Магнітні датчики положення можуть бути вставлені у спеціальні U-подібні канавки на корпусі пневмозахвату. По їх спрацьовування можна судити про розкриття та закриття губок.

Схоплення моделі CGP має монтажні отвори в трьох його сторонах, що полегшує його кріплення.

Для полегшення установки захват може бути оснащений додатковими адаптерами мод. C-CGP, і L-CGP.

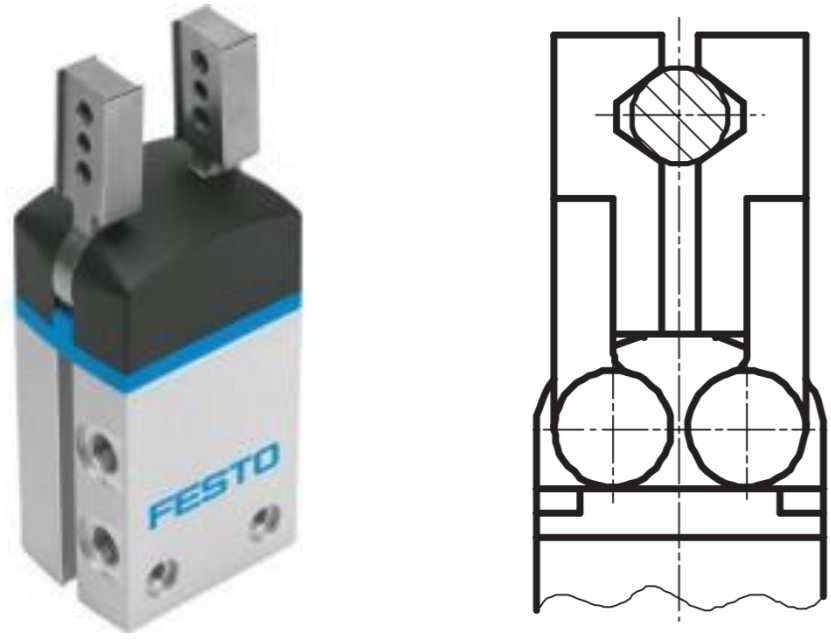


Рисунок 13 – Пневматичний захват радіального типу розкриття фірми «FESTO» модель DHRS-16-A-NC .

Таблиця 3. Технічні характеристики пневматичного захвату радіального типу захвату

Діаметр	Ø 10, 16, 25, 32, 40 мм
Тип дії	Подвійної дії, радіального типу
Робоча температура	+5 ... +60
Робочий тиск	2 – 8 бар
Max. робоча частота	4 Гц
Конструкція	Рейка-шестерня
Число губок захвату	2
Кут розкриття	180°
Точність повторення	≤ 0,1 мм
Тип монтажу	Через внутрішню різьбу і центруючий отвір
Середовище	Стиснене повітря зі ступенем фільтрації не менше 40 мікрон, з розпиленням олії або без олії.

Переваги: поршневий привід двосторонньої дії, самоцентруючі, дії захоплення на вибір: зовнішнє/внутрішнє

захоплення, широкий діапазон опцій монтажу на приводах, внутрішнє управління витратами, постійне захоплення з усіх кутів.

Датчики:

- Датчики положення, що адаптуються на малих стандартних захватах
- Вбудовані датчики положення для середніх та великих стандартних захватів

Різноманітні застосування завдяки зовнішнім пальцям захоплення, що адаптуються.

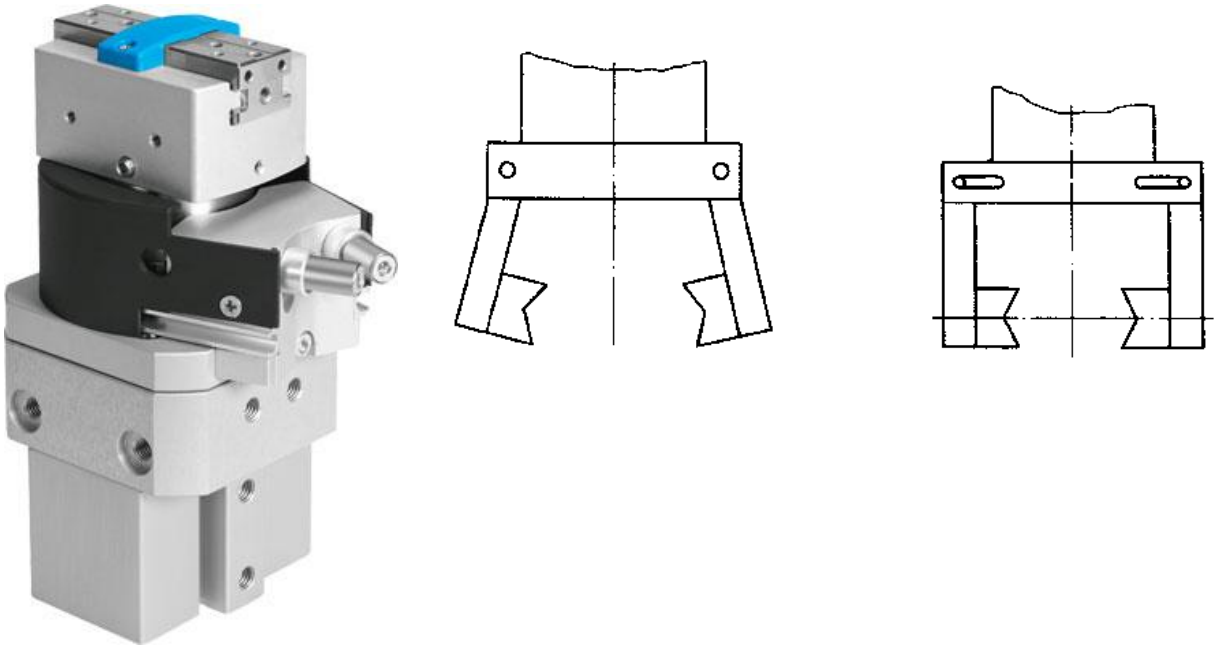


Рисунок 14 – Пневматичний захват поворотно-зажимного типу розкриття фірми «FESTO» модель HGDS-PP-16-P-A-B.

Таблиця 4. Технічні характеристики пневматичного захвату поворотно-зажимного типу розкриття.

Діаметр	Ø 12, 16, 20 мм
Тип дії	Подвійної дії, поворотно-зажимного типу
Робоча температура	+5 ... +60
Робочий тиск	3 – 8 бар
Вага	730 грам
Конструкція	Поворотний привід з паралельним захопленням та його приводом
Число губок захвату	2
Хід кожної губки захвату	4,5 мм
Матеріал губок захвату	Легована сталь, нержавіюча
Тип монтажу	Внутрішнє різьблення та центруюча втулка. З наскрізним отвором і центрувальною втулкою. З пазом типу "ластівчин хвіст". Опція.

Середовище	Стиснене повітря зі ступенем фільтрації не менше 40 мікрон, з розпиленням олії або без олії.

Переваги:

- Комбінація паралельного захоплення з Т-подібною напрямною та поворотним модулем на основі поворотного модуля DSM;
- Плавне регулювання кута повороту (макс. 210°);
- Порти подачі та датчик положення за межами діапазону повороту;
- Висока продуктивність (крутний момент, момент інерції маси);
- Усі з'єднання доступні з одного боку;
- Компактний дизайн та невелика вага.

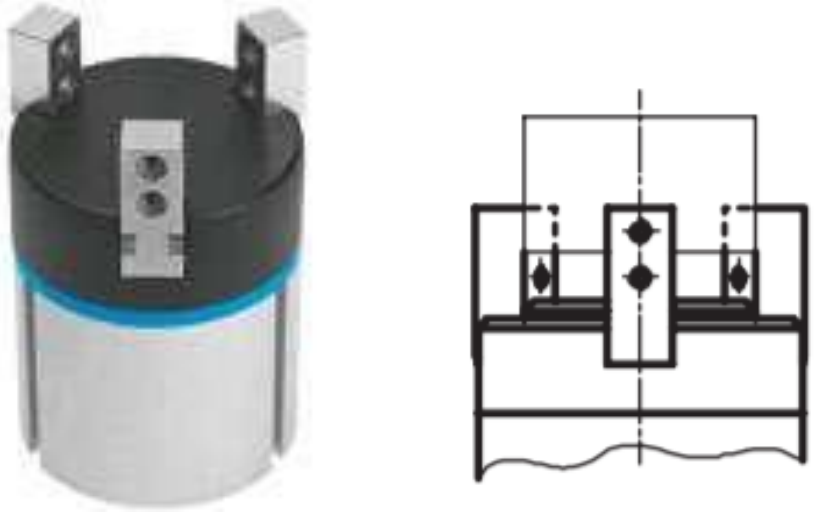


Рисунок 15 – Пневматичний захват центричного типу розкриття фірми «FESTO» модель DHDS-16-A-NC.

Таблиця 5. Технічні характеристики пневматичного захвату центричного типу розкриття.

Діаметр	Ø 16, 32, 50 мм
Тип дії	Подвійної дії, 3-точкового типу
Робоча температура	+5 ... +60
Робочий тиск	4 – 8 бар
Вага	730 грам
Конструкція	Поворотний привід з паралельним захопленням та його приводом
Число губок захвату	3
Хід кожної губки захвату	2,5…6 мм
Матеріал губок захвату	Легована сталь, нержавіюча
Тип конструкції	Важіль Послідовність переміщення по напрямній
Тип кріплення	З внутрішнім різьбленням та шпонкою
Середовище	Стиснене повітря зі ступенем фільтрації не менше 40 мікрон, з розпиленням олії або без олії.

Переваги:

- Недороге стандартне захоплення з великим зусиллям затискання для більшості застосувань;
- Зусилля: 29...280 Н на губку захвату;
- Опитування положення;
- Може бути односторонньої та двосторонньої дії.

У стандартному варіанті трипальцеві захвати мають можливість зовнішнього та внутрішнього затискання як дрібних об'єктів, так і об'єктів масою до 100 кілограмів. Можливе встановлення датчиків положення.

Розділ 2
РОЗРАХУНКИ ЛІНІЇ, ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА МЕХАНІЗМІВ

2.1 Розрахунок параметрів роликового конвеєра для транспортування ящиків

Приводні роликові конвеєри здійснюють переміщення вантажів завдяки силі тертя, що виникає між опорною поверхнею вантажу та роликами. Оскільки транспортування відбувається з відносно високою швидкістю, для стабілізації положення об'єктів на трасі (особливо на криволінійних ділянках) передбачено встановлення напрямних та центруючих пристроїв.

У конструкції приводних роликових конвеєрів передача крутного моменту від електродвигуна до зірочок валів роликів реалізується за допомогою компактних ланцюгових передач.

1. Періодичність надходження ящиків на конвеєр:

$$t = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{20} = 180c$$

де z — продуктивність лінії,

z = 20 ящ/год (згідно з технічним завданням).

2. Визначення кроку розміщення вантажів. Приймемо дистанцію між сусідніми об'єктами рівною 1000 мм. Тоді крок розташування ящиків на стрічці складе:

$$l_B = 0.5 + 1 = 1.5$$

3. Швидкість транспортування:

$$\upsilon = \frac{z \cdot l_B}{3600} = \frac{20 \cdot 1.5}{3600} = 0.08 м/с$$

4. Кількість вантажів на робочій ділянці конвеєра:

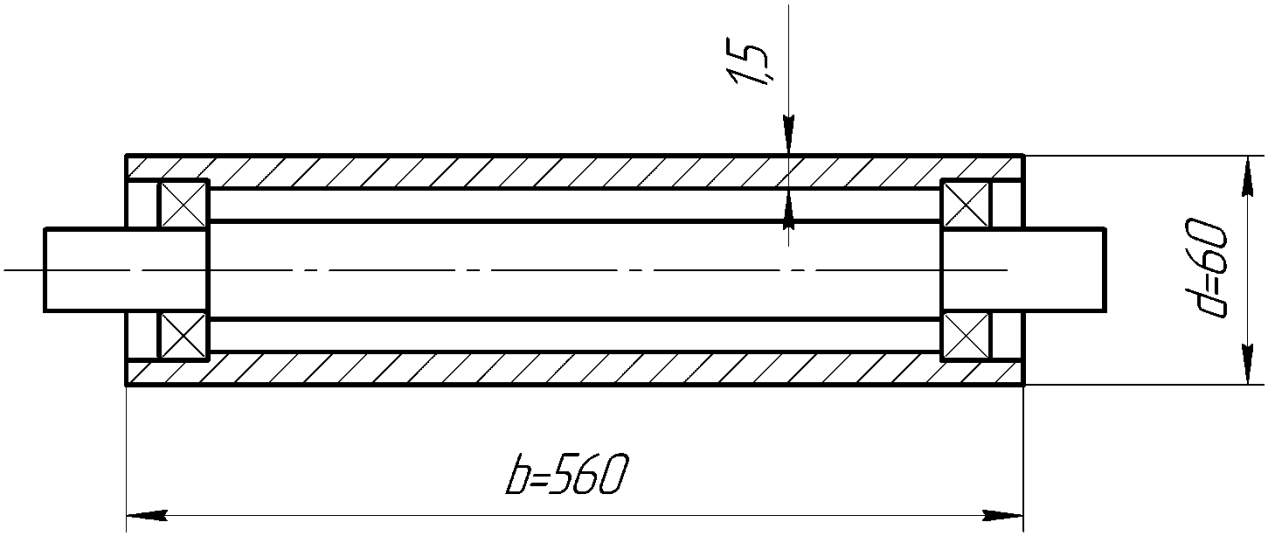
$$z_1 = \frac{L}{l} = \frac{5}{1} = 5 \, \text{шт}.$$

5. Геометричні параметри ролика :

діаметр ролика $D = 60мм$,

товщина стінки $\delta = 1{,}5мм$

довжина ролика $b = 560мм$



6. Крок роликів:

$$l_p = 0.4м$$

7. Загальна кількість роликів:

$$n = \frac{L}{l_p} = \frac{20}{0.4} = 50шт.$$

Маса одного ролика:

$$m_p = \rho_{сталі} \cdot V ,$$

де $\rho_{сталі}$ — питома густина сталі , ρ_c = 7810 кг

$$V = \pi \cdot d \cdot \delta \cdot L_p = 3.1415 \cdot 0.06 \cdot 0.0015 \cdot 0.56 = 1.58 \cdot 10^{-4} м^3$$

$$m_p = 7810 \cdot 1.58 \cdot 10^{-4} = 1,2кг$$

Вага обертових частин ролика:

$$G_p = m_p \cdot g = 1,2 \cdot 9.81 = 11.8H$$

8. Опір руху вантажу при усталеному режимі роботи:

$$W_{cm} = \left(zG + z_p \cdot G_p \right) \cdot \frac{fd + 2\mu}{D}$$

де: G — вага ящика; $G = m \cdot g = 20 \cdot 9.81 = 196H$

μ — коефіцієнт тертя кочення в підшипниках μ = 0,005;

f — коефіцієнт тертя кочення ящика по роликах f = 0,02;

d — діаметр цапфи ролика d =20 мм.

9. Необхідна потужність привода:

$$N_{дв} = \frac{W_{CT} \cdot \upsilon}{1000 \cdot \eta_{прив}} = \frac{306 \cdot 0.1}{1000 \cdot 0.85} = 0.4 кВт$$

де $\eta_{прив}$ - ККД привода

$$\eta_{прив} = \eta_{ред} \cdot \eta_{ланц.пер} \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{пп}$$

де $\eta_{ланц.пер}$ – ККД відкритої ланцюгової передачі

$\eta_{ланц.пер}$=0,95

$\eta_{ред}$ – ККД редуктора

$\eta_{ред}$=0,97

$\eta_{муфт}$ – ККД муфти

$\eta_{муфт}$=0,99

$\eta_{пп}$ – ККД пари підшипників

$\eta_{пп}$ =0,99

$\eta_{прив}$=0,95·0,97·0,99·0,99=0,85

10. Частота обертання роликів:

$$n_p = \frac{60 \times \upsilon}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 0.1}{3.1415 \cdot 0.06} = 31.8 \frac{об}{хв}$$

$$\omega_p = \frac{2\times\upsilon}{D} = \frac{2\cdot 0.1}{0.06} = 0.33c^{-1}$$

11. Вибір мотор-редуктора:

Обрано МОТОР-РЕДУКТОР 1МПз2-40 з такими характеристиками:

Номінальна частота обертання вихідного валу : **45 об/хв**;

Номінальний крутний момент : **235 Н·м**;

Маса : **39 кг**.

Комплектується електродвигуном типу : **4АХ71В6**

Потужність : **0.55 кВт**.

Передаточне число ланцюгової передачі:

$$u_{ланц.} = \frac{n_{м.-р.}}{n_p} = \frac{45}{31{,}8} = 1.5$$

12. Розрахунок часу запуску:

$$t_n = \frac{I_{пр}\times\omega}{M_{п.ср.} - M_{ст.м}},$$

де $M_{п.ср.} = 1{,}45\cdot 9550\cdot\frac{N}{n} = 1{,}45\cdot 9550\cdot\frac{0.52}{690} = 10.9$ Н·м

$$M_{ст.м.} = 9550 \cdot \frac{N_{дв} \cdot \eta_{ланц.}}{U \cdot n_{дв.}} = 9550 \cdot \frac{0.52 \cdot 0.95}{1.5 \cdot 690} = 4.25 \text{ Н·м}$$

$$I_{пр.} = \frac{m \cdot R^2}{U_{пр}^2 \cdot \eta_{ланц.}} + \delta \cdot I_р = \frac{1.2 \cdot 0.03^2}{1.5^2 \cdot 0.95} + 0.0015 \cdot 0.001 = 0.1353 кг \cdot м^2$$

$$t_n = \frac{0,1353 \times 48}{10,9 - 4,25} = 0,98 с$$

13. Динамічний опір руху ящиків під час пуску:

$$W_{пуск} = W_{ст} + \frac{m_р \upsilon}{t_n} + \frac{2\delta \cdot I_{пр} \cdot z_р \cdot \varepsilon_{дв}}{D \cdot U_{прив}};$$

$$\varepsilon_{дв} = \frac{M_{п.ср} - M_{ст.п}}{I_{пр}} = \frac{10,9 - 4,25}{0,1353} = 49,2 с^{-2}$$

$$W_{пуск} = 306 + \frac{1,2 \cdot 1,44}{0,98} + \frac{2 \cdot 0,0015 \cdot 0,1353 \cdot 50 \cdot 49,2}{0,06 \cdot 1,5} = 318 Н$$

14. Умова відсутності пробуксовки при запуску:

$$G\psi \geq W'_{пуск}$$

ψ – коефіцієнт зчеплення роликів з ящиками, ψ = 1,1

$W'_{пуск}$ – опір руху ящика при запуску

$$W'_{пуск} = W'_{ст} + \frac{m\upsilon}{t'_n} + \frac{2\delta \cdot I_{пр} \cdot z_р \cdot \varepsilon'_{дв}}{D \cdot U_{прив}};$$

$$W_{ст} = \left(G + z_р \cdot G_р\right) \cdot \frac{fd + 2\mu}{D} = (196 + 50 \cdot 11.8) \cdot \frac{0.02 \cdot 0.04 + 2 \cdot 0.05}{0.06} = 140Н$$

Розрахуємо час запуску конвеєра з одним ящиком :

$$t_n = \frac{I'_{пр} \times \omega}{M_{п.ср.} - M'_{ст.м}},$$

$$I'_{пр.} = \frac{m \cdot R^2}{U^2_{пр} \cdot \eta_{ланц.}} + \delta \cdot I_р = \frac{20 \cdot 0.03^2}{1.5^2 \cdot 0.95} + 0.0015 \cdot 0.001 = 0.0016кг \cdot м^2$$

$$M_{ст.м.} = 9550 \cdot \frac{N'_р}{n} = 9550 \cdot \frac{0,21}{690} = 2,63 \text{ Н·м}$$

$$N'_{дв} = \frac{W'_{СТ} \cdot \upsilon}{1000 \cdot \eta_{прив}} = \frac{140 \cdot 1.44}{1000 \cdot 0.95} = 0.21кВт$$

$$\varepsilon_{дв} = \frac{M_{п.ср} - M'_{ст.п}}{I'_{пр}} = \frac{10,9 - 2.63}{0,0016} = 51.68с^{-2}$$

Тоді $t_n = \frac{I'_{пр} \times \omega}{M_{п.ср.} - M'_{ст.м}} = \frac{0.0016 \times 48}{10.9 - 2.63} = 0.9с$

$$W'_{пуск} = 140 + \frac{20 \cdot 1.44}{0.9} + \frac{2 \cdot 0.0015 \cdot 0.0016 \cdot 50 \cdot 51.68}{0.06 \cdot 1.5} = 172.1Н$$

$$G\psi = 20 \cdot 9.81 \cdot 1.1 = 188.86 \geq W'_{пуск} = 172.1$$

Висновок: умова виконується, пробуксовування ящиків при запуску відсутнє.

2.2 Розрахунок ланцюгової передачі

Вихідні дані:

Номінальна потужність N_1 = 0.4 кВт;

Частота обертання n_1 = 45 об/хв;

Передаточне число u = 1,5.

1. Вибір типу ланцюга.

Обираємо приводний роликовий однорядний ланцюг (ГОСТ 13568-75). Крок ланцюга визначається за формулою:

$$t \geq 2.83\sqrt{\frac{T_1 \cdot K_E}{z_1 \cdot [p] \cdot m}}$$

де:

T_1 — крутний момент меншої зірочки на валу, Н·мм

z_1 — кількість зубців на меншій зірочці

[p] — питомий тиск на одиницю опорної поверхні шарніра, МПа

m — кількість рядів ланцюга

K_E — коефіцієнт монтажу та експлуатації ланцюгової передачі, який розраховується за формулою

$$K_E = k_Д \cdot k_a \cdot k_н \cdot k_p \cdot k_{см} \cdot k_n,$$

де $k_Д$ — динамічний коефіцієнт

k_a — коефіцієнт впливу міжосьової відстані

$k_н$ — коефіцієнт впливу нахилу ланцюга

k_p — коефіцієнт способу регулювання натягу ланцюга

$k_{см}$ — коефіцієнт способу змащення ланцюга

k_n — коефіцієнт періодичності роботи передачі

$$K_E = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.25 \cdot 1.4 \cdot 1 = 1.75$$

Нехай кількість зубців на меншій зірочці буде 15, тоді

$$z_2 = z_1 \cdot u = 15 \cdot 1.5 = 23$$

2. Нехай приблизно [p] = 20 МПа.

3. Визначення параметрів ланцюга.

$$t \geq 2.8\sqrt[3]{\frac{10.8 \cdot 10^3 \cdot 1.75}{27 \cdot 20 \cdot 1}} = 11.1$$

За розрахунком обираємо ланцюг із кроком t = 12.7 мм.

Проекція опорної поверхні шарніру $A_{on} = 39.6 мм^2$

Руйнівне навантаження: Q = 18.2 кН;

Погонна маса: q = 0.75 кг/м.

Розрахуємо сумарну кількість зубців

$$z_\Sigma = z_1 + z_2 = 15 + 23 = 48$$

Міжосьова відстань $a = 400$ мм

Поправка $\Delta = \frac{z_2 - z_1}{2\pi} = \frac{23 - 15}{2 \cdot 3.1415} = 1.27$

$$a_t = \frac{a}{t} = \frac{400}{12.7} = 31.4$$

$$L_t = 2a_t + 0.5z_\Sigma + \frac{\Delta^2}{a_t} = 2 \cdot 31.4 + 0.5 \cdot 48 + \frac{1.27^2}{12.7} = 86.9$$

Визначимо $L_t = 86$

4. Уточнимо міжосьову відстань :

$$a = 0.25t\left[L_t - 0.5z_\Sigma + \sqrt{\left(L_t - 0.5z_\Sigma\right)^2 - 8\Delta^2} \right] =$$

$$= 0.25 \cdot 12.7\left[86 - 0.5 \cdot 48 + \sqrt{\left(86 - 0.5 \cdot 48\right)^2 - 8 \cdot 1.27^2} \right] = 394мм$$

Натяжний пристрій повинен забезпечити зміну міжосьової відстані в межах :

$$\Delta_a = 394 \cdot 0{,}004 \approx 4мм$$

5. Розрахуємо діаметри ділильних кіл для зірочок :

$$d_{Д1} = \frac{t}{\sin\frac{180^o}{z_1}} = \frac{12.7}{\sin\frac{180^o}{15}} = 61мм$$

$$d_{Д2} = \frac{t}{\sin\frac{180^o}{z_2}} = \frac{12.7}{\sin\frac{180^o}{23}} = 93.3мм$$

6. Розрахуємо діаметри зовнішніх кіл для зірочок :

$$d_{e1} = t\left(ctg\frac{180}{z_1} + 0.70 \right) - 0.31d_1 = 12.7\left(ctg\frac{180}{15} + 0.70 \right) - 0.31 \cdot 8.51 = 80мм$$

$$d_{e2} = t\left(ctg\frac{180}{z_2} + 0.70 \right) - 0.31d_1 = 12.7\left(ctg\frac{180}{23} + 0.70 \right) - 0.31 \cdot 8.51 = 120мм$$

d_1 — діаметр ролика ланцюга, d_1 = 8.51 мм

7. Сили, які діють на ланцюг :

колова $F_t = \frac{N}{\upsilon} = \frac{0.52 \cdot 10^3}{1.44} = 360H,$

відцентрова $F_v = q\upsilon^2 = 0.75 \cdot 1.44^2 = 1.5H,$

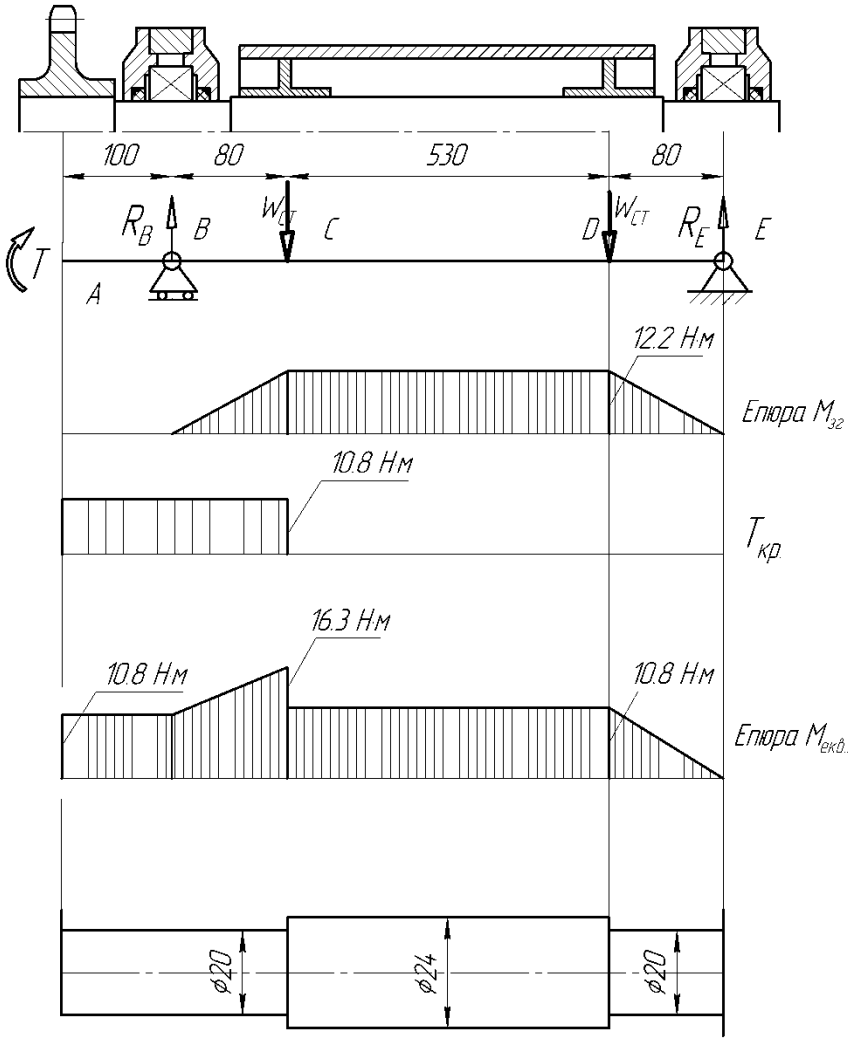
провисання ланцюга $F_f = 9.81 k_f qa = 9.81 \cdot 3 \cdot 0.75 \cdot 0.4 = 10H$,

де k_f — коефіцієнт розташування ланцюга

8. Розрахунок можливого зусилля на вали:

$F = F_t + 2 \cdot F_f = 360 + 2 \cdot 10 = 380$ Н

2.3 Проектний розрахунок для приводного вала



Оскільки ведена зірочка встановлена на підшипникових опорах, навантаження від ланцюгової передачі на вал ролика не передається безпосередньо.

Розрахуємо реакції опор :

$$\sum F = 0;$$

$$R_E = W_{cm} = \frac{306}{2} = 153H$$

Згинаючий момент в перерізі С :

$$M_C = R_E \cdot 80 = 153 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 12.2H \cdot м$$

Для побудови епюри еквівалентного моменту використаємо формулу :

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг}^2 + (\alpha \cdot T)^2}$$

α – коефіцієнт різниці характеристик циклів напруження згину і кручення

Нехай α = 1.

$$M_{екв}^{B\leftarrow} = \sqrt{12.2^2 + 10.8^2} = 16.3H \cdot м$$

$$M_{екв}^{C} = \sqrt{12.2^2 + 0^2} = 12.2H \cdot м$$

Визначимо розрахунковий діаметр в небезпечних перерізах, нехай матеріал валу – сталь 45 , $[\sigma_{-1}]$ = 60 МПа, тоді : $d_B = \sqrt[3]{\frac{\mathrm{M}_{екв}}{0{,}1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{16.3 \cdot 10^3}{0{,}1 \cdot 50}} = 14.8мм$

Встановимо діаметр валу під підшипниками

d = 20.0 мм

2.4 Розрахунки для вибору підшипників

Розрахунок виконується за динамічною вантажопідйомністю:

$$C_{розр} \leq C_{кат}$$

$$C_{розр} = P_{екв} \sqrt[p]{L},$$

де $P_{екв}$ – еквівалентне навантаження на підшипник,

$$P_{екв} = \left(XVF_{rB} + YF_{aB}\right) \cdot K_{Б} \cdot K_{T},$$

де $F_{rB} = R_E = 308H$,

F_{aB} – осьова сила, що діє на підшипник опори В, $F_{aB} = 0$,

X = 1,

Y = 0,

V – коефіцієнт обертання кільця, коли внутрішнє кільце обертається по відношенню до навантаження, то V = 1.

$К_б$ – коефіцієнт безпеки , $К_б$ = 1.2 ,

$К_Т$ – температурний коефіцієнт $К_Т$ = 1.0 ,

p – показник ступеня , для кулькових підшипників *p = 3*

L – довговічність підшипника ,

$$L = \frac{t_{екв} \cdot 60 \cdot n_2}{10^6} = \frac{12046 \cdot 60 \cdot 20}{10^6} = 14.4$$ млн. циклів

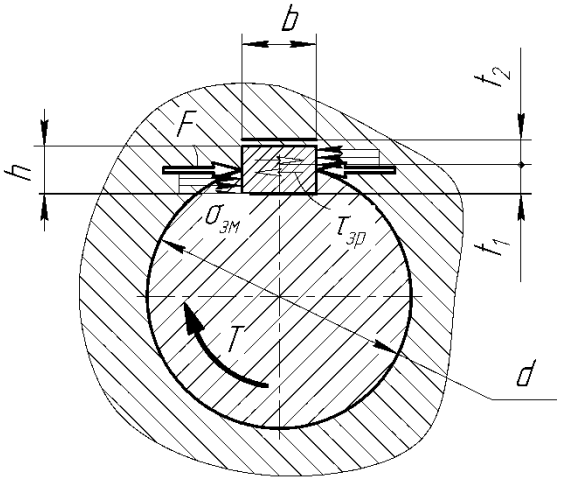
$$P_{екв} = \left(XVF_{rB} + YF_{aB}\right) \cdot K_Б \cdot K_T = \left(1 \cdot 1 \cdot 308 + 0 \cdot 0\right) \cdot 1.2 \cdot 1 = 370H$$

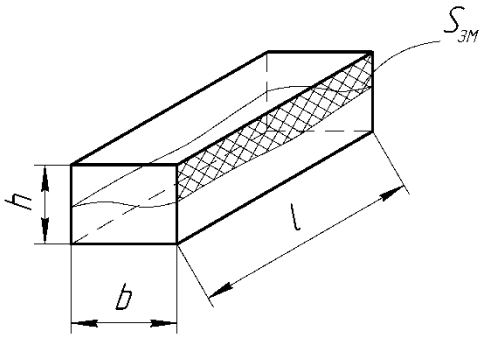
$$C_{розрВ} = P_{екв} \sqrt[p]{L} = 370\sqrt[3]{14.4} = 900H$$

Оберемо підшипник легкої серії 7000804 ,

для якого $C_{кат} = 1.74кН$

2.5 Перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання





Перевірка виконується за умовою міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{S_{зм}} \le \left[\sigma_{зм}\right]$$

$$F = \frac{2T}{d},$$

$$S_{зм} = l\left(h - t_1\right),$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{l(h - t_1) \cdot d} \leq [\sigma_{зм}]$$

Для шпонки 6×6×16 (ГОСТ 23360-78) та вала діаметром 20 мм розрахункові напруження не перевищують допустимих (150 МПа).

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 10.8 \cdot 10^3}{16 \cdot (6 - 3.5) \cdot 20} = 27 МПа$$

Умова міцності для напружень зрізу :

$$\tau_{зр} = \frac{F}{S_{зр}} \leq [\tau_{зр}]$$

$$\tau_{зр} = \frac{2T}{b \cdot l \cdot d} = \frac{2 \cdot 10.8 \cdot 10^3}{6 \cdot 16 \cdot 20} = 11.3 МПа$$

Отже шпонкове з'єднання забезпечує передачу крутного моменту та може витримати навантаження.

2.6 Розрахунок роликового конвеєра для подачі пакетів із цукром

Продуктивність та швидкість:

$$Z = 800 \ \frac{\text{пак}}{\text{год.}}$$

Враховуючи циклограму роботи обладнання та габарити вантажу, визначається необхідна швидкість стрічки

$$t = 2 \ c \ ; a = 300 \text{ мм}$$

$$v = \frac{a}{t} = \frac{0{,}3}{2} = 0{,}15 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Крок роликів:

Для надійного транспортування вантажу крок роликів обирається з умови, щоб пакет спирався мінімум на 3 ролики.

$$l_p = \frac{b}{3}$$

де b – ширина ящика, $b = 80мм$;

$$l_p = \frac{80}{3} = 26.6 \ мм;$$

Нехай крок між роликами $l_p = 30 \ мм$.

Вирахуємо кількість роликів конвеєра при довжині L= 5,0м:

$$z_1 = \frac{L}{l_p} = \frac{5.0}{0{,}1} = 50шт.$$

Розрахуємо необхідну потужність електродвигуна за формулою:

$$N_o = \frac{(z_o \cdot G \cdot \varpi' + z \cdot P \cdot \varpi_1')}{1000 \cdot \eta},$$

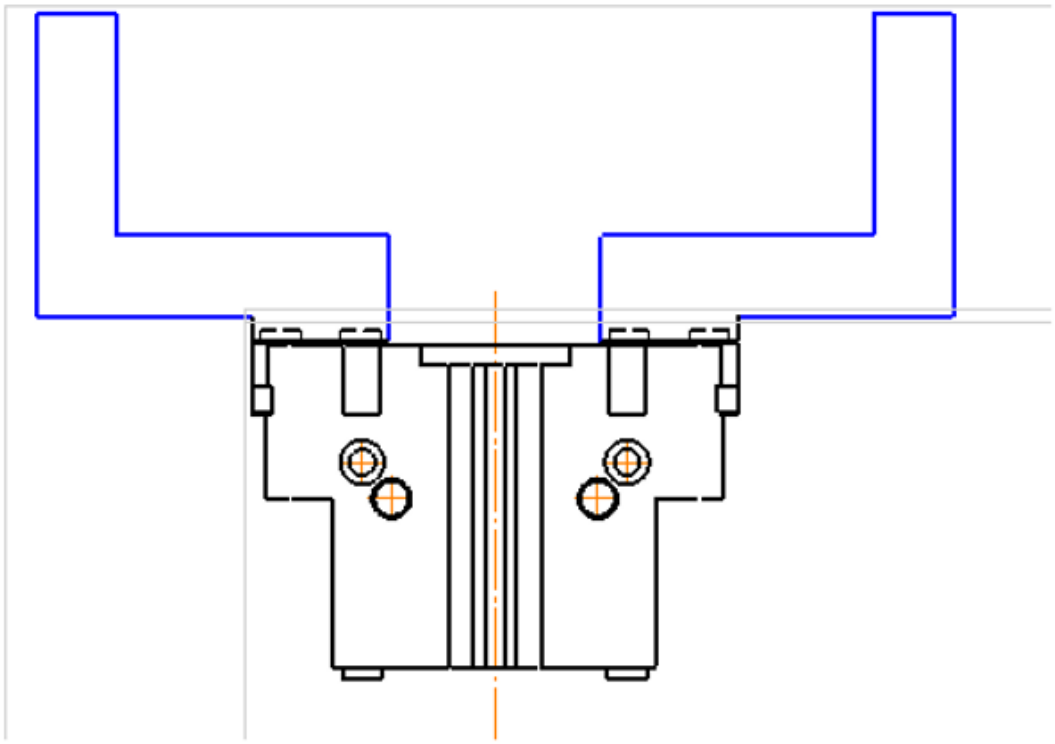
де, z_o - кількість вантажів на конвеєрі; в цьому випадку може бути максимум 5 вантажів, тому нехай Z_o =8;

G – вага пачки, при комплекті групи пакетів з 8 пакетів.

1 пакет = 1 кг.

$$G = \cdot 8 \cdot 1.0 \cdot 9{,}81 = 78.48 \ H;$$

2.7 Розрахунок пневматичного захоплювача (Пневмозахват)



Реакція на одну губку захвату визначається виходячи з ваги вантажу та коефіцієнта запасу : $R = mg \approx 10H$

1. Контактне зусилля:

Сила тертя між губкою та поверхнею пакета повинна забезпечувати надійне утримання:

При $\varphi_1 = \varphi_2 = 30^\circ$

$$N = N_1 = N_2 = R\frac{\sin 30^\circ - \mu\cos 30^\circ}{\sin 60^\circ - 2\mu\cos 60^\circ} = 4{,}18\text{H}$$

Необхідне зусилля привода: $G = 2R\cos\varphi - 2 \cdot 4{,}18\cos 30^\circ = 7{,}33\text{H}$

Розділ 3

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ

3.1 Концепція модернізації захоплювальних модулів

1. Підвищення адаптивності: Можливість роботи з об'єктами різної геометрії та матеріалу.

2. Зниження енергоспоживання: Оптимізація силових систем.

3. Покращення ергономіки: Зменшення маси та габаритів.

4. Підвищення надійності: Збільшення міжремонтного періоду.

5. Стандартизація інтерфейсів: Сумісність з різними моделями роботів KUKA.

Параметр	Поточне значення	Цільове значення
Частота змін об'єктів	5-10 хв	< 2 хв
Енергоспоживання	100-500 Вт	50-200 Вт
Маса модуля	15-40 кг	8-25 кг
Точність позиціонування	±0.5 мм	±0.1 мм
Швидкість спрацьовування	0.5-2 с	0.1-0.5 с
Ресурс роботи	5000 год	10000 год

Таблиця 3.2 Технічні вимоги до модернізованих захватів

3.2 Конструктивні рішення модернізованих захоплювальних модулів

Компоненти системи:

1. Базовий адаптер ISO 9409-1: Стандартизоване кріплення до фланця KUKA.

2. Система швидкого перемикання (Quick-Change):

- Механізм фіксації Bayonet-type
- Електричні конектори (24V, сигнальні)
- Пневматичні швидкоз'єми
- CAN-інтерфейс для комунікації

3. Модуль механічного захвату:

- 3 самоцентруючих пальця з сервоприводом
- Система компенсації паралельності
- Вбудовані тактильні датчики (FSR - Force Sensing Resistors)

4. Модуль вакуумного захвату:

- 4 незалежних вакуумних канали
- Гнучкі силіконові чашки зі змінною геометрією
- Ежекторна система з рекуперацією енергії

Алгоритм адаптації:

1. Фаза сканування: Визначення геометрії об'єкта

2. Фаза вибору стратегії: Оцінка ваги, матеріалу, критичних зон

3. Фаза захоплення: Комбінація механічного та вакуумного затиску

4. Фаза контролю: Моніторинг сили захоплення під час руху

3.5. Оптимізація функціональних характеристик

3.3 Оптимізація маси та жорсткості

Застосовані методи:

1. Топологічна оптимізація основних несучих елементів

2. Використання композитних матеріалів (карбон, дюралюміній)

3. Порожнисті конструкції з ребрами жорсткості

Результати оптимізації:

- Зменшення маси на 42%
- Підвищення жорсткості на 28%
- Зниження моменту інерції на 35%

3.4 Оптимізація енергоефективності

Реалізовані заходи:

1. Рекуперативна система вакуумного насоса:
   - Відновлення енергії при скиданні об'єкта
   - Ефективність рекуперації: до 30%
2. Інтелектуальне управління живленням:
   - Режим очікування зі споживанням < 5 Вт
   - Пульсуючий режим роботи сервоприводів

- Автоматичне відключення невикористовуваних модулів

Очікувана економія енергії: 45-60%

3.5 Система моніторингу та діагностики

Сенсорна конфігурація:

1. Тактильні датчики (8 од.)
   - Діапазон: 0-100 Н
   - Точність: ±0.5%
2. Датчики тиску (4 од.)
   - Діапазон: 0-100 кПа
3. Енкодери положення (3 од.)
   - Роздільна здатність: 0.01°

4. Датчики температури (3 од.)
   - Діапазон: -20...+80°C
   5. Вібродатчики (2 од.)
   - Частотний діапазон: 0-1000 Гц

3.6 Проектування системи безпеки

Багаторівнева система захисту :

Рівень 1: Апаратний захист

- Механічні обмежувачі ходу
- Датчики перевантаження
- Температурні реле

Рівень 2: Програмний захист

- Контроль сили захоплення
- Обмеження швидкості при аномаліях
- Аварійні траєкторії руху

Рівень 3: Системні інтерлоки
- Інтеграція з безпекою робота KUKA
- Сигналізація стану через KUKA.SafeOperation
- Автоматичне відключення при помилках

3.7 Економічне обґрунтування розробки

Розрахунок ефективності

Капітальні витрати:
- Розробка та виготовлення прототипу: 25 000 €
- Випробування та сертифікація: 5 000 €
- Інструмент та оснастка: 8 000 €

Експлуатаційна економія на один захват:
- Енергозбереження: 1500 €/рік
- Зниження витрат на обслуговування: 800 €/рік
- Зменшення простоїв: 2500 €/рік
- Підвищення продуктивності: 4000 €/рік

Загальна річна економія: 8800 €/рік на один захват

Термін окупності:

$T = (25\,000 + 5\,000 + 8\,000) / 8\,800 = 4.3$ роки

Розділ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Регламент технічного обслуговування

Робота пневмоприводів залежить від якості стисненого повітря, воно визначається за рахунок стану системи підготовки повітря, внутрішньої поверхні труб та інших компонентів системи. Для підвищення ступеня надійності роботи пневматичних пристроїв важливо запобігти контамінації повітря перед подачею до споживачів, що досягається регулярним технічним обслуговуванням. Воно включає в себе видалення конденсату, очищення обладнання та перевірка стану фільтрів.

В системах з ручним керуванням очищення стисненого повітря потребує особливої уваги, якщо у ємності для збирання конденсату відсутній візуальний контроль. У подібних випадках необхідно регулярно робити злив конденсату згідно встановленому графіку або згідно експериментальних даних.

В автоматичних системах зливу процес має бути організований так, щоб зменшити ризик забруднення навколишнього середовища. У разі несправності відводу конденсату його потрібно розібрати, ретельно очистити робочі канали й дренажні отвори, промити, висушити та повернути на місце всі фільтри.

Для очищення бака рекомендується застосовувати теплу воду із спеціальним миючим засобом, який ефективно видаляє залишки забруднень. При експлуатації фільтрів їх пори поступово

забиваються, що збільшує опір потоку стисненого повітря. При перепаді тиску на фільтрі 0,1 МПа, це буде сигналізувати про необхідність заміни фільтра або його очищення для відновлення його пропускної здатності. Ефективність роботи фільтрів залежить від діапазону витрат стисненого повітря, який вказаний в технічній документації. Недотримання діапазону призведе до зниження продуктивності системи або її виходу з ладу. Регулярне обслуговування та контроль системи очищення стисненого повітря є ключовими факторами для забезпечення надійної та безперебійної роботи пневмоприводів.

4.2 Виправлення несправностей у роботизованих системах

Ключовою умовою для забезпечення надійності роботи пневматичних пристроїв є дотримання вимог до змащування поверхонь тертя. Ефективність роботи пневматичних дисків залежить від своєчасного використання мастильних матеріалів та контролю їх якості.

Стабільність подачі мастила в масляний розпилювач визначається в'язкістю використовуваного масла, яка є залежною від температури навколишнього середовища. Коли температура дуже змінюється в робочому діапазоні пневматичного обладнання або температура стисненого повітря нестабільна, потрібно врегулювати масляний спринклер або змінити мастило на інше.

Тип мастила, кількість і частота застосування визначаються технічною документацією на конкретну модель пневматики.

Стан трубопроводів системи стисненого повітря перевіряється відкриттям контрольних секцій. При необхідності проводиться очищення трубопроводів за допомогою промивання водою, продування стисненим повітрям або застосування хімічних засобів. Якість очищення оцінюється візуально або за чистотою повітря чи води, що виходить. Ці методи очищення застосовуються в основному для металевих труб. При обслуговуванні гнучких пластикових труб слід уникати перегинів, шо можуть порушити їхню цілісність. Особливо важливо, щоб труби, які з'єднані з рухомими частинами машини, не торкалися нерухомих елементів. При виявленні пошкоджень еластичного шлангу необхідно його замінити.

Своєчасне обслуговування систем, їх змащення та очищення є необхідною умовою для забезпечення стабільної роботи обладнання, продовження терміну експлуатації.

4.3 Забезпечення стабільності роботи вакуумної систем

Технічне обслуговування пневматичного обладнання та двигунів полягає у забезпеченні підготовки стисненого повітря і регулярному контролі стану системи. Важливою є перевірка системи розподілення, прохідності трубопроводів і відсутність засмічення. Цей контроль може здійснюватися ручними методами і за допомогою механічного обладнання. Особливу увагу

приділяють стану з'єднань труб, герметичності та якості затягування. Герметичність трубних з'єднань та цілісність ущільнювальних елементів перевіряються шляхом огляду, прослуховування або за допомогою спеціальних пристроїв для виявлення течі. При виявленні проблем проводиться заміна ущільнень, з'єднань або пошкоджених ділянок трубопроводу. Відсутність герметичності призводить до збільшення непродуктивних витрат стисненого повітря, та знижує ефективність роботи обладнання і системи. В розподільчих елементах важлива перевірка стану болтів, що забезпечують фіксацію з'єднань та відповідність параметрів з'єднань згідно до технічних вимог. Відхилення від значень вказаних в технічній документації свідчить про зношення деталей чи необхідність налаштування системи.

Технічне обслуговування пневматичного обладнання є важливим елементом забезпечення його довговічності, безпеки експлуатації та якості роботи. Хоча суворих нормативів для обслуговування пневматичних систем не існує, рекомендується дотримуватися чітко визначеного порядку проведення щоденних і періодичних перевірок.

Перевірки включають:

- Контроль кількості конденсату у відводі води фільтра та рівня масла в масляному розпилювачі.
- Оцінку стану системи та її компонентів, зокрема перевірку функціонування виконавчих механізмів, визначення

швидкості їх роботи за допомогою індикаторів чи інших приладів.

- Аналіз загального стану системи, включаючи:
  - перевірку рівня шуму витяжного повітря;
  - виявлення ударів або інших аномальних звуків, які можуть свідчити про зношення чи несправності.

Регулярний і систематичний підхід до технічного обслуговування пневматичного обладнання дозволяє своєчасно виявляти можливі проблеми, знижувати ризик аварійних ситуацій і сприяє безперебійній роботі системи. Це особливо важливо для підприємств, де ефективність виробничих процесів безпосередньо залежить від стабільної роботи пневматичних механізмів.

Результати щоденних перевірок мають фіксуватися в протоколі, який містить інформацію про виявлені відхилення та запропоновані заходи для їх усунення. Ці дані передаються відповідним службам і використовуються для планування подальших перевірок, підготовки запасних частин і інших робіт. Періодичний огляд здійснюється кожні 3, 6 або 12 місяців залежно від типу обладнання, його експлуатаційних характеристик і умов роботи.

Під час планових перевірок виконуються такі завдання:

- Перевірка роботи повітряних двигунів та інших пристроїв.
- Оцінка наявності витоків у системі.
- Перевірка роботи електричних ліній у пневматичних пристроях з електронним керуванням.

- Аналіз ступеня забруднення фільтрів і, за потреби, їх очищення або заміна.
- Перевірка надійності різьбових з’єднань і загального стану кріплень.

На основі результатів щоденних і періодичних перевірок проводиться аналіз першопричин несправностей, а також планування простоїв обладнання для профілактики. Зібрані дані допомагають виявити зношені деталі, визначити терміни заміни компонентів і розробити заходи для підвищення надійності пневматичних систем. Таким чином, правильно організоване технічне обслуговування пневматичного обладнання забезпечує його ефективну експлуатацію, знижує ризик поломок і сприяє підвищенню загальної продуктивності виробничих процесів.

ВИСНОВОК

Роботи-маніпулятори є ключовими елементами пакувальних ліній. Вони класифікуються за кінематичними схемами, типами приводу, рівнем автоматизації та функціональним призначенням. Ця різноманітність дозволяє інтегрувати роботів у широке коло завдань, зокрема для забезпечення високої точності і швидкості процесу пакування. Захватні пристрої відіграють важливу роль у роботизованих системах, оскільки їх конструкція і принципи дії визначають ефективність виконання завдань маніпуляції з об’єктами. Важливим аспектом є забезпечення універсальності, адаптивності та надійності захватів для роботи з різними матеріалами. Визначено напрям подальших досліджень подальших досліджень - оптимізація конструкцій пневматичних захватів з використанням сучасних матеріалів та технологій для зменшення ваги і енергоспоживання, дослідження та пошук раціональних параметрів роботи захватних спрямованих на підвищення їх енергоефективності та розширення діапазону застосувань у вакуумних системах.

Запропонована концепція гібридного адаптивного захвату дозволяє значно підвищити універсальність робототехнічних систем KUKA. Конструктивні рішення забезпечують зниження маси на 42% та підвищення енергоефективності на 45-60% порівняно з аналогами. Система адаптивного контролю та предиктивної діагностики дозволяє прогнозувати технічний стан

та планувати профілактичне обслуговування. Економічне обґрунтування підтверджує доцільність розробки з терміном окупності 4.3 роки та значним потенціалом для комерціалізації.

Розробка відповідає тенденціям Industry 4.0 та сприяє підвищенню конкурентоспроможності промислових підприємств, що використовують робототехнічні системи KUKA.

У розділі охорони праці розглянуто питання забезпечення безпечної та ефективної експлуатації роботизованих систем у виробничому середовищі. Особливу увагу приділено регламенту технічного обслуговування, методам усунення несправностей і заходам для підтримки стабільної роботи вакуумних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Спірін, В. Г. Теорія маніпуляційних роботів : навч. посіб. / В. Г. Спірін. – Київ : НТУУ "КПІ", 2012. – 350 с.

Степаненко, О. С. Промислова робототехніка: основи автоматизації : підручник / О. С. Степаненко, О. М. Коляда. – Київ : Вид-во Ун-ту, 2015. – 412 с.

Спиридонов, О. В. Основи теорії маніпуляційних роботів : монографія / О. В. Спиридонов, Р. В. Ковальчук. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2019. – 290 с.

Коженков, В. Г. Основи проектування роботів та маніпуляторів : навч. посіб. / В. Г. Коженков, О. Л. Назаренко. – Харків : Вид-во ХАІ, 2008. – 310 с.

Городецький, В. І. Мехатронні системи: проектування та моделювання : монографія / В. І. Городецький. – Київ : Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2013. – 450 с.

Григоров, О. В. Теоретичні основи автоматизованого управління технологічними процесами : підручник / О. В. Григоров. – Одеса : ОНПУ, 2010. – 385 с.

Siciliano, B. Springer Handbook of Robotics / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin : Springer, 2016. – 2196 p.

Бойко, В. С. Оптимізація технологічних процесів пакування та дозування на базі роботизованих систем / В. С. Бойко, С. В. Прийма // Наукові праці НУХТ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 98–105.

Костенко, О. В. Кінематичний аналіз та синтез паралельних трикоординатних захоплювальних пристроїв / О. В. Костенко //

Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Машинобудування". – 2018. – № 3 (93). – С. 45–52.

Демченко, О. О. Моделювання та управління маніпуляційними системами в харчовій промисловості / О. О. Демченко, В. В. Калінін // Зб. наук. праць НУХТ. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 150–158.

Дорошенко, М. І. Сучасні тенденції впровадження біонічних захоплювачів у промислових роботах / М. І. Дорошенко // Наук. вісті КПІ. – 2021. – № 2 (110). – С. 88–95.

Пахомова, Т. Є. Динамічний аналіз захватного пристрою з паралельною кінематикою / Т. Є. Пахомова // Техн. механіка. – 2018. – № 2. – С. 60–67.

Мацюк, В. М. Синтез кінематичної схеми модульного робота для складних операцій / В. М. Мацюк, О. А. Костів // Вісн. НУ "Львів. політехніка". Серія "Механіка". – 2017. – № 870. – С. 34–41.

Кривенко, В. В. Аналіз використання адаптивних захоплювачів для сортування крихких харчових продуктів / В. В. Кривенко, Л. О. Шматко // Продовольчі ресурси. – 2020. – № 15. – С. 65–71.

Савчук, П. Г. Розробка інтелектуальної системи керування захоплювачем із сенсорним зворотним зв'язком / П. Г. Савчук, А. Р. Мельник // Автоматика. Автоматизація. Електричні комплекси та системи. – 2020. – № 1 (49). – С. 12–20.

Ковальчук, О. П. Підвищення ефективності роботи пакувальних автоматів на основі впровадження високошвидкісних роботів-маніпуляторів / О. П. Ковальчук, Р. В. Лисенко // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2022. – № 4 (62). – С. 25–32.

Кулик, В. І. Методологічні основи стандартизації робототехнічних комплексів в Україні / В. І. Кулик // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 1. – С. 48–53.

Романенко, В. М. Кінематичний аналіз робочих органів пакувальних машин з елементами робототехніки / В. М. Романенко, О. С. Супрун // Харч. пром-сть. – 2015. – № 21. – С. 45–50.

Поліщук, В. О. Оптимізація параметрів захвату м’яких об’єктів за допомогою пневматичних приводів / В. О. Поліщук, Р. В. Біляк // Проблеми тертя та зношування. – 2023. – № 1 (98). – С. 33–38.

Ткаченко, О. В. Розробка алгоритму машинного зору для визначення оптимальної точки захвату / О. В. Ткаченко, А. П. Риженко // Системи упр., навігації та зв'язку. – 2021. – № 6 (70). – С. 145–151.

Воронов, С. О. Аналіз та синтез сенсорних систем для адаптивних робототехнічних модулів / С. О. Воронов // Наук. вісн. Ужгор. ун-ту. Серія "Технічні науки". – 2014. – № 1 (34). – С. 183–187.

Петренко, Д. С. Модернізація конструкції паралельного захоплювача з урахуванням енергоефективності / Д. С. Петренко // Машинознавство. – 2016. – № 10 (214). – С. 11–16.

Черкас, В. І. Застосування методів штучного інтелекту для планування руху маніпулятора з захоплювачем / В. І. Черкас // Кібернетика та систем. аналіз. – 2019. – № 5. – С. 101–110.

Головащук, І. В. Оцінка надійності роботи захоплювальних пристроїв в умовах підвищеного зносу / І. В. Головащук, Р. А. Олійник // Надійність інструменту та оптимізація технол. систем. – 2023. – № 54. – С. 120–128.

Струтинський, В. М. Дослідження динамічних характеристик швидкодіючих дельта-роботів / В. М. Струтинський, П. Л. Ігнатенко // Проблеми автоматизації та електроприводу. – 2017. – № 1 (25). – С. 75–82.

Grasa, J. Optimization of underactuated robotic hands for improved grasping stability / J. Grasa, J. Cieslak // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2021. – Vol. 18, Iss. 4. – P. 1–12.

Biondi, E. Vision-based Grasping Strategy for Pick-and-Place Operations with Collaborative Robots / E. Biondi, A. M. Zanchettin // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Vol. 18, Iss. 1. – P. 608–617.

Xu, Z. Design and Performance Evaluation of a Vacuum-Based Soft Gripper for Irregular-Shaped Objects / Z. Xu, J. Liang, H. Zhang // Sensors. – 2023. – Vol. 23, Iss. 7. – P. 3456.

Levine, S. End-to-End Training of Deep Visuomotor Policies / S. Levine [et al.] // Journal of Machine Learning Research. – 2016. – Vol. 17. – P. 1–40.

Kim, S. Design of an Adaptive Multi-Fingered Gripper with a Novel Underactuated Mechanism / S. Kim, Y. Kim, J. Kim // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2019. – Vol. 24, Iss. 6. – P. 2701–2710.

Захоплювальний пристрій для маніпуляційного робота : пат. 123456 Україна, МПК B25J 15/00 / Іванов П. С. (Україна) ; заявник і патентовласник Іванов П. С. – Опубл. 15.01.2020, Бюл. № 1.

Модульна система захоплювачів з адаптивним управлінням : пат. 132456 Україна, МПК B25J 13/08 / ТОВ "РобоТехнології" (Україна) ; заявник і патентовласник ТОВ "РобоТехнології". – Опубл. 20.08.2021, Бюл. № 16.