

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення системи автоматизації технологічного процесу
переміщення деталей конвеєром мобільного робота

(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТСІ-20-2

Жижерін В. Е.

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Системна
інженерія

Керівник проф.Новоселов С. П.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра КІТАР
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)
«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Жижеріну Вадиму Едуардовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації технологічного процесу переміщення деталей конвеєром мобільного робота

Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 №545 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Переміщення засобів виробництва або сировини по чотирьом напрямкам. Габаритні розміри, не більше 300x250x200 мм³. Середовище розробки PTC Creo Elements Modeling Express. Поєднання з модулем управління мобільним роботом через послідовний інтерфейс

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; Аналіз технічного завдання; Опис принципу роботи модуля керування міні-конвеєром, що розробляється; Розробка 3Д-моделі міні-конвеєра; Розробка програми управління міні-конвеєром; Охорона праці; Висновки; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(*.ppt) – 17 с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	20.04 – 27.04.24	Виконано
2	Аналіз принципів застосування автономних мобільних роботів для автоматизації технологічних процесів	28.04 – 05.05.24	Виконано
3	Постановка задачі	06.05 – 10.05.24	Виконано
4	Опис принципу роботи модуля керування міні-конвеєром, що розробляється	11.05 – 15.05.24	Виконано
5	Розробка 3Д-моделі міні-конвеєра	16.05 – 30.05.24	Виконано
6	Розробка програми управління міні-конвеєром	31.05 – 02.06.24	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	09.06.24	Виконано
8	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	12.06.24	
	Подання роботи на рецензію	13.06.24	
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	14.06.24	
11	Подання атестаційної роботи в ЕК	19.06.24	

Дата видачі завдання 10.04.24р.

Студент _____ Жижерін В. Е.
(підпис)

Керівник роботи _____ проф.Новоселов С. П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«12» червень 2024 р.

Жижерін В.Е.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 2 табл., 36 рис., 2 дод., 16 джерел(а)

АВТОНОМНИЙ РОБОТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОБІЛЬНИЙ РОБОТ,
МІНІ-КОНВЕЄР, ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ, КОНВЕЄРИ.

Метою роботи – є вдосконалення технології переміщення засобів виробництва або сировини на виробництві завдяки використанню автономних роботів-шатлів з мініконвеєрами на борту для реалізації більш гнучкої логістичної системи розподілення матеріальних потоків.

Об'єктом дослідження є автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предмет дослідження – автономні промислові мобільні роботи з вбудованим міні-конвеєром.

Було проведено аналіз методів використання автономних транспортних роботів на виробництві, розроблено структуру автономного транспортного засобу із вбудованим мініконвеєром для переміщення вантажів, також описано алгоритм роботи модуля керування мініконвеєром;

На останньому етапі було розроблено програму, що реалізує функції управління мініконвеєром транспортного роботу, виконано ескізне проектування та розроблено 3Д моделі основних вузлів міні-конвеєру.

ABSTRACT

Explanatory note: 71 p., 2 tabl., 36 pic., 2 applications, 16 sources,

AUTONOMOUS ROBOT, AUTOMATION, MOBILE ROBOT, MINI-CONVEYOR, INDUSTRIAL ROBOT, CONVEYORS.

The purpose of the work is to improve the technology of moving production means or raw materials in production thanks to the use of autonomous shuttle robots with miniconveyors on board for the implementation of a more flexible logistics system for the distribution of material flows.

The object of research is the automated management of industrial equipment.

The subject of research is autonomous industrial mobile robots with a built-in miniconveyor.

An analysis of the methods of using autonomous transport robots in production was carried out, the structure of an autonomous vehicle with a built-in mini-conveyor for moving goods was developed, and the algorithm of the miniconveyor control module was also described;

At the last stage, a program was developed that implements the functions of managing the miniconveyor transport work, sketch design was performed and 3D models of the main nodes of the mini-conveyor were developed.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.1 Аналіз завдання на виконання кваліфікаційної роботи	11
1.2 Аналіз принципів застосування автономних мобільних роботів для автоматизації технологічних процесів.....	12
1.3 Постановка задачі.....	24
2 Опис принципу роботи модуля керування міні-конвеєром, що розробляється	26
2.1 Розробка архітектури та структурної схеми модуля керування міні-конвеєром.....	26
2.2 Вибір компонентів для побудови модуля управління міні-конвеєром	30
3 Розробка 3Д-моделі міні-конвеєра	42
4 Розробка програми управління міні-конвеєром.....	52
4.1 Розробка алгоритму роботи програми	52
4.2 Розробка програми для реалізації функції видачі деталі	56
5 Охорона праці.....	60
Висновки	62
Перелік джерел посилань	64
Додаток А Код програми.....	67
Додаток Б Демонстраційний матеріал	71

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПК – Персональний комп’ютер;

AGC – Automated guided carts;

AGV – Automated Ground Vehicles;

AREF – AnalogReference;

AMR – Autonomous mobile robots;

GND – Ground;

IDE – Integrated Development Environment;

IMU – Inertial measurement unit;

LGV – Laser Ground Vehicles;

LiDAR – Light Detection and Ranging;

PWM – Pulse-width modulation.

ВСТУП

Сучасна промисловість постійно шукає нові технологічні рішення для оптимізації виробничих процесів та підвищення ефективності виробництва. Одним із таких інноваційних напрямків є застосування автономних мобільних роботів з міні-конвеєрами для переміщення деталей між конвеєрними лініями. Ця технологія відкриває нові можливості для оптимізації логістики виробництва та підвищення продуктивності промислових підприємств.

Автономні мобільні роботи з міні-конвеєрами дозволяють оптимізувати процес переміщення деталей на виробничому майданчику. Замість того, щоб мати статичні конвеєрні системи, які обмежені в місцях розташування, мобільні роботи можуть надавати гнучкість та адаптивність у переміщенні матеріалів та деталей там, де вони потрібні найбільше. Це дозволяє зменшити час і витрати на рух матеріалів та оптимізувати розміщення конвеєрів.

Технологія, що розглядається, сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу. Автономні мобільні роботи можуть працювати цілодобово без необхідності відпочинку, що дозволяє знижувати час простою обладнання та збільшувати загальну продуктивність виробництва.

Таким чином, застосування автономних мобільних роботів з міні-конвеєрами на виробництві є актуальним та перспективним напрямком розвитку промисловості. Ця технологія дозволяє оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати та підвищувати якість продукції, що робить її незамінним інструментом для сучасних виробничих підприємств.

Метою роботи – є вдосконалення технології переміщення засобів виробництва або сировини на виробництві завдяки використанню автономних роботів-шатлів з міні-конвеєрами на борту для реалізації більш гнучкої логістичної системи розподілення матеріальних потоків.

Об'єктом дослідження є автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предмет дослідження – автономні промислові мобільні роботи з вбудованим міні-конвеєром.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів використання автономних транспортних роботів на виробництві;

- розробити структуру автономного транспортного засобу із вбудованим міні-конвеєром для переміщення вантажів;

- описати алгоритм роботи модуля керування міні-конвеєром;

- обрати компоненти для реалізації пропонованої конструкції;

- розробити програму, що реалізує функції управління міні-конвеєром транспортного роботу;

- виконати ескізне проектування та розробити 3Д моделі основних вузлів міні-конвеєру.

- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз завдання на виконання кваліфікаційної роботи

Автономні транспортні роботи відіграють ключову роль у сучасному виробництві, вносячи значний внесок у покращення ефективності, безпеки та конкурентоспроможності промислових підприємств. Завдяки поєднанню передових технологій штучного інтелекту, машинного навчання та робототехніки, ці системи забезпечують автономне переміщення матеріалів та виробів в межах виробничих приміщень або на території складів без необхідності прямого керування операторами.

Однією з ключових переваг використання автономних транспортних роботів є підвищення продуктивності виробничих процесів. Ці роботи можуть працювати неперервно та без втрати швидкості, що дозволяє підприємствам збільшувати обсяги виробництва та оптимізувати час перевезення вантажів. Крім того, вони здатні автоматично обирати оптимальний маршрут переміщення, уникати перешкод та оптимізувати використання простору.

Удосконалення безпеки на виробництві є ще однією важливою перевагою автономних транспортних роботів. Вони програмовані для виявлення небезпек та автоматичного реагування на них, уникаючи зіткнень з людьми або іншими об'єктами на своєму шляху. Це зменшує ризик випадкових травм для працівників та сприяє підвищенню загальної безпеки на робочому місці.

Крім того, автономні транспортні роботи забезпечують значні економічні вигоди для підприємств. Зниження витрат на робочу силу та оптимізація процесів внутрішнього транспортування призводять до зменшення витрат на виробництво і підвищення прибутковості. Крім того,

вони можуть працювати в режимі 24/7, що забезпечує максимальне використання потенціалу обладнання та підвищення продуктивності.

Загалом AGV можна класифікувати трьома способами, а саме: режим наведення, режим водіння та режим передачі

За режимом наведення:

- координатна машина автоматичного наведення;
- електромагнітний автоматичний керований апарат;
- транспортний засіб, керований стрічкою;
- апарат з оптичним автоматичним наведенням;
- транспортний засіб з лазерним наведенням;
- інерційний автоматично керований апарат;
- візуальний автопілот

За режимом руху:

- одноколісна машина з автоматичним керуванням;
- двоколісний автоматичний керований автомобіль;
- багатколісний привід AGV.

Залежно від режиму водіння AGV також може мати різні способи водіння: одне колесо та рульове керування, диференціал, всенаправлене тощо.

За режимом передачі навантаження (привод):

- вилковий автомобіль з автоматичним наведенням;
- буксирування автоматично керованого автомобіля;
- транспортабельний автоматично керований транспортний засіб;
- збірна машина з автоматичним наведенням.

1.2 Аналіз принципів застосування автономних мобільних роботів для автоматизації технологічних процесів

1.2.1 Загальні відомості про автономні мобільні роботи на виробництві

Автономні транспортні роботи називають самокерованими транспортними засобами або автономними транспортними засобами,

автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) – це системи обробки матеріалів або вантажопідійомники, які пересуваються автономно складом, розподільним центром або виробничим підприємством без бортового оператора чи водія (рис. 1.1) [11].

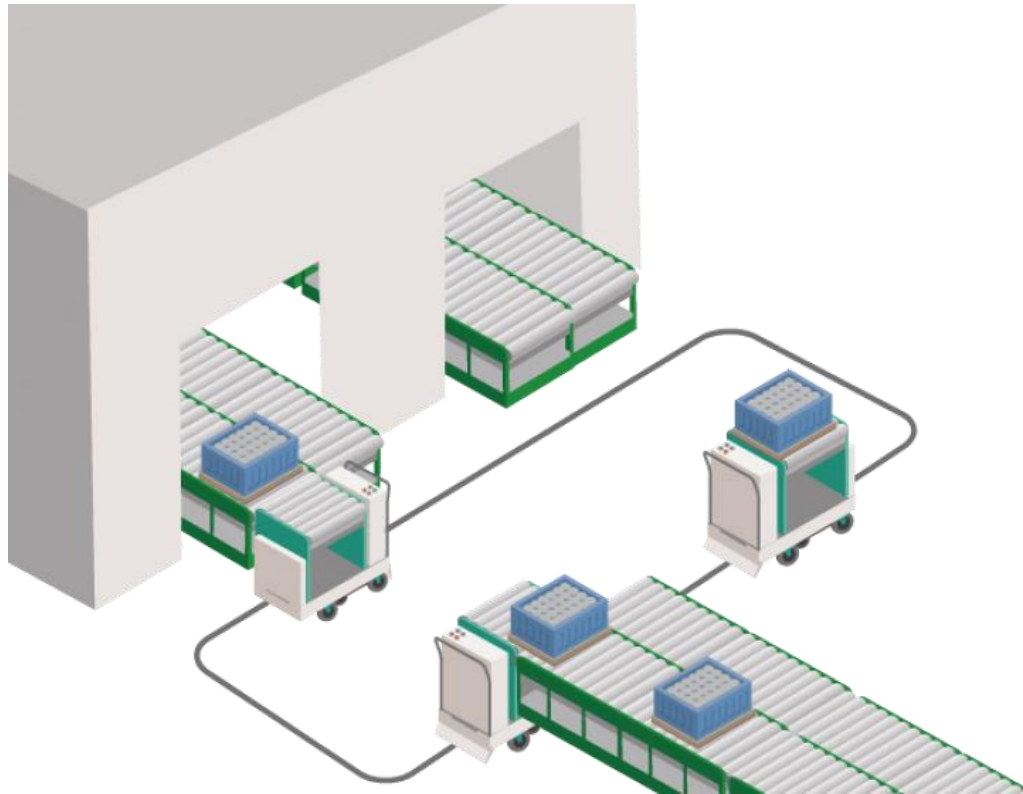


Рисунок 1.1 – Використання автономних транспортних роботів на сучасному виробництві

Автоматизовані керовані транспортні системи використовуються для завдань, які зазвичай виконуються за допомогою вилкових навантажувачів, конвеєрних систем або ручних візків, переміщуючи великі обсяги матеріалу повторюваним способом.

AGV використовуються в різних сферах застосування. Їх часто використовують для транспортування таких сировинних матеріалів, як метал, пластик, гума чи папір. Наприклад, AGV можуть транспортувати сировину від прийому до складу або доставляти матеріали безпосередньо на виробничі

лінії. AGV стабільно та надійно доставляють необхідну сировину без втручання людини, гарантуючи, що виробничі лінії завжди мають потрібні матеріали без перебоїв (рис. 1.2) [11].



Рисунок 1.2 – Автоматизований вантажний робот

На додаток до транспортування сировини, AGV використовуються в процесах виробництва та з готовою продукцією для підтримки виробництва або виробничих ліній. Відповідно до Investopedia, термін незавершене виробництво описує «частково готові товари, які зазвичай перетворюються із сировини на готовий продукт за короткий період часу», наприклад промислові товари. У додатках у процесі виробництва AGV переміщують матеріали або деталі зі складу на виробничі лінії або з однієї робочої станції на іншу, забезпечуючи повторюване та ефективне переміщення матеріалів протягом усього виробничого процесу (рис. 1.3) [12]. Без AGV виробничі процеси можуть зупинитися, коли на технологічних лініях закінчуються матеріали. Тоді виробництво затримується, поки працівник дістає необхідні матеріали зі складу та транспортує їх до виробничої лінії.

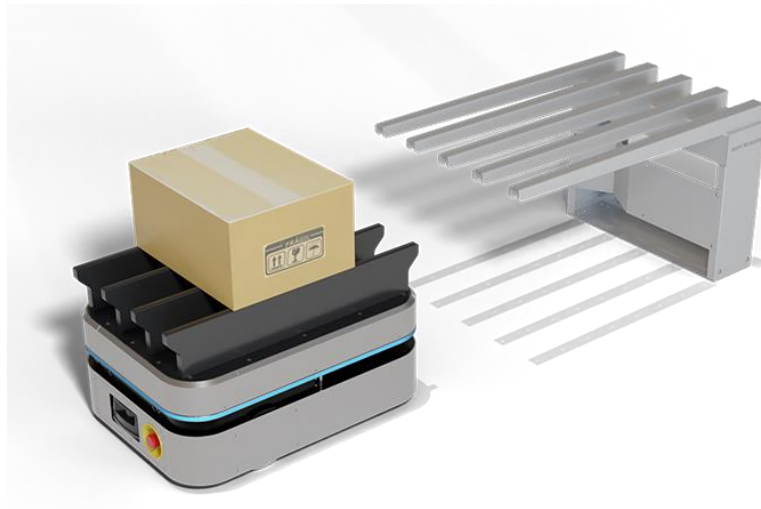


Рисунок 1.3 – Quick Mover QM140-OTTO

AGV також використовуються для вхідної та вихідної обробки для поповнення та комплектування. Наприклад, AGV можна використовувати для транспортування запасів від місць отримання до місць зберігання або від місць довгострокового зберігання до місць комплектування для поповнення запасів. Переміщення запасів із довгострокового зберігання до місць експедирування гарантує, що відповідні запаси будуть доступні для комплектувальників, що робить процес комплектування замовлення більш ефективним. AGV, такі як спільні мобільні роботи, допомагають у процесі комплектування, керуючи складськими співробітниками через завдання та транспортуючи зібрані замовлення до робочих станцій пакування та доставки.

1.2.2 Типи автономних промислових роботів

Існує кілька типів автоматизованих керованих транспортних засобів. Багато AGV схожі на інші транспортні засоби, якими керує людина, але розроблені для роботи без прямого втручання або керівництва людини.

Автоматизовані керовані візки (рис. 1.4). Візок з автоматичним керуванням (AGC) – найпростіший тип AGV з мінімальними функціями. Навігаційні системи можуть варіюватися від таких простих, як магнітна

стрічка, до складних навігаційних систем на основі датчиків, які використовують ШІ для навігації в навколишньому середовищі. Вони можуть транспортувати різноманітні матеріали, від дрібних деталей до завантажених піддонів, і часто використовуються для сортування, зберігання та крос-докінгу.



Рисунок 1.4 – Автоматизований візок

Одним із прикладів AGC є автоматизований лікарняний транспортний візок, який використовується для ефективного транспортування компактних вантажів по всій лікарні, таких як страви та порожні лотки для їжі, чиста або забруднена постільна білизна, біологічно небезпечні відходи або стерильні приладдя. Без необхідності співробітнику вручну штовхати візок з місця на місце, автоматизовані лікарняні транспортери можуть допомогти зменшити витрати на оплату праці.

Навантажувальні AGV [13]. Вилкові транспортні засоби або автонавантажувачі з автоматичним керуванням є ще одним широко використовуваним типом AGV. Вони призначені для виконання тих самих функцій, що й навантажувач, яким керує людина (транспортування піддонів), але без участі людини-оператора.

AGV для буксирування. Буксирні транспортні засоби або буксирні транспортні засоби з автоматичним керуванням тягнуть за собою один або

кілька безмоторних транспортних засобів, що перевозять вантаж, у формі поїзда (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – AGV для буксирування

Механічні буксирні транспортні засоби, які іноді називають поїздами без водія, рухаються на колесах. Для перевезення важких вантажів на великі відстані часто використовуються буксири з автоматичним керуванням. Вони можуть мати кілька зупинок для посадки та посадки вздовж визначеного шляху через склад або фабрику.

AGV для важких навантажень. Хоча AGV з буксируванням і вилкою здатні обробляти великі вантажі, певні галузі, наприклад авіація, великі виробники будівельних транспортних засобів і суднобудівники, потребують AGV, здатних обробляти величезні вантажі до 250 000 кілограмів. Для цих процесів виробники AGV створили машини з великими базами, суцільними колесами та широкими платформами. У багатьох випадках цю форму AGV потрібно розробляти на замовлення, щоб точно відповідати вимогам галузі замовника.

Автономні AGV мають одну спеціалізовану функцію, яка полягає в транспортуванні вантажівок, піддонів, товарів і стелажів, які є надто важкими, щоб їх можна було переміщувати іншими засобами. Вони призначені для

переміщення вантажів і важких матеріалів на складі або в сховищі. На відміну від вилоквих і буксирних AGV, одиничні вантажі або одиничні вантажні деки є плоскими столами, які можуть перевозити одну або кілька окремих одиниць до та з конвеєрів, стендів, автоматизованих складів і різних типів систем пошуку. Дуже схожі на платформу, вони зазвичай рухаються по одному шляху в двох напрямках, повторювано і без змін.

Легкі AGV зазвичай знаходяться поза виробничими потужностями в лікарнях, офісах або комерційних місцях. Вони здатні переміщувати дуже невеликі вантажі вагою до 500 кг. Малі AGV особливо корисні в місцях, де потрібна чистота, де присутність людини може забруднювати навколишнє середовище. Наприклад, у лікарні вони доставляють карти пацієнтів і щоденні ліки.

Керовані транспортні засоби. Керовані транспортні засоби – це транспортні засоби, керовані комп'ютером, які виконують завдання без будь-якого керівництва чи контролю з боку людини. Вони використовуються для обробки матеріалів і транспортування і можуть бути призначені для сортування, зберігання, доставки або складання продукту (рис. 1.6) [14]. Керовані транспортні засоби, або автоматично керовані транспортні засоби, знижують витрати на оплату праці у виробничих процесах, забезпечуючи велику кількість повторюваних і виснажливих рухів і дій із можливостями цілодобової роботи.



Рисунок 1.6 – Транспортний робот з міні-конвеєром

Транспортні засоби можуть бути оснащені інфрачервоною системою виявлення або системою бампера, яка допомагає зменшити потенційну шкоду від зіткнень. Системи AVG вільного вигулу, які керуються комп'ютерним програмним забезпеченням і можливостями міжнародної навігації, здатні коригувати маршрут транспортного засобу відповідно до потоку транспорту та можливих перешкод, таким чином роблячи виробниче приміщення безпечнішим місцем для роботи.

1.2.3 Автономні мобільні роботи (AMR)

Автономні мобільні роботи здатні виконувати завдання та заповнювати програми без втручання людини [15]. Вони запрограмовані на збір інформації про навколишнє середовище таким чином, щоб вони могли уникати шкідливих ситуацій і адаптуватися до свого оточення.

Прості форми автономних мобільних роботів мають інфрачервоні або ультразвукові датчики, які дозволяють їм керувати об'єктами без потреби в людському контролі. Більш просунуті форми автономних мобільних роботів здатні бачити навколишнє середовище за допомогою стереозору, камер із

функцією сприйняття глибини та програмного забезпечення визначення місцезнаходження, яке класифікує перешкоди та об'єкти в реальному часі.

Автономні мобільні роботи полегшують людям виконання повсякденних завдань, таких як доставка звітів, розповсюдження пошти та збирання речей. Основна відмінність автономних мобільних роботів від фабричних – це мобільність автономних мобільних роботів і програмування прийняття рішень. Вони не зафіксовані та не встановлені в одному місці, але здатні подорожувати повним простором свого середовища без потреби контролю людини.

Чотири основні типи автономних мобільних роботів – це роботи для співпраці, роботи для транспортування запасів, масштабовані роботи для збирання складських запасів і автоматично керовані транспортні засоби (AGV).

Роботи для співпраці. Роботи для співпраці призначені для зберігання, збирання, підрахунку, поповнення та сортування матеріалів. Вони отримують замовлення на завдання відправитися в місце вибору, де є оператор, який чекає, щоб помістити продукт на робота або вийняти продукт, щоб розмістити його на полиці.

Inventory Transportation Robot – Роботи для транспортування запасів призначені для доставки товарів людині та є частиною системи комплектування на складі.

Масштабовані роботи для збирання сховищ - масштабовані роботи для збирання сховищ є ще однією формою роботів, які доставляють товари людям. Вони здатні підніматися на стелажі, щоб тягнути або підбирати кодовані та пронумеровані коробки. Масштабовані роботи-комплектувальники вимагають спеціально розроблених стелажів з правильними розмірами.

1.2.3 Система позиціонування транспортних роботів

Основною системою AGV є його система навігації, яка допомагає йому орієнтуватися в його завданнях і правильно позиціонувати його. Існує кілька форм навігаційних систем, а також нові, що містять інновації та нові технології для підвищення точності та продуктивності. Незалежно від типу системи, навігаційна система локалізує AGV і здійснює навігацію в його оточенні.

Жодна із систем на AGV не працює незалежно. Кожен з них спілкується один з одним, щоб забезпечити оптимальну роботу AGV, що включає навігаційну систему, яка взаємодіє з системою безпеки та системою керування автомобілем. Фундаментальною частиною навігаційної системи є датчики, розташовані на зовнішній частині AGV.

Існують два типи навігаційних систем: фіксований шлях і вільний діапазон. Системи з фіксованим шляхом керуються дротами, стрічкою або настінними датчиками. Їхній шлях розмічений, щоб транспортні засоби чи люди не могли заважати роботі AGV. На відміну від транспортних засобів із фіксованим маршрутом, системи вільного виходу мають запрограмований шлях, який не потребує жодних зовнішніх пристроїв як орієнтування. Вони запрограмовані на коригування, щоб уникнути зіткнень і небезпек, які можуть перешкодити виконанню запрограмованого завдання. Установка проста і не потребує серйозних змін у робочому середовищі.

Типи датчиків включають (рис. 1.7):

- магнітні датчики: магнітні датчики є однією з найстаріших форм датчиків AGV. AGV слідує за магнітною стрічкою, розміщеною на підлозі. Магнітні датчики можна регулювати, змінюючи розташування стрічки;

- датчики LiDAR: датчики LiDAR є більш складними навігаційними датчиками, які дозволяють AGV вільно рухатися. Вони здатні розпізнавати перешкоди та локалізувати АГВ;

- оптичні датчики: оптичні датчики – це очі AGV. Вони використовують системи розпізнавання зору для виявлення орієнтирів і

середовища AGV за допомогою складного програмного забезпечення для визначення розташування та положення AGV;

– датчики інерційних одиниць вимірювання (IMU): IMU вимірює кутову силу та швидкість за допомогою акселерометра та гіроскопа. Акселерометр вимірює швидкість, а гіроскоп – кутову швидкість. Разом вони забезпечують вимірювання потоку шестивимірного часового ряду. Дані, зібрані IMU, допомагають розрахувати положення та траєкторію AGV.



Рисунок 1.7 – Датчики транспортних роботів

Транспортні засоби з лазерним наведенням здатні пересуватися самостійно, керувати та покращувати логістичні операції [16]. Вони орієнтуються за допомогою лазерної системи позиціонування з бортовим комп'ютером для визначення правильної швидкості та місцезнаходження. Лазер сканує три відбивачі, щоб обчислити їх положення та кути, процес, який відбувається вісім разів на секунду. Транспортні засоби LGV мають двовимірні лазерні випромінювачі, які випромінюють безперервний промінь модульованого лазерного світла у формі 360°. Промінь, який повертається від рефлектора, використовується для визначення координат X і Y рефлектора та LGV (рис. 1.8).

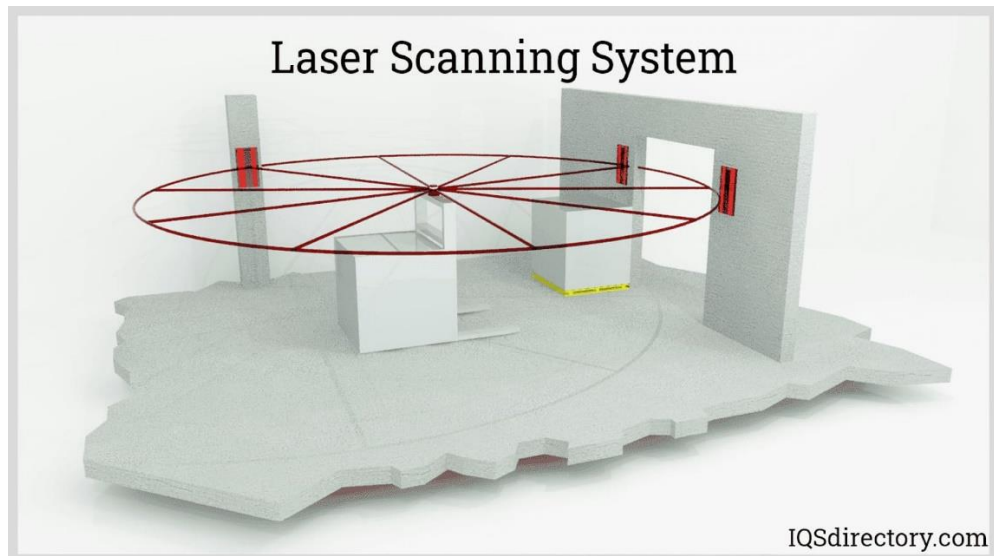


Рисунок 1.8 – Транспортний робот з лазерної системою навігації

Як і в інших системах позиціонування, три точки визначають точне розташування LGV. Точність системи вимірюється на рівні ± 10 мм за допомогою чотирьох відбивачів у радіусі 8 м. Асиметричне розміщення відбивачів або цілей необхідно для досягнення певного позиціонування LGV, яке обчислюється 30 або 40 разів на секунду. Розташування відбивачів дозволяє автоматично переключатися з автоматичного режиму на ручний під час руху LGV за маршрутом. Складні маршрути поділені на фіксовані області або шари, причому для прокладки треку або маршруту використовується до 200 шарів.

Типи відбивачів, що використовуються для LGV, є плоскими та циліндричними, причому плоскі відбивачі є найдешевшими, оскільки вони являють собою світловідбивну стрічку. Оскільки плоскі рефлектори мають контактну клейку сторону, їх можна легко встановлювати та змінювати, коли це необхідно. Встановлення циліндричних рефлекторів вимагає розрахунку його фіксованої центральної точки, що ускладнює їх установку, кріплення та робить їх чутливими до пошкоджень. Головна перевага рефлекторної системи – точне позиціонування LGV. Крім того, LGV може працювати зі швидкістю

2 м за секунду (6 футів за секунду) для підвищення ефективності та виняткової продуктивності.

Чотири основні типи транспортних засобів з лазерним наведенням: LGV з високою радіусом підйому, вилкові LGV, конвеєрні LGV і барабанні LGV. LGV з високим підйомом може перевозити до 1200 кг (2645 фунтів) і використовується для обробки піддонів і штабелювання піддонів висотою до 9 м (29 футів). Вилкові навантажувачі LGV використовуються для обробки піддонів від однієї до чотирьох піддонів і стабільної доставки вантажу. Конвеєрні станини LGV можуть перевозити декілька продуктів одночасно та використовуються для високошвидкісного сортування, потоку та транспортування матеріалів, розподілу та обробки сировини.

1.3 Постановка задачі

Виконавши аналіз літератури та аналогічних конструкцій можна зробити висновок, що автономні транспортні роботи AGV – це керовані комп'ютеризовані транспортні засоби, які використовують комп'ютерне програмне забезпечення для визначення свого позиціонування, руху та розташування.

Порівняно з іншим обладнанням, яке зазвичай використовується для транспортування матеріалів, активна зона AGV не потребує прокладки гусениці, опорної рами та інших фіксованих пристроїв і не обмежена місцем, дорогою та простором. Тому в автоматичній логістичній системі вона може повністю відобразити свою автоматизацію та гнучкість і реалізувати ефективне, економічне та гнучке безлюдне виробництво.

В подальшій роботі потрібно;

- розробити структуру автономного транспортного засобу із вбудованим міні-конвеєром для переміщення вантажів;
- описати алгоритм роботи модуля керування міні-конвеєром;

- обрати компоненти для реалізації пропонованої конструкції;
- розробити програму, що реалізує функції управління міні-конвеєром транспортного роботу;
- виконати ескізне проектування та розроблення 3Д моделі основних вузлів міні-конвеєру.

2 ОПИС ПРИНЦИПУ РОБОТИ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ МІНІ-КОНВЕЄРОМ, ЩО РОЗРОБЛЯЄТЬСЯ

2.1 Розробка архітектури та структурної схеми модуля керування міні-конвеєром

На рис. 2.1 показана архітектура автоматизованої системи управління мобільним роботом з міні-конвеєром.

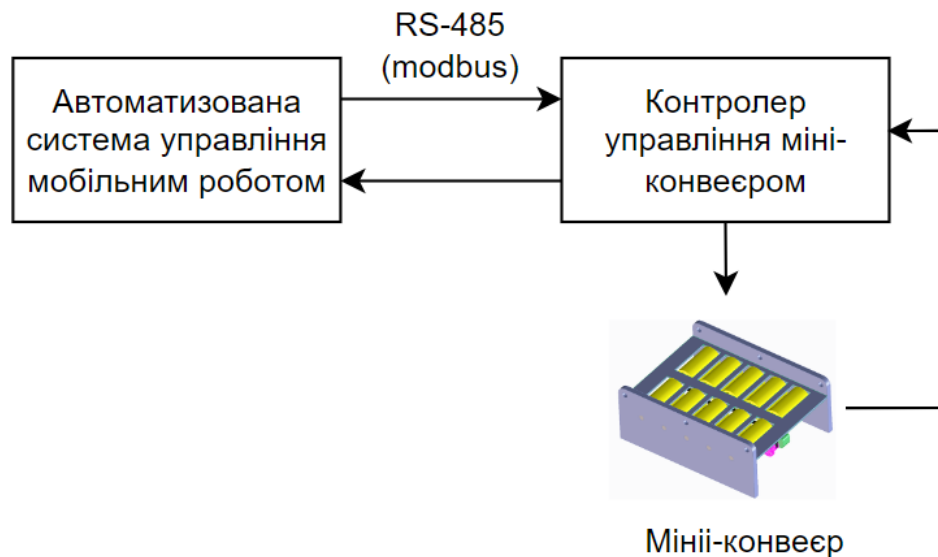


Рисунок 2.1 – Архітектура автоматизованої системи управління мобільним роботом з міні-конвеєром

Автоматизована система управління мобільним роботом виконує комплекс функцій, що забезпечують його ефективну роботу та виконання поставлених завдань.

Ця система відповідає за навігацію мобільного робота в навколишньому середовищі. Вона використовує різноманітні методи, такі як GPS, сенсори,

камери, лазерні дальноміри та інші, для визначення його місцезнаходження та орієнтації.

Крім того, система забезпечує мобільному роботу здатність взаємодіяти з навколишнім середовищем. Вона здатна збирати та обробляти дані з датчиків, розпізнавати об'єкти, аналізувати оточуюче середовище та приймати рішення на основі цієї інформації.

Однією з головних функцій системи управління є керування рухом мобільного робота. Вона відповідає за керування швидкістю, напрямком та траєкторією руху робота, щоб досягти потрібної точності та ефективності виконання завдань.

Крім того, система автоматизованого управління забезпечує безперервну моніторинг та діагностику стану мобільного робота. Вона виявляє можливі несправності, відслідковує знос та забезпечує своєчасне обслуговування та ремонт для забезпечення безперебійної роботи.

В нашому проєкті до перелічених функцій додається ще функція управління міні-конвеєром для перевезення вантажів (рис. 2.2). Ця технологія, яка поєднує в собі переваги мобільних роботів та конвеєрів, відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації логістичних процесів.



Рисунок 2.2 – Мобільний робот з міні-конвеєром

Такий тип роботів оснащений рулонними доріжками, що дозволяють ефективно та надійно перевозити вантажі різних типів та розмірів. Основні переваги застосування конвеєра на мобільному роботі полягають у його мобільності та універсальності. Мобільний робот з конвеєром може легко переміщатися вздовж заводських або складських приміщень, перевозячи вантажі від одного пункту до іншого.

Крім того, такий конвеєр дозволяє збільшити продуктивність та ефективність логістичних процесів. Він може бути ідеальним рішенням для автоматизації руху великого обсягу товарів на виробництві або у складському комплексі.

Взаємодія конвеєра та мобільного робота відбувається через послідовний інтерфейс RS-485 (рис. 2.1). Використання даного інтерфейсу разом з протоколом modbus дає можливість нарощувати функціональність пристрою та додавати додаткові апаратні модулі до загальної системи.

Структурна схема модуля керування міні-конвеєром показана на рис. 2.3.

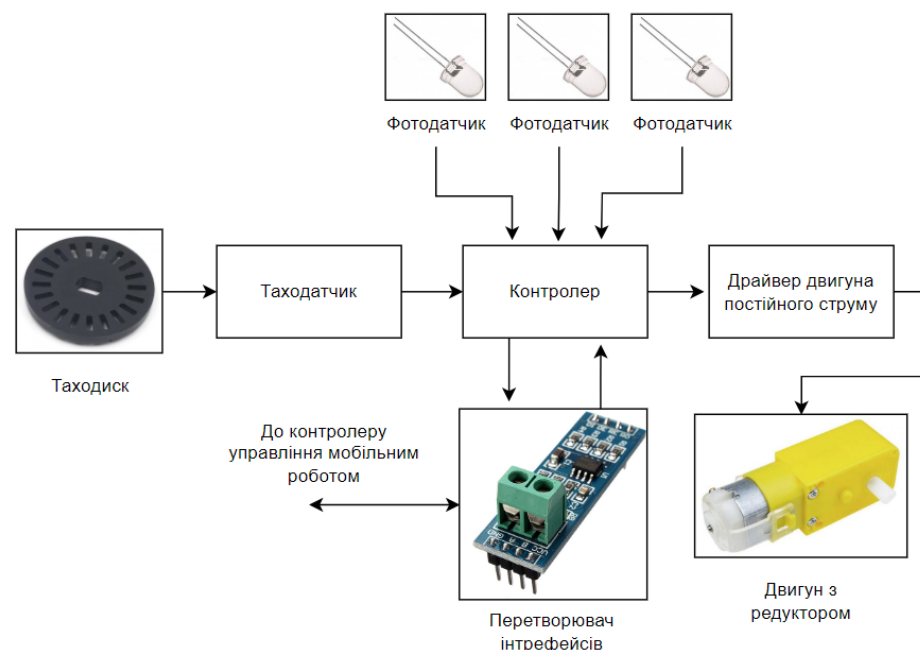


Рисунок 2.3 – Структурна схема модуля керування міні-конвеєром

Модуль управління працює під управлінням контролера Arduino. Для даного проекту використовується плата Arduino Uno. Управління рухом роликів конвеєру відбувається за допомогою двигуна постійного струму з редуктором. Контролер взаємодіє з двигуном через спеціальний пристрій – драйвер.

Інформацію про швидкість обертання роликів контролер отримує через застосування таходиску. Таходиск – це диск із отворами, що взаємодіє з оптичним датчиком положення. Таходатчики, або енкодери, є ключовими компонентами в багатьох робототехнічних системах, оскільки вони забезпечують вимірювання кутових або лінійних переміщень рухомих частин. Вони використовуються для точного визначення положення рухливих вузлів роботів, контролю швидкості та прискорення, а також для забезпечення точності та стабільності роботи.

Принцип роботи таходатчиків базується на вимірюванні зміни позиції або кута обертання. Існують два основних типи таходатчиків: оптичні та магнітні.

Оптичні таходатчики використовують фотодатчики та спеціальні оптичні шкали або диски з вбудованими прорізами або випуклостями. При переміщенні диска фотодатчики реєструють зміни в світловому потоці, що дозволяє визначити зміну положення.

Для визначення положення вантажу на конвеєрі використовуються три фотодатчики. Напроти фотодатчиків розташовуються світлодіоди. Фотодатчики фіксують момент, коли промінь від світлодіоду переривається. Це означає, що напроти датчика знаходиться пакунок. Таким чином, контролер дізнається про наявність та місце розташування пакунку на міні-конвеєрі.

Перший фотодатчик розташовується на вході на конвеєр, другий – по центру, а третій – на виході з конвеєру.

2.2 Вибір компонентів для побудови модуля управління міні-конвеєром

В якості контролера модуля управління міні-конвеєром застосовується контролер Arduino Uno

Зовнішній вигляд контролеру Arduino Uno показано на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд контролера Arduino Uno

Arduino – це відкрита платформа з відкритим кодом програм і бібліотек, що перебувають у вільному доступі, яка дозволяє збирати різноманітні електронні пристрої.

В даній платі, в якості USB-UART перехідника використовується мікросхема CH340, яка добре себе зарекомендувала та відрізняється хорошою стабільністю, високою швидкістю передачі даних, але для якої потрібна додаткова установка драйверів. Також контролер від попередників відрізняється додатковими контактами SDA і SCL (I2C інтерфейс) і виходами AREF – джерела опорної напруги для АЦП контролера і IOREF – виходом напруги живлення портів введення-виведення (для автоматичного перемикавання напруги периферії при використанні 5В і 3.3В контролерів). В

уському іншому це все той же контролер Arduino UNO на базі мікроконтролера Atmega328p з масою прикладів програм, бібліотек і опису побудови готових конструкцій.

Для цієї платформи написана величезна кількість різних прикладних програм і бібліотек. Практично не залишилося датчиків, дисплеїв і виконавчих механізмів для яких не написана Arduino бібліотека або програма, в яких вони використовуються.

Для програмування даної плати використовується спрощена версія C++. Розробку програми можна вести як з використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для програмування та передачі даних на ПК потрібен USB-кабель, а для автономної роботи можна використати блок живлення, батарейки чи акумулятор на 7-12 В роз'єм 5.5x2.1мм.

Для управління двигуном постійного струму використовується спеціальний модуль розширення Arduino Motor Shield Rev3 A000079 (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Модуль розширення Arduino Motor Shield Rev3 A000079

Плата розширення Arduino Motor побудована на базі мікросхеми L298, що представляє собою подвійний мостовий драйвер для управління різним індуктивним навантаженням, таких, як реле, соленоїди, крокові двигуни та двигуни постійного струму. Плата розширення дозволяє Ардуіно управляти двома двигунами постійного струму, контролюючи швидкість і напрямок обертання кожного з них незалежно один від одного. Серед інших можливостей пристрою можна виділити можливість вимірювання струму, споживаного кожним двигуном.

На рис. 2.6 показана схема модуля розширення Arduino Motor Shield Rev3 A000079.

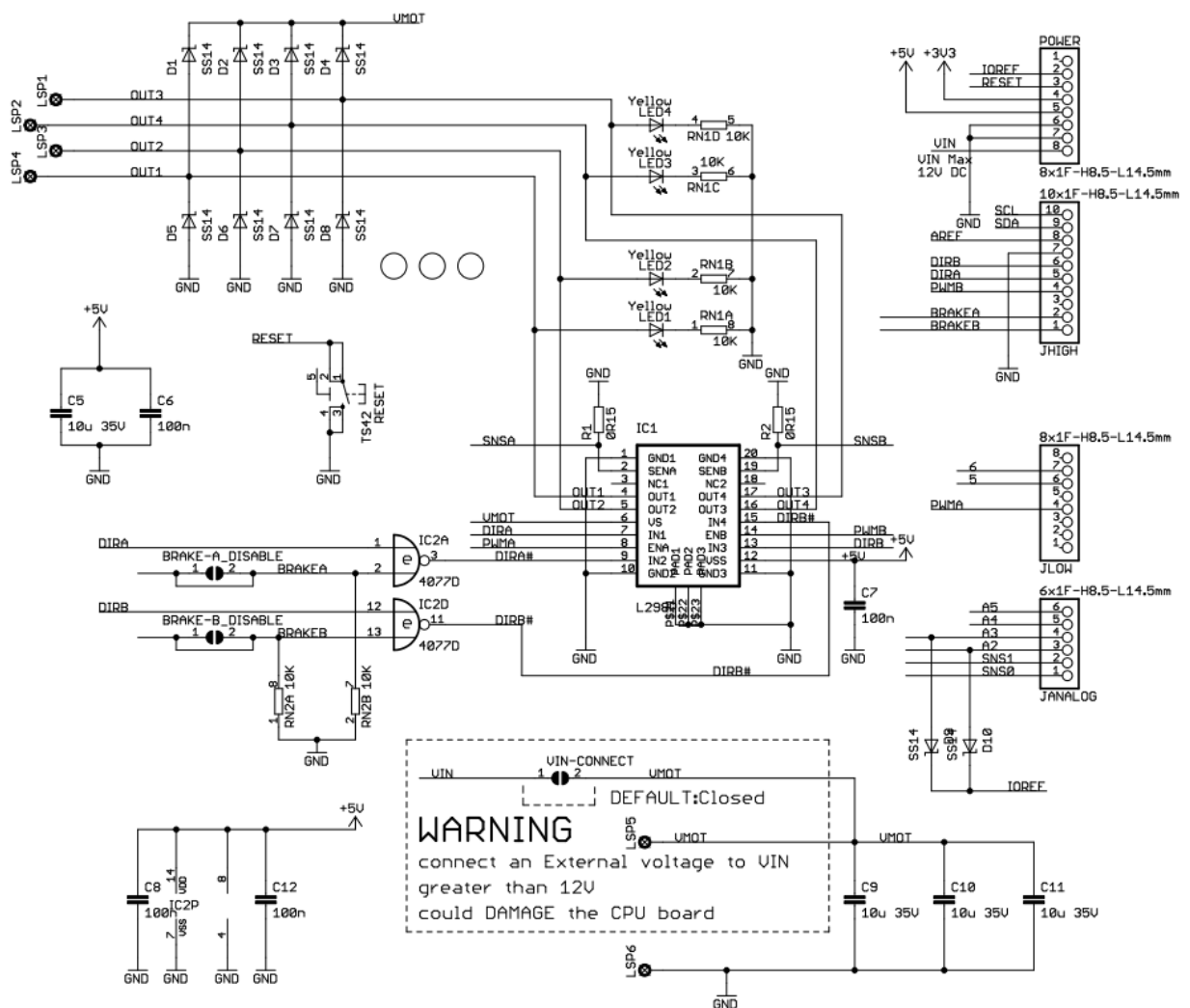


Рисунок 2.6 – Схема модуля розширення Arduino Motor Shield Rev3 A000079

Живлення плати реалізовано на мікросхемі L298, яка підтримує два джерела живлення. Одне джерело живлення призначене для логічної частини, а друге для двигунів.

Зовнішнє джерело живлення підключається до клемної колодки: Vin – плюс, GND – мінус. Напруга зовнішнього джерела живлення може становити від 7 до 12В.

При живленні двигуна понад 9В рекомендується роздільне живлення логічної частини та силової. Для цього потрібно перерізати Vin Connec на тильній стороні плати. Максимальний струм на каналі становить 2А.

Шилд має два незалежні канали А і В. Кожен канал задіює чотири контакти Arduino.

За допомогою даного шилда можна керувати двома двигунами постійного струму або об'єднавши обидва канали в один керувати одним біполярним кроковим двигуном.

Призначення виводів управління надана в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Призначення виводів управління

Функція	Канал А	Канал В
Напрямок руху	D12	D13
ШИМ	D3	D11
Гальмування	D9	D8
Вимірювання струму	A0	A1

Згідно схемі (рис. 2.6) Arduino Motor дозволяє управляти двома колекторними двигунами постійного струму. Для підключення кожного двигуна до каналу А або В необхідно під'єднати його дроти до клем (+) і (-) відповідного каналу. При правильному підключенні пристрій дозволяє контролювати напрямок та швидкість обертання кожного двигуна. Для зміни напрямку обертання достатньо подати високий (HIGH) або низький (LOW) рівень сигналу на висновки DIR А або DIR В. Зміна швидкості обертання

двигунів здійснюється шляхом зміни коефіцієнта заповнення ШІМ-сигналу на висновках PWM A та PWM B. Для різкої зупинки кожного двигуна необхідно подати високий рівень сигналу (HIGH) на висновки Brake A і Brake B. Для повільної зупинки досить просто припинити подачу живлення. Щоб дізнатися величину постійного струму, споживаного кожним двигуном, слід вважати напругу висновків SNS0 і SNS1. Для цього можна застосувати функцію `analogRead()`, вказавши їй як параметр аналоговий вхід A0 або A1. Напруга на цих висновках буде пропорційно струму, що протікає через кожен канал плати розширення, і обмежена величиною 3.3В, яке відповідає максимальному струму 2А.

2.3 Синтез алгоритму керування контуром регулювання продуктивності конвеєрної установки

Здійснимо процедуру синтезу оптимального регулятора завантаження конвеєра, електромеханічна система якого описується коливальним ланкою. Таке припущення буде справедливим для однодвигунного конвеєру з налаштуванням контуру швидкості приводу на технічний оптимум. Запропонований підхід дозволить істотно спростити процедуру синтезу без значного зниження точності рішення задачі оптимізації.

Залежність поточного завантаження конвеєра від кількості вантажу, що надходить на стрічку, визначається виразом (2.1):

$$Q = (1 - e^{-pT})\delta. \quad (2.1)$$

Розкладемо складову e^{pT} в ряд Тейлора, обмежимося двома складовими, і при обліку інтегральною складовою навантаження отримаємо:

$$\begin{aligned}
 Q &= (1 - e^{-pT})\delta = \left(1 - \frac{1}{e^{pT}}\right)\delta = \left(\frac{e^{pT} - 1}{e^{pT}}\right)\delta \approx \\
 &\approx \left(\frac{1 + pT - 1}{1 + pT}\right)\delta = \frac{T}{Tp + 1}\sigma.
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Оскільки час затримки залежить від швидкості в залежності $T = l_{\kappa} i_p R_{\sigma}^{-1} \omega^{-1}$, можемо записати в нормальній формі Коші рівняння, що описує зміну завантаження:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{R_{\sigma}}{l_{\kappa} i_p} \omega Q + \sigma.
 \tag{2.3}$$

Поведінка приводу, за умови його налаштування зовнішнього контуру регулювання швидкості на технічний оптимум, описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\omega}{dt} &= \varepsilon; \\
 \frac{d\varepsilon}{dt} &= -\frac{1}{T_{\text{ЭП}}^2} \omega - \frac{2\xi}{T_{\text{ЭП}}} + \frac{K_{\text{ЭП}}}{T_{\text{ЭП}}} u.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Контур стабілізації завантаження безперервного транспорту для сипучих вантажів з урахуванням запропонованої моделі електромеханічної системи прийме вигляд, представлений на рис.2.7.

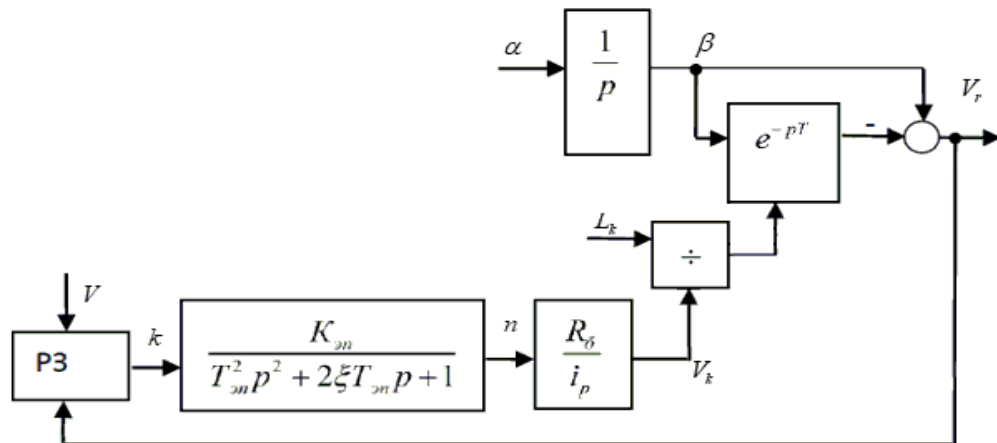


Рисунок 2.7 - Схема контуру стабілізації завантаження конвеєра

На рис. 2.7 введено наступні позначення: V, V_r – заданий та реальний об’єм вантажу на конвеєрі; k – керуючий вплив з виходу регулятора завантаження; n – частота обертання валу двигуна; V_k – швидкість руху стрічки конвеєра; L_k – довжина конвеєра; α – миттєва кількість вантажу, що надходить на конвеєр; β – кількість вантажу, що завантажується на конвеєр; R_{σ} – радіус приводного барабана; i_p – передавальне число редуктора; K_{en}, ξ, T_{en} – параметри електромеханічної системи конвеєра.

Дослідження динамічних характеристик контуру регулювання завантаження було проведено методом цифрового моделювання із застосуванням пакета MATLAB і його додатка Simulink. Як об’єкт розглядався конвеєр гірничодобувного підприємства з рекомендованим завантаженням 45 тон і довжиною 500 метрів. Завдання по завантаженню формувалося у вигляді зворотно-пропорційного сигналу по швидкості конвеєра з метою максимальної компенсації чистого запізнювання стрічки.

Завдання вибору закону управління і типу регулятора полягає у виборі такого регулятора, який при мінімальній вартості і максимальній надійності забезпечував би задану якість регулювання.

Для того щоб вибрати тип регулятора і його налаштування, необхідно знати статичні і динамічні характеристики об'єкта управління, вимоги до якості процесу регулювання і характер збурень, що діють на процес регулювання.

Регулятори з лінійним законом регулювання по математичної залежності між вхідними і вихідними величинами поділяються на такі види:

- пропорційні (П-регулятори);
- пропорційно-інтегральні (ПІ регулятори);
- пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори).

Пропорційні регулятори (П-регулятори) мають один параметр настройки - коефіцієнт передачі k_p .

ККП регулятора буде:

$$W_p(j\omega) = k_p \quad (2.5)$$

А усієї системи:

$$W(j\omega) = k_p W_{об}(j\omega). \quad (2.6)$$

Отже, при підключенні до об'єкта П-регулятора ККП системи на кожній частоті збільшується в k_p раз.

Перехідні процеси в П-регуляторі описуються виразом

$$\mu = k_p \varepsilon, \quad (2.7)$$

де ε – вхідний вплив на регулятор, рівне відхиленню регульованої величини від заданого впливу;

μ – керуючий вплив регулятора на об'єкт, спрямоване на ліквідацію відхилення регульованої величини від заданого значення.

Діапазон зміни вихідного сигналу регулятора (ΔU) називається діапазоном регулювання. Діапазон зміни сигналу помилки ($\Delta \varepsilon$) називають пропорційним діапазоном.

В П-регуляторах змінюють як діапазон регулювання, так і пропорційний діапазон.

Величина $k_p = \Delta U / \Delta \varepsilon$ є коефіцієнт регулювання. При великих значеннях k_p в контурі регулювання можуть виникнути коливання.

Чим більший обраний пропорційний діапазон регулювання, тим меншим буде значення k_p і тим більшою буде величина статичної помилки. Якщо $k_p > 10$, то П-регулятор прийнятний за величиною статистичної помилки і забезпечує високу швидкодію.

При цифровій реалізації П-закону регулювання

$$Y_i = k_p \varepsilon_i \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Поза смуги пропорційності вихідний сигнал дорівнює нулю або 100%.

Статичну помилку, що виникає при пропорційному регулювання, можна виключити, якщо ввести ще і інтегральну ланку.

ІІ-регулятор впливає на регулюючий орган пропорційно відхиленню і інтеграла від відхилення регульованої величини:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt, \quad (2.9)$$

де T_i – постійна інтегрування, параметр настройки регулятора.

Передавальна функція паралельного з'єднання пропорційної і інтегральної ланки:

$$W_{\text{пн}}(p) = k_p + 1/T_i p. \quad (2.10)$$

Закон регулювання:

$$\mu = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_q} \int_0^t \varepsilon dt \right), \quad (2.11)$$

де T_q – постійна часу.

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$W_{\text{ПІ}}(p) = k_p (T_q p + 1) / T_i p. \quad (2.12)$$

При стрибкоподібній зміні регульованої величини на значення ε_0 ПІ-регулятор зі швидкістю, яка визначається швидкодією приводу, переміщує виконавчий механізм на величину (k_p, ε_0) , після чого додатково переміщує виконавчий механізм зі швидкістю ε_0 / T_i .

Параметрами налаштування паралельного ПІ-регулятора є незалежні одна від одної: коефіцієнти посилення k_p і постійна часу інтегрування T_i .

ПІ-регулятор по послідовній схемі має взаємопов'язані параметри налаштування статичної і астатической частин за коефіцієнтом k_p . Під час налаштування коефіцієнта посилення k_p буде змінюватися і постійна часу інтегрування

$$T_i = T_q / k_p. \quad (2.13)$$

де $T_{\text{из}}$ – це час, протягом якого від початку дії інтегральної складової подвоюється значення пропорційної складової.

Основними перевагами ПІ-регулятора є:

- простота настройки (два параметра k_p, T_i) і можливість оптимізації величини $k_p / T_i \rightarrow \min$, що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною помилкою регулювання;

- мала чутливість до шумів в каналі вимірювання.

При цифрової реалізації ПІ-закону I^n

$$Y_i = \left[k_p \varepsilon_i + \frac{1}{T_u} \sum_{i=0}^n \varepsilon_i \Delta t_{\text{изм}} \right] \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де $\sum \varepsilon_i$ – накоплена в i -й момент часу сума неузгодженостей.

У системах автоматичного регулювання виникає необхідність в регуляторі, який виробляв би додатковий регулюючий вплив, пропорційний швидкості відхилення регульованої величини від заданого значення:

$$\mu_d = T_d d\varepsilon/dt. \quad (2.15)$$

ПІД-регулятори впливають на об'єкт управління пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу від цього відхилення і швидкості зміни регульованої величини:

$$\mu = k\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2.16)$$

При стрибкоподібній зміні регульованої величини ПІД-регулятор в початковий момент часу надає миттєвий нескінченно великий вплив на об'єкт регулювання, потім величина впливу різко падає до значення, обумовленого пропорційною складовою, після чого постійно починає впливати інтегральну складову регулятора.

Параметрами налаштування ПІД-регулятора є: коефіцієнт пропорційності регулятора k , постійна часу інтегрування T_i і постійна часу диференціювання T_d .

Зі збільшенням запізнювання в системі різко зростають негативні фазові зрушення, що знижує ефект диференціальної складової регулятора.

Крім того, наявність шумів в каналі вимірювання в системі з ПД-регулятором призводить до значних випадкових коливань сигналу регулятора, що збільшує дисперсію помилки регулювання і знос виконавчого механізму.

Слід мати на увазі, що при неточному завданні параметрів настройки ПД-регулятор може погіршити показники в порівнянні з іншими типами регуляторів і навіть перейти в режим автоколивань.

При цифровій реалізації ПД-закон має вигляд

$$\mu = \left[k_p \varepsilon_i + \frac{1}{T_{\text{и}}} \sum_{i=0}^n \varepsilon_i \Delta t_{\text{изм}} + T_{\text{д}} \frac{\Delta \varepsilon_i}{\Delta t_{\text{изм}}} \right] 100\%. \quad (2.17)$$

В табл. 2.2 Наведені значення параметрів налаштувань регуляторів.

Таблиця 2.2 – Значення параметрів налаштувань регуляторів

Тип регулятора	Зона пропорційності	Коефіцієнт передачі	Постійна часу інтегрування	Постійна часу диференціювання
П-регулятор	$2P_{ms}$	$0.5k_{ps}$		
ПІ-регулятор	$2.2P_{ms}$	$0.45k_{ps}$	$0.83T$	
ПІД-регулятор	$1.67P_{ms}$	$0.6k_{ps}$	$0.5T$	$0.125T$

3 РОЗРОБКА 3Д-МОДЕЛІ МІНІ-КОНВЕЄРА

Основу конструкції складають ролики, що переміщують пакунок на міні-конвеєрі. На рис. 3.1 показана загальна конструкція міні-конвеєру.

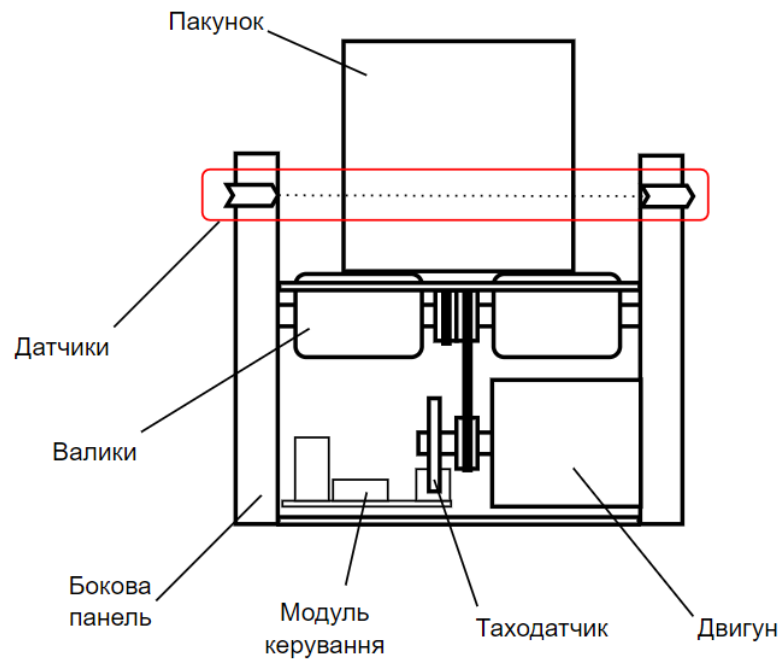


Рисунок 3.1 – Загальна конструкція міні-конвеєру

Ролики об'єднані в пари та розташовані на загальній осі. Двигун забезпечує обертання роликів з певною швидкістю та в заданому напрямку.

Таходатчик використовується для визначення поточної швидкості обертання валу двигуна.

Для контролю положення пакунку на міні-конвеєрі застосовуються оптичні датчики. Принцип побудови датчика показано на рис. 3.2.

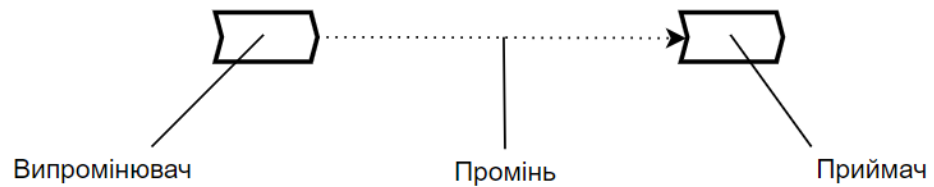


Рисунок 3.2 – Принцип побудови оптичного датчика

В даному типі датчику застосовується випромінювач сигналу з одного боку, та приймач оптичного сигналу з іншого. В звичайному стані промінь від випромінювача потрапляє до приймача. Коли пакунок з'являється на шляху промінню, то він переривається. В даному випадку фотоприймач сигналізує про появу пакунку в полі зору відповідним логічним рівнем (0 або 1 в залежності від схеми підключення фотоприймача).

Схема розташування датчиків показна на рис. 3.3.

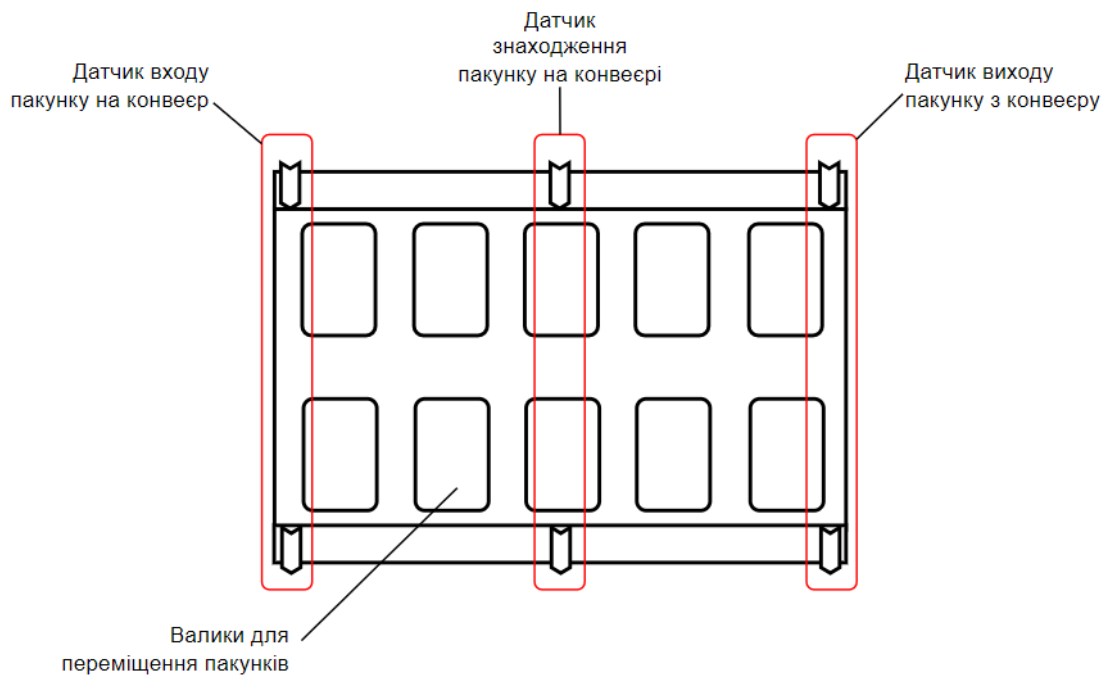


Рисунок 3.3 – Схема розташування датчиків

На рис. 3.4 показана конструкція одного ролику в поєднанні з елементами кріплення.

З одного боку в ролик вставляється вісь з опорним підшипником ковзання, а з другого – з'єднувальна вісь зі шківками для натягування ремінної передачі та поєднання всіх елементів між собою.

Розміри валика: діаметр 40 мм, довжина 80 мм.

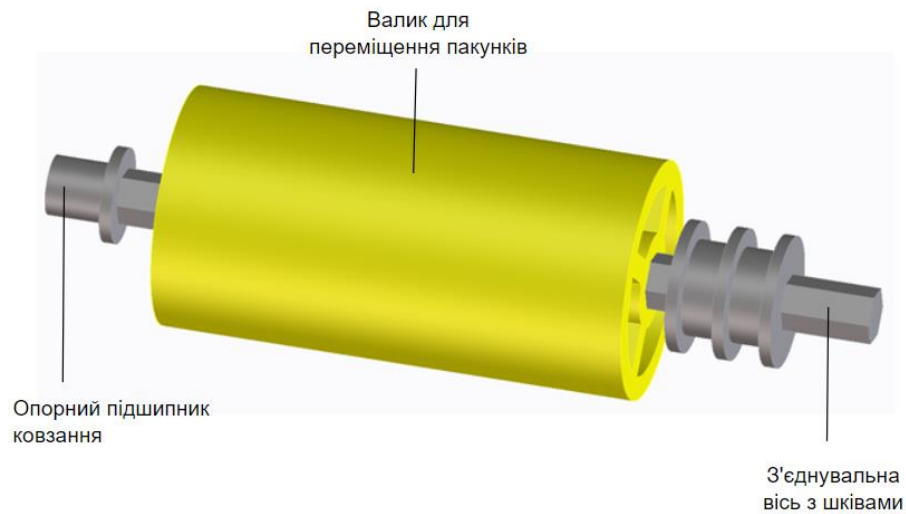


Рисунок 3.4 – Конструкція одного ролику в поєднанні з елементами кріплення

На рис. 3.5 показана зовнішній вигляд осі з опорним підшипником.

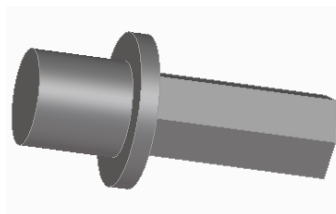


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд осі з опорним підшипником

Вісь виготовляється із пластику PET-G та має діаметр контактної частини 10 мм. Сама вісь має форму шестигранника, що запобігає проковзуванню після поєднання з роликом.

Для поєднання пари роликів між собою застосовується з'єднувальна вісь. Її зовнішній вигляд показано на рис. 3.6.

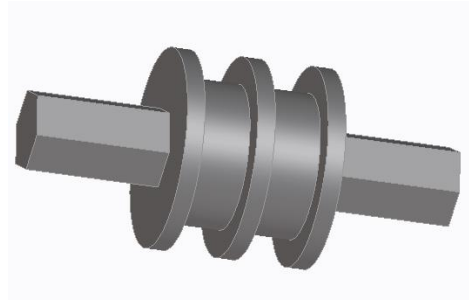


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд з'єднувальної вісі

З'єднувальна вісь також має шестигранну форму для міцного кріплення роликів. Також по центру вісі розташовані для шківи для натягування ремінної передачі.

На рис. 3.7 показана зібрана конструкція з пари роликів та опорними підшипниками ковзання.

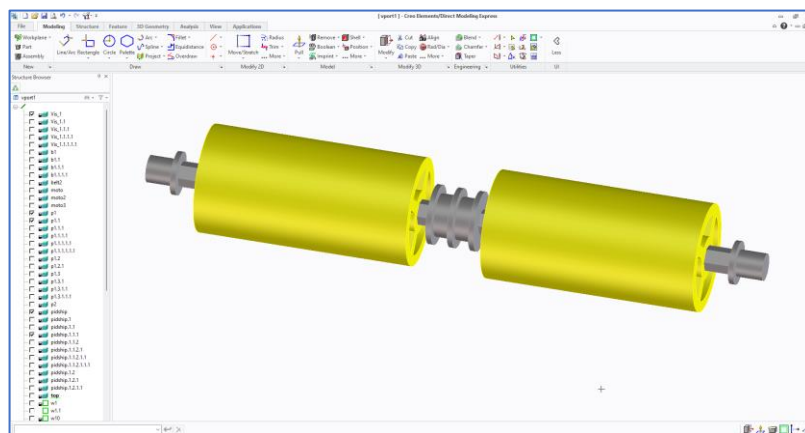


Рисунок 3.7 – Зібрана конструкція з пари роликів та опорними підшипниками ковзання

Опорні підшипники ковзання вставляються у відповідні отвори бокових пластин міні конвеєру (рис. 3.8).

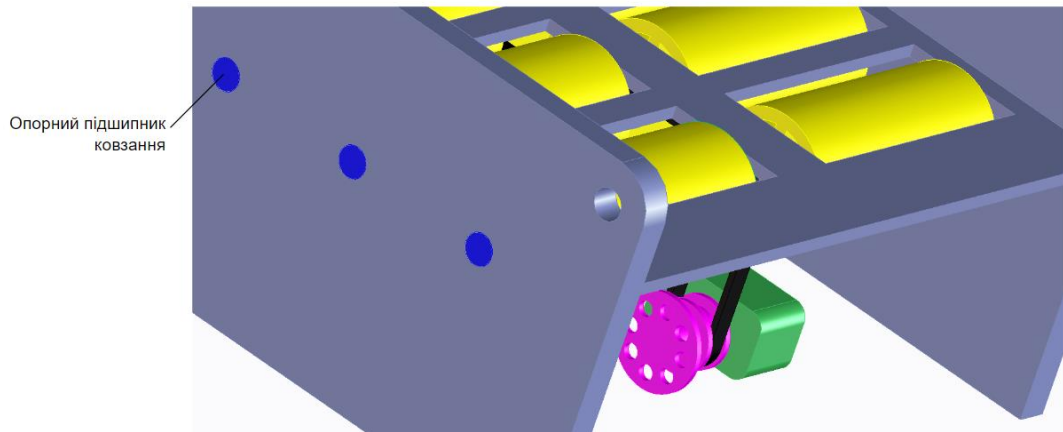


Рисунок 3.8 – Встановлення опорних підшипників ковзання

Принцип поєднання роликів між собою показано на рис. 3.9.

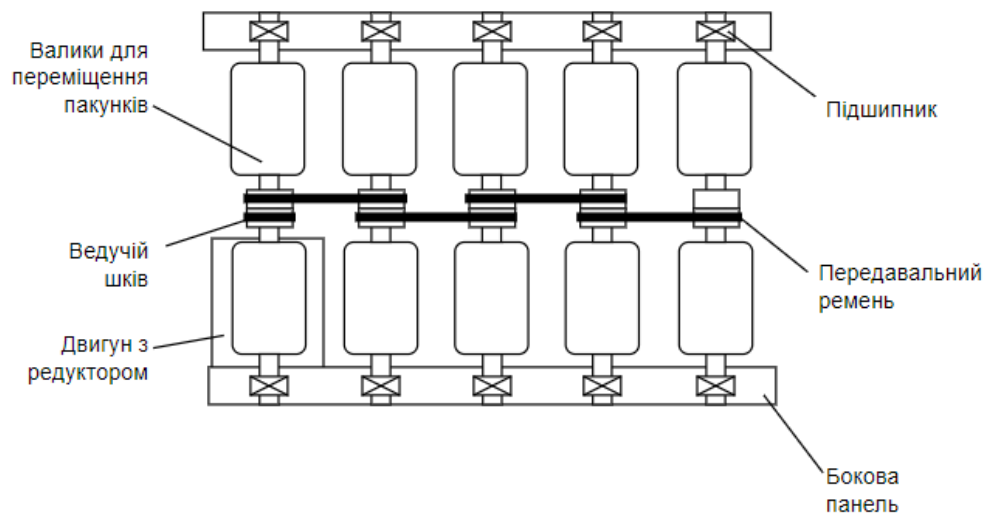


Рисунок 3.9 – Принцип поєднання роликів між собою

Пари роликів встановлюються у відповідні отвори у стінках пристрою. Поєднання роликів в єдиний механізм відбувається за допомогою ремінної передачі.

Кінематична схема приводу роликів показана на рис. 3.10.

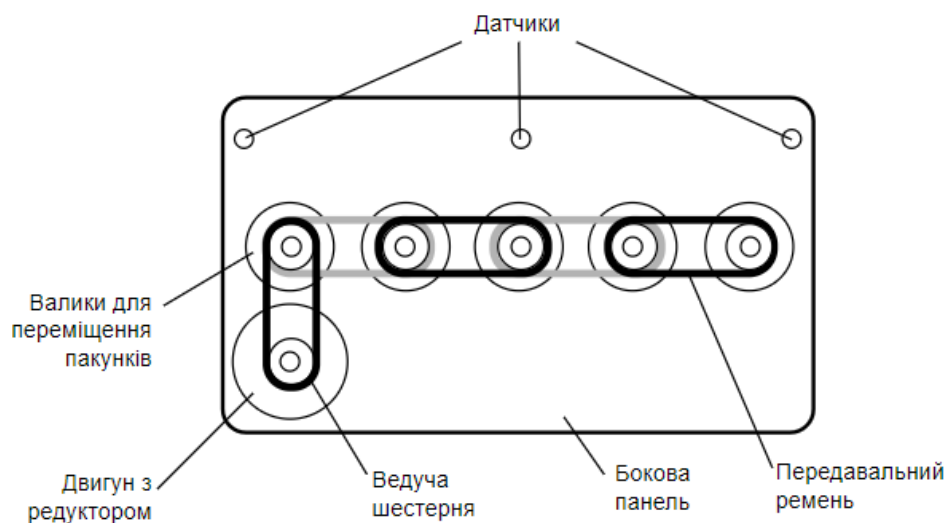


Рисунок 3.10 – Кінематична схема приводу роликів

На рис. 3.11 показана 3Д-модель для демонстрації принципу поєднання роликів.

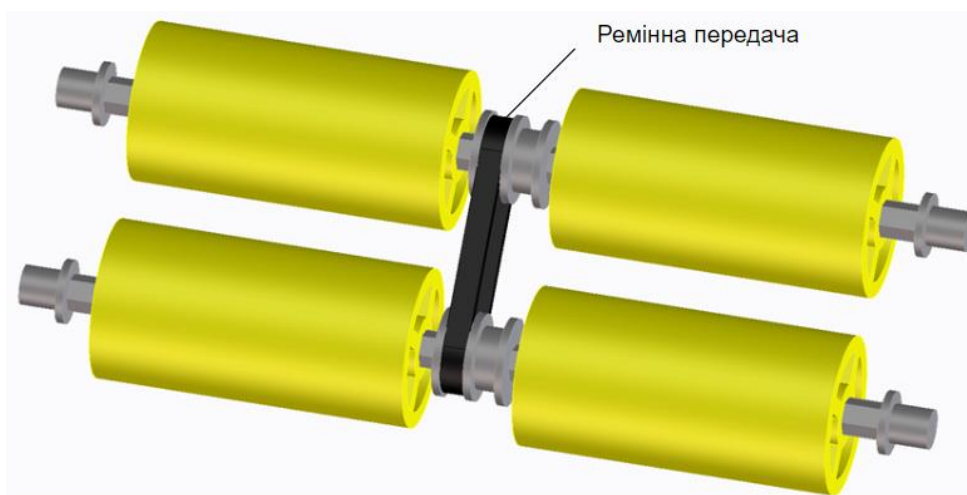


Рисунок 3.11 – 3Д-модель для демонстрації принципу поєднання роликів

На рис. 3.12 показано принцип поєднання приводного шківу двигуна з першою парою валиків.

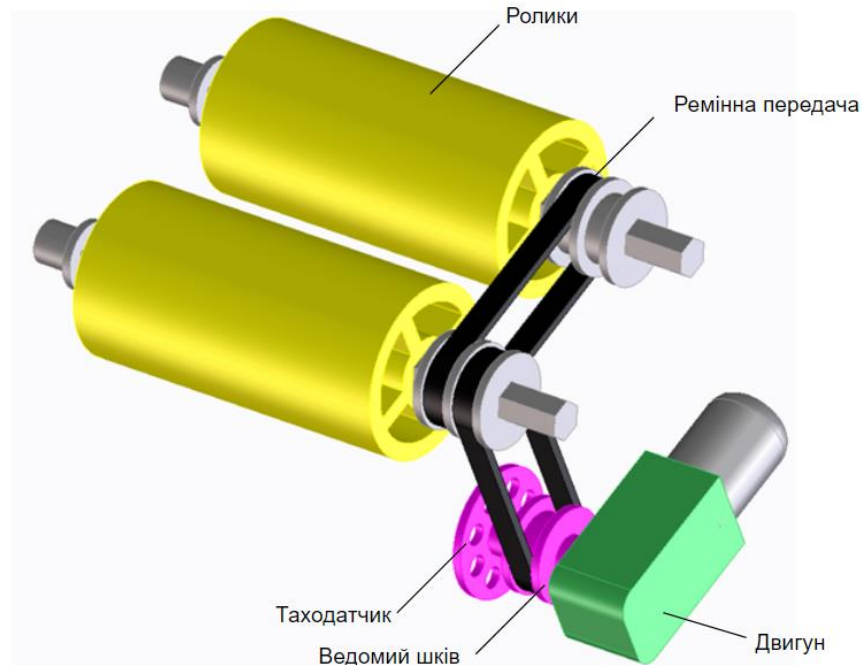


Рисунок 3.12 – Принцип поєднання приводного шківу двигуна з першою парою валиків

За допомогою ремінної передачі обертання приводного шківу двигуна передаються на всі ролики механізму міні-конвеєру. Відстань між осями пар роликів становить 50 мм.

3Д-модель зібраного механізму приводу роликів міні-конвеєру показана на рис. 3.13.

Ведучий шків, що встановлений на валу двигуна конструктивно поєднано з таходиском. Таходиск – це диск із отворами, який перериває світловий потік оптичного датчику. Кількість отворів в диску визначає точність визначення швидкості в залежності від кількості обертів на хвилину. В даному диску вісім отворів.

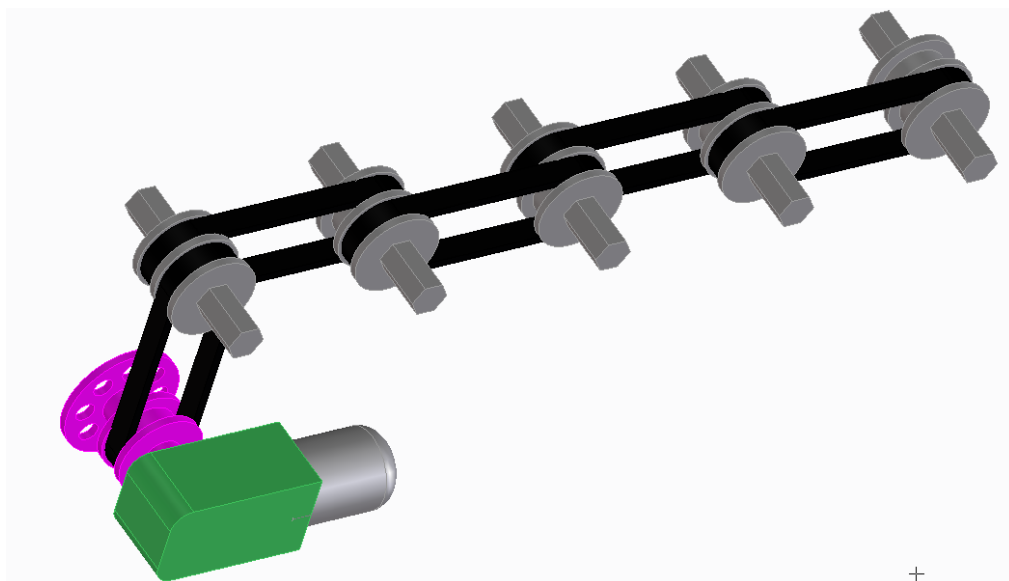


Рисунок 3.13 – 3Д-модель зібраного механізму приводу роликів міні-конвеєру

Конструкція таходиску зі шківом для ременного приводу показана на рис. 3.14.

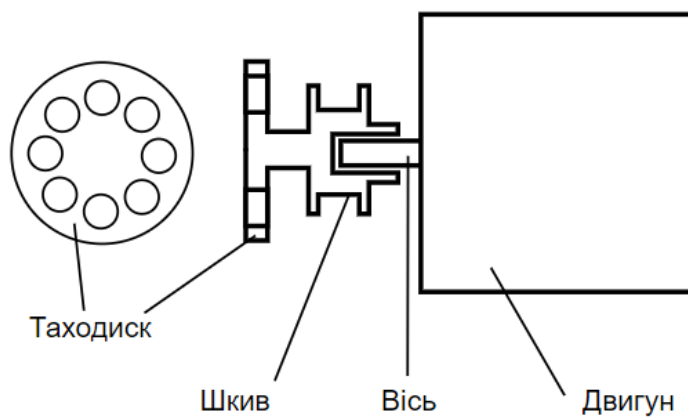


Рисунок 3.14 – Таходиск зі шківом для ременного приводу

На рис. 3.15 показана 3Д-модель таходиску зі шківом.

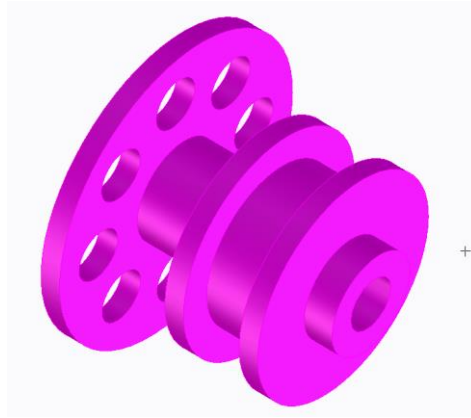


Рисунок 3.15 – 3Д-модель таходиску зі шківом

Модель двигуна з встановленим таходиском показана на рис. 3.16. В якості двигуна використовується покупний пристрій з редуктором, що використовується для створення роботизованих тележок. Даний пристрій живиться від напруги 6 В та має передаточне число редуктора 1:48. Для управління швидкістю обертів двигуна необхідно використовувати спеціальний драйвер.

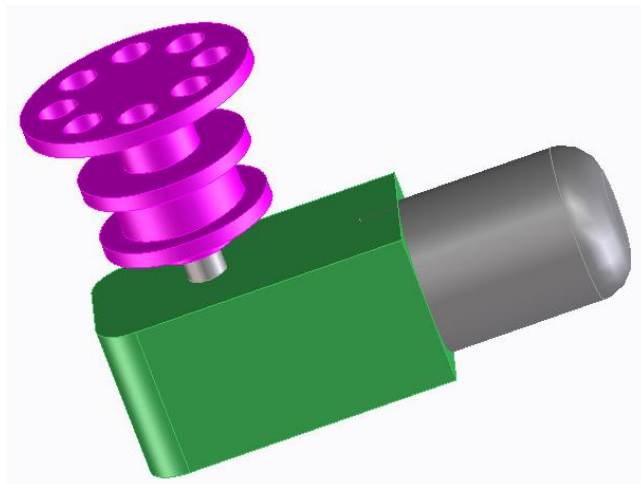


Рисунок 3.16 – Модель двигуна з встановленим таходиском

Загальна 3Д модель встановлення роликів на конвеєр показана на рис. 3.17.

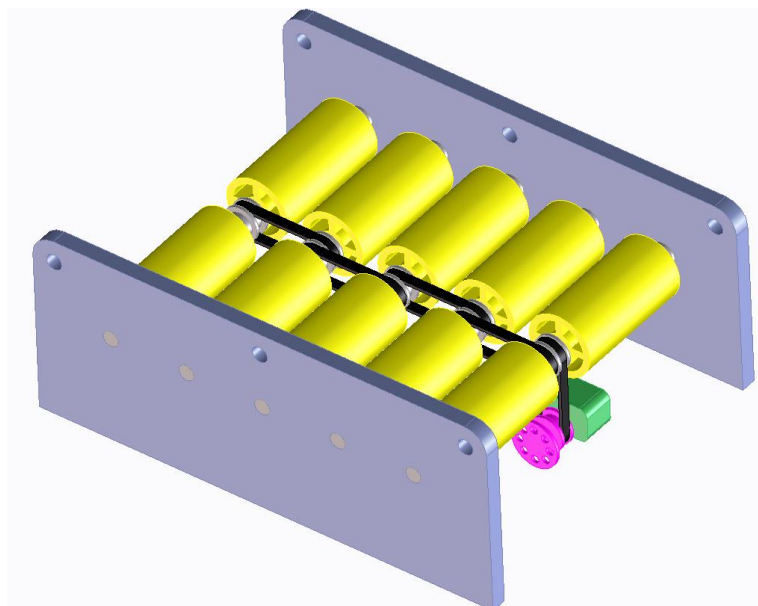


Рисунок 3.17 – Загальна 3Д модель встановлення роликів на конвеєр

На рис. 3.18 показана зібрана 3Д-модель міні-конвеєру, що встановлюється на мобільний робот.

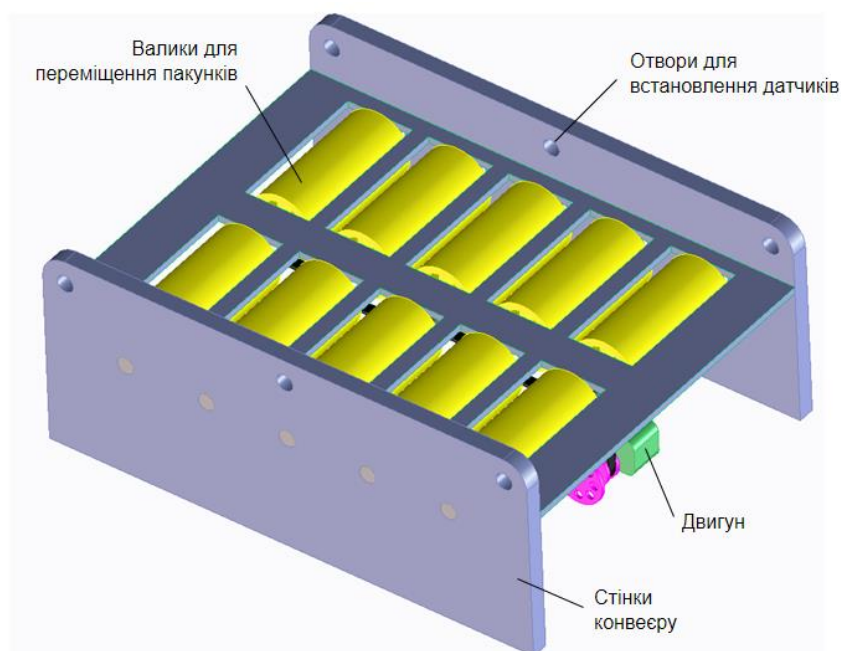


Рисунок 3.18 – Зібрана 3Д-модель міні-конвеєру, що встановлюється на мобільний робот

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ МІНІ-КОНВЕЄРОМ

4.1 Розробка алгоритму роботи програми

На рис. 4.1 показано загальний алгоритм роботи програми контролеру управління міні-конвеєру.

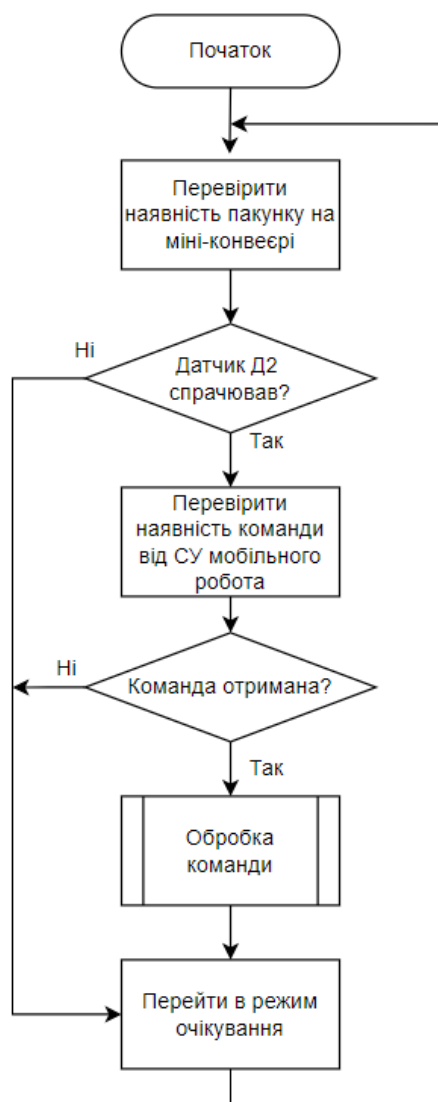


Рисунок 4.1 – Загальний алгоритм роботи програми контролеру управління міні-конвеєру

Програма управління працює по різному в залежності від наявності пакунку на конвеєрі. Тому, на початку роботи програми перевіряється стан датчика 2, що знаходиться посередині міні-конвеєрної лінії.

Якщо датчик покаже наявність пакунку, то потрібно перейти в режим очікування надходження команди для подальших дій.

В залежності від отриманої команди може бути різні послідовності подальших дій. Наприклад, пакунок можна повернути в тому ж напрямку, в якому він був отриманий. Також можна включити двигун в напрямку видачі пакунку до кінця міні-конвеєру і передачі його на іншій пристрій або конвеєр.

За визначення подальших дій відповідає підпрограма «Обробка команди».

Після завершення обробки команди програма повертається до режиму очікування і головний цикл роботи повторюється.

Якщо команда від системи управління мобільного робота не отримана, то програма також повертається до режиму очікування в якому знаходиться певний заданий час.

На рис. 4.2 показано алгоритм роботи програми в режимі обробки команди Отримати деталь.

В даному режимі програма постійно перевіряє стан датчика Д1. Датчик Д1 розташовано на вході на конвеєрну лінію. Якщо він спрацьовує, то це означає, що до входу на конвеєр подано новий пакунок.

Після спрацювання датчика Д1 контролер вмикає двигун в прямому напрямку, що заставляє ролики обертатись, а це, в свою чергу, приводить до того, що пакунок починає переміщуватись в напрямку центру лінії.

Коли пакунок потрапляє до центру міні-конвеєру, контролер повинен вимкнути двигун, що призводить до зупинку руху пакунку між датчиками Д1 та Д3.

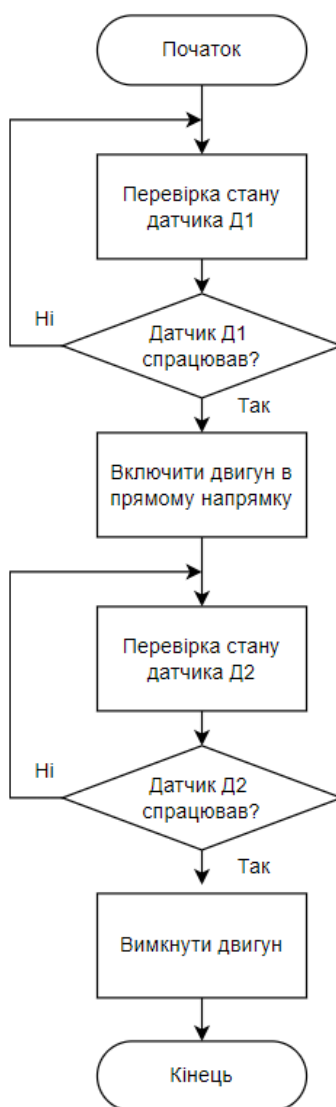


Рисунок 4.2 – Алгоритм роботи програми в режимі обробки команди
Отримати деталь

Після зупинки пакунку контролер переходить до очікування команди видачі деталі та параметрів включення двигуна: швидкість обертання та напрямок руху.

На рис. 4.3 показано алгоритм роботи програми в режимі обробки команди.

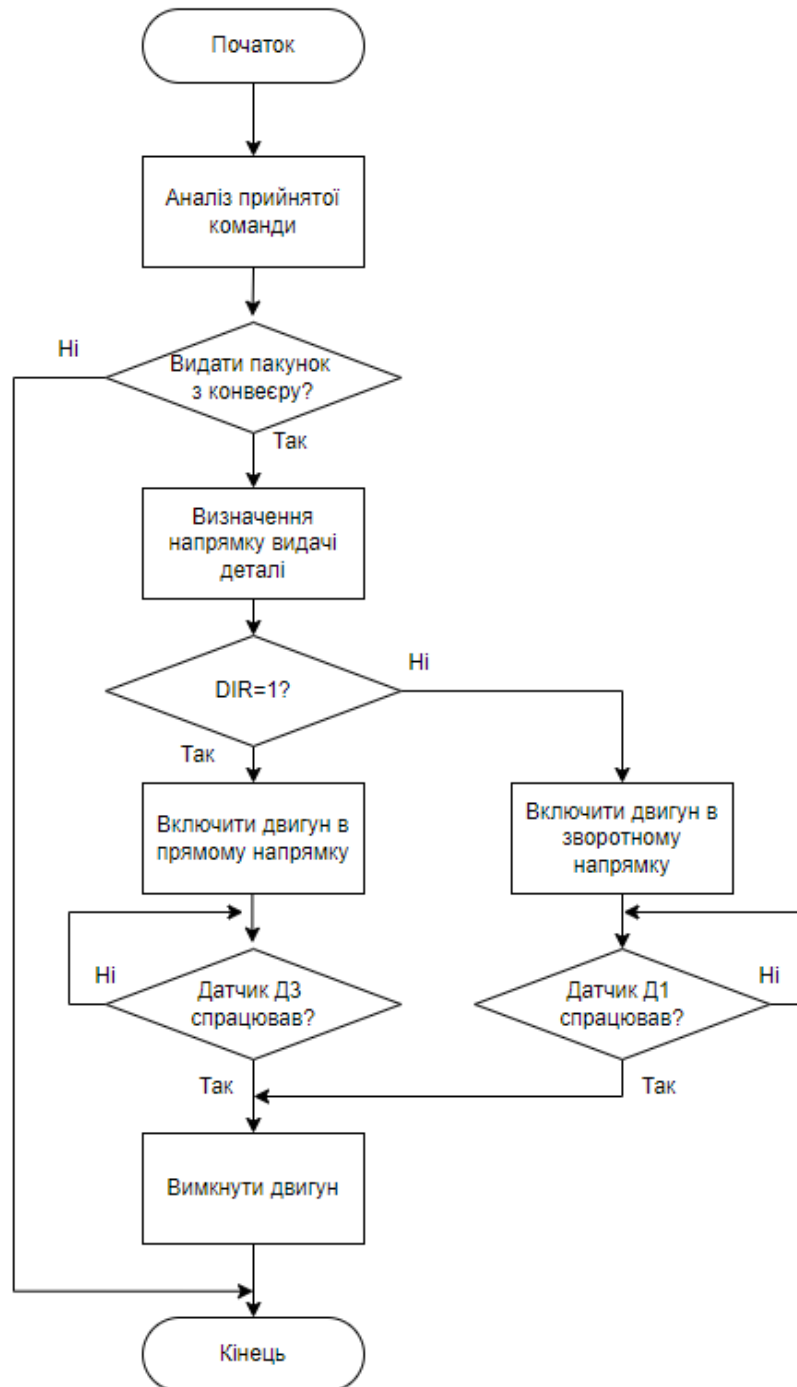


Рисунок 4.3 – Алгоритм роботи програми в режимі обробки команди

Після отримання команди перевіряється її зміст і визначається закодована дія. Якщо отримана команда на видачу деталі, визначаються додаткові параметри. Одним з таких параметрів є ознака напрямку видачі. Це може бути пряма видача або зворотна.

Якщо отримали параметр $DIR = 1$, то це означає, що надійшла команда видати пакунок у прямому напрямку. В даному випадку двигун також включається в прямому напрямку і контролер починає слідкувати за станом датчика ДЗ.

Датчик ДЗ розташовано наприкінці міні-конвеєру. Ознакою вимкнення двигуна є спрацювання та подальше вимкнення датчику ДЗ. Спрацювання означає, що пакунок дійшов до датчика, а подальше його вимкнення сигналізує, що пакунок повністю пройшов за межі міні-конвеєру.

Після спрацювання датчика ДЗ робота двигуна припиняється і ролики зупиняються.

Аналогічно працює контролер при отриманні команди видати пакунок в зворотному напрямку. Відмінністю від попереднього алгоритму роботи є те, що контролер слідкує за станом датчика Д1. Після повного проходження датчика Д1 паунком, двигун вимикається, а контролер переходить в режим очікування.

4.2 Розробка програми для реалізації функції видачі деталі

Програма для реалізації функції видачі деталі складається з трьох частин. Перша частина – це ініціалізація змінних:

```
#define MOTOR_PIN 5
#define DIR_PIN 6
#define SENSOR_D1 2
#define SENSOR_D2 3
#define SENSOR_D3 4
```

В даному фрагменті коду виконується опис всіх змінних, що будуть використані в програмі.

Наступна частина коду відповідає за початкові налаштування, що відбувається при старті програми:

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(MOTOR_PIN, OUTPUT);  
  pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);  
  pinMode(SENSOR_D1, INPUT);  
  pinMode(SENSOR_D2, INPUT);  
  pinMode(SENSOR_D3, INPUT);  
  digitalWrite(MOTOR_PIN, LOW); // Вимкнути двигун на початку  
  digitalWrite(DIR_PIN, LOW);  
}
```

Даний фрагмент коду встановлює початкові параметри та режим роботи контактів для управління двигуном та отримання інформації з датчиків. Також в даному коді вимикається двигун та встановлюється напрям прямий напрям обертання роликів міні-конвеєру.

Наступний код являє собою головний цикл програми. Спершу виконується читання даних з послідовного порту, якщо вони є в наявності:

```
void loop() {  
  if (Serial.available() > 0) {  
    String command = Serial.readStringUntil('\n');  
    command.trim();
```

Якщо в отриманому рядку зустрічається команда DIR=, то виконується перевірка напрямку обертання:

```
    if (command.startsWith("DIR=")) {
```

```

int direction = command.substring(4).toInt();
if (direction == 1) {
  // Пряма видача
  Serial.println("Пряма видача");
  digitalWrite(DIR_PIN, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_PIN, HIGH); // Увімкнути двигун

  // Чекає спрацювання датчика D3
  while (digitalRead(SENSOR_D3) == LOW) {}
  // Чекає вимкнення датчика D3
  while (digitalRead(SENSOR_D3) == HIGH) {}

  digitalWrite(MOTOR_PIN, LOW); // Вимкнути двигун
  Serial.println("Видача завершена");
}

```

Послідовність дій контролера, коли команда містить DIR=1:

- двигун вмикається в прямому напрямку;
- контролюється стан датчика D3: очікується його спрацювання та вимкнення;
- після проходження пакунка вмикається двигун.

Якщо в команді вказано -1 то включається режим обертання в зворотному напрямку:

```

else if (direction == -1) {
  // Зворотна видача
  Serial.println("Зворотна видача");
  digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);
  digitalWrite(MOTOR_PIN, HIGH); // Увімкнути двигун у
зворотному напрямку

```

```

// Чекає спрацьовування датчика D1
while (digitalRead(SENSOR_D1) == LOW) {}
// Чекає вимкнення датчика D1
while (digitalRead(SENSOR_D1) == HIGH) {}

digitalWrite(MOTOR_PIN, LOW); // Вимкнути двигун
Serial.println("Видача завершена");
}

```

Послідовність дій контролера, коли команда містить DIR=-1:

- двигун вмикається;
- контролюється стан датчика D1: очікується його спрацювання та вимкнення;
- після проходження пакунка вимикається двигун.

Також реалізована перевірка на невірну команду, або невірний напрямок:

```

else {
    Serial.println("Невідомий напрямок");
}
} else {
    Serial.println("Невідома команда");
}
}
}
}

```

В даному випадку через послідовний інтерфейс передається повідомлення про поточний стан роботи контролеру.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно ПУЕ приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Положення ПУЕ застосовують під час проектування нового будівництва, реконструкції, технічного переоснащення або капітального ремонту електроустановок. ПУЕ складаються з окремих розділів, поділених на глави, які унормовують конкретні питання улаштування електроустановок.

Забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої чи іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це має бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств.

Керівник підприємства повинен визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, ділянок тощо, технологічного та інженерного обладнання, а також за утримання та експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту.

Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту повинні бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

На підприємстві має бути опрацьована загальна інструкція про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій тощо).

Ці інструкції повинні вивчатися під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожежно-технічного мінімуму, а також у системі виробничого навчання та вивішуватись на видних місцях.

У будівлях та спорудах (крім житлових будинків), які мають два поверхи та більше, у разі одночасного перебування на поверсі понад 25 осіб мають бути розроблені та вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей у разі пожежі.

Необхідність забезпечення планами (схемами) евакуації одноповерхових будівель і споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з їхньої пожежної небезпеки, кількості людей, площі, що розміщуються, тощо.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи розроблена 3Д-модель міні-конвеєра для системи автоматизації технологічного процесу переміщення деталей мобільним роботом. Основною перевагою запропонованого рішення є можливість легко налаштовувати та масштабувати міні-конвеєр під конкретні потреби та умови роботи цеху підприємства. Його модульна конструкція дозволяє змінювати довжину та конфігурацію при проектуванні.

Виконано аналіз завдання на виконання кваліфікаційної роботи та проведено огляд принципів застосування автономних мобільних роботів для автоматизації технологічних процесів.

Розроблена архітектура та структурна схема модуля керування міні-конвеєром. Автоматизована система управління мобільним роботом виконує комплекс функцій, що забезпечують його ефективну роботу та виконання поставлених завдань. Ця система відповідає за навігацію мобільного робота в навколишньому середовищі. Вона використовує різноманітні методи, такі як GPS, сенсори, камери, лазерні дальноміри та інші, для визначення його місцезнаходження та орієнтації. Обрані компоненти для побудови модуля управління міні-конвеєром.

Із застосуванням інтегрованого середовища PTC Creo Express розроблена 3Д-Модель міні-конвеєра. Основу конструкції складають ролики, що переміщують пакунки на міні-конвеєрі. Ролики об'єднані в пари та розташовані на загальній осі. Двигун забезпечує обертання роликів з певною швидкістю та в заданому напрямку. Наведена 3Д-модель зібраного механізму приводу роликів міні-конвеєру.

Виконана розробка алгоритмів роботи програми контролера управління міні-конвеєру. На основі алгоритмів розроблена програма для контролера Arduino, що є основою модуля управління. Розроблена програма для реалізації функції видачі деталі за командою з основної системи управління мобільним роботом.

Отже, застосування конвеєра на мобільному роботі відкриває широкі можливості для оптимізації логістичних процесів у різних галузях промисловості та логістики. Його мобільність, універсальність та можливість налаштування роблять його цінним інструментом для підвищення продуктивності та ефективності виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. М. Цимбал, О. В. Токарева, А. І. Бронніков. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 66 с.
2. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – К.: Вид-во стандартів, 2016. – 26 с.
3. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. № 400. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf
4. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 03.05.2019 р. № 222. Режим доступу : <https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf>
5. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. № 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf.
6. Невлюдов І.Ш. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023 . – 150 с.

7. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: підручник для студентів закладів вищої освіти ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ФОП Панов А.М., 2021. – 604 с. ISBN 978-617-7947-67-6

8. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник / Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.

9. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. Кривий Ріг: КК НАУ. 2018. – 332 с.

10. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

11. Automated Guided Vehicles (AGV) Meaning & Types | 6 River Systems. 6 River Systems. URL: <https://6river.com/what-are-automated-guided-vehicles/> (date of access: 26.04.2024).

12. Nord Modules and OTTO Motors announce strategic partnership. Nord Modules. URL: <https://www.nord-modules.com/nord-modules-and-otto-motors-announce-partnership/> (date of access: 06.05.2024).

13. AGVs for Large Load Carriers from SSI SCHÄFER your global partner | SSI SCHAEFER. SSI SCHÄFER - Weltweit führend in der Intralogistik - Spitzentechnologien rund um den Globus! | SSI SCHÄFER. URL: <https://www.ssi-schaefer.com/en-asia/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/agvs-for-large-load-carriers-1451828> (date of access: 06.05.2024).

14. AGV Load Handling Equipment | mk Group. Baukasten Fabrikautomation | mk TechnologyGroup. URL: <https://www.mk-group.com/en/products/system-solutions/load-handling-equipment-for-agv.html> (date of access: 06.05.2024).

15. AGV vs AMR - What's the difference?. Mobile Industrial Robots - Automate your internal transportation. URL: <https://mobile-industrial-robots.com/blog/agv-vs-amr-whats-the-difference> (date of access: 06.05.2024).

16. AGV Sensors – The eyes and ears of mobile robots. AGV Network. URL: <https://www.agvnetwork.com/mobile-robot-sensors-agv-amr> (date of access: 06.05.2024).

17. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6372 (дата звернення: 01.06.2024).

18. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 01.06.2024).

19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283 (дата звернення: 01.06.2024).