

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи керування орієнтаційно-пакувальною
установкою

Виконав: студент

IV курсу, групи КТс-41

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Петров А.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Золотий Р.З.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Петрову Артему Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи керування орієнтаційно-пакувальною установкою

Керівник роботи Золотий роман Захарійович, к.т.н., доцент кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «17» травня 2024 року № 4/7-515

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо процесу орієнтації

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2024	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2024-24.05.2024	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2024-27.05.2024	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2024-29.05.2024	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2024-31.05.2024	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2024-11.06.2024	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2024-13.06.2024	Виконано
8.		14.06.2024-15.06.2024	Виконано
9.		16.06.2024-17.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2024-20.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Петров А.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Золотий Р.З.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ___ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ___ літературних джерел.

У роботі було проведено розробку автоматизованої системи для забезпечення пакувальних операцій. Було проведено опис самого процесу та напрямки автоматизації.

Далі було проаналізовано основні методи покращення ефективності роботи пакувальної системи. В подальшому було обрано обладнання для реалізації прототипу.

Прототип пакувального комплексу було розроблено на базі контролера PIC 16F877. За його допомогою реалізовано систем керування процесом пакування.

На основі розробленого прототипу було проведено аналіз роботи системи автоматизованого пакування

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ПАКУВАННЯ, ПІК, КЕРУВАННЯ, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	5
1.1 Основні аспекти автоматизації та розвитку автоматизованого виробництва	5
1.2 Міжнародні стратегії управління виробництвом	8
1.3 Системи керування процесами	10
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	17
2.1 Розробка прототипу пакувальної машини	17
2.2. Робочий цикл.....	20
2.3 Вибір компонентів системи	22
2.3 Конструювання та розрахунок елементів системи.....	29
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	46
3.1 Аналіз ефективності роботи системи пакування	46
3.2 Аналіз прогину.....	52
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
4.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління	54
4.2 Електробезпека	56
4.3 Розрахунок заземлення	59
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

ВСТУП

Автоматизація — це проектування, створення та впровадження автоматичних машин/систем, за допомогою яких процес або процедура виконується без допомоги людини. Основною мотивацією для автоматизованих рішень є характеристики систем автоматизації, що знижують вартість одиниці продукції через високі швидкості обробки, яких не може досягти людина.

Автоматизовані рішення включають кілька підсистем, які пов'язані з механікою, електрикою/електронікою та комп'ютерними технологіями, тому стратегії модульного та мехатронного проектування повинні бути спрямовані на інтеграцію цих компонентів.

Переваги, які зазвичай приписують автоматизації, включають вищі показники виробництва та підвищення продуктивності, більш ефективне використання матеріалів, кращу якість продукції, покращення безпеки, скорочений робочий тиждень для робочої сили та скорочений час виробництва. Вища продуктивність і підвищення продуктивності були двома основними причинами, які виправдовували використання автоматизації. Незважаючи на твердження про високу якість завдяки хорошій роботі людей, автоматизовані системи зазвичай виконують виробничий процес з меншою варіативністю, ніж люди, що забезпечує більший контроль і постійність якості продукції. Крім того, посилений контроль процесу сприяє більш ефективному використанню матеріалів, що призводить до зменшення браку.

Безпека працівників також є важливою причиною для автоматизації промислових операцій. Автоматизовані системи часто усувають працівників з робочого місця, таким чином захищаючи їх від небезпеки заводського середовища.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Основні аспекти автоматизації та розвитку автоматизованого виробництва

Перш ніж обговорювати роль праці у виробництві, доцільно було б коротко оглянути масштаби виробництва. Товари, вироблені для населення в цілому, виробляються у більших масштабах, ніж машини, які використовуються для їх виробництва. Автомобілі, велосипеди, персональні комп'ютери, телефони та побутова техніка виробляються в максимально можливому масштабі. Зазвичай вони виготовляються на спеціальних заводах, де гнучкість виробництва стосується ряду незначних варіацій. З іншого боку, верстати, преси, авіаційні двигуни, автобуси та військові транспортні засоби виготовляються невеликими серіями і протягом тривалого часу. Природно, не можна очікувати однорідної робочої сили, придатної для обох масштабів виробництва. У той час як очікується, що оператори в середовищі робочих цехів будуть багатоплановими ("гнучкими"), робоча сила в середовищі масового виробництва - це сукупність спеціалістів. Останній є прямим продуктом трудового профілю, який відстоював Ф. Тейлор на рубежі 20-го століття та вдосконалений на конвеєрах Форда.

В епоху, що передувала масовому виробництву наприкінці 1880-х років, виробничі компанії наголошували на «відрядній оплаті праці», щоб підвищити продуктивність, тоді як управління поверхами було залишено майстрам. Однак робітники не співпрацювали у підвищенні продуктивності, побоюючись можливого зниження відрядних оцінок. У відповідь на цю тупикову ситуацію Тейлор представив концепцію «наукового менеджменту» і заявив, що як продуктивність, так і зарплати (на основі відрядних ставок) можуть бути значно покращені. Основою претензії була оптимізація методів роботи шляхом детального вивчення процесу, а також ергономічних можливостей робітників (дехто простежує початок дисципліни промислового будівництва з цими дослідженнями). Тейлор виступав за розбиття процесів на найменші можливі одиниці, щоб визначити оптимальний спосіб (тобто мінімальний час) виконання

окремих завдань. Природно, спочатку впровадження залежало від бажання працівників спеціалізуватися на щоденному виконанні повторюваних завдань, які не вимагали особливих навичок, щоб отримати підвищену фінансову винагороду (дехто стверджує, що ці добре оплачувані робочі місця значно знижували мотивацію до отримання прибутку знання та навички в наступних поколіннях праці). Щоб скоротити втрачений час, Тейлор вимагав від компаній скоротити маршрути обробки матеріалів і точно визначати час доставки вузлів до наступного пункту призначення, що призвело до поглиблених досліджень маршрутів і планування, а також планів заводів. Незважаючи на значне підвищення продуктивності, ідеї Тейлора не могли бути втілені в майстернях, де робота передбачала використання складних процесів, які вимагали кваліфікованих машиністів для прийняття рішень щодо планування процесу. Відсутність математичного моделювання таких процесів, навіть сьогодні, є основним фактором цієї невдачі, обмежуючи ідеї наукового менеджменту Тейлора до простих завдань зі складання, які можна відміряти за допомогою секундоміра.

Результатом стали синхронні виробничі лінії, на яких оператори (які розглядалися як машини) виконували спеціалізовані завдання протягом своїх змін протягом місяців. Їх часто піддавали аналізу часу, щоб заощадити, іноді, лише кілька секунд. У більшому масштабі компанії екстраполювали цю спеціалізацію на рівень фабрик, де заводи були спроектовані для виробництва однієї моделі автомобіля, припинення виробництва якого часто призводило до економічного колапсу малих міст.

Продовженням парадигми Тейлора щодо мінімізації відходів через погане планування стала розробка техніки планування потреб у матеріалах (MRP) у 1960-х роках. MRP — це поетапне планування компонентів продукту на основі необхідного терміну доставки самого продукту. Точний опис матеріалів (BOM) є необхідністю для успішного впровадження MRP. Мета полягає в тому, щоб звести до мінімуму запаси в процесі за допомогою точного планування, що виконується на комп'ютерах. Виробництво за принципом «точно вчасно» (JIT), започатковане в Японії компанією Toyota Motor на початку 1970-х років і відоме

як система канбан або карткова система, вимагає від операторів розміщувати замовлення на більш ранню операцію, зазвичай передаючи картки. Як і в MRP, метою є мінімізація запасів шляхом затримки виробництва компонентів до останнього моменту. Незважаючи на те, що стратегії MRP і JIT часто протиставляються, їх можна розглядати як додаткові стратегії управління запасами. JIT підкреслює, що виробництво будь-якого компонента не повинно бути розпочато, доки не буде розміщено тверде замовлення — система витягування. MRP доповнює цю стратегію, відкладаючи початок виробництва цієї частини, щоб уникнути потенційних затримок у зв'язку з тривалими виробничими діями. MRP передбачає команду вилучення завчасно до її появи та ініціює початок виробництва для своєчасного завершення та своєчасного задоволення майбутнього попиту на продукт. Американські виробники, перш ніж зіткнутися з виробництвом JIT, очікували, що MRP магічним чином вирішить їхні складні проблеми планування на початку 1970-х років, вони швидко відмовилися від нього, не розуміючи його потенціалу. Незважаючи на те, що скромні переваги MRP були посилені розвитком планування виробничих ресурсів (також відомого як MRP II) у 1980-х роках, із запровадженням JIT у той самий період часу, багато керівників виробництва відмовилися від впровадження MRP II на користь JIT, щоб потім визнати, що обидва не були конкуруючими, а фактично доповнювали один одного способами управління запасами. Ключовим фактором у цьому було поширене, але хибне переконання, що MRP вимагає великосерійного виробництва через тривалі періоди часу, необхідні для переобладнання машин. Природно, швидко було помічено, що JIT не така проста техніка, як здавалося, але її дуже складно реалізувати. JIT прибув до США з Японії, де концепція однохвилинного обміну штампом (SMDE) дозволила виробникам мати невеликі партії та суміш продукції на одній лінії. SMDE у поєднанні з внутрішнім контролем якості була виграшною стратегією. Американським виробникам знадобилося майже десять років, щоб вирішити потрібний виклик JIT, SMDE та контролю якості. Сьогодні можна легко побачити природне місце JIT на виробничих підприємствах, де замовлення отримуються через Інтернет і передаються на виробництво в міру надходження.

ІТ усуває великі запаси в процесі (або навіть після виробництва) і дозволяє компаніям перекласти значну економію коштів на клієнтів. Однак із скороченням внутрішньовиробничих запасів завод повинен усунути всі потенційні проблеми у виробництві щодо поломок машин і якості продукції. Наприклад, компанія з виробництва автомобільних запчастин не є чимось незвичним працювати з запасами на півдня. Промислові споживачі очікують багаторазових щоденних поставок від своїх постачальників із потенційно серйозними штрафами, накладеними на затримки доставки.

1.2 Міжнародні стратегії управління виробництвом

У 20-му столітті розвивалися виробничі стратегії, характерні для певних континентів, країн і навіть окремих регіонів у федералістських країнах. Однак поточні багатонаціональні компанії повинні розробити виробничі стратегії, адаптовані до місцевих ринків, а також мати загальну бізнес-стратегію, щоб конкурувати на глобальному рівні. Перш ніж приступити до короткого огляду кількох ключових рушійних сил світової економіки, було б доречно визначити виробничу стратегію як план розробки, виробництва та продажу добре розробленого продукту з довгостроковим баченням. Конкурентні пріоритети в цьому контексті можна визначити як якість (найвищий рейтинг), обслуговування, вартість, доставка та різноманітність продукції. Таким чином, комплексна стратегія вимагала б розробки та виробництва кращого продукту (підтримуваного відмінною командою обслуговування), виробленого з нижчими витратами, ніж у конкурента, і доставленого вчасно .

Виробництво на базі ІТ

Перехід до економіки, що базується на ІТ, розпочався в 1970-х роках із швидким прогресом обчислювальної техніки та незмінним духом науковців, які вірять у вільне поширення знань. 1990-ті роки ознаменувалися появою Інтернету як комерційного транспортного засобу. Сьогодні висока конкуренція на ринках змушує виробничі підприємства об'єднуватися в мережі; вони повинні поставити клієнта в центр свого бізнесу, продовжуючи покращувати свої

відносини з постачальниками. Однак ця трансформація буде легкою лише для компаній, які протягом останніх двох десятиліть намагалися досягти гнучкості виробництва за допомогою передових технологій (для проектування, виробництва та загальної інтеграції обміну знаннями) і впровадження заходів контролю якості. Виробництво на базі ІТ вимагає швидкого реагування, щоб задовольнити персоналізовані вимоги клієнтів. Загальною тенденцією для виробничих підприємств є створення надійних взаємопов'язаних ланцюгів постачання шляхом досягнення зв'язку та координації. Вирішальним фактором успіху цих компаній буде управління (майже миттєвим) спільним використанням інформації всередині компанії через інтранет і з зовнішнім світом через екстранет. Завдання стає дедалі складнішим із великою різноманітністю пропозицій продуктів. Обмін інформацією є важливим інструментом для зменшення невизначеності в прогнозуванні та надання виробникам точних виробничих замовлень. У наступне десятиліття ми маємо рухатися до тотальної співпраці між компаніями в рамках постачання ланцюг, на відміну від нинішнього недостатнього використання мережі через простий обмін інформацією на вимогу через екстранет. Справжня співпраця вимагає обміну оперативною інформацією в режимі реального часу між двома партнерами в ланцюжку постачання, у якому кожен має вікно з останнім робочим статусом іншого. У середовищі поставок на роздрібному ринку це може залучати окремих постачальників, які мають знання в режимі реального часу про запаси, а також моделі продажів і приймають автономні рішення щодо того, коли та яку кількість поновлювати. Подібним чином, постачаючи складальникам, виробники компонентів можуть отримати доступ до виробничих планів і статусу цеху формувальників, щоб визначити свої замовлення та терміни. Аналітики виробничої стратегії дадуть відповідь у наступному десятилітті на те, чи був Інтернет відсутньою ланкою у розвитку виробництва, окрім використання новітніх автономних технологій. Тим часом підприємства повинні прагнути досягти високої продуктивності та пропонувати своїм працівникам інтелектуально складне робоче середовище за допомогою використання того, що ми знаємо зараз, на відміну від небажаного очікування майбутнього.

1.3 Системи керування процесами

Машини — це динамічні системи, розроблені для спеціальних цілей. Якщо цілі визначені як вихідні дані та директиви, які спричиняють вхідні дані цілей, загалом будь-яку машину можна визначити за допомогою наступної блок-схеми.

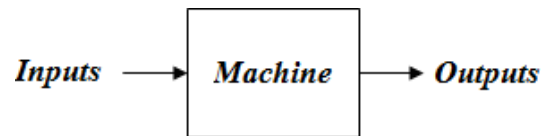


Рисунок 1.1 - Операції машини в загальному вигляді

Система керування — це комбінація компонентів, які діють разом таким чином, що вся машина/система автоматично поводить себе заздалегідь заданим бажаним чином.

Види контролю

Управління з відкритим контуром

Система з відкритим контуром — це система, вхідні дані якої не залежать від виходу. У системах з відкритим контуром, якщо продуктивність системи незадовільна, контролер (через відсутність дії зворотного зв'язку) нічого не робить для її покращення.

Управління замкнутим контуром

Система із замкнутим контуром — це система, вхідні дані якої залежать від виходу. Системи із замкнутим контуром відрізняються від систем із відкритим циклом, відмінністю в тому, чи подається інформація щодо виходу системи назад на вхід системи. Ця дія називається зворотним зв'язком і відіграє найбільш фундаментальну роль у системах керування. У системах із замкнутим контуром контролер діє таким чином, щоб підтримувати продуктивність системи в задовільних межах. Термін «проекування системи керування» є особливо важливим. використовується для проектування замкнутих систем керування.

Типи систем управління

Системи управління процесами

Системи керування, які використовуються для керування змінними термічної/хімічної промислової обробки, такими як температура, тиск, об'єм тощо. називаються системами управління процесами.

Системи керування рухом

Системи керування, які використовуються для керування змінними руху, такими як положення, швидкість, сила тощо. називаються системами керування рухом.

Елементи систем управління

Контролер

Елемент, призначений для виправлення помилки з бажаним і вимірним виходом, визначається як контролер. Він може бути аналоговим (схеми опору, конденсатора та підсилювача) або цифровим (мікроконтролери, ПК тощо).

Лінеаризація

Лінеаризація — це процес пошуку лінійної моделі, яка наближає нелінійну модель. Підхід лінеаризації використовується для розгляду зв'язку між додатковими змінними навколо стану рівноваги, але він вимагає неперервності та диференційованості нелінійностей. Хоча цей метод не завжди застосовний, у багатьох випадках він забезпечує хороше уявлення про поведінку процесу та може бути використаний у розробці відповідного контролера.

Альтернативний підхід до отримання лінійної моделі для використання в якості основи проектування системи керування полягає у використанні частини зусиль керування для скасування нелінійних членів і розробки решти керування на основі лінійної теорії. Цей підхід – лінеаризація за допомогою зворотного зв'язку - популярний у робототехніці (відомий як обчислене керування крутним моментом), аерокосмічній галузі тощо.

Нарешті, деякі нелінійні функції такі, що інверсна нелінійність може бути розміщена послідовно з ними, щоб комбінація була лінійною. Цей метод часто використовується для корекції помірних нелінійних характеристик датчика або приводу, які мають невеликі варіації у використанні.

Системи SISO і MIMO

Найпростіша система керування зворотним зв'язком, система з одним входом і одним виходом (SISO), має один вхід і один вихід. У системі SISO датчик вимірює один сигнал, а контролер виробляє один сигнал, який приводить в дію виконавчий механізм.

Критерії ефективності для систем управління

Стабільність

Загальне визначення стабільності має бути застосовним до будь-якої динамічної системи, і воно виглядатиме так: система є стабільною, якщо вона представляє обмежені виходи для обмежених входів.

Похибка сталого стану — це похибка між значенням усталеного стану та бажаним значенням вихідної характеристики кроку.

Час встановлення (перехідний відгук)

Час встановлення – це час, протягом якого вхідна ступінчаста характеристика залишається в межах деякого невеликого відсоткового діапазону від значення сталого стану. Як правило, для визначення часу встановлення вибирається відсоток 2% або 5%.

Міцність

Доступність для підтримки вищевказаних критеріїв у разі змін і/або невизначеностей у змодельованих параметрах установки або збуреннях/шумах.

Методи проектування контролера

Звичайна конструкція контролера

Лінійні звичайні контролери, такі як PID та його варіанти PI та PD, підходять для розв'язаної динаміки, тому контролер руху можна спроектувати за допомогою звичайних методів на основі трансформації (s або z), які корисні для систем з одним входом/одним виходом (SISO).

Звичайні контролери на основі трансформації є привабливими через їхню ефективність налаштування та низькі обчислювальні витрати. Однак, якщо потрібна висока якість керування рухом, звичайні контролери можуть призвести до незадовільних результатів. Використання цих контролерів означає серйозні компроміси між можливою статичною точністю, стабільністю системи та демпфування високочастотних збурень.

Дизайн контролера на основі оптимізації

Надійність стабільності, подавлення збурень і контрольовану перехідну характеристику можна спільно та безпосередньо накласти за допомогою схем зворотного зв'язку на основі теорії керування. Ці схеми дозволяють кількісно прогнозувати продуктивність руху, враховуючи межі невизначеності моделювання та збурень. Крім того, за допомогою наявних знань динаміки системи, паразитних ефектів (шумів) і збурень можна оптимізувати продуктивність руху. Це причини, які роблять контролери привабливими для вирішення практичних проблем і мотивують їх застосування.

Конструкція контролера режиму ковзання

Найважливішою особливістю цього методу є можливість змінювати структуру контролера відповідно до стану установки. Пов'язані з цією зміною структури керуючі дії переводять установку в так званий ковзний режим. Поки система залишається в ковзному режимі, він нечутливий до збурень і змін параметрів. Крім того, динамічні характеристики ковзного режиму встановлюються розробником контролера і не залежать від динаміки установки. Такі властивості роблять цю техніку привабливою для керування: нечутливість до збурень (у ковзному режимі) усуває взаємодію зв'язків, отже дозволяючи децентралізовану структуру контролера та прості моделі для дизайну контролера.

На жаль, все ще існують практичні проблеми, які необхідно подолати. Перша стосується фази досягнення; фактично конвергенція забезпечується лише тоді, коли система переходить у ковзний режим, але немає гарантії, що система завжди його досягне. Друга виникає, коли система знаходиться в ковзному режимі: якщо динамічні характеристики ковзного режиму не збігаються з одним із природних режимів системи, контролер повинен нескінченно часто змінювати свої структури. Тому що на практиці можлива лише кінцева кількість перемикачів за кінцевий час Система не буде точно слідувати бажаній траєкторії; натомість вона демонструватиме високочастотні коливання навколо неї. Це явище, також відоме як «тремтіння», може викликати небажані резонанси в механічній структурі. По-третє, нелінійність цього Метод не сприяє

кількісному прогнозу продуктивності системи для даного рівня надійності, де часто дуже важливо заздалегідь знати найгіршу точність руху для заданої смуги пропускання опорних траєкторій. Це обмежувальні фактори для широкого застосування методу в практика.

Адаптивний дизайн контролера

Фундаментальна відмінність між системами керування з фіксованим зворотним зв'язком і адаптивними системами керування полягає в тому, що останні «пристосовують» свої характеристики до змінної динаміки процесу регулятора.

Адаптивні алгоритми загального призначення можна класифікувати як адаптивне керування еталонною моделлю (MRAC) і адаптивне керування, що самоналаштовується (STAC). Основна ідея MRAC полягає в синтезі керуючих вхідних даних, які змушують систему поводитися бажаним чином, як це передбачено еталонна модель. У STAC система моделюється як лінійний, змінний у часі, дискретний процес, який оновлюється (ідентифікується) у кожному періоді вибірки, на основі якого контролер призначається для досягнення встановленої мети.

Незважаючи на те, що метод адаптивного керування може покращити продуктивність системи за наявності невизначеності в динаміці системи та зовнішніх збурень (наприклад, змінне навантаження), нелінійність цього методу (як метод ковзного режиму) не сприяє кількісному прогнозу продуктивності системи для заданий рівень надійності. Це обмежуючий фактор для широкого застосування методу на практиці, де часто дуже важливо заздалегідь знати найгіршу точність руху для даної смуги пропускання опорних траєкторій.

Навчання/інтелектуальний дизайн контролера

У багатьох сучасних технічних системах потрібні системи, які розумно й автономно виконують різноманітні завдання. Автономні системи мають самостійно виконувати різноманітні антропоморфні завдання як у незнайомих, так і в звичних робочих середовищах, подібно до людей. Вони мають мати можливість визначати всі можливі дії у непередбачуваних динамічних середовищах, використовуючи інформацію від різних датчиків. Попередньо

люди-оператори можуть передати системам знання, досвід і навички для вирішення складних завдань. У випадку, коли система виконує завдання в невідомому середовищі, знань може бути недостатньо. Отже, система має адаптуватися та бути здатним здобувати нові знання шляхом навчання. Основними компонентами системного інтелекту є активація, сприйняття та контроль. Були докладені значні зусилля, щоб зробити системи більш інтелектуальними шляхом інтеграції передових сенсорних систем, таких як зір, тактильний сенсор тощо.

Інтелектуальне управління – це нова дисципліна, яка виникла з класичних дисциплін управління з основним дослідницьким інтересом до конкретних видів технологічних систем (системи з розпізнаванням у циклі, системи з елементами навчання та самоорганізації, системи, які іноді не дозволяють репрезентувати у звичайній формі диференціального та інтегрального числення). Інтелектуальне управління вивчає управління високого рівня, в якому стратегії управління генеруються з використанням інтелектуальних функцій людини, таких як сприйняття, одночасне використання пам'яті, асоціації, міркування, навчання або багаторівневе прийняття рішень у відповідь на нечіткі або якісні команди. Крім того, однією з головних цілей інтелектуального керування є розробка системи з прийнятними характеристиками продуктивності в дуже широкому діапазоні структурованих і неструктурованих невизначеностей.

Ефективні інтелектуальні системи управління повинні ґрунтуватися на таких ознаках:

- надійність і чудова адаптивність до невизначеності системи та змін середовища
- здібності до навчання та самоорганізації з узагальненням набутих знань
- впровадження в режимі реального часу на контролерах з використанням архітектур швидкої обробки

Фундаментальною метою інтелектуального керування є проблема невизначеностей та їх активної компенсації. Отже, дуже важливо включати можливості навчання в алгоритми керування, тобто здатність здобувати

автономні знання про системи та їхнє середовище. Таким чином, використовуючи реалізується навчальна активна компенсація невизначеностей, що призводить до постійного покращення продуктивності системи. Іншою важливою характеристикою, яку необхідно включити, є знання узагальнення, тобто застосування набутих знань до загальної області проблем і робочих завдань.

Небагато інтелектуальних парадигм здатні вирішувати проблеми інтелектуального керування:

- Символічні системи, засновані на знаннях (експертні системи)
- Нейронні мережі (коннекціоністська теорія)
- Нечітка логіка
- Еволюційна теорія обчислень (генетичні алгоритми)

дуже важливі в розробці інтелектуальних алгоритмів керування. Крім того, важливими в розробці ефективних алгоритмів є гібридні методи, засновані на інтеграції окремих методів, таких як нейронечіткі мережі, нейрогенетичні та нечітко-генетичні алгоритми (Hurmuzlu, 2002) .

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка прототипу пакувальної машини

Автоматизований процес, який виконує машина, можна розглянути так (рис. 2.1). Береться елемент (можна розглядати цукерку, яйце, шоколад тощо), який є предметом упаковки з 1 (спроектований як поворотний/індексуєчий стіл), і поміщується на відповідне місце 2 (в тару) і переміщується пакет, коли він повністю заповнений, на позицію 3.

Розроблену машину можна розглядати як автономну автоматизовану систему через функцію, яку вона виконує, але насправді в промисловому середовищі вона буде підсистемою пакувального рішення через те, що подача (наприклад, конвеєр) і відповідні механізми передачі (після 3) для частини та упаковки не розроблені та інтегровані.

Маса упакованої деталі прийнята рівною 0,25 кг і обмеження обсягу 0,5x0,5x0,5м як ширина x довжина x висота.

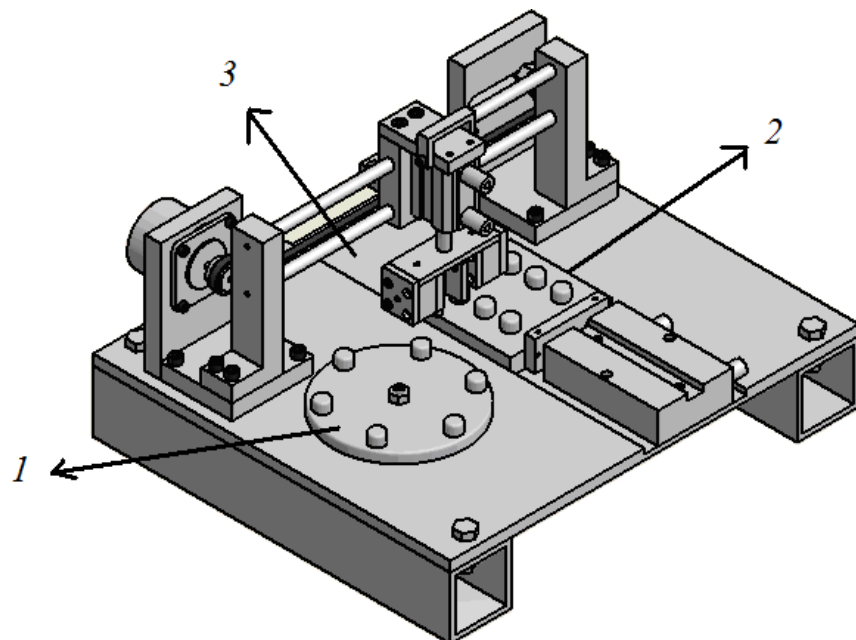


Рисунок 2.1 - Розроблена CAD модель пакувальної машини

Переваги (тобто очікування) від автоматизованих систем були наведені в попередньому розділі. Усі ці раніше зазначені фактори є важливими, але, загалом, найбільшим буде фактор вартості, особливо для замовника, який буде цільовою метою рішень для систем автоматизації, тому перш за все слід проаналізувати та повідомити про переваги щодо вартості.

Приблизно вартість операції пакування може бути визначена за допомогою наведеного нижче рівняння

$$C_{asm} \cong \alpha t + \frac{\beta}{n} \quad (2.1)$$

де

C_{asm} - вартість однієї упаковки (€/упаковка);

α - Вартість одиниці робочої сили/машина (€/сек);

t - Час на одну упаковку упаковки (сек);

β - Інвестиційна вартість машини (€);

n - кількість пакетів, які, як очікується, будуть упаковані протягом передбачуваного терміну служби машини.

Для випадку ручного керування:

$$\alpha = \frac{400}{60.60.8.24} .10 = 5.78.10^{-4}$$

$$t = 10$$

$$\beta \cong 0$$

Тут 400 євро беруться як зарплата за працю і припускають, що він/вона може розпакувати один пакет за 10 секунд.

Для автоматизованого випадку:

$$\alpha = 0.072 \cdot \frac{1}{60} = 0.0012$$

$$t = ?$$

$$\beta \cong 1000$$

$$n = \frac{60 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 3}{t} \cong \frac{25 \cdot 10^6}{t}$$

Тут буде доречним «обґрунтоване припущення», направлене щодо потужності джерела живлення та 24 В постійного струму/3 А. Необхідна потужність складе 0,072 кВт. 1 євро береться як вартість електроенергії кВт.год з врахуванням теперішніх цін кіловату. Ціна продажу буде інвестиційною вартістю замовника і становитиме 1000 євро. Зрештою, передбачуваний термін служби машини становить 3 роки.

Цільовий час роботи для одного пакета можна отримати за формулами, наведеними нижче:

$$0.0012 \cdot t + \frac{1000 \cdot t}{25 \cdot 10^6} \leq 5.78 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \rightarrow t \leq 4.66 \text{ sec} \quad (2.2)$$

Якщо конструкція базується на тривалості роботи протягом 3 секунд, можна проаналізувати вигоду від вартості клієнта, як наведено в таблиці нижче. Щорічне виробництво пакетів становитиме приблизно 8 мільйонів для автоматизованого корпусу.

Термін окупності складе (1000/16480) приблизно 22 дні.

Таблиця 2.1 – Зведені витрати експлуатації машини

	Ручний футляр	Автоматизована справа	Вигода
Вартість однієї упаковки	5.78.10 ⁻³ €	3.72.10 ⁻³ €	2.06.10 ⁻³ €
1-й рік (пакет на 8 мільйонів)			16480 євро
2-й рік			32960 євро
3-й рік			65920 євро

2.2. Робочий цикл

Послідовність роботи робочого циклу може бути наведена нижче, виходячи з того, що пакет, який містить 6 частин, буде упакований за 3 хвилини.

0-Візьміть контроль над поворотним столом 5-Опустіть головний циліндр

10-Закрийте захват (деталь № 1)

15-Підніміть головний циліндр

20-Візьміть контроль над пакетом

25-Опустіть головний циліндр

30-Відкрийте захват (запакована частина № 1)

35-Підніміть головний циліндр

40-Подача 2-ї частини за допомогою поворотного столу

45-Візьміть контроль над поворотним столом 50-Опустіть циліндр

ГОЛОВИ

55-Закрийте захват (деталь № 2)

60-Підніміть головний циліндр

65-Візьміть контроль над пакетом

- 70- Опустіть головний циліндр
- 75-Відкрийте захват (запакована частина № 2)
- 80- Підніміть головний циліндр
- 85-Подайте пакет до 2-ї секції з циліндром на пластині
- 90-Подайте 3-ю частину за допомогою поворотного столу
- 95-Візьміть контроль над поворотним столом
- 100-Опустіть циліндр голови
- 105-Закрийте захват (деталь № 3)
- 110-Підніміть головний циліндр
- 115-Візьміть контроль над пакетом
- 120-Опустіть головний циліндр
- 125-Відкрийте захват (запакована частина № 3)
- 130-Підніміть головний циліндр
- 135-Подача 4-ї частини з поворотним столом
- 140-Візьміть контроль над поворотним столом
- 145-Опустіть головний циліндр
- 150-Закрийте захват (деталь № 4)
- 155-Підніміть головний циліндр
- 160-Візьміть контроль над пакетом
- 165- Опустіть головний циліндр
- 170-Відкрийте захват (запакована частина № 4)
- 175- Підніміть головний циліндр
- 180-Подайте пакет до кінцевої секції за допомогою циліндра на пластині
- 185-Подайте 5-ту частину за допомогою поворотного столу
- 190-Візьміть контроль над поворотним столом
- 195-Опустіть головний циліндр
- 200-Закрийте захват (деталь № 5)
- 205-Підніміть головний циліндр

- 210-Візьміть контроль над пакетом
- 215-Опустіть головний циліндр
- 220-Відкрийте захват (запакована частина № 5)
- 225-Підніміть головний циліндр
- 230-Подача 6-ї частини з поворотним столом
- 235-Візьміть контроль над поворотним столом
- 240-Опустіть головний циліндр
- 245-Закрийте захват (деталь № 6)
- 250-Підніміть головний циліндр
- 255-Візьміть контроль над пакетом
- 260- Опустіть головний циліндр
- 265-Відкрийте захват (запакована частина № 6)
- 270- Підніміть головний циліндр
- 275- Візьміть контроль над поворотним столом

Робочий цикл автоматизованої системи складає 58 операцій. Таким чином, операція буде виконана приблизно за 3 секунди. Остаточні/фактичні значення для кожної операції будуть визначені після процесу калібрування, який базуватиметься на інженерних розрахунках та експериментальних дослідженнях зібраної системи.

2.3 Вибір компонентів системи

Компоненти для «важких» завдань стосуються компонентів, які мають прямий зв'язок із фізичним процесом/процедурою, яка є предметом автоматизації.

Шасі та відповідні елементи машини можуть бути розроблені/вибрані лише після вибору відповідних приводів для системи. Отже, перш за все ми

вибрали приводи на основі відповідних концепцій і розрахунків, наведених нижче.

Кроковий двигун із зубчастим ременем, вибраним для головки, який утримує захват і забезпечує лінійний рух. Для вибору слід визначити потужність двигуна.

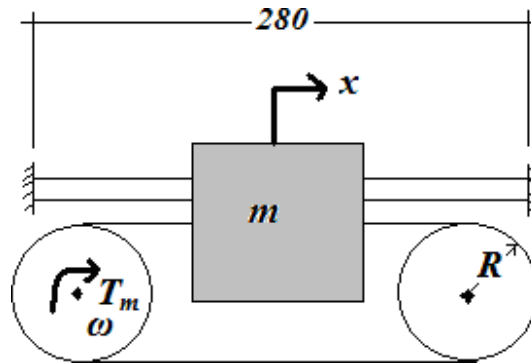


Рисунок 2.2 - Модель лінійного руху головки

Еквівалентну інерцію на валу двигуна можна визначити методом Лагранжа.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot J_m \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R^2 \quad (2.2)$$

$$J_{eq} = J_m + m \cdot R^2$$

$$T_m = J_{eq} \cdot \alpha + T_f \quad (2.3)$$

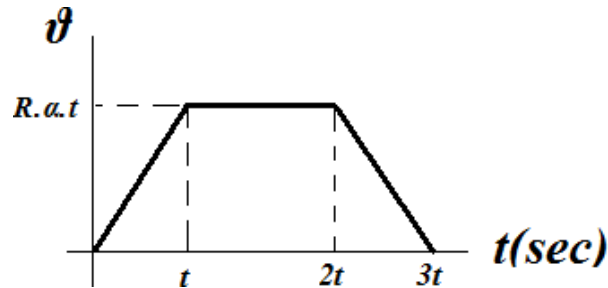
З припущенням трапецієподібного профілю швидкості для головки буде:

$$x(t) = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot R \cdot \alpha \cdot t^2 \right) + R \cdot \alpha \cdot t^2 = 2 \cdot R \cdot \alpha \cdot t^2 \quad (2.4)$$

Взявши $x=140$ мм, $R=20$ мм і $t=1,5$ с

$$\alpha(\text{rad} / \text{sn}^2) \cong 1.5$$

З припущенням $J_m \cong 0$ і $m=2,5$ кг з пневматичним циліндром, захватом та інших утримуючих елементів і коефіцієнта кулонівського тертя $\mu=0,2$.



Риунок 2.3 - Трапецієподібний профіль швидкості для лінійного руху ГОЛОВИ

$$T_f (Nt.mm) = R.F_f = 20.(0.2.25) = 100$$

$$T_m (Nt.mm) = (2.5.20^2).1.5 + 100 = 1000.1.5 + 100 = 1600 \rightarrow T_m = 1.6 \text{ Nt.m}$$

$$\omega_{\max} (rad / sn) = \alpha t = 1.5.1.5 = 2.25$$

$$P_m (W) = T_m . \omega_{\max} = 1.6.(2.25) = 3.6$$

Було вибрано кроковий крок 6 В/1 А з роздільною здатністю 1,8 град./імпульс, а вибрана потужність струму драйвера становить максимум 0,5 А. Завдяки цьому факту доступна потужність становитиме 3 Вт. Таким чином, час для руху голови буде переналаштовано, а загальний робочий цикл системи буде налаштовано відповідно до цієї ситуації.

Кроковий двигун, обраний для поворотного столу, який функціонує як пристрій подачі деталей. Для вибору потужність двигуна слід визначити, як вище розділі.

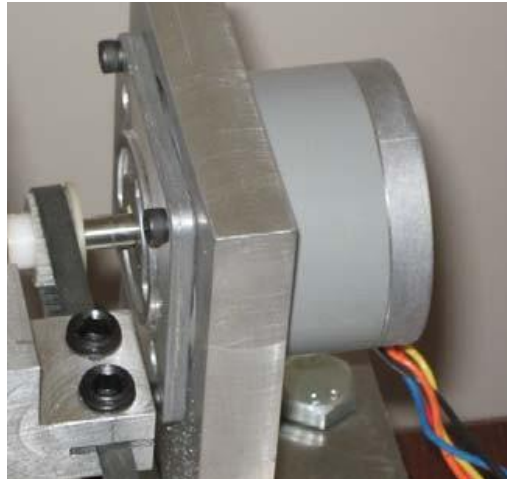


Рисунок 2.4 - Вибраний кроковий двигун для лінійного руху голови

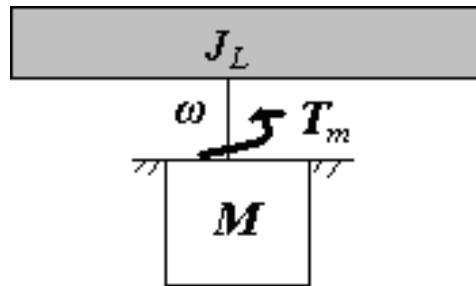


Рисунок 2.5 - Модель для поворотного столу

Еквівалентну інерцію на валу двигуна можна визначити методом Лагранжа.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot J_m \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot J_L \cdot \omega^2 \quad (2.5)$$

$$J_{eq} = J_m + J_L$$

$$T_m = J_{eq} \cdot \alpha + T_f \quad (2.6)$$

З припущенням трапецієподібного профілю швидкості для голови буде, як наведено нижче

$$\theta(t) = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2\right) + \alpha \cdot t^2 = 2 \cdot \alpha \cdot t^2 \quad (2.7)$$

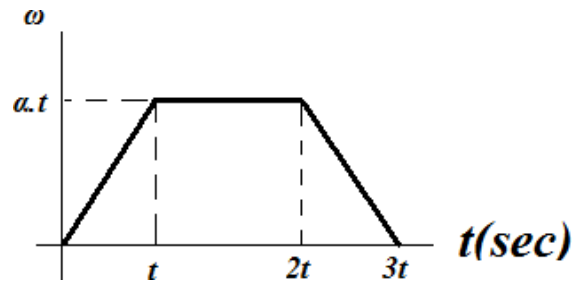


Рисунок 2.6 - Трапецієподібний профіль швидкості для поворотного столу

Взявши $\theta=2,\pi/6$ рад, $R=20$ мм і $t=1,5$ с

$$\alpha(\text{rad} / \text{sn}^2) \cong 0.25$$

Беручи $J_m \cong 0$

$$J_L(\text{kg} \cdot \text{mm}^2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 130^2 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 2700\right) \cdot 65^2 = \frac{1}{2} \cdot (0.35) \cdot 65^2 \cong 740$$

$$T_f(\text{Nt} \cdot \text{mm}) \cong 0$$

$$T_m(\text{Nt} \cdot \text{mm}) = (740) \cdot 0.25 = 185 \rightarrow T_m = 0.2 \text{ Nt} \cdot \text{m}$$

$$\omega_{\max}(\text{rad} / \text{sn}) = \alpha \cdot t = (0.25) \cdot 1.5 = 0.375$$

$$P_m(\text{W}) = T_m \cdot \omega_{\max} = (0.2) \cdot 0.375 = 0.075$$

Ми вибрали кроковий крок 24 В/0,18 А з роздільною здатністю 7,5 градусів/імпульс і вибрану потужність струму драйвера становить максимум 0,5 А. Завдяки цьому факту доступна потужність становитиме 4,32 Вт. Час

руху голови буде переналаштовано та загальний Робочий цикл системи буде налаштовано відповідно до цієї ситуації.

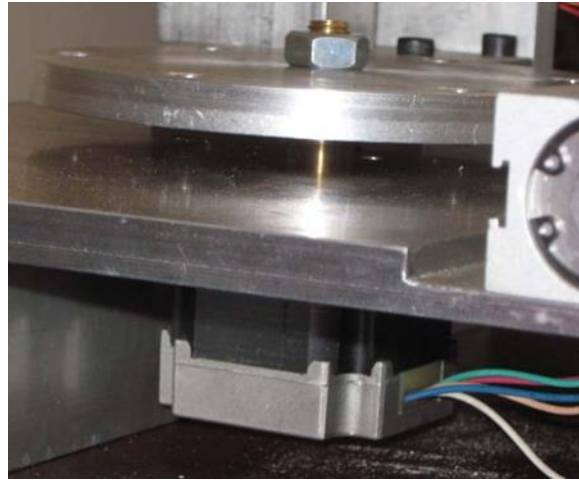


Рисунок 2.7 - Вибраний кроковий двигун для поворотного столу

Пневматичний циліндр вибрано для пакету лінійного руху і передачі в поз. 3. Для вибору необхідно визначити діаметри циліндрів і штоків.

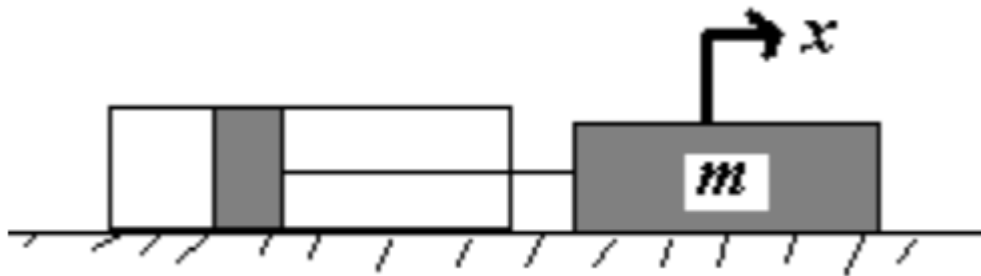


Рисунок 2.8 - Модель пневматичного циліндра

$$F = m \cdot \ddot{x} + T_f \quad (2.8)$$

Взявши $m=0,5$ кг і коефіцієнт тертя Кулона $\mu=0,2$. Подаваний тиск (p) становитиме 6 бар як промисловий стандарт. Лінійне прискорення a приймається за 1 м/с².

$$F = (0.5) \cdot 1 + 5 \cdot (0.2) = 1.5$$

$$1.5 = p \cdot A = p \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2\right) = (0.6) \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2\right)$$

$$\rightarrow D \cong 2 \text{ mm}$$

Отже, вибрано пневмоциліндр подвійної дії Ø25/Ø111, Хід = 50 мм.



Рисунок 2.9 - Вибраний пневматичний циліндр для лінійного

Пневматичний циліндр вибрано для горизонтального руху захвату на лінійній головці. Для вибору слід визначити діаметр циліндра і штока.

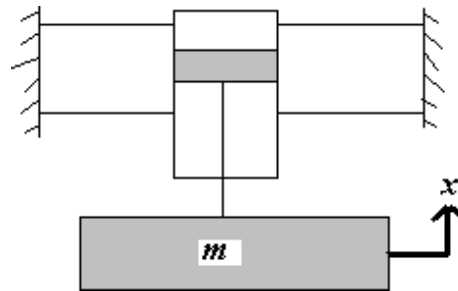


Рисунок 2.10 - Модель циліндра утримання захвату

$$F = m \cdot \ddot{x} + m \cdot g + T_f \quad (2.9)$$

Припустивши $m=1$ кг і кулонівське тертя дорівнює нулю. Лінійне прискорення a приймається за 1 м/с^2 .

$$F = 1.1 + 1.(9.81) \cong 11$$

$$11 = p.A = (0.6).(\frac{\pi}{4}.D^2)$$

$$D = 4.83 \text{ mm}$$

Отже, Ø20/Ø10, Strok=25 мм вибрано пневматичний циліндр подвійної дії.



Рисунок 2.11 - Вибраний пневматичний циліндр для утримання захвату

2.3 Конструювання та розрахунок елементів системи

Частини, які будуть упаковані, повинні бути взяті з поворотного столу та розташовані на упаковці. Для цього завдання потрібен механізм, який дозволяє вибирати та розміщувати. Отже, пневматичний захват, розроблений для цього завдання, і відповідні концепції та розрахунки наведені нижче.

$$F_f = m.g = 2.\mu.N = 2.\mu.p.A \quad (2.10)$$

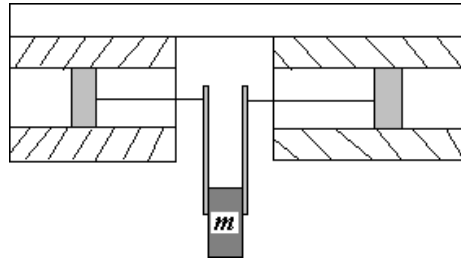


Рисунок 2.12 - Модель розробленого захвату

Прийнявши $m=0,25$ кг, а кулонівське тертя $\mu=0,2$.

$$F_f = 0.25 \cdot (9.81) = 2 \cdot (0.2) \cdot (0.6) \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2\right)$$

$$D = 3.6 \text{ mm}$$

Отже, два $\text{Ø}12/\text{Ø}8$, $\text{Strok}=7$ мм пневматичних циліндрів подвійної дії на основі захвату, розробленого для того, щоб дозволити механізм підбору та розміщення.



Рисунок 2.13 - Розроблений захват для застосування

Пневматична система

Для пневматичних приводів і захвату потрібна пневматична система, яка забезпечить виконання функцій, які система повинна направляти. Відповідні зображення схеми та клапана наведено нижче.

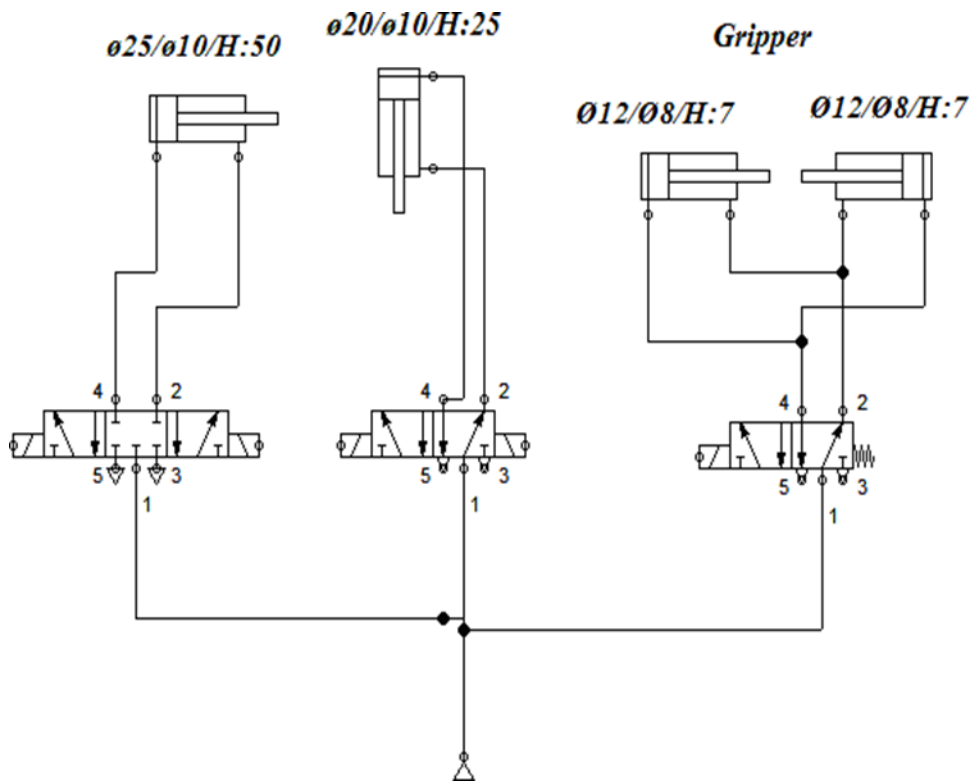


Рисунок 2.14 - Принципова схема пневматичної системи



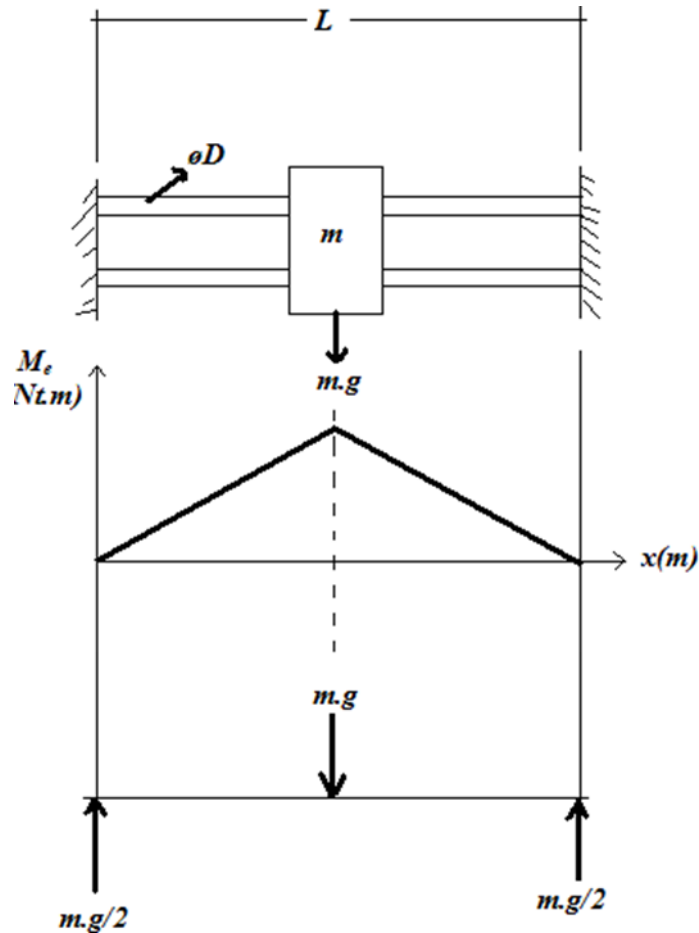
Рисунок 2.15 - Вибрані пневматичні клапани для застосування

Конструкція шасі та відповідних елементів машини

Шасі та відповідні елементи машини можуть бути розроблені/вибрані завдяки тому, що всі приводи та відповідні підсистеми визначені. Шасі та пов'язані з ним елементи машини повинні бути розроблені в першу чергу з

урахуванням безпеки. Отже, для вибраних критичних елементів виконується аналіз напруги, концепції та розрахунки наведені нижче.

Вали, які утримують і дозволяють ковзати головці, яка включає в себе захоплення та пов'язані з ним частини, мають бути визначені розміри на основі аналізу напруги. Вибраний матеріал – хромована сталь Ск45.



Малюнок 2.16 - Модель вигину валу, що тримає головку

Записавши вираз напруги згину для одного валу

$$\sigma_e (\text{Nt} / \text{mm}^2) = \frac{M_e}{W_e} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{m \cdot g}{2} \right) \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\pi \cdot D^3}{32}} \leq \frac{\sigma_{Ak}}{s} \quad (2.11)$$

Отже, діаметри валів приймаються рівними 10 мм.

Головні елементи для утримання пневматичного циліндра слід визначити розміри на основі аналізу напруги.

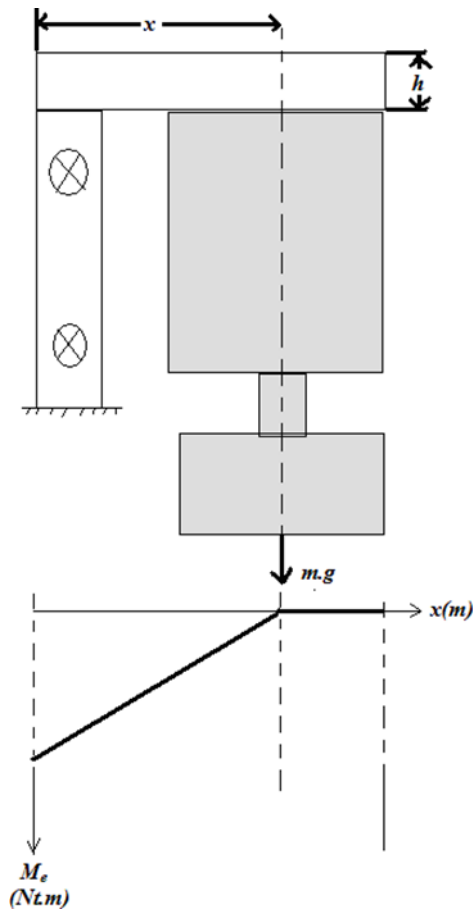


Рисунок 2.17 - Модель згинання елементів, що тримають захват

Вираз напруги згину можна записати так

$$\sigma_e (Nt / mm^2) = \frac{M_e}{W_e} = \frac{m.g.x}{\frac{b.h^2}{6}} \leq \frac{\sigma_{Ak}}{s} \quad (2.12)$$

Взявши b рівним 36 мм відповідно до ширини пневматичного циліндра, а x приблизно 45 мм, ми можемо визначити h . Вибраний матеріал — Al, тому межа текучості може бути прийнята рівною 100 МПа.

$$\sigma_e (Nt/mm^2) = \frac{M_e}{W_e} = \frac{2.5 \cdot (9.81) \cdot 45}{\frac{36 \cdot h^2}{6}} \leq \frac{100}{3}$$

$$\rightarrow 2.35 \leq h(mm)$$

Отже, h прийнято за 10 мм.

Результати FEA з Autodesk Inventor можна побачити нижче

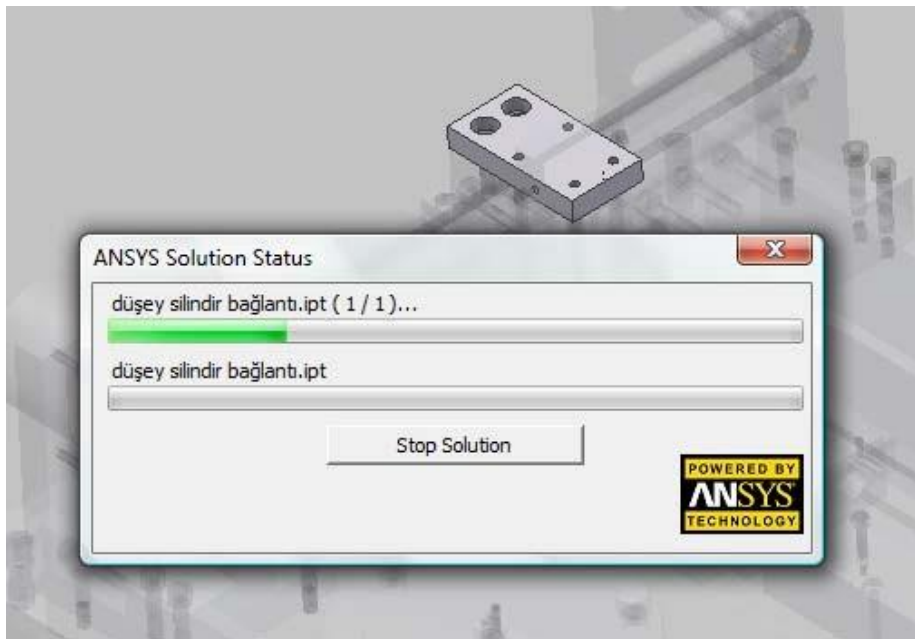


Рисунок 2.18 - Вбудований модуль FEA Inventor від ANSYS

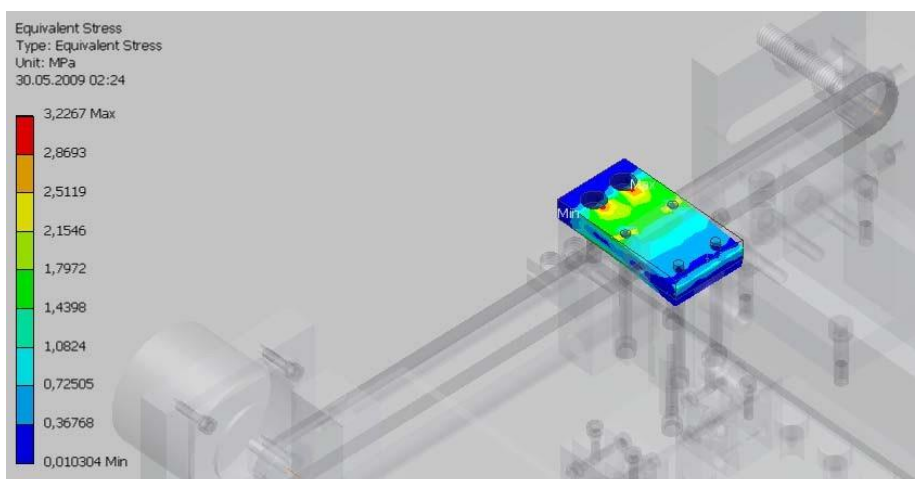


Рисунок 2.19 - Еквівалентна напруга для утримуючого елемента захвату

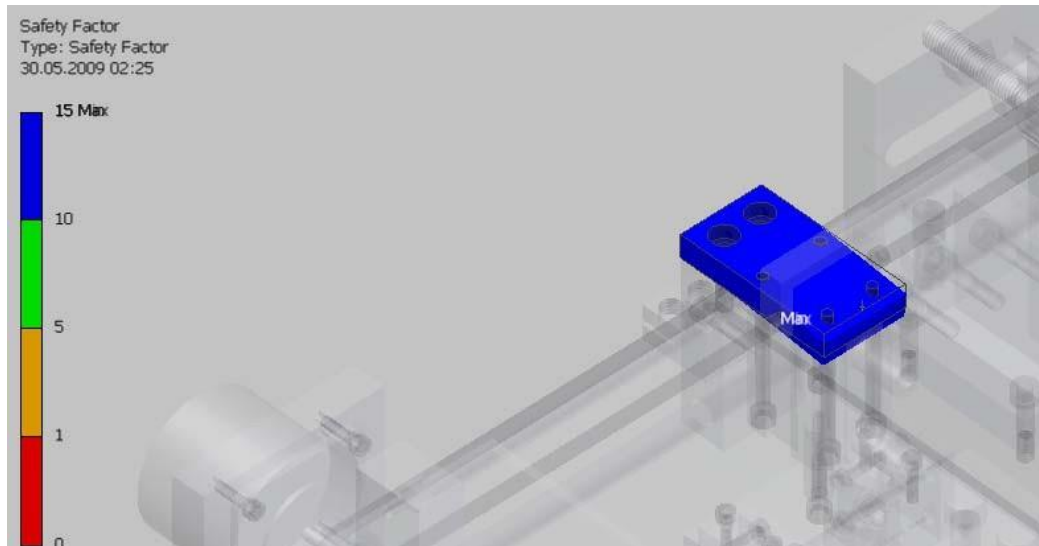
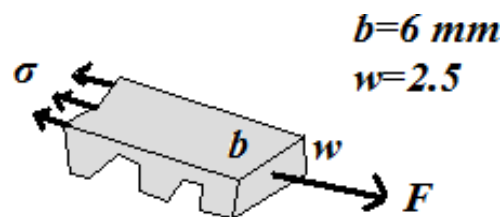


Рисунок 2.20 - Коефіцієнт міцності для елемента утримування захвату

Ремінь ГРМ, тобто перетворення обертального руху крокових двигунів у лінійний рух головки, слід перевірити на основі аналізу напруги.



$$\sigma = \frac{F}{A} \cong \frac{F}{b \cdot w / 2} \leq \sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{s}$$

Взявши силу $\Phi(Nt) = T_{max} / R = 1500 / 20 = 75$ і для еластомерів 25 МПа як текучість

$$\sigma \cong \frac{75}{6 \cdot (2.5) / 2} = 10 \leq \sigma_{em} = \frac{25}{2} = 12.5 \rightarrow \text{Safe}$$

Розміри колон, які будуть утримувати вал і головку, повинні бути визначені на основі аналізу напруги.

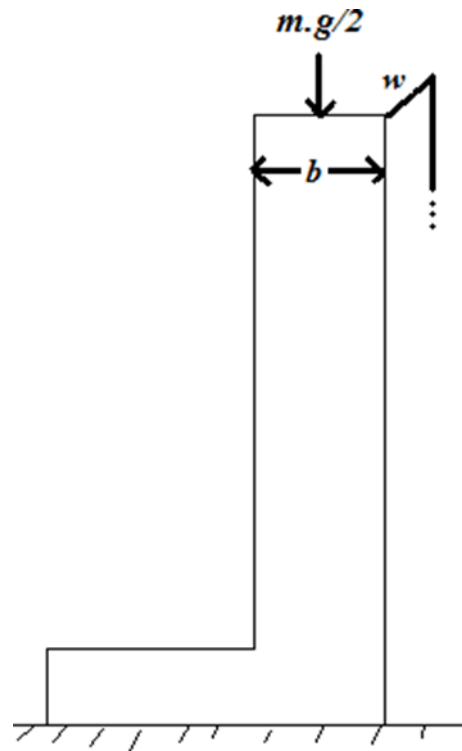


Рисунок 2.22. - Модель навантаження колон, що тримає головку

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g / 2}{b \cdot w} \leq \sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{s} \quad (2.14)$$

Взявши межу текучості для А1 як 100 МПа та $w=30$ мм відповідно до діаметра вала, який підтримуватиме

$$\sigma = \frac{2.5 \cdot (9.81) / 2}{b \cdot 30} \leq \sigma_{em} = \frac{100}{3}$$

$$\rightarrow 0.012 \leq b(mm)$$

Параметр b приймаємо 20 мм. Це значення гарантуватиме безпеку, але також дозволить модифікувати пов'язаний датчик у зборі, якщо це необхідно для подальших досліджень.

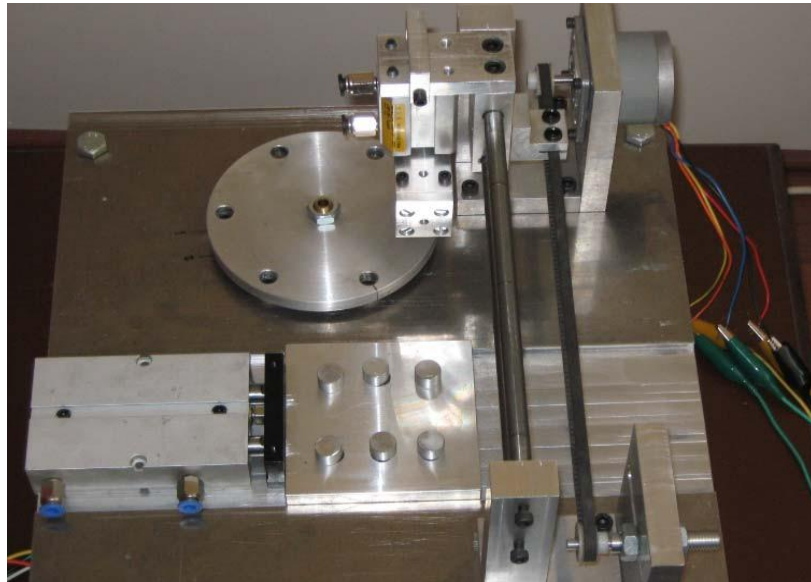


Рисунок 2.23 - Розроблена пакувальна машина

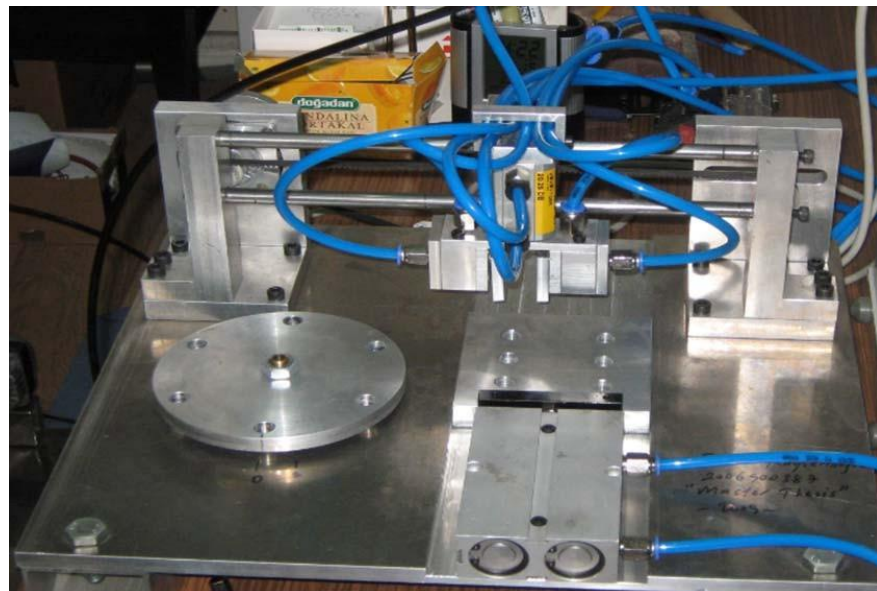


Рисунок 2.24 - Розроблена пакувальна машина після монтажу пневматичних фітингів і шлангів

Компоненти для «м'яких» завдань

Компоненти для «м'яких» завдань стосуються компонентів, які мають опосередкований зв'язок із фізичним процесом/процедурою, яка є предметом автоматизації.

Схему автоматизованої системи можна навести нижче.

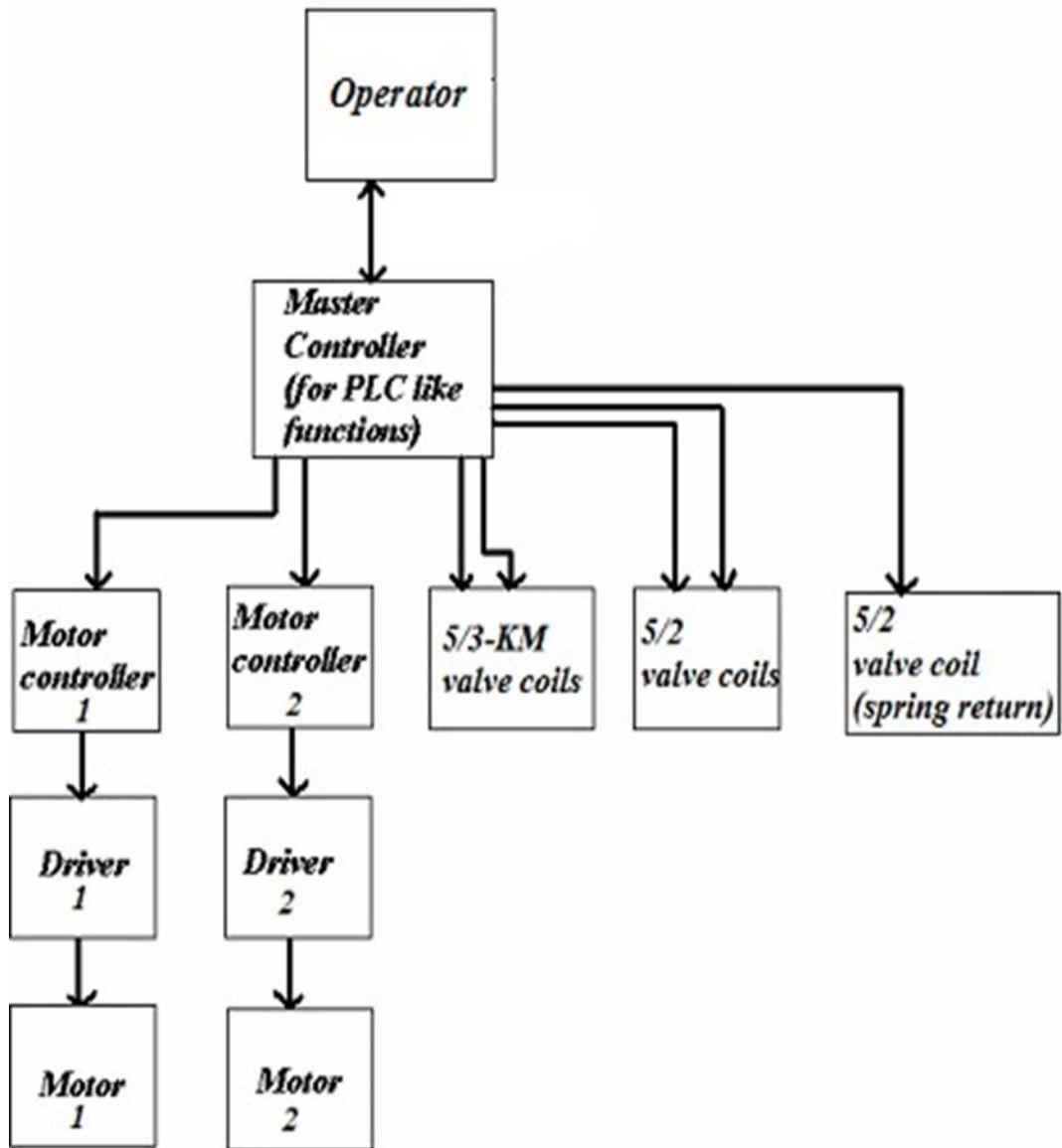


Рисунок 2.25 - Схема автоматизованої пакувальної машини

Головний контролер

Головний контролер вибрано та реалізовано для виконання функцій, подібних до ПЛК. Він буде спілкуватися з контролерами двигунів і пневматичними клапанами та керувати ними.

Головним контролером обрано мікросхему PIC 16F877 від Microchip. Загалом він має 40 контактів і вбудований контакт для передачі даних RS-232. Схема контактів для PIC 16F877 наведена нижче.

Pin Diagram

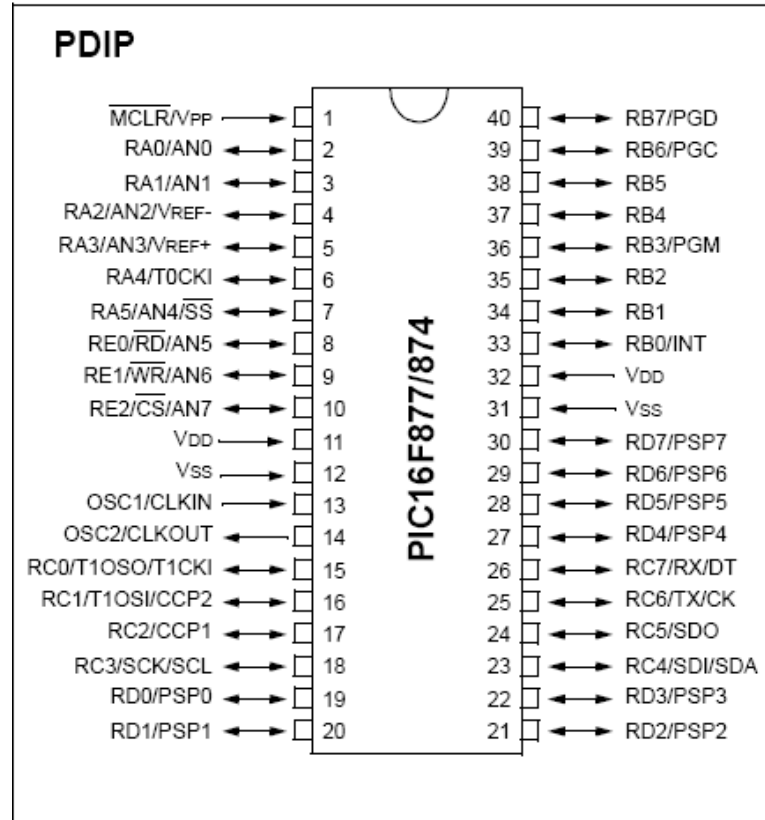


Рисунок 2.26 Схема контактів PIC 16f877

Розроблені плати для виконання функцій головного контролера та реле драйверів пневматичних клапанів, які пов'язані з іншими пристроями, можна побачити нижче.

Контролери двигунів і драйвери

Контролери двигунів і відповідні драйвери двигунів вибираються для системи на основі відповідних концепцій і розрахунків, наведених нижче.

В якості контролера двигуна обрано PIC 16F84A від Microchip. Всього він має 18 контактів, а діаграма контактів для PIC 16F84A наведена нижче.

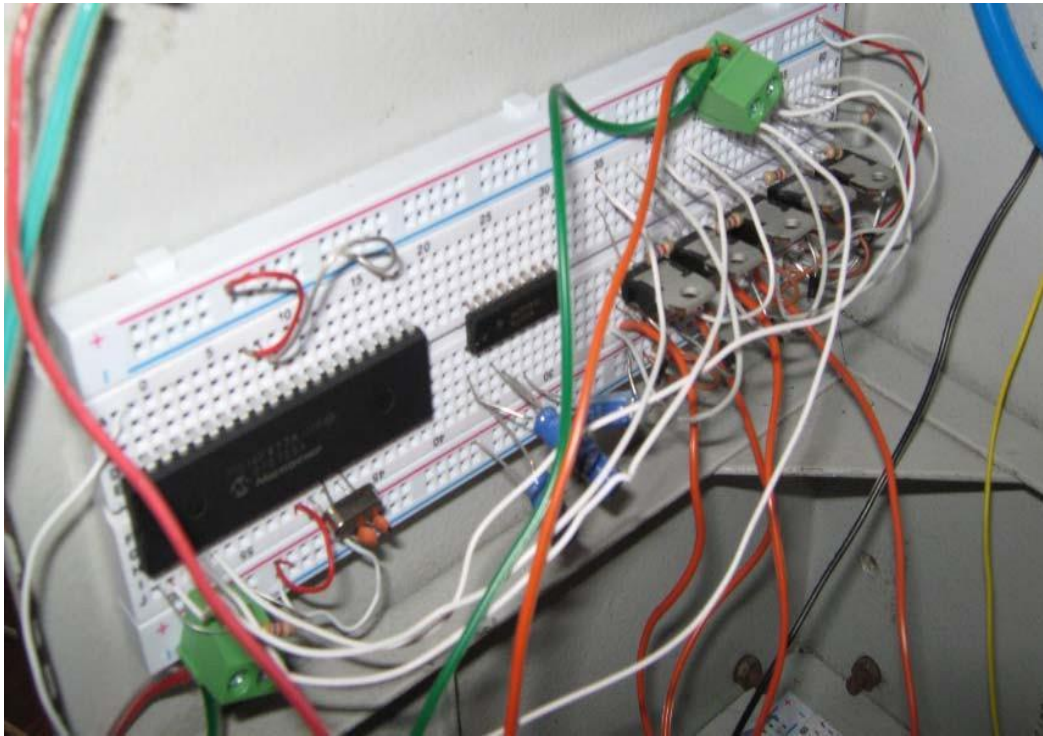


Рисунок 2.27 - Розроблена плата для головного контролера та пневматичних клапанів

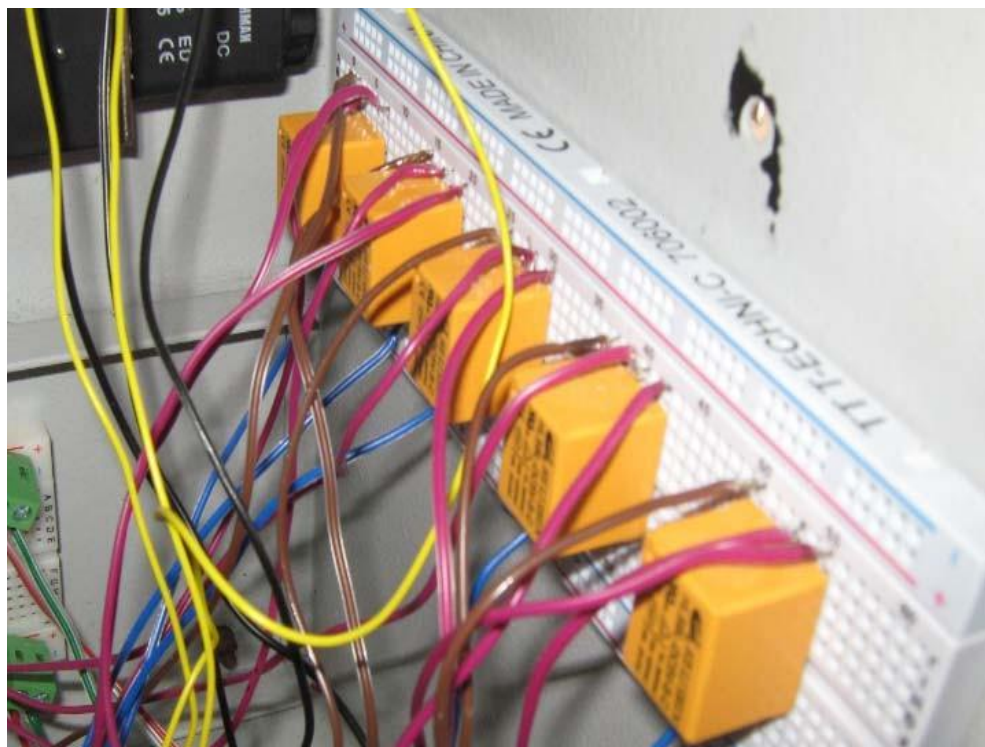


Рисунок 2.28 Реле 5 В для пневматичних клапанів

Pin Diagrams

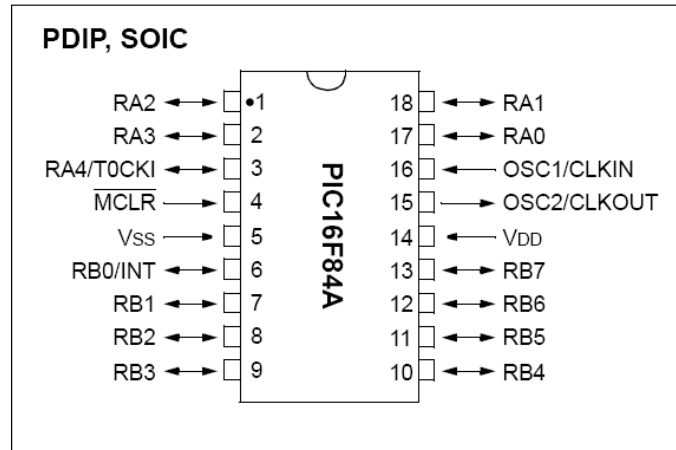


Рисунок 2.29 - Штифтова схема PIC 16f84

Було вибрано ULN2003A компанії Texas Instrument в якості драйвера двигуна. Він має номінальний струм колектора 0,5 А і може використовуватися для приводу крокових двигунів напругою до 50 В. Його контактну схему можна побачити нижче

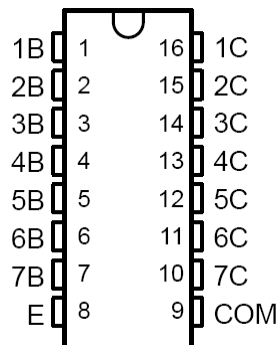


Рисунок 2.30 Діаграма контактів ULN2003A

Розроблену плату для виконання функцій контролера двигуна та драйвера, пов'язаних з іншими пристроями, можна побачити нижче.

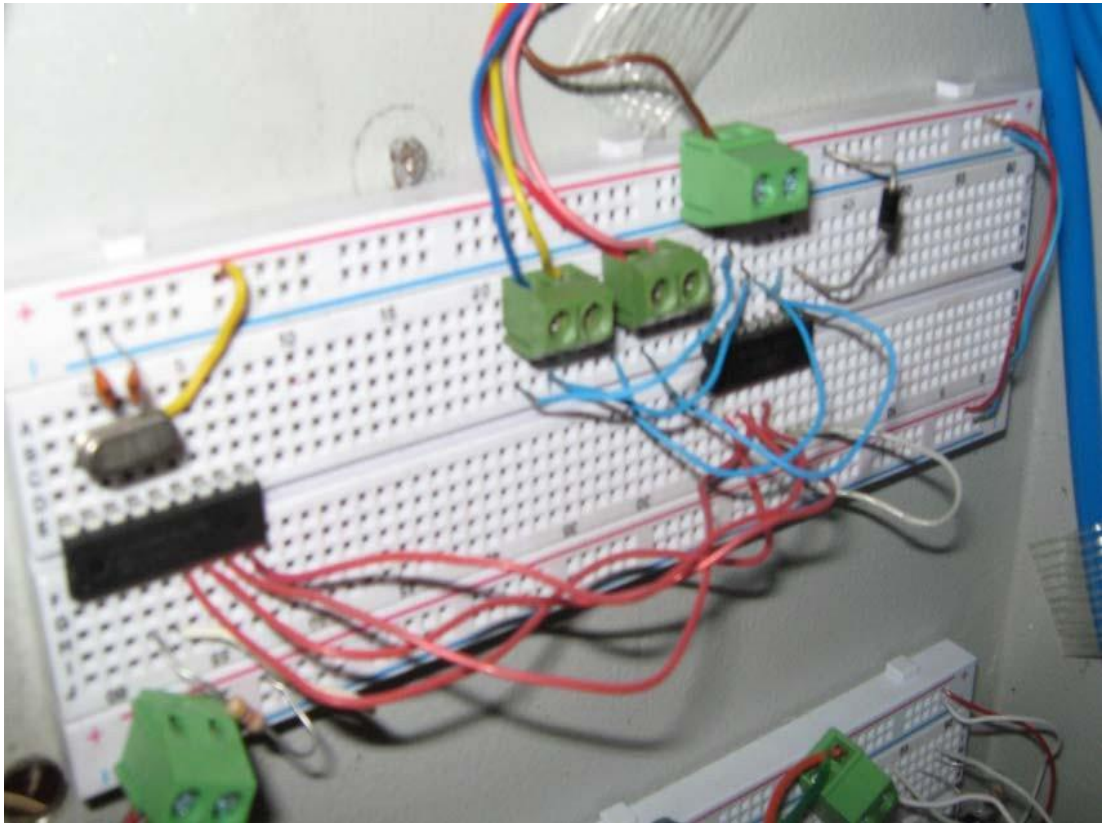


Рисунок 2.31 Розроблена плата для контролера двигуна

Блок живлення

Джерело живлення вибрано на основі вимог до напруги та струму системи, відповідні концепції та розрахунки наведені нижче.

Кроковий двигун, який використовується для лінійного руху головки захоплення, має напругу живлення 6 В і максимальну силу струму 1 А. Використовуваний драйвер двигуна ULN2003 А має максимальну ємність контактів 0,5 А, тому ми будемо використовувати 0,5 А. Кроковий двигун, який використовується для поворотного/індексного столу, має напругу 24 В/0,18 А. Котушки клапанів пневматичних клапанів стандартизовані для виходів ПЛК і 24 В/ 0,2 А і всього 5 котушок клапанів, які система матиме.

Підводячи підсумок, ми можемо скласти таблицю нижче, якщо припустити, що всі приводи будуть працювати одночасно. Насправді це не буде фактом, але вибір потужності джерела живлення набагато вище

реальної потреби дозволить нам збільшити можливості системи для подальших досліджень.

Таблиця 2.2 - Енергоспоживання приводів

<u>Актуатор</u>	<u>ВОЛЬТ</u>	<u>А</u>
<u>Кроковий двигун 1</u>	<u>6</u>	<u>0,5</u>
<u>Кроковий двигун 2</u>	<u>24</u>	<u>0,18</u>
<u>Котушки пневматичних клапанів (x5)</u>	<u>24</u>	<u>5x0,2=1</u>
<u>Всього</u>	<u>----</u>	<u>1.68</u>

Нарешті, для системи вибрано блок живлення типу Rap, який можна побачити нижче.

Для напруги живлення 5 В ми можемо використовувати регулятор ІС або інший джерело живлення.

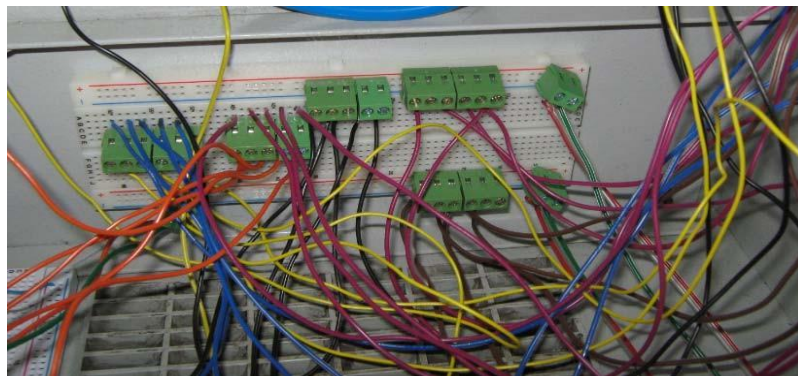


Рисунок 2.33 - Розроблені клемні блоки для програми

Шафа управління

Збірку шафи керування для системи можна побачити нижче. Він слугуватиме корпусом для пневматичних клапанів, головних плат і плат контролера двигуна, а також джерела живлення.

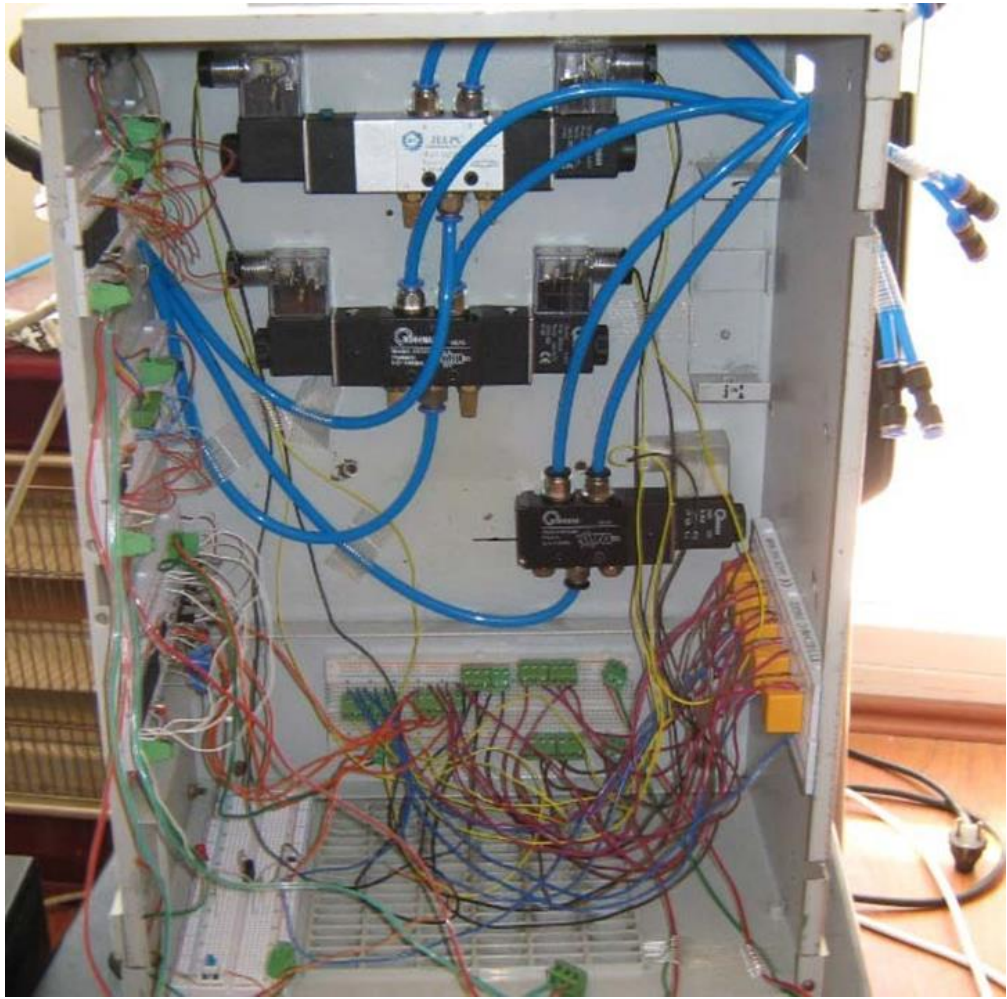


Рисунок 2.34 - Розроблена шафа керування для програми

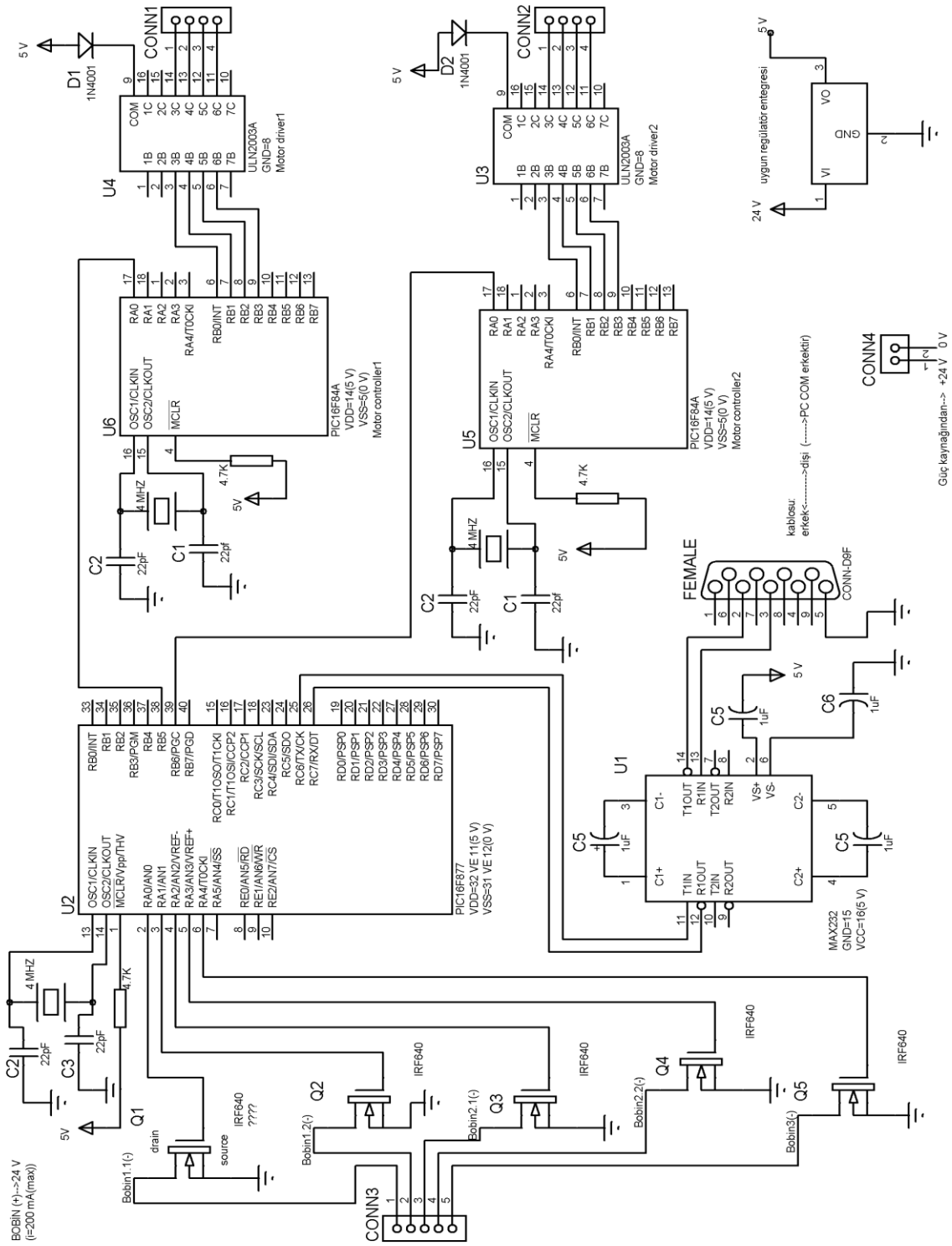


Рисунок 2.34 – Схема розробленої системи керування процесом пакування

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз ефективності роботи системи пакування

Критерії продуктивності для автоматизованих машин/систем були наведені в попередніх розділах, як точність, повторюваність і роздільна здатність. Усі ці критерії можна пов'язати з нашою пакувальною машиною шляхом аналізу відстеження продуктивності параметрів руху вибраних компонентів, а саме положення, швидкості та прискорення, але у нашій системі ми обмежимо наш аналіз, особливо позиційною точністю упакованої частини. Позиційна роздільна здатність буде продиктована можливостями приводу та/або датчика зворотного зв'язку, тому ми не будемо приділяти особливу увагу цьому критерію через те, що це слід розглядати фактично як фінансове питання. Нарешті, критерії позиційної повторюваності можуть бути пов'язані з концепцією «стабільності» систем керування, тому вони будуть проаналізовані в наступному розділі, оскільки наша автоматизована машина є системою з відкритим контуром.

Аналіз вібрації

Вираз крутного моменту крокових двигунів можна просто записати як

$$T_m = -T_H \cdot \sin(n_r \cdot \theta) = -i_o \cdot K_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{p \cdot \Delta \theta} \cdot \theta\right) \quad (3.1)$$

де

T_H - утримуючий момент;

n_r - кількість зубців ротора;

i_o - струм у фазі

K_m - константа крутного моменту;

p - кількість фаз;

θ_o - кут кроку;

θ - кутове положення ротора.

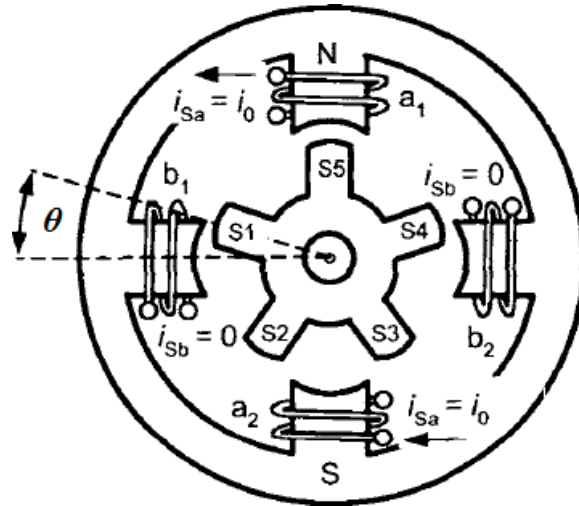


Рисунок 3.1 - Схема приводу крокового двигуна

Для малих кутових поворотів (наприклад, кутів кроку) цей вираз можна наближено виразити як

$$T_m \cong -i_o \cdot K_m \cdot n_r \cdot \theta \quad (3.2)$$

Додавши цей вираз до рівнянь динамічного руху захвату (і такої упакованої частини), що тримає головку, і двигуна

$$T_m = J_{eq} \cdot \ddot{\theta} + b_{eq} \cdot \dot{\theta} \quad (3.3)$$

для $J_{eq} = J_m + m \cdot R^2$ і $b_{eq} = b_m + b \cdot R^2$

де

J_m - кутовий момент інерції ротора крокового двигуна m : Маса блоку головки;

R - шків;

b_m - коефіцієнт в'язкого тертя для крокового двигуна;

b - в'язке тертя для вузла головки та повзуна;

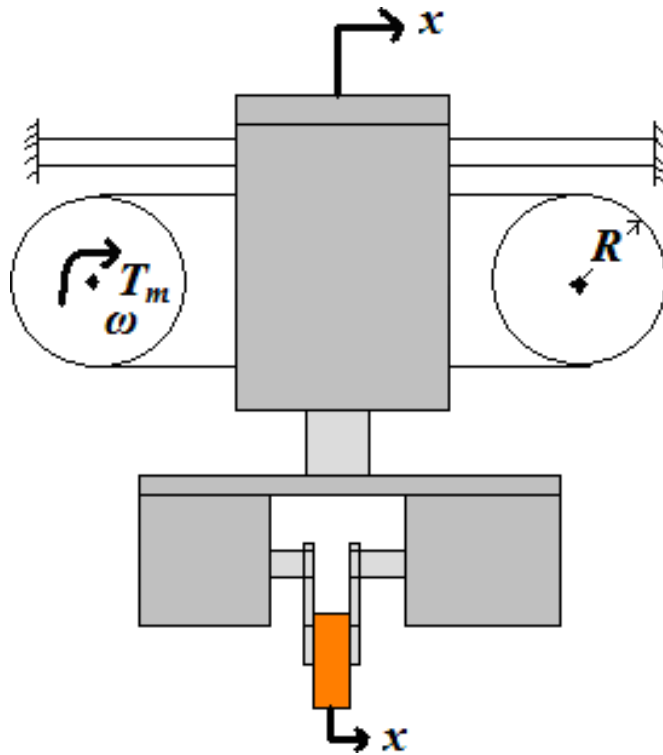


Рисунок 3.2 - Модель 1 DOF для лінійного руху голови

Перестановка рівняння

$$J_{eq} \cdot \ddot{\theta} + b_{eq} \cdot \dot{\theta} + i_0 \cdot K_m \cdot n_r \cdot \theta = 0 \quad (3.4)$$

для $2 \cdot \zeta \cdot \omega_n = b_{eq} / J_{eq}$ і $\omega_n^2 = i_0 \cdot K_m \cdot n_r / J_{eq}$ вираз можна перетворити

$$\ddot{\theta} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \dot{\theta} + \omega_n^2 \cdot \theta = 0 \quad (3.5)$$

Це просто рівняння простої в'язкої демпфованої вільної вібрації, тому позиційний відгук буде коливальним, як показано на рис. 3.3, для кожного кроку степера.

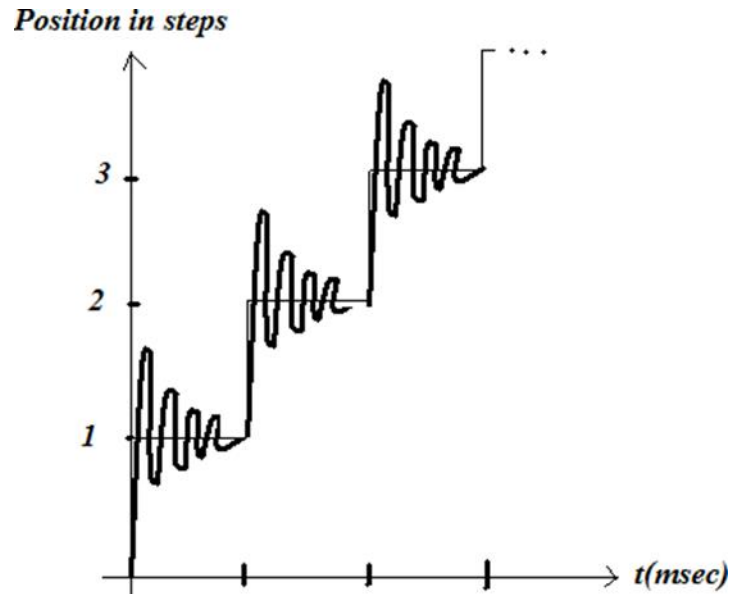


Рисунок 3.3 - Очікувана позиційна відповідь степера

За допомогою кінематичних залежностей $x(t) = \theta(t) \cdot R$, можна сказати, що цей коливальний рух впливатиме на точність положення голови, додаючи коливання після кожного кроку степпера, як показано на рис. 3.4 нижче.

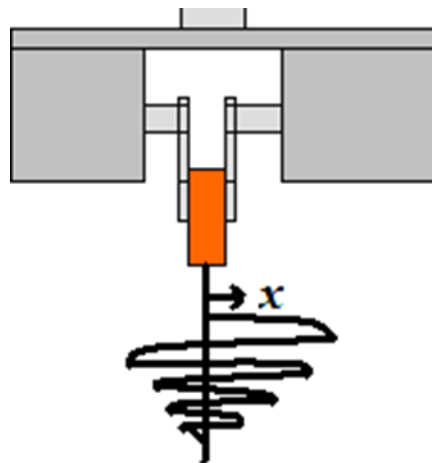


Рисунок 3.4 - Очікувана позиційна реакція упакованих

Ми використовували вживані степери для програми, тому у нас немає жодної таблиці даних, яка б включала такі коефіцієнти двигуна, як константа крутного моменту, коефіцієнт в'язкого тертя та інерція обертання. Приблизні

значення можна визначити за допомогою експериментальних досліджень, і, якщо результати є неприйнятними, можна віддати перевагу зазначеним нижче покращенням продуктивності.

- Механічні рішення (з використанням демпферів кручення, таких як муфти)
- Електронні рішення (з використанням методів «електронного керування перемиканням» або «багатофазної енергетики»)

У роботі ми не віддали перевагу жодному з них через часові та бюджетні обмеження. Крім того, практика роботи машини показала, що результати можна вважати прийнятними, якщо частини, які упаковуються, не дуже крихкі для впливу вібрації, а шум машини можна вважати прийнятним через те, що вона виконуватиме операцію пакування в промисловий об'єкт.

Більш точний аналіз можна провести шляхом моделювання системи з жорсткістю пояса.

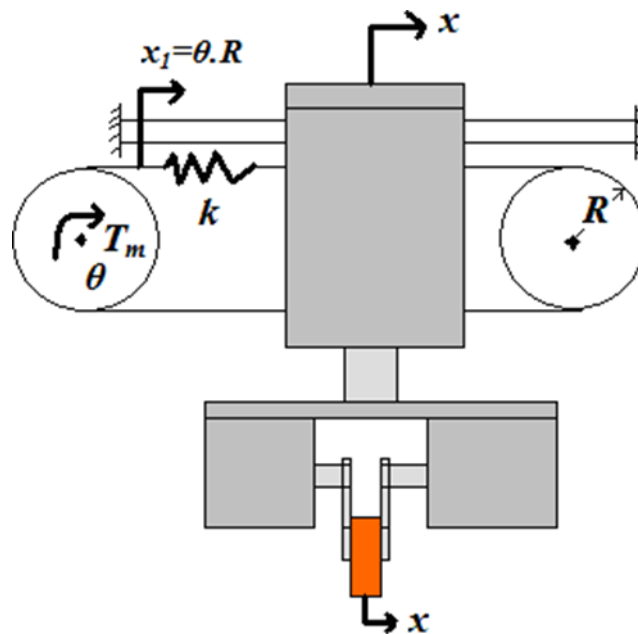


Рисунок 3.5 - Модель 2 DOF для лінійного руху

З $q = [\theta \ x]^T$ є узагальненими координатами, $Q = [T_m \ 0]^T$ є узагальненими навантаженнями та використанням методу Лагранжа

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot \dot{q}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_m \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{x}^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot B \cdot \dot{q}^2 = \frac{1}{2} \cdot b_m \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \dot{x}^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot K \cdot \dot{q}^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (\theta \cdot R - x)^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \theta^2 \cdot R^2 - \frac{1}{2} \cdot k \cdot 2 \cdot \theta \cdot R \cdot x + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

Оскільки

$$M = \begin{bmatrix} J_m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_m & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k \cdot R^2 & -k \cdot R \\ -k \cdot R & k \end{bmatrix}$$

То система буде мати вигляд

$$M \cdot \ddot{q} + B \cdot \dot{q} + K \cdot q = Q(t) \quad (3.6)$$

Яка містить форму

$$J_m \cdot \ddot{\theta} + b_m \cdot \dot{\theta} + k \cdot R^2 \cdot \theta - k \cdot R \cdot x = T_m(t)$$

$$m \cdot \ddot{x} + b \cdot \dot{x} - k \cdot R \cdot \theta + k \cdot x = 0 \quad (3.7)$$

Власні частоти для системи можна знайти, розв'язавши рівняння власних значень

$$\det(K - \omega^2 \cdot M) = 0 \quad (3.8)$$

де

$J_m = 55 \text{ кг.мм}^2$ («обгрунтоване припущення»);

$b_m = 0$ (знехтувано);

$m = 2,5 \text{ кг}$;

$b = 0$ (знехтувано);

$R = 20 \text{ мм}$;

$k = AE/L = 135 \text{ Нт/мм}$

з прийнятими значеннями для зубчастого ременя

$$A(\text{мм}^2) = b \cdot \frac{w}{2} = 6 \cdot \frac{2.5}{2} = 7.5$$

$$E(\text{МПа}) \cong 5 \cdot 10^3$$

$$L(\text{мм}) = 280$$

Очікується нульова власна частота через те, що голова не обмежена.

Отже, критична частота руху становитиме 32 рад/сн для роботи ГОЛОВКИ.

3.2 Аналіз прогину

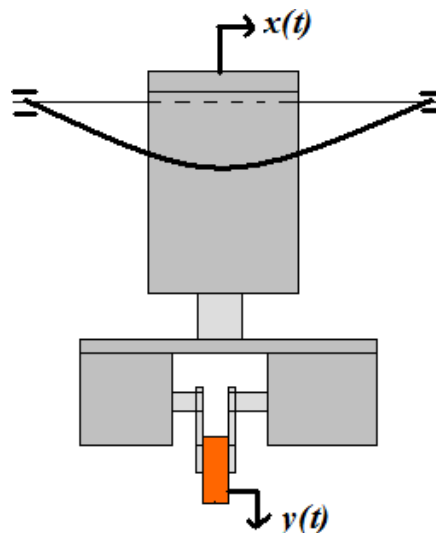


Рисунок 3.6 - Модель відхилення для голови

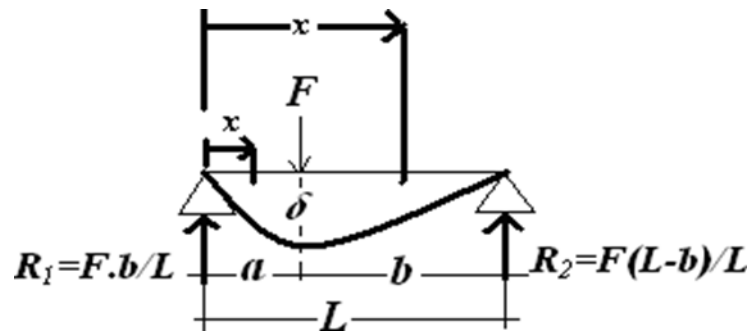


Рисунок 3.7 - Модель, яка використовується для узагальнення рівнянь прогину

$$\begin{aligned}
 (0 \rightarrow a)M_{e1} &= \frac{F \cdot b}{L} \cdot x \\
 (a \rightarrow L)M_{e2} &= \frac{F \cdot b}{L} \cdot x - F(x - a)
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

За допомогою програми Mathematica зміну відхилення можна побудувати наступний графік.

```

In[1]:= m = 2.5; g = 9.81; L = 280; e = 200 10^3; d = 10; i = π d^4 / 64;
In[2]:= δ = m g (L - x)^2 x^2 / (6 e i L);
In[3]:= Plot[Evaluate[-δ], {x, 0, 280}, AxesLabel → {"x (mm)", "delta (mm)"}]

```

Рисунок 3.8 - Рішення Mathematica для відхилення

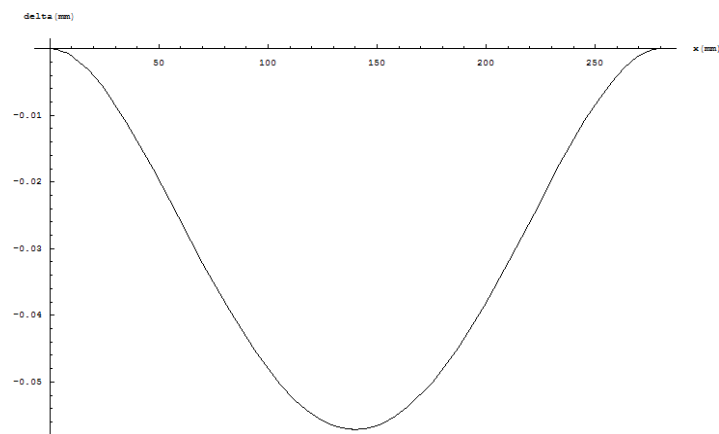


Рисунок 3.8 - Крива відхилення для стрижня головки за допомогою Mathematica

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про

проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

4.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві

(перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 12.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

4.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{ззз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту: $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$,

де k_n - коефіцієнт підсилення;

ρ_n — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де t - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l, d - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевий полоси, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi l) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.}$$

r_B - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,

η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо $\eta_B = 0,66$ і $\eta_r = 0,39$.

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0,66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_{II} / (R_B \eta_r + R_{II} \eta_B n) = 3,9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова $R \leq [r_B]$.

Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де R_{33} – опір захисного заземлення;

R_c – опір стержневих заземлювачів;

R_n – опір поперечних заземлювачів.

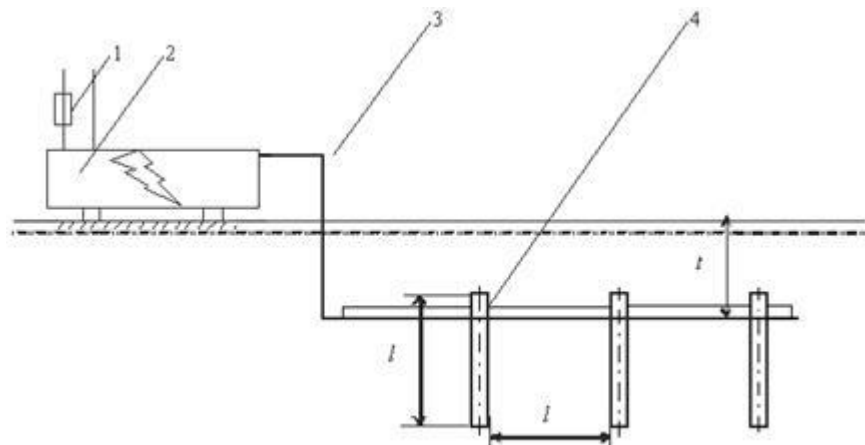


Рисунок 6.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де h – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

l – довжина стержневого заземлювача 3 м;

d – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де l – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

b – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$ – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де $R_{\text{д}}$ – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

R_0 – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають n , при якому $\eta = 1$:

n	R_n	R_c	R_o	η
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У роботі було проведено розробку автоматизованої системи для забезпечення пакувальних операцій. Було проведено опис самого процесу та напрямки автоматизації.

Далі було проаналізовано основні методи покращення ефективності роботи пакувальної системи. В подальшому було обрано обладнання для реалізації прототипу.

Прототип пакувального комплексу було розроблено на базі контролера PIC 16F877. За його допомогою реалізовано систем керування процесом пакування.

На основі розробленого прототипу було проведено аналіз роботи системи автоматизованого пакування

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Angeles J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms. New-York: Springer-Verlag, 2003. URL : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-22458-9_4.
2. Packaging Machines, 2009. URL : [http:// www.ppma.co.uk](http://www.ppma.co.uk)
3. Barber A. Pneumatic Handbook . Elsevier, 1997. URL : https://jahancompressor.com/pdf_files/pneumatic-handbook-eighth-edition-Anthony%20Barber.pdf.
4. Benhabib B. Manufacturing: Design, production, automation, and Integration . USA: Marcel Dekker, 2003. URL : <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203911204/manufacturing-beno-benhabib>.
5. Bishop R. H. (Ed.). The Mechatronics Handbook . Boca Raton: CRC Press, 2008. URL : <https://www.cic.ipn.mx/~pescamilla/SensAct/Bishop2002.pdf>.
6. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
7. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
8. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
9. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

10. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
11. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.