

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехніки

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка системи керування неперервним виробничим процесом на основі  
технологій промислового інтернету речей (IoT)

(тема)

Виконала:

здобувач 2 року навчання

групи КІТПВзм-23-1

Трембовецька Ірина Григорівна

(прізвище, ініціали)

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

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(код і повна назва напрямку)

Тип програми Освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Фролов А.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Трембовецькій Ірині Григорівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування неперервним виробничим процесом на основі технологій промислового інтернету речей (IoT)

затверджена наказом по університету від 22.11.2024 №197Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 27.01.2025

3. Вихідні дані до роботи: Структура технологічного процесу. Технічне

забезпечення: IBM – сумісний персональний комп'ютер. Перелік

використовуваних програмних засобів: Microsoft Windows 10. Похибка

результатів моделювання – не більше 0,1.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Аналіз предметної області;

4.2 Розробка структурної блок-схеми конвеєрної лінії;

4.3 Вибір компонентів з обґрунтуванням вибору;

4.4 Схеми підключення макету;

4.5 Створення блок-схеми алгоритму роботи;

4.6 Розробка віртуального макету та написання програмного коду;

4.7 Розрахункова частина;

4.8 Охорона праці.

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

Демонстраційний матеріал представлений у форматі PowerPoint(\*.ppt) – 15с.  
формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	25.11.2024	виконано
2	Розробка структурної блок-схеми конвеєрної лінії	30.11.2024	виконано
3	Вибір компонентів з обґрунтуванням вибору	10.12.2024	виконано
4	Схема підключення макету	13.12.2024	виконано
5	Створення блок-схеми алгоритму роботи	18.12.2024	виконано
6	Розробка віртуального макету та написання програмного коду	22.12.2024	виконано
7	Розрахункова частина	25.12.2024	виконано
8	Охорона праці	27.12.2024	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	30.12.2024	виконано
10	Подання у ЕК	27.01.2025	виконано

Дата видачі завдання 22.11.2024

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Фролов А.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

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

26.01.2025



Трембовецька Ірина Григорівна

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 24 рис., 2 дод., 15 джерел.

### АВТОМАТИЗАЦІЯ, АРДУІНО, КОНВЕЄРНІ ЛІНІЇ, ПРОМИСЛОВИЙ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ.

Мета роботи – підвищення ефективності виробництва шляхом розробки системи автоматизації конвеєрних ліній для подачі деталей для зборки на робочі місця, використовуючи технологію Промислового Інтернету Речей (ІоТ).

Об'єкт розробки – автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предмет розробки – конвеєрна лінія, яка подає деталі на робочі місця.

У роботі проведено аналіз технологічних рішень в галузі автоматизації виробничих процесів, зосереджуючись на використанні Інтернету речей. Досліджено імплементацію індустрії 4.0 та 5.0 та вибрано технічні засоби, включаючи Arduino, серводвигун та датчики. Розроблено алгоритм у вигляді блок-схеми конвеєра, розроблено макет, змодельовано роботу макету.

Робота спрямована на розробку системи автоматизації конвеєрних ліній для економії робочого часу, в процесі якого у працівників зменшиться час на збір деталей, внаслідок чого вони зберуть більшу кількість деталей за робочий день.

Автоматизація конвеєрних ліній поставки деталей до робочих місць є важливим етапом на шляху до створення високопродуктивних і надійних виробничих процесів. Вона дозволяє значно знизити витрати, поліпшити якість продукції, забезпечити безпеку праці та скоротити час виготовлення продукції. У довгостроковій перспективі автоматизація також допомагає підприємствам швидко адаптуватися до змін на ринку, знижуючи витрати та підвищуючи конкурентоспроможність.

Отримані результати можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме п. 9.4 «Сприяти прискореному розвитку середньо- та високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

## ABSTRACT

Explanatory Note: 74 pp., 24 fig., 2 app., 15 sources.

### INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS, CONVEYOR LINES, ARDUINO, AUTOMATION

The aim of this work is to improve production efficiency by developing an automation system for conveyor lines to deliver assembly parts to workstations, utilizing Industrial Internet of Things (IIoT) technology.

The object of development is the automated control of industrial equipment.

The subject of development is a conveyor line that delivers parts to workstations.

This work analyzes technological solutions in the field of production process automation, focusing on the use of the Internet of Things. It explores the implementation of Industry 4.0 and 5.0 and selects technical tools, including Arduino, a servo motor, and sensors. An algorithm for the conveyor system has been developed in the form of a flowchart, a prototype has been created, and the model's operation has been simulated.

The work is aimed at developing a system for automating conveyor lines to save workers' time during the assembly process, reducing the time spent on assembling parts. As a result, workers will be able to assemble more parts within a working day.

Automating conveyor lines for delivering parts to workstations is a crucial step toward creating highly productive and reliable production processes. It significantly reduces costs, improves product quality, ensures workplace safety, and shortens production time. In the long term, automation also helps companies quickly adapt to market changes, reducing expenses and increasing competitiveness.

The results obtained can be attributed to Sustainable Development Goal 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, namely item 9.4 “Promote the accelerated development of medium- and high-tech sectors of the processing industry, which are formed on the basis of the use of the “education - science - production” chains and a cluster approach in the following areas: development of an innovation ecosystem; development of information and telecommunications technologies (ICT); application of ICT in agro-industrial complex, energy, transport and industry; high-tech mechanical engineering; creation of new materials; development of pharmaceutical and bioengineering industries”.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів .....	10
Вступ.....	11
1 Аналіз предметної області .....	13
1.1 Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 у світі та виробничих процесах .....	13
1.2 Огляд існуючих автоматизованих монтажних ліній із використанням конвеєрів для подачі деталей.....	16
1.3 Постановка задач.....	24
1.4 Висновки за першим розділом.....	26
2 Проектна частина .....	28
2.1 Розробка структурної блок-схеми конвеєрної лінії.....	28
2.2 Вибір компонентів з обґрунтуванням вибору.....	29
2.3 Схема підключення макету.....	35
2.4 Висновки до другого розділу.....	40
3 Розробка віртуального макету .....	42
3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища Tinkercad для моделювання конвеєрної лінії .....	42
3.2 Створення блок-схеми алгоритму роботи .....	43
3.3 Розробка віртуального макету та написання програмного коду .....	47
3.4 Розрахункова частина .....	61
3.5 Висновки до третього розділу .....	64
4 Охорона праці: оцінка освітленості робочого місця .....	66
Висновки.....	69
Перелік джерел посилання .....	69
Додаток А .....	73
Додаток Б.....	73
Додаток В .....	89

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ІКТ – інфокомунікаційні технології;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК– програмований логічний контролер;

MES–manufacturing execution system;

PWM – Pulse Width Modulation;

ІоТ–Industrial Internet of Things.

## ВСТУП

В останні десятиліття інновації в сфері інформаційних технологій призвели до значних змін у різних галузях, зокрема в промисловому виробництві. Одним із найважливіших досягнень є поява концепції Інтернету речей (IoT), яка з кожним роком набирає популярності та стає невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів. Інтернет речей являє собою мережу взаємопов'язаних пристроїв, які здатні збирати, обробляти та обмінюватися даними, що забезпечує високий рівень автоматизації ефективності в роботі підприємств.

Інтеграція IoT у виробництво має величезний потенціал для вдосконалення різних аспектів: від управління постачанням і логістики до моніторингу та прогнозування стану обладнання. Це дозволяє зменшити людський фактор, оптимізувати витрати і підвищити точність виконання операцій. Особливо важливим є застосування IoT у контексті конвеєрних ліній – одних з основних елементів сучасного виробничого процесу. Автоматизовані конвеєрні системи, які ще кілька десятиліть тому були звичними для великих промислових підприємств, сьогодні зазнають значних змін завдяки новітнім технологіям, що дозволяють досягти ще більшої ефективності та гнучкості. Конвеєрні лінії є основним механізмом, що забезпечує безперервність виробничих процесів, зменшує час на переміщення матеріалів і дозволяє організувати ефективне виробництво на великих масштабах. Сучасні тенденції в розвитку цих систем орієнтовані на інтеграцію цифрових технологій, автоматизацію та зниження енерговитрат. Впровадження IoT у конвеєрні лінії дозволяє підприємствам здійснювати автоматизовану діагностику, управляти виробничими процесами в реальному часі, а також зменшувати час простою через прогнозування можливих збоїв в роботі обладнання. Роль конвеєрних ліній в сучасному виробництві є незамінною, адже саме вони забезпечують гнучкість, швидкість та автоматизацію

виробничих процесів, а їх поєднання з Інтернетом речей дозволяє реалізувати високоефективні, адаптивні та надійні виробничі системи. Розвиток цих технологій відкриває нові горизонти для виробництва і дає можливість оптимізувати як окремі етапи, так і весь ланцюг виробничих операцій.

Метою роботи є підвищення ефективності виробництва шляхом розробки системи автоматизації конвеєрних ліній для подачі деталей для зборки на робочі місця, використовуючи технологію Промислового Інтернету Речей (IIoT).

Об'єктом розробки є автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предметом розробки є конвеєрна лінія, яка подає деталі на робочі місця.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих автоматизованих монтажних ліній із використанням конвеєрів для подачі деталей;
- розробити структурну блок-схему конвеєрної лінії;
- обрати апаратні частини;
- розробити алгоритм роботи конвеєрної лінії;
- розробити віртуальний макет та написати програмний код конвеєрної лінії;
- провести розрахунки та проаналізувати результати для впровадження рекомендацій щодо оптимізації виробничих процесів.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008: 2015 [1], керуючись навчальним посібником з дипломного проектування, методичними вказівками [3] та Положенням про академічну доброчесність. Результати кваліфікаційної роботи пройшли апробацію в збірнику наукових студентських робіт ADED 2024(2).

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Індустрія 4.0 та Індустрія 5.0 у світі та виробничих процесах

Перша промислова революція була обумовлена появою парових машин. Вона обплутала світ інфраструктурою залізниць. Друга промислова революція була пов'язана з появою конвеєра та електрики. Вона створила мережу шосе та кабелів у всьому світі. Третя промислова революція – середина 20-го століття, поява комп'ютерних технологій, цифрова революція, автоматизація виробництва. Ця революція в більшій мірі була пов'язана з інформатизацією і створенням інтернету. Четверта промислова революція – впровадження кіберфізичних систем і персоналізованого виробництва. Вона поєднує засоби виробництва і власне продукцію. Якщо зараз усі процеси виробництва контролює людина через комп'ютер, то у четвертій промисловій революції продукт, який виробляється, сам може взаємодіяти з верстатом, з конвеєром, з споживачем, а сам споживач може на це впливати.

Індустрія 4.0 (Industry 4.0) – провідний тренд «Четвертої промислової революції», яка відбувається на наших очах. Зараз ми живемо в епоху завершення третьої, цифрової революції, що почалася в другій половині минулого століття. Її характерні риси – розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та роботизація виробничих процесів. Характерні риси Індустрії 4.0 – це повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Кіберфізичні системи створюють віртуальні копії об'єктів фізичного світу, контролюють фізичні процеси і приймають децентралізовані рішення. Вони здатні об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, самоналагоджуватися і самонавчатися. Важливу роль відіграють інтернет-технології, що забезпечують комунікації між персоналом та машинами. Підприємства виробляють

продукцію відповідно до вимог індивідуального замовника, оптимізуючи собівартість виробництва. Розвиток інтернету, інфокомунікаційних технологій (ІКТ), стійких каналів зв'язку, хмарних технологій і цифрових платформ, а також інформаційний «вибух» вирвалися з різних каналів даних, забезпечили появу відкритих інформаційних систем і глобальних промислових мереж, що виходять за межі окремого підприємства і взаємодіючих між собою. Такі системи і мережі надають перетворює вплив на всі сектори сучасної економіки та бізнесу за межами самого сектора ІКТ, і переводять промислову автоматизацію на нову четверту сходинку індустріалізації.

Але завдання-максимум полягає в досягненні такого рівня автоматизації підприємства, при якому на всіх ділянках, де це можливо, машини працюють без участі людей. Роль персоналу при цьому зводиться до контролю роботи машин і реагування лише на екстрені ситуації.

Промисловий Інтернет Речей дозволяє створювати виробництва, які виявляються більш ощадливими, гнучкими і ефективними, ніж існуючі. Бездротові пристрої з підтримкою протоколу IP, включаючи смартфони, планшети і датчики, вже активно використовуються на виробництві. Наявні дротові мережі датчиків в найближчі роки будуть розширені і доповнені бездротовими мережами, завдяки чому на підприємствах суттєво розширяться зони застосування систем моніторингу та управління. Наступний етап оптимізації виробничих процесів буде характеризуватися все більш щільною конвергенцією кращих інформаційних і операційних технологій.

Глобальні зміни клімату, пандемія COVID-19 і геополітичні конфлікти серйозно порушують світове бізнес-середовище та глобальні ланцюги вартості, змінюючи політичний та економічний ландшафт і створюючи підґрунтя для фундаментальних змін у політиці, промисловості, суспільстві та управлінні. Перед лицем нових викликів важливо не регресувати до нестабільної промислової парадигми (наприклад, Індустрія 3.0), а активно впроваджувати та користуватися можливостями Індустрії 5.0.

З огляду на велику кількість технологічних змін, мінливі вимоги до робочої сили, соціальні та регуляторні пріоритети є потреба у визначенні керівних принципів, які допоможуть встановити курс розвитку цифрової індустрії. Індустрія 5.0 стала основою для перегляду майбутнього енергетики, виробництва, мобільності ланцюгів поставок, які опираються на основи, закладені Індустрією 4.0.

Індивідуалізована взаємодія людини та машини становить найважливішу відмінність Індустрії 5.0 – повторне введення людського фактору в процеси й системи, які були автоматизовані до гіперефективності за допомогою новітніх інформаційних технологій. У певному сенсі людський елемент «повертає душу» в процес виробництва завдяки можливості спільного виробництва – уява та гнучкість людини-працівника набувають нових можливостей і вдосконалюються завдяки здатності використовувати колаборативні роботи (або коботи). Поєднання розумних машин і кмітливості людини дозволить досягнути справжньої «масової персоналізації» та сприятиме розвитку світового виробництва. Бачення Індустрії 5.0 базується на технологічних і бізнес-принципах Індустрії 4.0 з акцентом на трьох принципах, узгоджених із ESG підходом: орієнтованість на людину, стійкість і сталість.

Підготовка підприємницької і виробничої діяльності до впровадження Індустрії 5.0 не є легким і швидким процесом, але абсолютно виправданим уже сьогодні. Адже значно легше заздалегідь проаналізувати та розробити план впровадженнь інноваційних підходів до ведення підприємницької діяльності, що базуються на принципах орієнтації на людину, стійкості та сталості, ніж ситуативно реагувати на стрімкі непередбачувані зміни в процесах і системах, втрачаючи конкурентні переваги перед тими гравцями, які заздалегідь адаптувались до майбутніх змін [5].

## 1.2 Огляд існуючих автоматизованих монтажних ліній із використанням конвеєрів для подачі деталей

В аналітичному розділі звіту розглянуто існуючі рішення у сфері автоматизованих монтажних ліній, що включають в себе конвеєри для постійної подачі деталей до робочих місць. Зосередимось на аналізі кількох прикладів таких ліній, їх переваг та недоліків.

Конвеєрні лінії – це складні механізми, що складаються з кількох основних елементів: конвеєрний механізм – основний елемент, що забезпечує транспортування матеріалів або деталей, найчастіше використовується роликівий, ланцюговий або магнітний конвеєр; система приводу – привод складається з двигуна, редуктора та передавального механізму, забезпечує рух стрічки або ланцюга з необхідною швидкістю; елементи автоматизації – включають датчики, контролери та системи управління, дозволяють регулювати швидкість, стежити за станом обладнання, а також інтегрувати конвеєр у загальну систему виробництва; каркас і опори – основою конструкції є металевий каркас, який забезпечує міцність та стабільність лінії. Основні типи конвеєрів для коробок і ящиків – роликівий конвеєри (рольганги) і стрічкові конвеєри. Останні дають можливість також транспортувати поштучні вироби, оскільки все полотно конвеєра слугує водночас суцільною полицею для товару.

На рисунку 1.1 зображено приклад сучасного стрічкового конвеєра з автоматизованою системою управління.



Рисунок 1.1– Стрічковий конвеєр з автоматизованою системою управління

У сучасному світі велика кількість складів при обробці вантажів широко використовують різні автоматизовані системи зберігання, відбору і комплектації замовлень, а саме: технології відбору pick-by-light; автомати шахтного типу; конвеєрні лінії з вбудованими сортувальними системами; карусельні системи комплектації та ін.

Технологія Pick-by-Light (яку також іноді називають Pick-to-Light) розроблена для автоматизації процесу відбору продукції. Особливість технології полягає в тому, що вона може застосовуватися як для ідентифікації товару, його ваги і кількості, так і при оформленні оптових замовлень, обслуговуванні роздрібних покупців. При роботі за технологією Pick-by-Light на екран дисплея виводиться кількість одиниць товару, а місце його розташування позначається світловим сигналом. Комплектувальник здійснює відбір одиниць товару і підтверджує його натисненням на екран-індикатор. Крім екранів на дисплеї також розміщені кнопки, які дозволяють оператору скорегувати поставлене завдання. Технологія Pick-by-Light (Pick-to-Light) значно скорочує час обробки замовлень, що забезпечує високу продуктивність роботи складу. Чітко позначені завдання і зрозуміла система світлових сигналів зводять до нуля ймовірність помилки, дозволяючи добитися високої точності роботи. Технологія застосовується в зонах складу, де встановлені палетні, поличні або гравітаційні стелажі (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Технологія Pick-by-Light

Автомати шахтного типу, незважаючи на достатню складність конструкції, дуже прості в роботі, добірка товару повністю автоматична. Відповідно до замовлення з необхідного каналу на конвеєр-карниз відвантажуються необхідна кількість коробок. Залежно від моделі автомата, вантаж може просто падати на конвеєр або м'яко подаватися за допомогою гравітаційних штовхачів. Конвеєр доставляє відібраний товар в лоток або короб для конкретного замовлення. Перевагою автоматів шахтного типу є не тільки відсутність оператора-збирача, а й можливість одночасного відбору товарів з різних каналів, що дозволяє підняти швидкість відбору до 12000 одиниць на годину, при цьому забезпечуючи максимальну точність підбору.

Зазвичай шахтні автомати діляться на три категорії: повільного руху – до 5 одиниць (артикулів) в день; середнього руху – від 5 одиниць до 50 одиниць (артикулів) в день; швидкого руху – від 50 одиниць до 350 одиниць (артикулів) в день.

Конвеєрні лінії (системи) ефективно застосовуються як сполучна ланка між різними зонами комплектації замовлень, значно знижуючи час набору замовлення. Використання конвеєрних ліній на складі пов'язано з тим, що значна частина складських робіт здійснюється за рахунок переміщення товарів з одного місця в інше. А будь-яке переміщення пов'язане з витратами часу. Крім того, збільшується ймовірність пошкодження вантажу при його неправильному транспортуванні.

Конвеєрні системи на складі дозволяють скоротити переміщення товару до мінімуму; жорстко нормувати напрямки, обсяги і структуру вантажопотоку; зменшити трудовитрати; скоротити кількість помилок при транспортуванні; зробити процес обробки продукції безперервним робочим циклом.

Застосування для комплектації замовлень коробів зі штрих-кодами, в яких містяться відомості про замовлення, дозволяє автоматично переміщати їх по конвеєру тільки в ті зони складу, де відбувається відповідальне зберігання вантажу, включеного в замовлення. Конвеєри отримали широке застосування

завдяки ряду переваг перед іншими видами підйомно-транспортного устаткування.

До таких переваг належать: висока продуктивність, яку забезпечує велика швидкість руху несучої поверхні; низькі енерговитрати; простота конструкції; висока надійність; простота в експлуатації.

У роботі складських комплексів застосовуються в основному стрічкові та роликові конвеєри, рольганги, а також різноманітні поворотні секції відповідної конструкції [6].

Рольганги бувають двох видів: зональні і постійно-приводні.

В зональних конвеєрах один ролик, оснащений електромотором, приводить у рух найближчі до себе пасивні (ведені) ролики за допомогою спеціальних ременів. Кожна зона програмується окремо, що дає можливість гнучкого регулювання швидкості на конкретній ділянці. При проходженні вантажу по такому рольгангу в кожен момент часу працюють тільки активні зони, де знаходиться тара.

Зональний конвеєр буде актуальним у випадках, коли немає постійного і регулярного товаропотоку. Така система дозволяє акумулювати і розподіляти вантажі за допомогою буферних зон. Оскільки ролики живлять малопотужні 24-вольтові мотори, а реальна робота відбувається тільки під дією датчиків руху, зональний конвеєр дозволяє істотно економити електроенергію, знижуючи тим самим експлуатаційні витрати (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Роликовий конвеєр

Також важливою складовою автоматизації на сучасних виробництвах є лінія з роботизованим обслуговуванням, яка включає роботи-маніпулятори. Така система забезпечує високий рівень точності, ефективності та зниження впливу людського фактору на процес виробництва.

Універсальні промислові роботи служать для вирішення завдань, пов'язаних з автоматизацією виробництва. Застосовуються в основному в машинобудуванні і металургії для зварювання, різання, обслуговування верстатів, фарбування, поліровки, наплавлення, механічної обробки, розподілу клею і наповнювачів, плазмового напилення, переміщення вантажів і палетування.

Маніпулятори на заводах використовуються вже з середини 20-го століття. Ці пристрої є автоматизованим механізмом, обладнаним спеціальним відмітним інструментом – так званою "рукою" маніпулятора. Ця "рука" і служить основним діючим органом в різних цілях. Якщо це робот для зварювання, рука-маніпулятор виконує зварювальні операції, якщо робот-укладальник, рука служить для укладання і упаковки продукції. Природно, принцип дії маніпулятора залежить від його програмування і оснащення.

Різноманітність роботів-маніпуляторів нестримно набирає оберти. На сьогодні існує 30 видів маніпуляторів. Компанії-виробники промислової робототехники представляють свої винаходи, починаючи від універсальних маніпуляторів до формувальників готової продукції.

Компанії ABB, Kawasaki і FANUC поставляють універсальних промислових роботів за ціною від 2000 до 4000 доларів залежно від функціональності пристрою. Ці апарати здатні збільшити швидкість і якість обробки деталей, але основними недоліками цих пристроїв є неповноцінна взаємодія усіх компонентів і неможливість проведення якнайточніших операцій.

Роботи-автомати третього покоління здатні самостійно генерувати програму своїх дій залежно від завдання й умов зовнішнього середовища. У них немає «шпаргалок», тобто розписаних технологічних дій при певних

варіантах зовнішнього середовища. Вони володіють умінням самостійно оптимально вибудувувати алгоритм своєї роботи, а також оперативно реалізовувати його практично. Вартість електроніки такого промислового робота в десятки разів вища його механічної частини.

Новітній робот, здійснюючи захоплення деталі завдяки сенсорам, «знає», наскільки вдало він це зробив. Крім того, регулюється сама сила захоплення (завдяки зворотному зв'язку по зусиллю) у залежності від крихкості матеріалу деталі. Можливо, саме тому пристрій промислових роботів нового покоління називають інтелектуальним. «Мозком» такого приладу є система його керування. Найбільш перспективним є регулювання, яке здійснюється відповідно до методів штучного інтелекту. Інтелект цим машинам задають пакети прикладних програм, програмовані логічні контролери, інструменти моделювання [10].

На рисунку 1.4 зображений промисловий робот-маніпулятор.



Рисунок 1.4 – Промисловий робот-маніпулятор

Так, компанія Юніверсал-Роботс родом з Данії, займається випуском роботів-маніпуляторів для автоматизації циклічних виробничих процесів. Продукція компанії представлена лінійкою з трьох полегшених промислових маніпуляційних пристроїв з розімкненим кінематичним ланцюгом.

Всі маніпулятори серії UR оснащені датчиками абсолютного положення високої точності, які спрощують інтеграцію з зовнішніми пристроями і обладнанням. Завдяки компактному виконанню, маніпулятори серії UR не займають багато місця і можуть встановлюватися в робочих секціях або на виробничих лініях, де не має місця для встановлення звичайних роботів [11].

Однією з переваг даної серії роботів-маніпуляторів є простота програмування. Спеціально розроблена і запатентована технологія програмування дозволяє операторам, які не володіють спеціальними навичками, швидко налаштувати роботів-маніпуляторів серії UR і управляти ними за допомогою інтуїтивної технології 3D-візуалізації. Програмування відбувається шляхом серії простих пересувань робочого органу маніпулятора в необхідні положення, або натисканням стрілок в спеціальній програмі на планшеті. Окрім цього, значною перевагою перед іншими роботами у роботів-маніпуляторів серії UR є їх швидкість налаштування. Оператору, що виконує первинний запуск обладнання, потрібно менше години для розпакування, монтажу і програмування першої простої операції. Маніпулятори серії UR здатні замінити операторів, що виконують рутинні завдання в небезпечних і забруднених умовах. В системі управління ведеться облік зовнішніх впливів, що даються на робот-маніпулятор в процесі роботи. Завдяки цьому, маніпуляційні системи серії UR можна експлуатувати без захисних огорожень, поруч з робочими місцями персоналу. Системи безпеки роботів схвалені і сертифіковані Союзом працівників технічного нагляду Німеччини. Варто зауважити, що привілеگیєю роботів-маніпуляторів даної моделі є будь-який тип розміщення, тобто конструкція не вимагає особливих умов для встановлення [12].

З промисловими роботами-маніпуляторами серії UR відкриваються можливості автоматизації практично всіх циклічних рутинних процесів. Роботи-маніпулятори компанії Юніверсал-Роботс відмінно зарекомендували себе в різних областях застосування. Наприклад, при установці маніпуляторів серії UR на ділянках перекладки і упаковки дозволило збільшити точність і

зменшити усадку. Більшість операцій з перекладки тепер здійснюється без нагляду оператора або працівника відділу.

Існують також монументальні роботи, які створені спеціально для роботи з найбільш важкими вантажами. Використання такого вантажопідйомного обладнання дозволяє досягти легкості і надійності роботизованих систем, оскільки можна усунути від роботи до 4 звичайних роботів, замінивши їх сучасною роботизованою технікою. Такий робот піднімає до 1200 кг і переміщає вантаж на відстань до 3,7 м та має перевагу, так як працює без участі людини, що практично зводить до нуля небезпеку травматизму та вплив людського фактору.

Наприклад, в галузях харчової промисловості для роботи з укладанням палетів у морозильних камерах, створений робот, який здатен виконувати роботу при температурах до  $-30$  °С. Для роботи при мінусових температурах апарат не потребує захисних кожухів. Так само робот повністю укомплектований електронікою стійкою до морозу.

Зараз у виробництві автомобілів, побутової техніки, електроніки та інших товарів, що вимагають високого рівня точності і ефективності, використовується лінія з автоматичним подаванням деталей і механізмами для їх складання.

Система подавання деталей в цій лінії відповідає за транспортування та точне подавання компонентів до місця складання. Система може включати механізми для подавання деталей різних розмірів і форм: конвеєрні стрічки, роликові лінії, пневматичні або електричні подавачі, вакуумні системи для легких або малих елементів. Важливим аспектом є точність подавання, яка дозволяє забезпечити мінімальний час на кожен цикл і уникнути помилок у складанні.

Механізми для складання – основна частина лінії, яка безпосередньо займається монтажем або складанням компонентів. Механізми можуть бути різними в залежності від складності та специфіки виробу: роботи для складання – програмовані роботи, оснащені маніпуляторами для точного і швидкого

складання; пневматичні чи гідравлічні системи – вони використовуються для великих або важких компонентів, що вимагають значних зусиль; швидкісні вібраційні столики або «воронки» – використовуються для автоматичного подавання та впорядкування дрібних деталей (наприклад, гвинтів, болтів).

Система контролю якості має важливе значення для забезпечення високої точності складання. Це можуть бути різноманітні датчики та системи візуального контролю, які перевіряють правильність установки компонентів, точність з'єднань та навіть параметри електронних частин. Використовуються камери для перевірки положення частин, ультразвукові чи інші сенсори для перевірки герметичності з'єднань та наявності дефектів. Для керування всіма цими процесами використовується комп'ютеризована система або ПЛК (програмований логічний контролер), яка дозволяє налаштовувати та моніторити процес автоматично. Оператори можуть задавати параметри роботи лінії, запускати та зупиняти окремі етапи процесу, а також вести журнал усіх операцій. Такі системи можуть мати можливість налаштування за допомогою графічних інтерфейсів, що спрощує процес налаштування і підтримки обладнання.

### 1.3 Постановка задач

Автоматизація конвеєрної лінії поставки деталей до робочих місць – це інтеграція сучасних технологій для ефективного управління і оптимізації процесу транспортування компонентів до різних етапів виробництва. Мета автоматизації полягає в підвищенні продуктивності, зниженні витрат, покращенні якості виробів і зменшенні людської помилки.

Розглянемо обширно основні аспекти та цілі такої автоматизації. Автоматизовані конвеєрні лінії дозволяють забезпечити постійну доставку деталей до робочих місць без значних затримок. Конвеєри працюють з високою швидкістю, мінімізуючи час, що витрачається на транспортування компонентів. Це забезпечує безперервність виробничого процесу, що особливо важливо при масовому виробництві.

Ключовими перевагами такої розробки є підвищення швидкості доставки деталей до робочих місць без необхідності ручного втручання та підвищення пропускної здатності виробничих ліній завдяки мінімізації затримок на етапах постачання.

Автоматизація дає змогу зменшити залежність від людського фактора при транспортуванні деталей. Людські помилки можуть призвести до некоректної поставки, що, в свою чергу, веде до затримок чи виробничих дефектів. Робота автоматизованих систем, як правило, більш стабільна і точна.

Системи автоматизації можуть бути адаптовані до різних потреб виробництва. Це дозволяє оперативно налаштовувати лінію під нові моделі або зміни у вимогах, не вимагаючи великої кількості часу та ресурсів на переналагодження.

Автоматизовані системи конвеєрів можуть бути інтегровані з іншими виробничими та управлінськими системами, такими як ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System), або WMS (Warehouse Management System). Це дозволяє забезпечити безперервний обмін даними та більш точне управління усіма етапами виробничого процесу, такими як автоматичний обмін даними і підвищення прозорості процесів та відстеження кожного етапу виробництва в реальному часі, що дозволяє швидко реагувати на будь-які збої.

Автоматизовані конвеєрні системи допомагають зменшити фізичне навантаження на працівників, знижуючи ризик травматизму. Оскільки деталі транспортуються автоматично, зменшується необхідність у фізичній взаємодії з небезпечними елементами, що робить робоче середовище безпечнішим.

Інноваційні автоматизовані конвеєрні системи можуть використовувати енергозберігаючі технології, такі як інтелектуальні датчики, які регулюють енергоспоживання залежно від потреби. Це дозволяє не тільки скоротити витрати на енергоресурси, а й зменшити екологічний слід виробництва.

Системи автоматизації обладнані високотехнологічними датчиками і контролерами, що дозволяють постійно моніторити стан лінії та оперативно реагувати на будь-які неполадки, забезпечуючи мінімізацію простоїв.

#### 1.4 Висновки за першим розділом

У першому розділі розглянуто існуючі на сьогоднішній день різні види автоматизованих конвеєрних ліній. Вони мають ряд переваг, такі як мінімізація участі людини, гнучкість та адаптивність, висока швидкість та точність, зниження витрат часу, точність відстеження кожної деталі, простота інтеграції з іншими системами. Однак, разом з цим вони мають ряд недоліків, такі як: висока вартість впровадження – складність і дороговизна сенсорів для зважування, сортування і інтеграції автоматичних механізмів, не гнучка система – адаптація до змін в номенклатурі чи вимогах може бути проблематичною без значних витрат, обмеженість в різноманітті деталей – система може дати труднощі з подачею нестандартних деталей або тих, які важко обробляти за допомогою датчиків, технічне обслуговування та налаштування – потреба в кваліфікованому персоналі для налаштування та обслуговування роботів, залежність від обладнання – поломка будь-якого компонента (механізму, датчика) може призвести до зупинки лінії.

Саме тому, розробка нової конвеєрної лінії, навіть при існуючих рішеннях, може бути обґрунтована кількома вагомими причинами:

- оптимізація витрат – існуючі конвеєри можуть мати високу вартість обслуговування, експлуатації або споживати багато ресурсів. Нова лінія може бути розроблена з використанням сучасних технологій, що дозволить зменшити витрати на енергію, ремонт та запасні частини;

- підвищення продуктивності – стара конвеєрна технологія може мати обмеження щодо швидкості, точності або обсягу виробництва. Нова лінія може забезпечити швидший цикл роботи, краще управління процесами та вищу якість продукції;

– гнучкість у виробництві – існуючі лінії можуть бути адаптовані лише для вузького спектра продуктів. Нова розробка може враховувати потребу у виробництві різноманітних продуктів на одному конвеєрі, що дає перевагу в умовах змінних ринкових вимог;

– скорочення впливу на довкілля – новітні технології дозволяють створювати екологічно чисті виробничі процеси, які відповідають сучасним стандартам сталого розвитку, зменшуючи рівень викидів, відходів чи споживання ресурсів;

– інтеграція з автоматизацією та цифровими технологіями – новий конвеєр може бути інтегрований із системами автоматизації, Інтернетом речей (IoT) та штучним інтелектом для підвищення ефективності управління та прогнозування роботи;

– зменшення залежності від постачальників та ліцензій – використання готових конвеєрних рішень може створювати залежність від сторонніх постачальників. Власна розробка дає змогу контролювати всі аспекти виробництва, зокрема ліцензування і технологічні вдосконалення;

– унікальні вимоги до виробництва – стандартні рішення не завжди враховують специфіку конкретного бізнесу. Нова конвеєрна лінія може бути спроектована з урахуванням унікальних потреб виробництва, що підвищує її ефективність;

– зменшення простоїв – власний дизайн конвеєра дозволяє врахувати ризики, пов'язані з поломками чи необхідністю заміни окремих елементів, зменшуючи час на ремонт та простої;

– ринкова конкурентоспроможність – інноваційна конвеєрна лінія може забезпечити технологічну перевагу над конкурентами, підвищуючи конкурентоспроможність продукції.

Розробка власного конвеєра – це інвестиція, яка дозволяє адаптувати виробництво до сучасних умов, зменшити витрати та підвищити ефективність у довгостроковій перспективі.

## 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка структурної блок-схеми конвеєрної лінії

З метою забезпечення високої ефективності виробництва важливим інструментом для планування, аналізу, управління та поліпшення конвеєрних ліній є блок-система. Її необхідно зробити простою, надійною та ефективною. Блок-схема допомагає зрозуміти, як відбувається рух товарів чи деталей на конвеєрній лінії, які етапи обробки мають місце, де можуть виникати затримки або неполадки. На етапі проектування конвеєрної лінії блок-схеми дозволяють зрозуміти, як повинні бути з'єднані різні елементи системи (наприклад, машини, транспортери, робочі місця). Це дає змогу більш точно спланувати технічні характеристики лінії, її навантаження і взаємодію елементів.

Для проектування та організації системи конвеєрної лінії було обрано модульний підхід, що відображається у його структурній організації. Цей підхід полягає в тому, що система складається з незалежних компонентів (модулів), які можна легко змінювати, замінювати або удосконалювати незалежно один від одного. Кожен компонент відповідає за конкретну функціональність лінії. Ця схема містить в собі ключові компоненти, які працюють у взаємодії для досягнення максимальної точності та продуктивності під час обстежень (рисунок 2.1).

Для операторів, інженерів та керівників лінії блок-схема є наочним інструментом для моніторингу і управління всіма етапами виробничого процесу. Вона дозволяє швидко визначити поточний стан і вчасно реагувати на будь-які зміни чи відхилення від плану. А також завдяки їй легше масштабувати – розширювати систему, додаючи нові модулі.

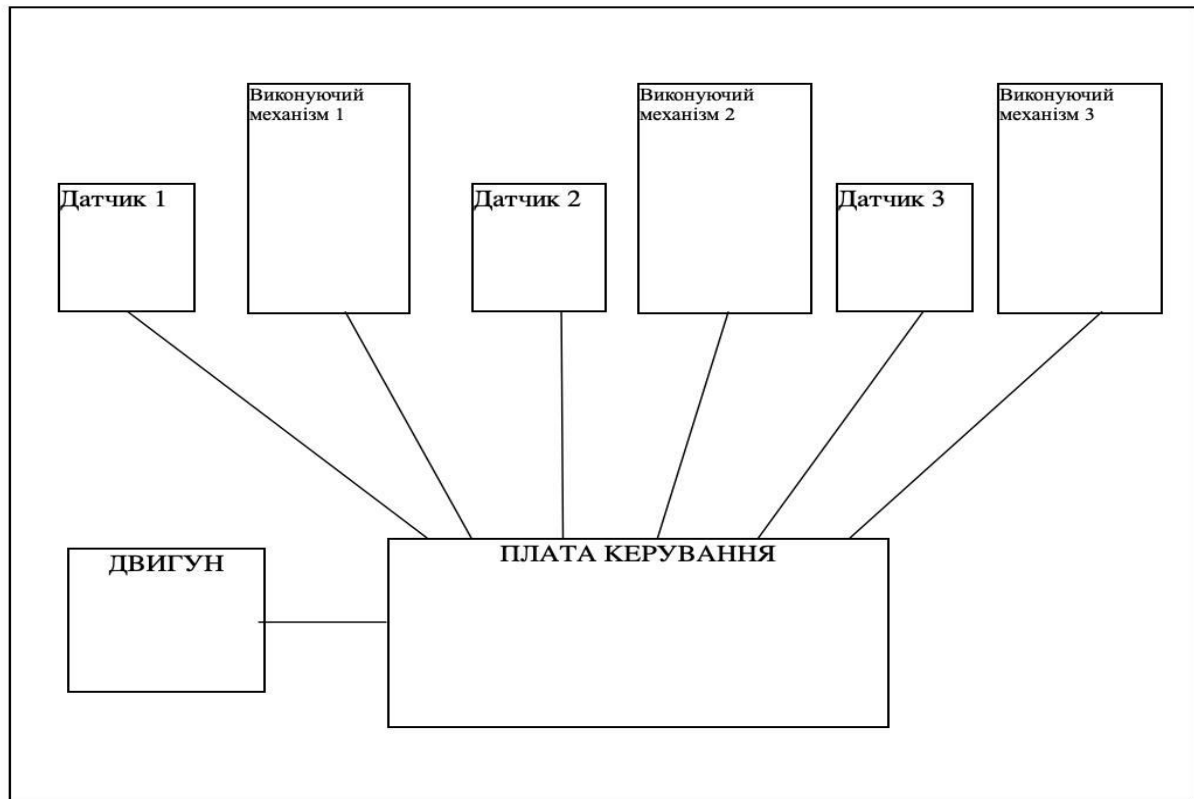


Рисунок 2.1 – Блок-схема конвеєрної лінії

## 2.2 Вибір компонентів з обґрунтуванням вибору

Вибір компонентів для керування конвеєрною лінією залежить від багатьох аспектів: типу лінії, продуктивності, рівня автоматизації та бюджету. Система має бути спроектована так, щоб забезпечити ефективність, надійність і безпеку в роботі, а також можливість простого обслуговування та моніторингу.

Кожен з обраних компонентів ретельно аналізується з точки зору його функціональних можливостей, впливу на загальну продуктивність системи та його здатності забезпечувати високу надійність роботи в різних умовах експлуатації.

Спочатку проводиться детальний аналіз умов експлуатації конвеєрної лінії, включаючи можливі перепони. На основі цього аналізу визначаються ключові характеристики, якими повинні володіти компоненти, такі як плата керування, серводвигун, датчики, виконуючі механізми.

Центральним компонентом системи є плата. Вибір плати залежить від складності завдання, яке потрібно виконати, та кількості компонентів, які планується інтегрувати. Вона служить основою та «мозком» проєкту, дозволяючи програмувати логіку роботи лінії та обробляти дані з датчиків, використовується для контролю серводвигунів, взаємодіє з іншими пристроями через UART, I2C або SPI. Важливою перевагою плати є її функціональність.

Для керування конвеєрною лінією було вибрано плату Arduino Uno R3 (рисунок 2.2). Вона є відмінним вибором завдяки своїй доступності, простоті використання, багатій підтримці компонентів і можливостям розширення. Ця плата ідеально підходить для швидкого прототипування, експериментування та створення проєктів з невеликими або середніми вимогами до потужності та складності. Arduino Uno R3 має простий інтерфейс і добре документовану середу програмування (Arduino IDE), що робить її ідеальною для новачків. Це дозволяє швидко почати розробку проєкту без необхідності складного налаштування. Код для Arduino пишеться на мові програмування, яка є подібною до C/C++, і має доступну бібліотеку функцій для роботи з різними сенсорами, моторами та іншими компонентами. Плата підтримує велику кількість стандартних електронних компонентів, що дозволяє без проблем інтегрувати різні датчики, актуатори (моторчики, серво, реле) та інші пристрої. Для Arduino Uno існує безліч додаткових модулів (шилдів), таких як Wi-Fi, Bluetooth, дисплеї, датчики температури, вологомірів та інших. Це дозволяє легко адаптувати плату до потреб проєкту.

Основні параметри Arduino UNO R3:

- зарядна напруга: від 7 В до 12 В;
- флеш-пам'ять: 32 кБ;
- оперативна пам'ять: 2 кБ;
- мікроконтролер: ATmega328P;
- порти введення/виведення: 14 цифрових входів/виходів, 6 з яких можуть бути використані як аналогові входи;

- швидкість процесора: 16 МГц [9].



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд плати Arduino Uno R3

Із системами управління Arduino може бути інтегрований популярний сенсор HC-SR04 для автоматизації процесів (рисунок 2.3). Він добре підходить для багатьох застосувань, таких як вимірювання відстані, виявлення об'єктів або моніторинг рівня, що робить його ідеальним вибором для проєктів автоматизації та контролю на конвеєрних лініях або інших подібних системах.

Сенсор використовується для визначення наявності деталей на певній ділянці конвеєра. HC-SR04 може швидко вимірювати відстань (у режимі реального часу) до найближчого об'єкта, що дозволяє контролювати проміжки між деталями на конвеєрі, коригує його швидкість, щоб забезпечити рівномірну подачу, допомагає виявляти скупчення або блокування деталей на конвеєрі. Це важливо для забезпечення безперервного і рівномірного потоку, дозволяє уникнути поломок обладнання або зупинки лінії. Сенсор може працювати як тригер для зупинки або запуску конвеєра. Наприклад, якщо на робочому місці вже є деталь, сенсор дає команду зупинити подачу нових деталей. HC-SR04 використовує звукові хвилі для вимірювання відстані, тому він не залежить від кольору, прозорості або матеріалу об'єкта, на відміну від оптичних сенсорів. Коли деталь наближається до певної зони, ультразвуковий сенсор посиляє

сигнал, який відбивається від об'єкта і повертається назад. Це дозволяє визначити, чи є деталь у зоні роботи. Він фіксує, коли деталь підходить до робочого місця, завдяки чому автоматизовані системи точно керують процесом подачі.

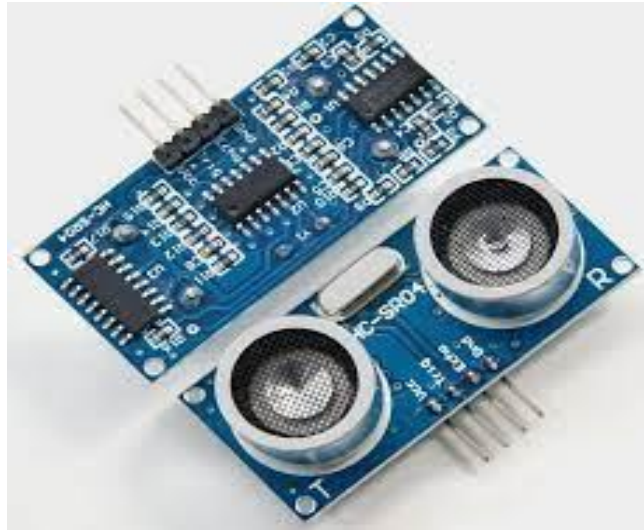


Рисунок 2.3 – Ультразвуковий сенсор HC-SR04

Характеристики ультразвукового сенсора HC-SR04:

- напруга живлення від 3,8 В до 5,5 В;
- статичний струм до 2 мА;
- робочий струм 15 мА;
- частота 40 кГц;
- ширина імпульсів – 10 мкс;
- ефективний кут 15° ;
- діапазон виміру відстані від 0 мм до 1500 мм;
- максимальна точність датчика 3 мм;
- ціна 59 грн [13].

Для управління рухом конвеєра, автоматичних пристроїв на лінії, а також для реалізації різних механізмів підйому або опускання елементів на лінії вибрано універсальний сервопривід CG90, який зарекомендував себе як надійний і довговічний. Він здатний працювати в складних умовах, де потрібна

постійна і стабільна робота протягом тривалого часу. Це важливо для конвеєрних ліній, де навіть короткі перебої в роботі можуть призвести до зупинки виробництва або втрат. Висока надійність також знижує потребу в частих ремонтах і технічному обслуговуванні. CG90 є сервоприводом, що дозволяє точно контролювати положення валу. Це дуже важливо для конвеєрних ліній, де необхідно забезпечити точне розташування об'єктів на лінії для подальших операцій (наприклад, пакування, маркування, сортування). CG90 має простий інтерфейс і сумісність з різними мікроконтролерами, такими як Arduino, що дозволяє легко інтегрувати привід в систему управління. Це дає змогу зручно програмувати роботу лінії, адаптувати привід до різних вимог (наприклад, зміна швидкості обертання в залежності від навантаження) та впроваджувати автоматизацію. Можливість використання спільно з ультразвуковими датчиками для автоматичного зупинення або регулювання швидкості роботи робить цей сервопривід ідеальним для автоматизованих ліній. Завдяки можливості точного контролю кута обертання, він може бути використаний для налаштування положення роликів, виведення товару на певну позицію для подальших етапів обробки. Сервопривід CG90 має невеликі розміри, що дозволяє легко інтегрувати його в обмежений простір конвеєрної лінії. У системах з багатьма компонентами та вузлами компактність приводу дозволяє зберегти компактність конструкції і зменшити загальні розміри механізму. Вартість сервоприводу CG90 є відносно доступною, що дозволяє знизити загальні витрати на проєкт без шкоди для функціональності та якості роботи. Для малих і середніх за масштабами підприємств або стартапів це важливий аспект. На рисунку 2.4 зображено сервопривід CG90.

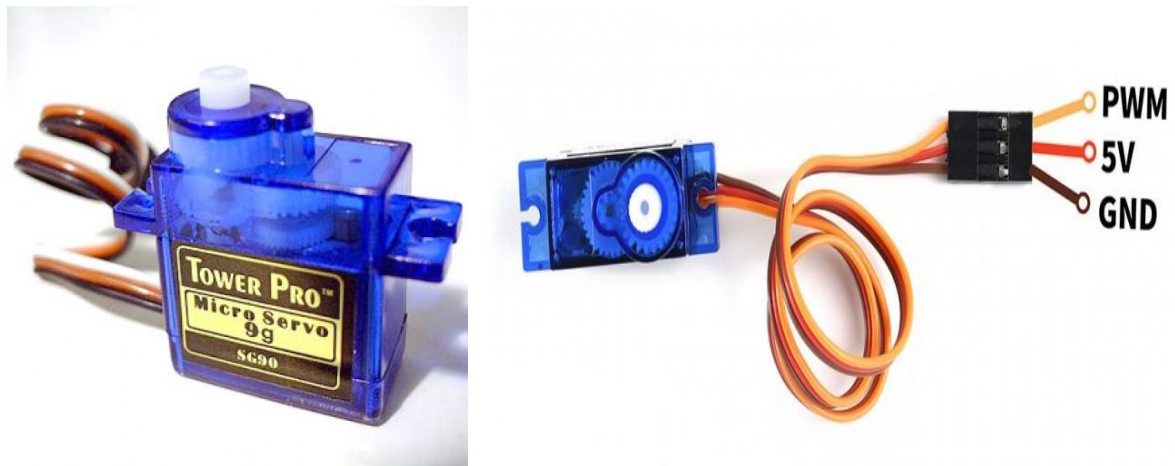


Рисунок 2.4 – Сервопривід CG90

Характеристики:

- вага 9 гр;
- розмір 21.5мм×11.8мм×22.7мм;
- швидкість без навантаження 60 градусів/0.12 сек.(4.8 в);
- пусковий момент від 1.2 кг/см до 1.4 кг/см(4.8 В);
- робоча температура від –30 градусів до +60 градусів;
- робоча напруга від 4.8 В до 6 В;
- ціна 65 грн [11].

Конвеєр є основним механізмом для транспортування деталей з одного робочого місця на інше. Він може бути оснащений різними пристроями для поділу потоків, якщо потрібно передавати деталі на кілька робочих місць одночасно. При активації конвеєра, деталь рухається від одного робочого місця до іншого.

Серводвигун буде відповідати за обертання механізму, який вибирає та передає деталі до робочих місць. Він працюватиме з високою точністю для забезпечення точного позиціонування деталей на конвеєрі. Серводвигун буде підключений до контролера (PLC), щоб регулювати швидкість і точність обертання. При проходженні деталі спрацьовує датчик, сигналізуючи системі, що деталь потрапила в потрібну позицію, та передає сигнал на контролер (PLC), який активує конвеєр для подальшого транспортування деталі. Кожне робоче місце призначене для виконання певної операції з деталями (наприклад,

складання, обробка або пакування). Після отримання деталі на робочому місці, здійснюється необхідна операція, і деталь може бути передана на наступне робоче місце або завершити процес.

На автоматизованих лініях часто застосовується конвеєр з селективними виконавчими механізмами, які забезпечують вибірковий відбір деталей. Вони активуються, якщо потрібно забрати конкретну деталь.

При автоматизації процесу подача деталей на робоче місце працівника за допомогою конвеєрної лінії та виконуючого механізму (наприклад, пневматичного чи механічного приводу) працює таким чином: подача деталі на конвеєр – деталь переміщується по конвеєрній стрічці до зони виконуючого механізму, поступає сигнал на виконуючий механізм: сенсор (наприклад, оптичний або індуктивний) фіксує наближення деталі до механізму, механізм отримує сигнал, що деталь готова до передачі. Закриття закрилків – виконуючий механізм спрацьовує: закрилки (лапки, штовхачі тощо) захоплюють деталь або перекривають її рух по конвеєру. При цьому деталь може бути спрямована на конкретну точку. Передача деталі на робоче місце: закрилки нахилиються, або механізм випускає деталь, і вона падає (або м'яко переміщується) на підготовлене робоче місце працівника. Повернення механізму в початкове положення – після передачі деталі механізм відкриває закрилки і готується до наступної деталі.

### 2.3 Схема підключення макету

Сервопривод CG90 – це малий, дешевий серводвигун, який зазвичай використовується для контролю положення за допомогою PWM. Від звичайного двигуна він відрізняється тим, що йому можна точно в градусах задати положення, в яке стане вал.

Принцип роботи сервопривода базується на зворотному зв'язку, який здійснюється за допомогою одного або кількох системних сигналів. Простим варіантом датчика позиціонування є потенціометр, що з'єднаний з вихідним

валом. Коли параметри резистора змінюються, змінюється і струм, що живить двигун. Існує два основних типи сервомоторів: з безперервним обертанням і з обмеженим кутом обертання (зазвичай  $180^\circ$  або  $270^\circ$ ). Основна різниця між сервомоторами з обмеженим обертанням полягає в наявності механічних елементів, які не дозволяють валу рухатися за межі встановлених кутів. Коли вал досягає кута  $180^\circ$ , він натрапляє на обмежувач, який подає сигнал на вимкнення двигуна. У сервоприводів з безперервним обертанням обмежувачі відсутні. Сервоприводи широко застосовуються завдяки їх стабільній роботі, високій стійкості до зовнішніх впливів, компактним розмірам та можливості регулювання швидкості в широкому діапазоні. Ключовими характеристиками сервоприводів є здатність підвищувати потужність і забезпечувати зворотний зв'язок для передачі інформації.

Сервопривід зазвичай має 3 дроти:

- червоний (постійна напруга, 5V);
- чорний або коричневий (земля, GND);
- жовтий або оранжевий (сигнальний дріт, для передачі сигналу PWM).

Розглянемо, як підключити сервопривод CG90 до Arduino Uno R3, щоб управляти його положенням.

Підключення дротів сервопривода до Arduino Uno:

- червоний дріт (живлення): підключити до 5V на Arduino;
- чорний дріт (земля): підключити до GND на Arduino;
- жовтий дріт (сигнал): підключити до одного з цифрових пінів на Arduino (наприклад, до піну 6).

Сервопривід CG90 використовує стандартну схему підключення для серводвигунів (рисунок 2.5). Пін PWM на сервоприводі отримує сигнал широтно-імпульсної модуляції, що дозволяє точно регулювати його положення. Для живлення серводвигуна достатньо 5V від Arduino, оскільки сервопривід працює при напрузі 5V.

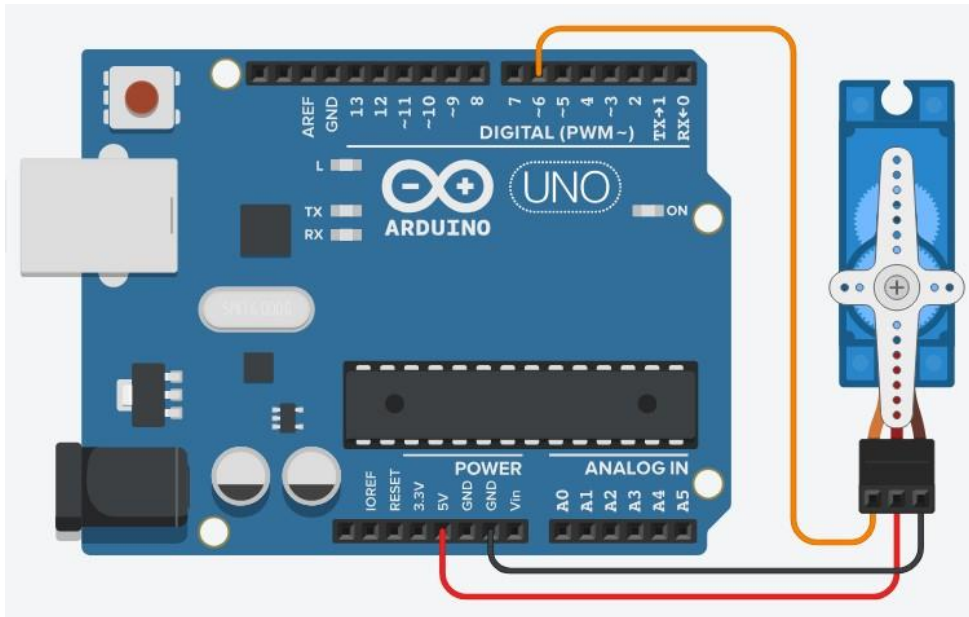


Рисунок 2.5 – Схема підключення сервопривода до Arduino

Для програмування плати Arduino Uno R3 зазвичай використовують Arduino IDE, яке дозволяє писати та завантажувати код на мікроконтролер. Для написання програми, яка дозволить керувати сервоприводом CG90, використовується вбудована бібліотека Servo.

Приклад коду зображено на рисунку 2.6:

```
#include <Servo.h> // Підключення бібліотеки для роботи з сервоприводами

Servo myServo; // Створення об'єкта для управління сервоприводом

void setup() {
  myServo.attach(6); // Підключаємо сервопривід до пину 6 на Arduino
}

void loop() {
  // Повертаємо сервопривід до 0 градусів
  myServo.write(0);
  delay(1000); // Затримка 1 секунда

  // Повертаємо сервопривід до 90 градусів
  myServo.write(90);
  delay(1000); // Затримка 1 секунда

  // Повертаємо сервопривід до 180 градусів
  myServo.write(180);
  delay(1000); // Затримка 1 секунда
}
```

Рисунок 2.6 – Приклад коду підключення бібліотеки Servo

Опис коду:

- `#include <Servo.h>` – підключення бібліотеки для роботи з сервоприводами;
- `Servo myServo;` – створення об'єкта `myServo`, який дозволяє контролювати сервопривід;
- `myServo.attach(6);` – прив'язуємо сервопривід до пину 6 на платі Arduino;
- `myServo.write(angle);` – задаємо позицію сервопривода в градусах. Від 0 до 180, де 0 – це мінімальне положення, а 180 – максимальне;
- `delay(1000);` – затримка 1 секунда, щоб зміни були чітко помітні;
- отже, підключення сервопривода CG90 до Arduino Uno R3 є досить простим і не вимагає складних налаштувань.

Ультразвуковий сенсор HC-SR04 використовується для вимірювання відстані до об'єкта за допомогою звукових хвиль. Він складається з двох основних частин: датчика (для відправлення та прийому ультразвукових хвиль) і контролера (який вимірює час між відправкою та отриманням імпульсів). Для підключення до Arduino Uno R3 використовуються чотири дроти: VCC (5V), GND (земля), TRIG (для ініціалізації імпульсів) і ECHO (для отримання відбитих сигналів) (рисунк 2.7).

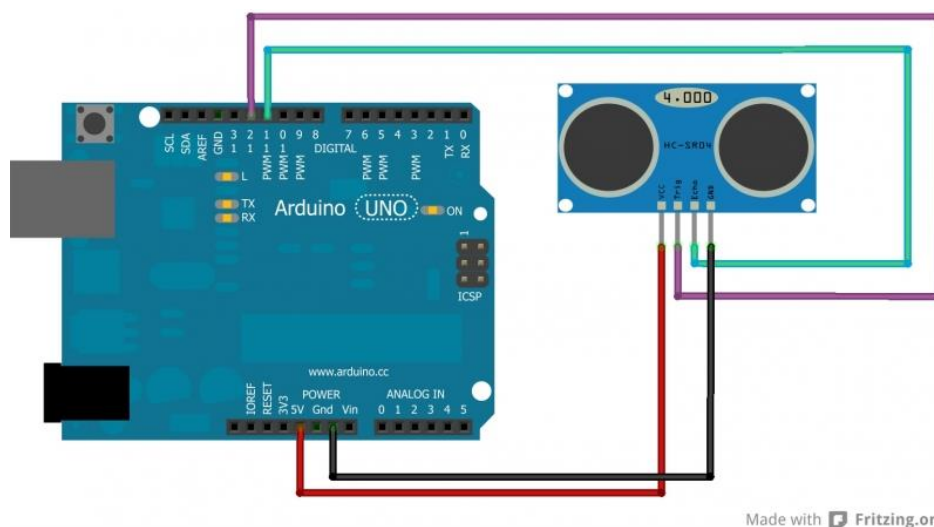


Рисунок 2.7 – Схема підключення ультразвукового сенсора HC-SR04 до Arduino

Під'єднуємо VCC до 5V на Arduino, GND до GND на Arduino, TRIG – до одного з цифрових контактів Arduino (наприклад, D1), ECHO – до іншого цифрового контакту Arduino (наприклад, D2).

Пін TRIG відповідає за ініціалізацію вимірювання відстані. Для цього потрібно подати короткий імпульс (підняти рівень на пині TRIG з 0V до 5V на кілька мілісекунд), що спричиняє відправлення ультразвукового сигналу від сенсора. Після того, як сигнал відбитий від об'єкта, пін ECHO буде подавати сигнал високого рівня (5V) на Arduino. Час, протягом якого пін ECHO знаходиться в високому рівні, пропорційний відстані до об'єкта.

Після правильного підключення апаратної частини необхідно написати програму для Arduino, яка буде ініціювати імпульси на пині TRIG, вимірювати час на пині ECHO і обчислювати відстань. Використання бібліотек, таких як NewPing, може спростити програмування.

Схема електрична принципова конвеєрної лінії зображена на рисунку 2.8.

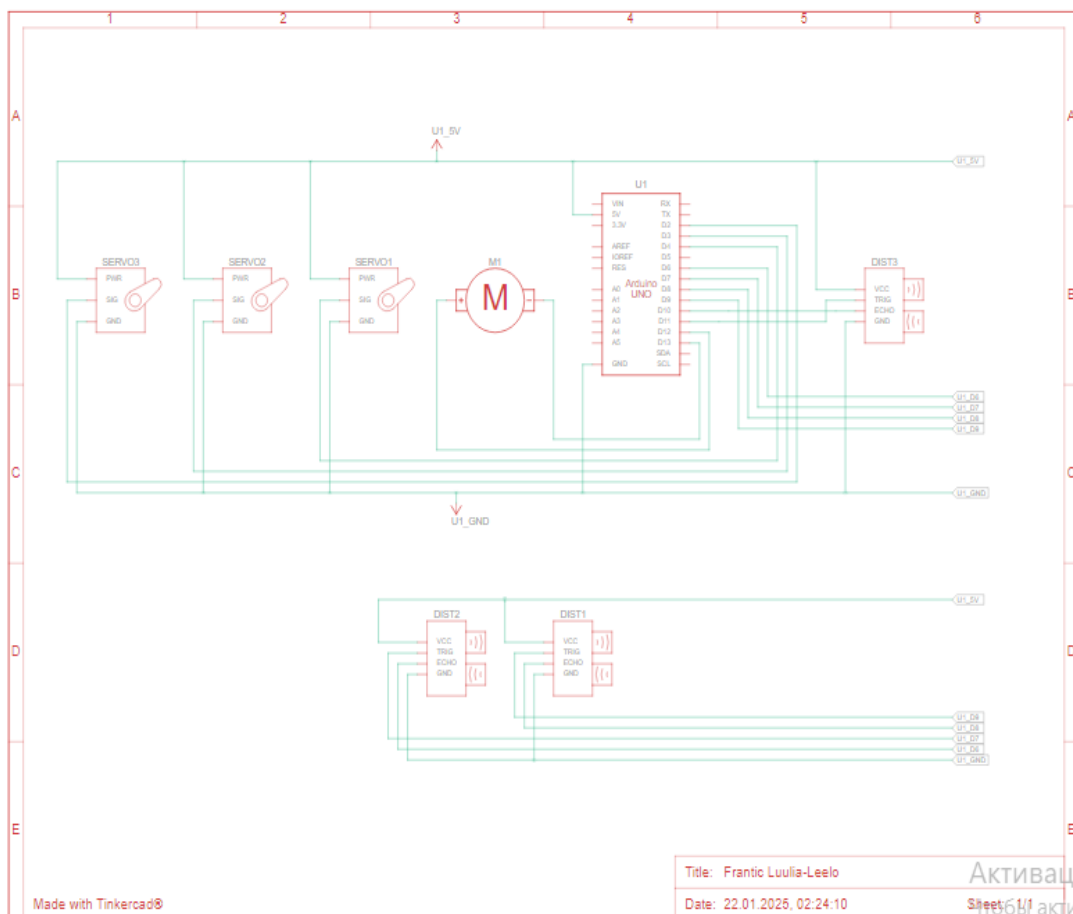


Рисунок 2.8 – Схема електрична принципова

## 2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі розроблено блок-схему підключення конвеєрної лінії, що включає взаємодію між основними компонентами системи: двигуном, платою керування Arduino Uno, виконуючими механізмами та датчиками відстані HC-SR04, яка дозволяє автоматизувати процес переміщення деталей через кілька робочих місць залежно від їх наявності або потреби.

Для реалізації проєкту вибрано кілька ключових елементів апаратної частини: двигун конвеєра – відповідає за запуск і рух конвеєрної лінії. Він забезпечує рух деталей на різні робочі місця; плата Arduino Uno R3 – головний елемент керування, який забезпечує взаємодію між усіма компонентами системи. Плата управляє серводвигунами, зчитує дані з датчиків відстані і, на основі отриманих даних, контролює роботу виконуючих механізмів; датчики HC-SR04 – ультразвукові датчики відстані, які використовуються для визначення положення деталей на конвеєрній лінії. Ці датчики точно вимірюють відстань до об'єкта і передають інформацію на Arduino для прийняття рішень; серводвигуни SG90 – використовуються для відкривання і закривання закрилків виконуючого механізму. Вони забезпечують точне керування рухом виконуючих елементів, залежно від того, чи є необхідність подати деталь на відповідне робоче місце. Всі елементи апаратної частини були підключені між собою відповідно до розробленої блок-схеми. З'єднання датчиків, серводвигунів та Arduino Uno було здійснено через відповідні піни, що забезпечує ефективну і стабільну роботу системи. Особлива увага приділялася правильному підключенню ультразвукових датчиків, адже точність вимірювання відстані є критично важливою для правильного визначення положення деталі на конвеєрі.

Розроблена блок-схема підключення та вибір апаратної частини для конвеєрної лінії дозволяє забезпечити ефективне та автоматизоване управління подачі деталей на робочі місця. Система є гнучкою і може бути адаптована до

різних умов, зокрема зміни кількості робочих місць або типу деталей. В майбутньому можна удосконалити систему, додавши нові датчики для більш точної ідентифікації деталей або можливість інтеграції з іншими автоматизованими системами на виробництві.

Таким чином, реалізація цієї блок-схеми та підключення компонентів до системи відкриває нові можливості для автоматизації виробничих процесів, підвищення ефективності та зниження людського фактору в управлінні виробничими лініями.

### 3 РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО МАКЕТУ

#### 3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища Tinkercad для моделювання конвеєрної лінії

Моделювання конвеєрної лінії в програмному середовищі Tinkercad було вибрано з кількох важливих причин, які стосуються зручності, ефективності та можливостей для подальшої розробки та тестування. Tinkercad є популярним інструментом для створення 3D-моделей та симуляцій, що ідеально підходить для проектування і тестування електронних схем і мікроконтролерних систем. У випадку створення моделі конвеєрної лінії, використання цієї платформи дозволяє значно спростити процес розробки, перевірити правильність роботи схем та забезпечити ефективне налаштування.

Tinkercad – це безкоштовний онлайн-інструмент, який не потребує встановлення додаткового програмного забезпечення. Завдяки простому інтерфейсу та доступності для широкої аудиторії, Tinkercad є зручним інструментом як для початківців, так і для досвідчених розробників. Оскільки ми використовуємо Arduino та інші електронні компоненти для моделювання конвеєрної лінії, цей інструмент дозволяє легко створити віртуальну модель, підключити електронні компоненти, налаштувати логіку роботи та провести симуляцію. Моделювання в Tinkercad не вимагає складних навичок програмування або глибоких знань в електроніці. Це дозволяє зосередитися на важливих аспектах проєкту, таких як логіка керування конвеєрною лінією, точність роботи датчиків та взаємодія між компонентами.

Однією з ключових переваг Tinkercad є можливість симуляції роботи проєкту в реальному часі. Після створення схеми та підключення всіх елементів, таких як Arduino, серводвигуни та датчики, ми можемо здійснити симуляцію та перевірити, як система буде працювати на практиці. Це дає змогу виявити можливі помилки у з'єднаннях чи програмуванні до того, як почати

фізичне виготовлення прототипу, що значно економить час і ресурси. Симуляція також дає можливість протестувати роботу кожного елемента системи окремо, перевірити, як датчики взаємодіють з конвеєром, і як серводвигуни виконують рухи в залежності від даних з сенсорів. Цей процес допомагає уникнути необхідності багаторазових змін у фізичному прототипі, забезпечуючи більш стабільний та ефективний процес тестування.

Tinkercad підтримує велику кількість стандартних компонентів для проектування електронних схем, серед яких є популярні датчики, серводвигуни, а також плати Arduino та інші мікроконтролери. Вибір цих елементів для моделювання конвеєрної лінії є важливим, оскільки це дозволяє точно відтворити реальні компоненти та їх взаємодію. Завдяки підтримці цих елементів у Tinkercad, можна безпосередньо перевіряти схеми підключення та налаштовувати програмний код без додаткових ускладнень.

Інтерфейс Tinkercad дозволяє швидко вносити зміни до проєкту, що робить цей інструмент ідеальним для експериментів. Якщо в процесі моделювання виявляються помилки або необхідні додаткові налаштування, їх можна легко внести без великої затрати часу. Наприклад, якщо змінюється логіка роботи датчиків або серводвигунів, ці зміни можна швидко імплементувати в симуляцію та побачити, як це впливає на загальну роботу системи. Цей підхід до моделювання дозволяє заощадити час на фізичне створення та тестування прототипу, а також дає змогу проаналізувати всі аспекти проєкту ще до його реалізації на практиці.

### 3.2 Створення блок-схеми алгоритму роботи

Створення алгоритму роботи конвеєрної лінії дозволяє сформулювати та впровадити механізми управління, що забезпечують безперебійну роботу всієї системи. Розробка блок-схеми алгоритму є важливим етапом для візуалізації та впорядкування логіки роботи системи. Вона допомагає чітко побудувати взаємодію між усіма компонентами, а також дає змогу оптимізувати процеси

прийняття рішень у реальному часі. Окрім цього, блок-схема дозволяє виявити можливі ускладнення або неефективні етапи, що можуть виникнути в роботі системи, і зробити коригування до того, як буде здійснено фізичне моделювання чи запуск на реальному обладнанні. Алгоритм роботи конвеєрної лінії зображено на рисунку 3.1.

Система конвеєрної лінії складається з наступних компонентів:

- двигун, який забезпечує рух конвеєрної стрічки;
- Arduino, яка контролює всю систему, аналізує сигнали від сенсорів і управляє виконавчими механізмами;
- 3 виконавчих механізми (закрилки для скидання деталей);
- 3 сенсори (для виявлення наявності деталі на кожному робочому місці).

Принцип роботи складається з декількох етапів:

- подача деталі на перше робоче місце;
- двигун починає рух конвеєрної лінії;
- деталь переміщується по конвеєрній стрічці до першого робочого місця;
- коли деталь досягає першого сенсора, він посилає сигнал до Arduino.

Перевірка на потребу деталі: Arduino аналізує дані з першого сенсора і визначає, чи потрібна деталь на цьому робочому місці:

- якщо деталь потрібна: Arduino активує перший виконавчий механізм (закрилки), і вони відкриваються. Деталь скидається на перше робоче місце;
- якщо деталь не потрібна: закрилки не відкриваються, і деталь продовжує рухатися до наступного робочого місця.

Переміщення до другого робочого місця:

- деталь переміщається по конвеєру до другого робочого місця;
- як тільки деталь досягає другого сенсора, він передає сигнал до Arduino.

Перевірка на потребу деталі на другому робочому місці:

- Arduino аналізує дані з другого сенсора;
- якщо деталь потрібна на другому робочому місці, Arduino активує другий виконавчий механізм, і закрilки відкриваються для скидання деталі на робоче місце;
- якщо деталь не потрібна, закрilки не відкриваються, і деталь рухається до третього робочого місця.

Переміщення до третього робочого місця:

- деталь переміщується до третього робочого місця;
- Arduino отримує сигнал від третього сенсора, щоб з'ясувати, чи потрібно скинути деталь на це робоче місце.

Перевірка на потребу деталі на третьому робочому місці:

- якщо деталь потрібна на третьому робочому місці, Arduino активує третій виконавчий механізм, і закрilки відкриваються для скидання деталі.
- якщо деталь не потрібна, вона буде пропущена або виведена на кінець лінії (залежно від додаткової логіки, наприклад, зворотний механізм або відправка на відхід).

У цьому алгоритмі працює концепція зворотного зв'язку, яка використовується для визначення потреби в деталі на кожному з робочих місць. Система використовує три сенсори, кожен з яких відповідає за виявлення наявності деталі на конкретному робочому місці. Arduino здійснює аналіз отриманих даних від сенсорів та приймає рішення про активацію виконавчих механізмів. У разі потреби на першому, другому чи третьому робочому місці відкриваються закрilки, які скидають деталь на відповідне робоче місце.

Цей процес є інтегрованим у вигляді автоматизованої системи, яка забезпечує ефективне управління подачею деталей на робочі місця, оптимізуючи виробничий процес і зменшуючи втрати часу або ресурсів. Алгоритм роботи конвеєрної лінії (рисунок 3.1) вимагає швидкої реакції з боку системи управління для забезпечення безперервного і точного процесу подачі та відсіву деталей на різні робочі місця.

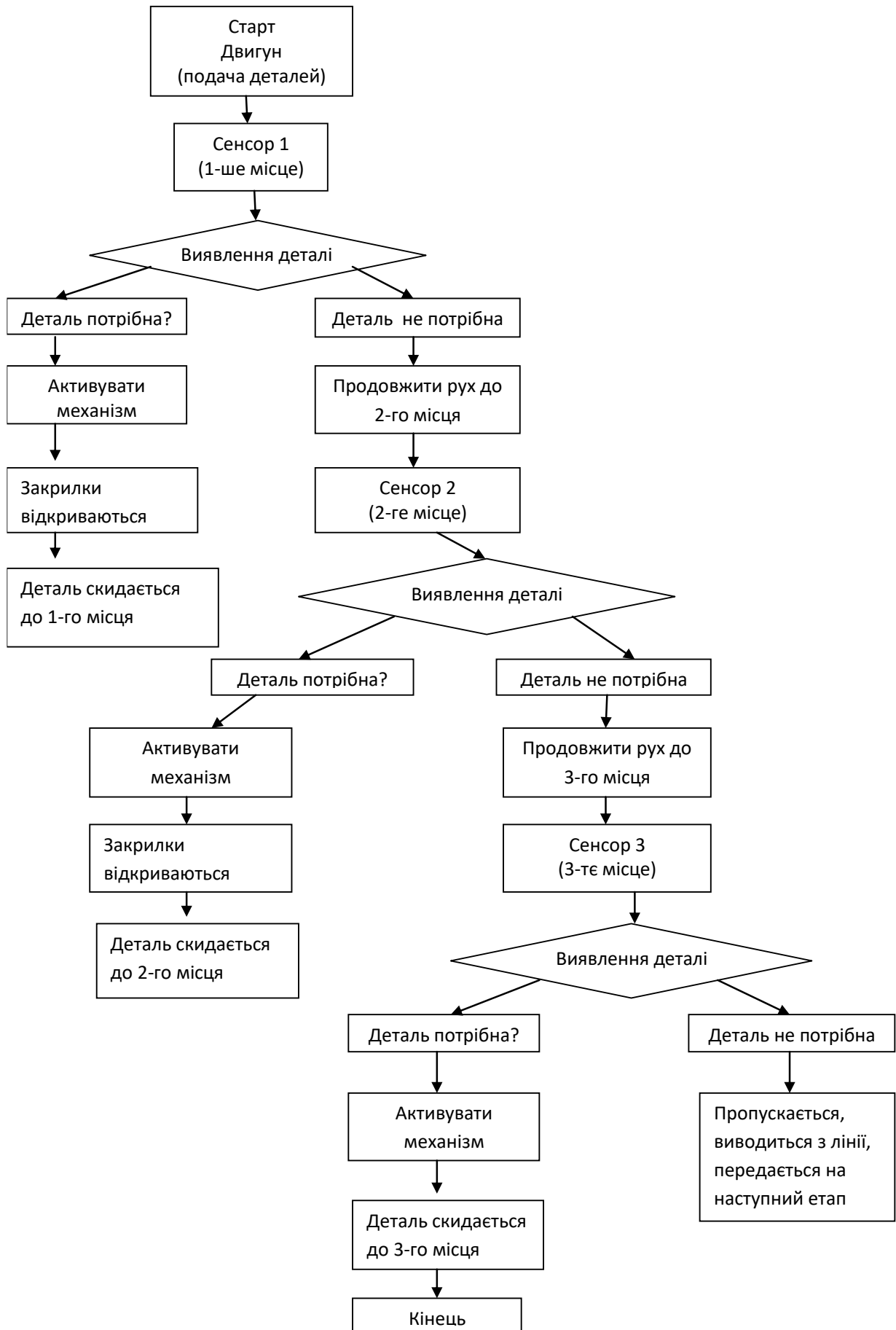


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи конвеєрної лінії

### 3.3 Розробка віртуального макету та написання програмного коду

У середовищі моделювання Tinkercad було вибрано необхідні компоненти для створення віртуального макету системи: мікроконтролер ArduinoUno, три ультразвукові датчики HC-SR04, три сервоприводи CG90 та двигун.

Підключення компонентів виконано наступним чином:

- двигун: червоний провід підключено до цифрового піну 12 Arduino, чорний провід – до піну 13;
- сервоприводи: живлення (червоний провід) підключено до контакту 5V мікроконтролера Arduino, земля (чорний провід) – до контакту GND, сигнальні дроти (жовті) підключені до пінів 4, 3, 2 відповідно для першого, другого та третього сервоприводів;
- ультразвукові датчики HC-SR04: живлення (червоний провід) підключено до контакту 5V мікроконтролера, земля (чорний провід) – до контакту GND, сигнальні дроти: виводи Trigger і Echo першого датчика підключені до пінів 11 і 10; виводи Trigger і Echo другого датчика – до пінів 9 і 8, виводи Trigger і Echo третього датчика – до пінів 7 і 6.

Здійснене підключення забезпечує коректну взаємодію всіх компонентів системи та дозволяє симулювати її роботу у середовищі Tinkercad.

Після завершення розробки макету системи розпочинається етап написання програмного коду. Для забезпечення надійної роботи сервоприводів обирається стандартна бібліотека Servo, яка дозволяє легко керувати їхнім положенням, задаючи необхідний кут повороту. Бібліотека дозволяє керувати кутовим положенням серводвигуна в діапазоні від 0° до 180°.

`Servo.attach(pin)`– прив'язує сервопривод до певного цифрового піна.

`Servo.write(angle)` – встановлює кут повороту сервопривода (від 0 до 180 градусів).

Віртуальний макет зображено на рисунку 3.2.

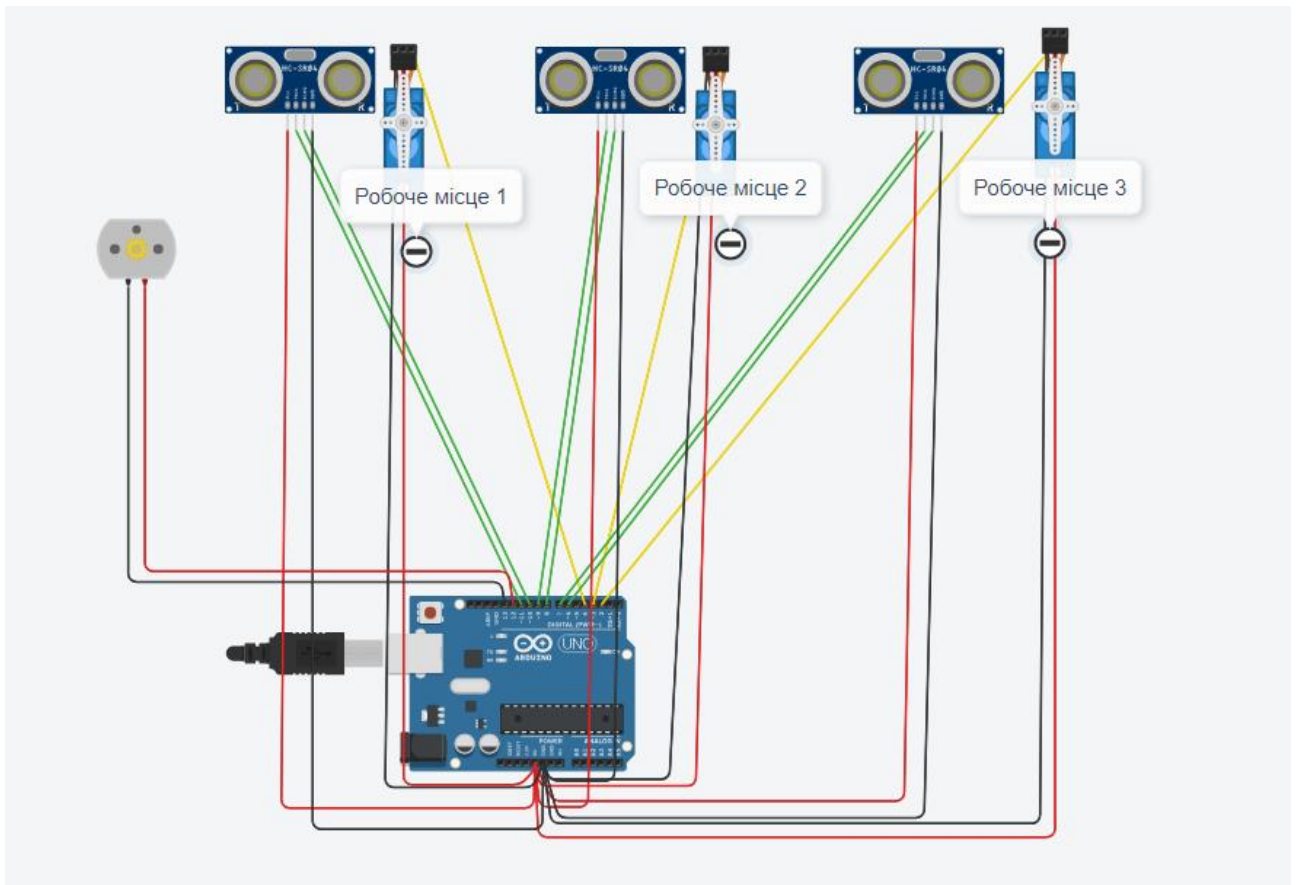


Рисунок 3.2 – Віртуальний макет

Оголошення пінів відбувається через `trigPin1`, `echoPin1` і аналогічні змінні для кожного датчика відповідають за передавання (`Trig`) і приймання сигналів (`Echo`) ультразвуковими датчиками. Наступним кроком робимо змінні для вимірювань `duration1`, `duration2`, `duration3`: тривалість сигналу, що повернувся до кожного датчика, `cm1`, `cm2`, `cm3`: обчислена відстань до об'єкта (у сантиметрах). Для повороту серводвигуна на кут використовуються змінні `open`: кут у  $90^\circ$  відкриває доступ для подачі деталі, `close`: кут у  $0^\circ$  закриває прохід. Оголошуємо піни для серводвигунів `servo1`, `servo2`, `servo3`. Лічильники деталей: `numberOfParts1`, `numberOfParts2`, `numberOfParts3` – рахують кількість деталей, які опрацьовані на кожному робочому місці, підключення двигуна – `plus` та `minus`, зарезервовані для керування додатковими функціями, а саме рухом конвеєра.

```
#include <Servo.h>
int trigPin1 = 11; //Тригер
int echoPin1 = 10; //Ехо
int trigPin2 = 9; //Тригер
int echoPin2 = 8; //Ехо
int trigPin3 = 7; //Тригер
int echoPin3 = 6; //Ехо
int duration1, cm1, duration2, cm2, duration3, cm3;
int open = 90;
int close = 0;
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
int value;
int numberOfParts1 =0;
int numberOfParts2 =0;
int numberOfParts3 =0;
int plus = 12;
int minus = 13;
```

Функції `workspace1`, `workspace2` та `workspace3` відповідають за зчитування даних із трьох ультразвукових датчиків HC-SR04. Кожна з цих функцій виконує вимірювання відстані до об'єкта за допомогою відповідного датчика. Вмикання тригера: `digitalWrite(trigPin, HIGH)` створює короткий імпульс тривалістю 10 мікросекунд, який активує ультразвуковий датчик. Для часу повернення сигналу використовується команда `pulseIn(echoPin, HIGH)` для вимірювання тривалості сигналу, що повернувся, у мікросекундах.

Відстань розраховується за формулою:

$$\text{Відстань} = \frac{\text{Тривалість сигналу}}{2 \cdot 29} \quad (3.1)$$

Ділення на 2 враховує, що сигнал проходить шлях до об'єкта і назад, 29 – швидкість звуку у просторі. Функції виконують окреме вимірювання відстані до об'єкта на конкретному робочому місці: workspace1 працює з датчиком на пін 11 (тригер) і пін 10 (ехо), workspace2 працює з датчиком на пін 9 (тригер) і пін 8 (ехо), workspace3 працює з датчиком на пін 7 (тригер) і пін 6 (ехо).

```
void workspace1 ()
{
digitalWrite(trigPin1, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(trigPin1, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin1, LOW);
duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
cm1 = (duration1/2)/29;
}

void workspace2 ()
{
digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(trigPin2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2, LOW);

duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
cm2 = (duration2/2)/29;
```

```

}
void workspace3()
{
  digitalWrite(trigPin3, LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin3, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin3, LOW);
  duration3 = pulseIn(echoPin3, HIGH);
  cm3 = (duration3/2)/29;
}

```

Функція `setup()` виконується один раз після запуску або перезавантаження контролера. Це команда для запуску серійного монітора зі швидкістю передачі даних 9600 біт/сек. Вона ініціалізує всі підключені компоненти (ультразвукові датчики, серводвигуни, серійний порт) та забезпечує готовність системи до роботи.

`pinMode` – це функція в `Arduino`, яка використовується для встановлення режиму роботи певного піну контролера. Вона визначає, чи буде пін працювати як вхідний (для зчитування даних) або вихідний (для подачі сигналу). Для ультразвукових датчиків задаються відповідні режими: `OUTPUT` для тригерів (`trigPin1`, `trigPin2`, `trigPin3`), `INPUT` для ехо-пінів (`echoPin1`, `echoPin2`, `echoPin3`). Для двигуна, підключеного до пінів `plus` і `minus`, `OUTPUT` дозволяє керувати ним.

Сервоприводи підключені до пінів 4, 3 і 2 відповідно. Ця команда дозволяє `Arduino` керувати ними через бібліотеку `Servo`. Сервоприводи встановлюються у початкове положення з кутром  $0^\circ$ . Це означає закриття механізмів подачі деталей на старті системи.

```
void setup()
```

```
{  
Serial.begin (9600); // Ініціалізація порта  
  
//Ініціалізація входу та виходу  
pinMode(trigPin1, OUTPUT);  
pinMode(echoPin1, INPUT);  
  
pinMode(trigPin2, OUTPUT);  
pinMode(echoPin2, INPUT);  
  
pinMode(trigPin3, OUTPUT);  
pinMode(echoPin3, INPUT);  
  
pinMode(plus, OUTPUT);  
pinMode(minus, OUTPUT);  
  
servo1.attach(4);  
servo2.attach(3);  
servo3.attach(2);  
  
servo1.write (0);  
servo2.write (0);  
servo3.write (0);  
}
```

Функція `void` не повертає результат. Вона виконує свою задачу, але не віддає значення назад. Функція `servoWork ()` відповідає за керування сервоприводом в залежності від значення змінної `cm`. Якщо значення змінної `cm` менше за 30, то сервопривід `servo` переміщається в положення "open" (відкрите). Якщо значення `cm` більше або дорівнює 30, сервопривід

переміщається в положення "close" (закрите). Функція loop() виконується безупинно після запуску програми. Всі інструкції, розташовані в середині цієї функції, будуть виконуватись постійно, поки працює плата Arduino.

```
void servwork1()
{
  if (cm1 < 30)
    servo1.write (open);
  else
    servo1.write (close);
}
void servwork2()
{
  if (cm2 < 30)
    servo2.write (open);
  else
    servo2.write (close);
}
void servwork3()
{
  if (cm3 < 30)
    servo3.write (open);
  else
    servo3.write (close);
}
void loop()
{
  digitalWrite (plus,HIGH);
  digitalWrite (minus,LOW);
```

```
if (Serial.available() > 0) {  
  int value = Serial.parseInt();  
  Serial.print(value);
```

Цикли `while` виконуються в залежності від значення змінної `value`:  
`while(value == 1)` якщо змінна `value` дорівнює 1, виконується наступне: викликається функція `workspace1()`, викликається функція `servwork1()` для керування сервоприводом1, затримка в 5 секунд (`delay(5000)`). Після виконання цього коду виконується `break`, який вийде з циклу `while`. Аналогічно для змінних 2 і 3.

```
while(value==1)  
{  
  workspace1 ();  
  servwork1();  
  delay (5000);  
  break;  
}  
while(value==2)  
{  
  workspace2 ();  
  servwork2();  
  delay (5000);  
  break;  
}  
while(value==3)  
{  
  workspace3 ();  
  servwork3();
```

```

delay (5000);
break;  }

```

Проведено перевірку моделювання роботи системи. Робота двигуна зображена на Рисунку 3.3. Коли деталь знаходиться біля першого робочого місця на відстані 56 см, серводвигун не спрацьовує, і закрilки залишаються закритими (рисунок 3.4). Якщо ж деталь наближається і досягає відстані 18 см, сервопривод повертається на 90 градусів, що призводить до відкриття закрilків і переміщення деталі на перше робоче місце (рисунок 3.5). У випадку, коли відстань до деталі складає 67 см, система фіксує, що деталь пройшла далі і не активує механізм, дозволяючи продовжити рух (рисунок 3.6).

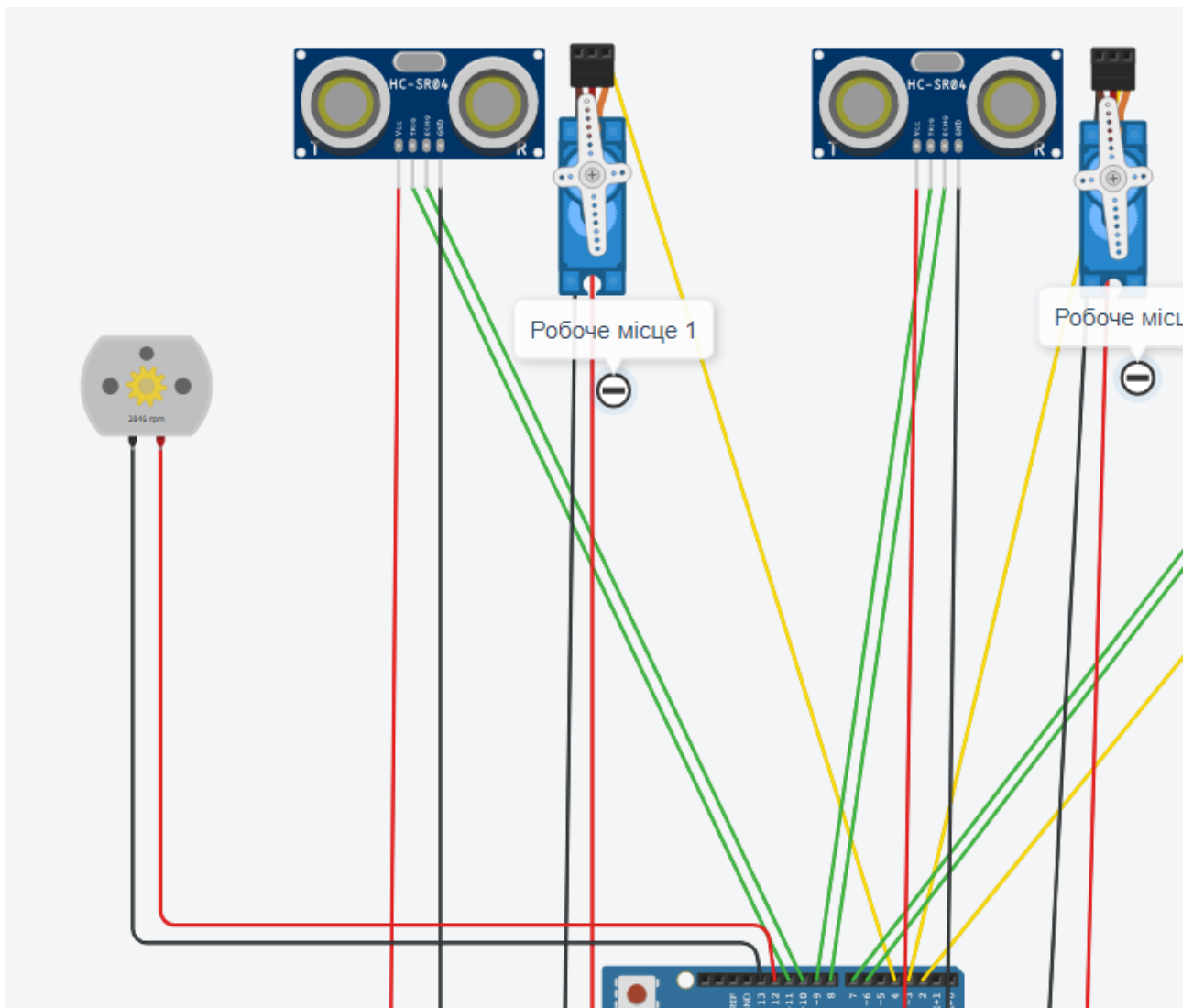


Рисунок 3.3 – Робота двигуна

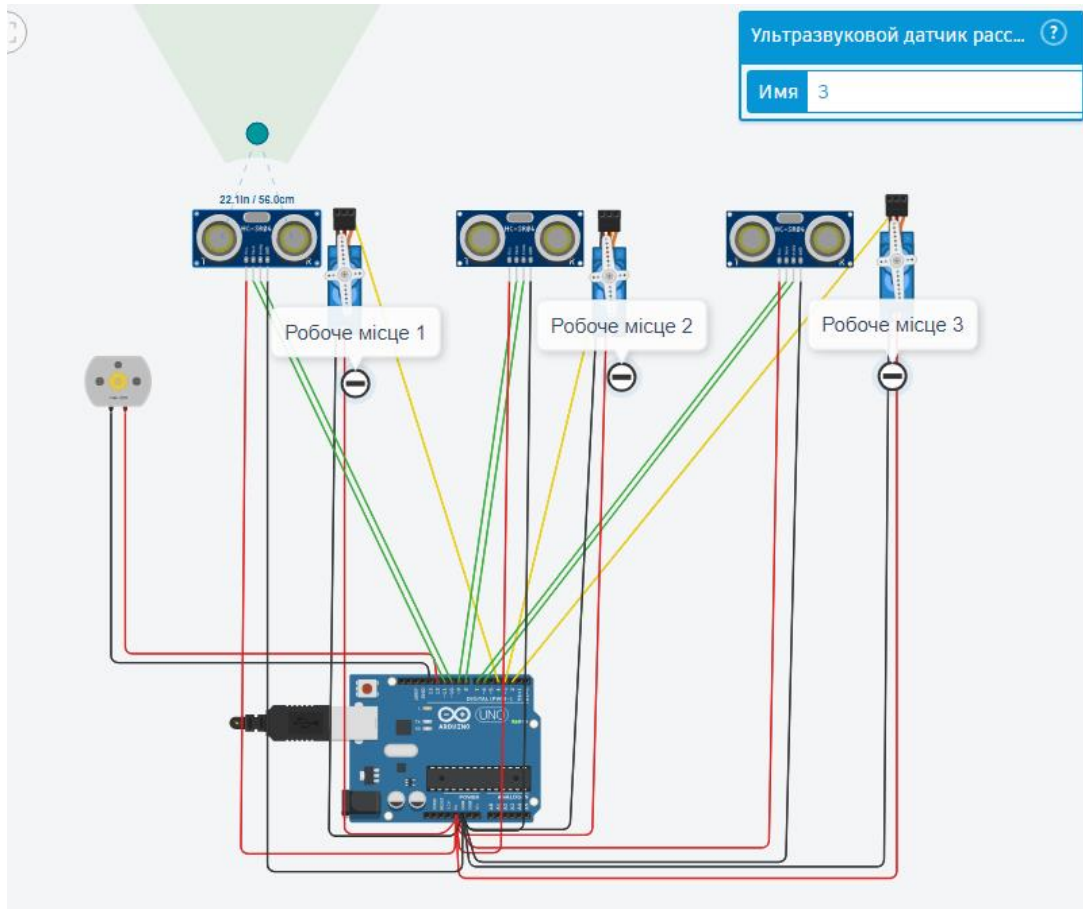


Рисунок 3.4 – Эксперимент з першим робочим місцем

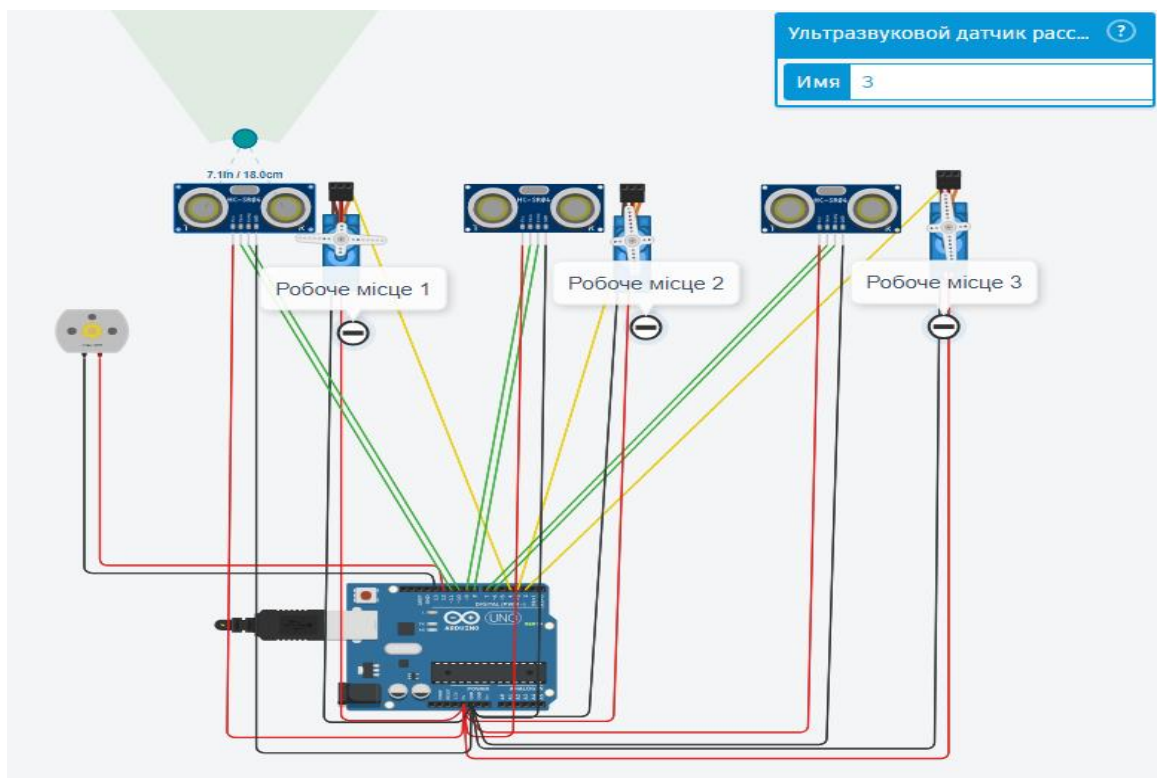


Рисунок 3.5 – Эксперимент з першим робочим місцем

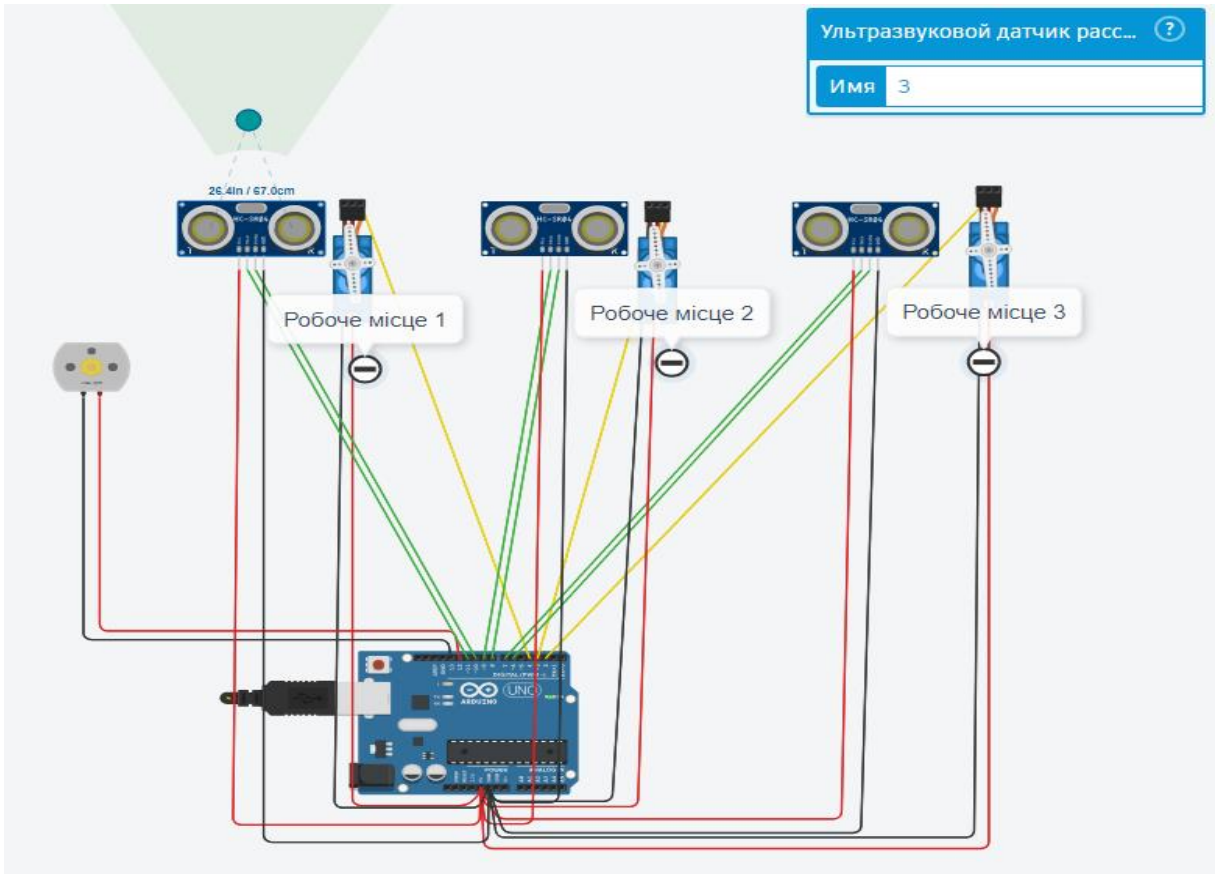


Рисунок 3.6 – Експеримент з першим робочим місцем

Аналогічно для другого та третього робочого місця.

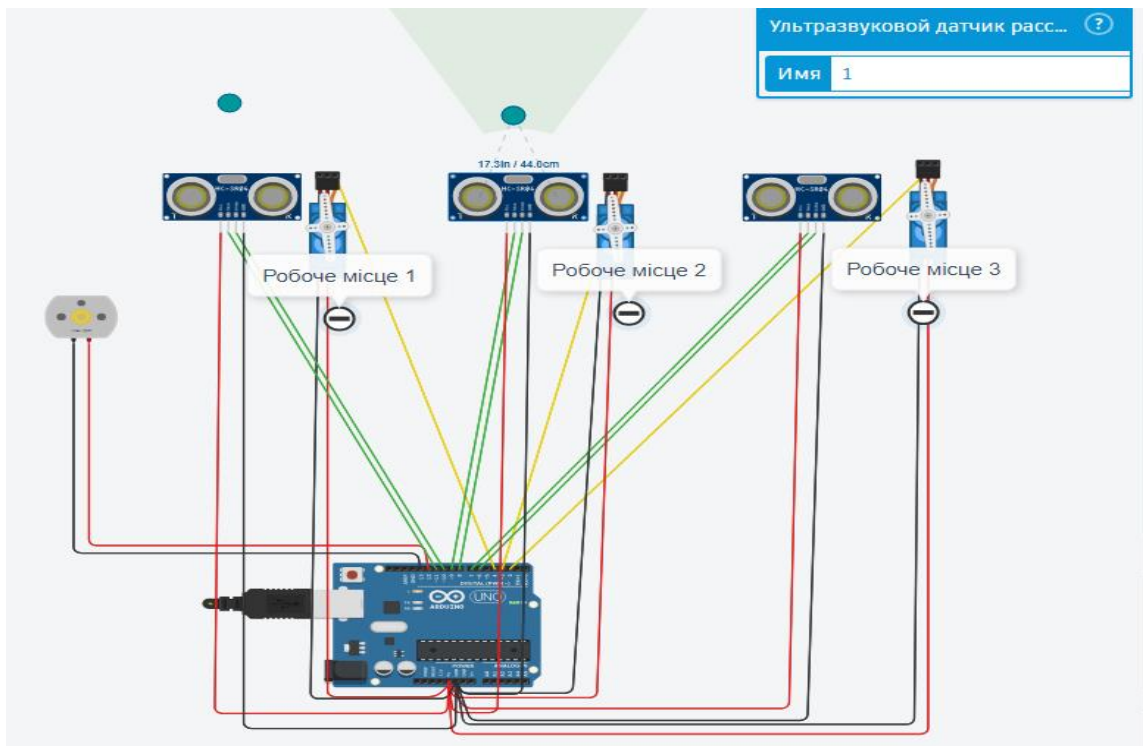


Рисунок 3.7 – Моделювання на другому робочому місці

Коли деталь знаходиться біля другого робочого місця на відстані 44 см, серводвигун не спрацьовує, і закрilки залишаються закритими (рисунок 3.7). Якщо ж деталь наближається і досягає відстані 27 см, сервопривод повертається на 90 градусів, що призводить до відкриття закрilків і переміщення деталі на друге робоче місце (рисунок 3.8). У випадку, коли відстань до деталі складає 70 см, система фіксує, що деталь пройшла далі і не активує механізм, дозволяючи продовжити рух (рисунок 3.9).

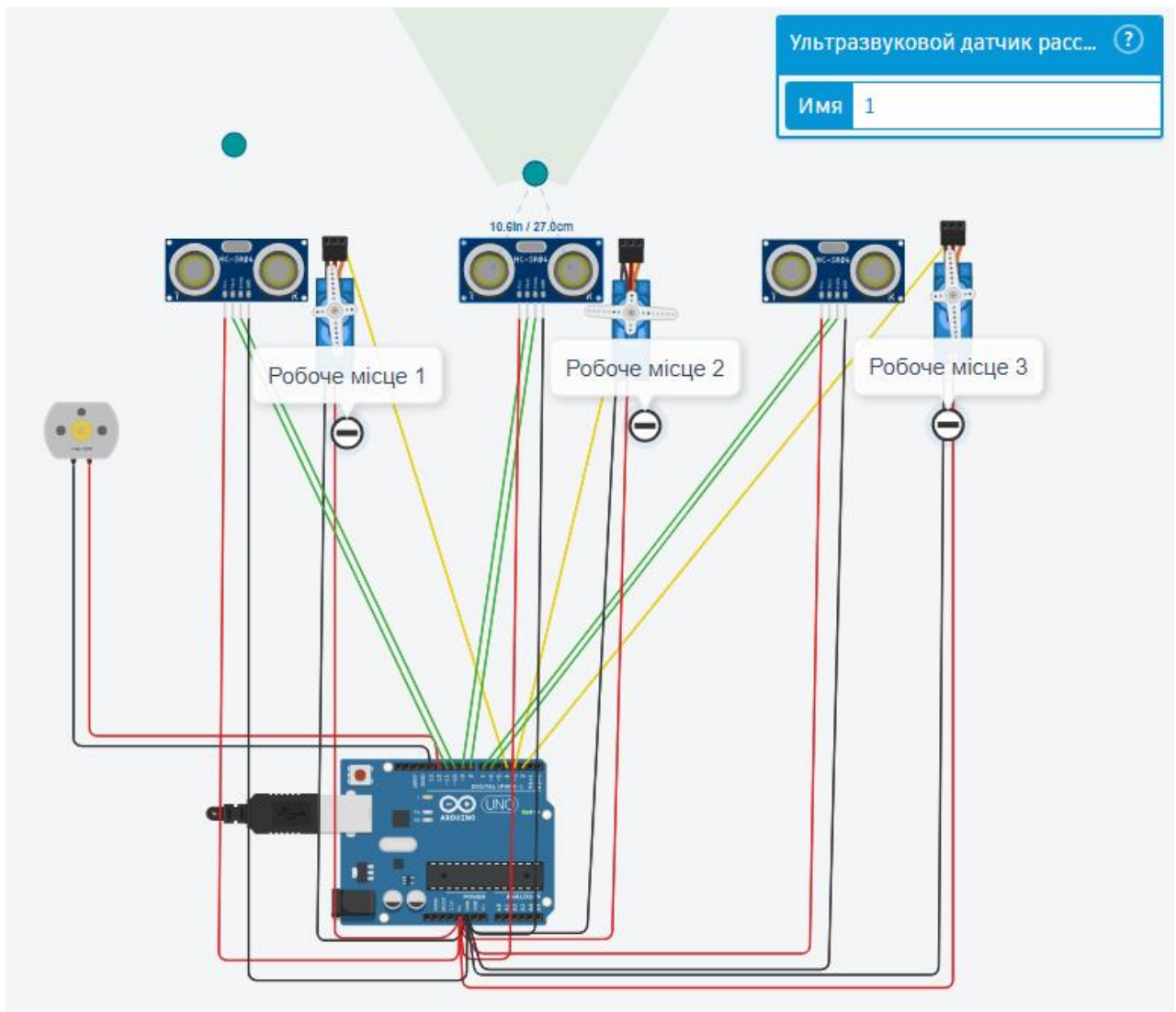


Рисунок 3.8 – Моделювання на другому робочому місці

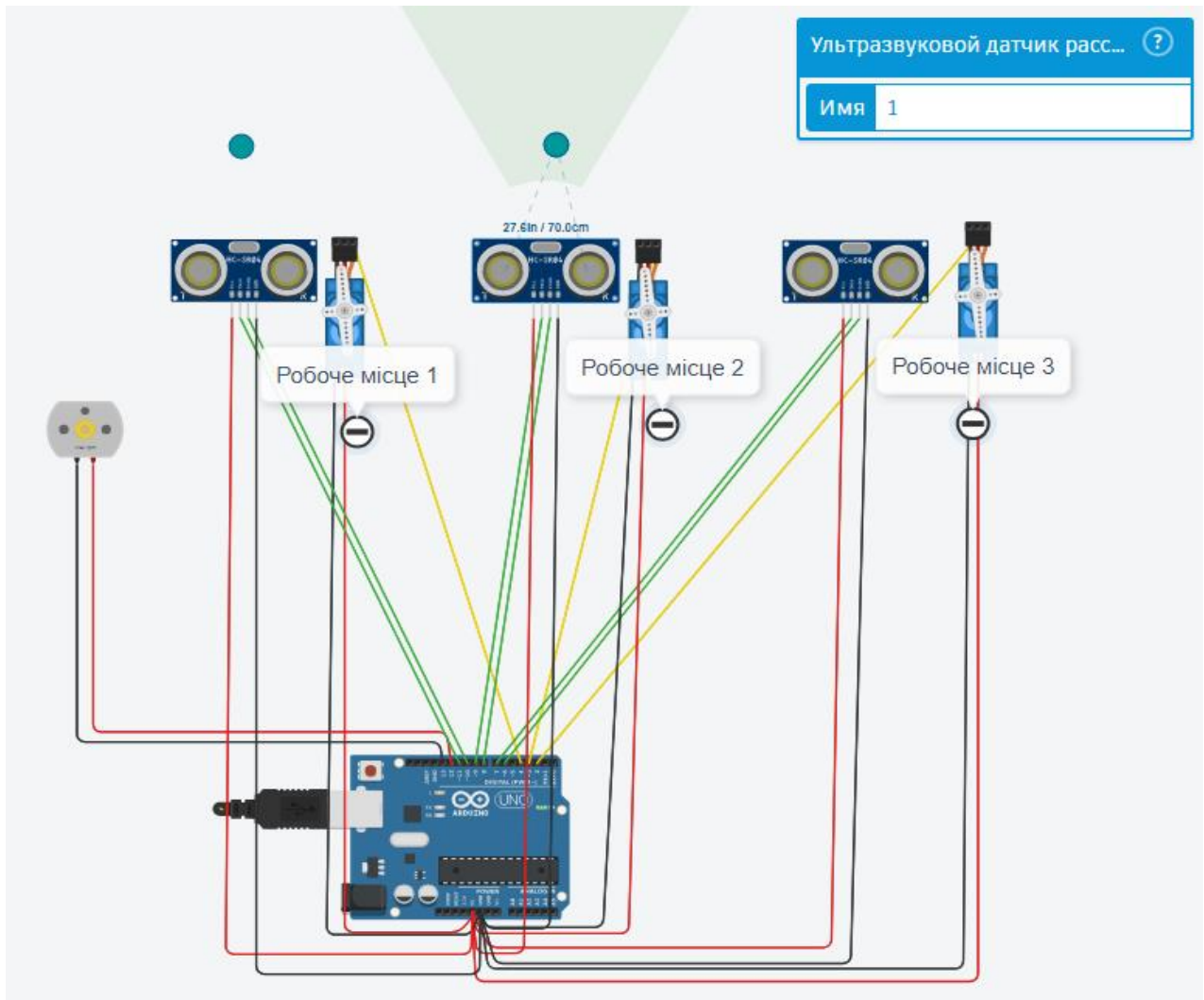


Рисунок 3.9 – Моделювання на другому робочому місці

Коли деталь знаходиться біля третього робочого місця на відстані 56 см, серводвигун не спрацьовує, і закрilки залишаються закритими (рисунок 3.10). Якщо ж деталь наближається і досягає відстані 20 см, сервопривод повертається на 90 градусів, що призводить до відкриття закрilків і переміщення деталі на третє робоче місце (рисунок 3.11). У випадку, коли відстань до деталі складає 72 см, система фіксує, що деталь пройшла далі і не активує механізм, дозволяючи продовжити рух (рисунок 3.12).

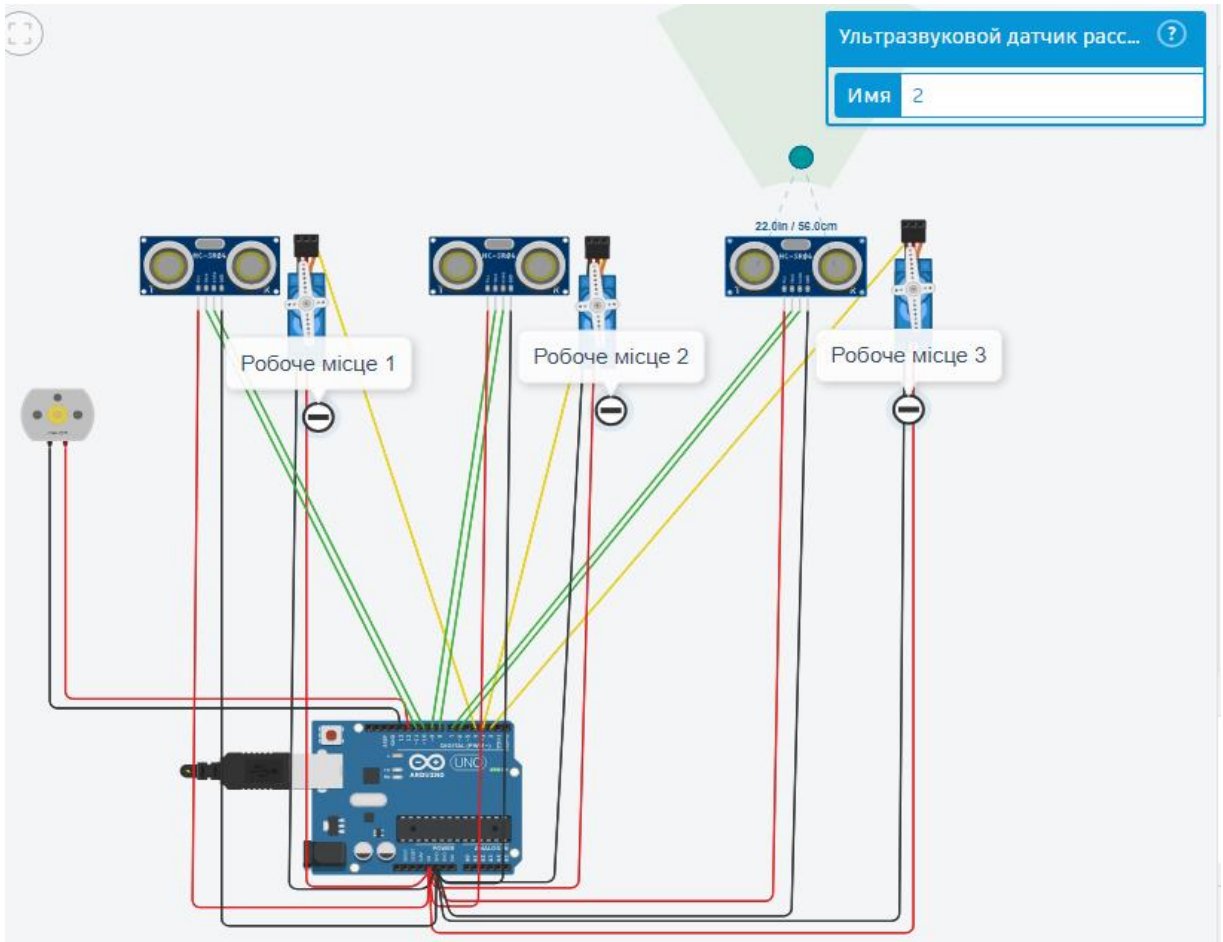


Рисунок 3.10 – Моделювання на третьому робочому місці

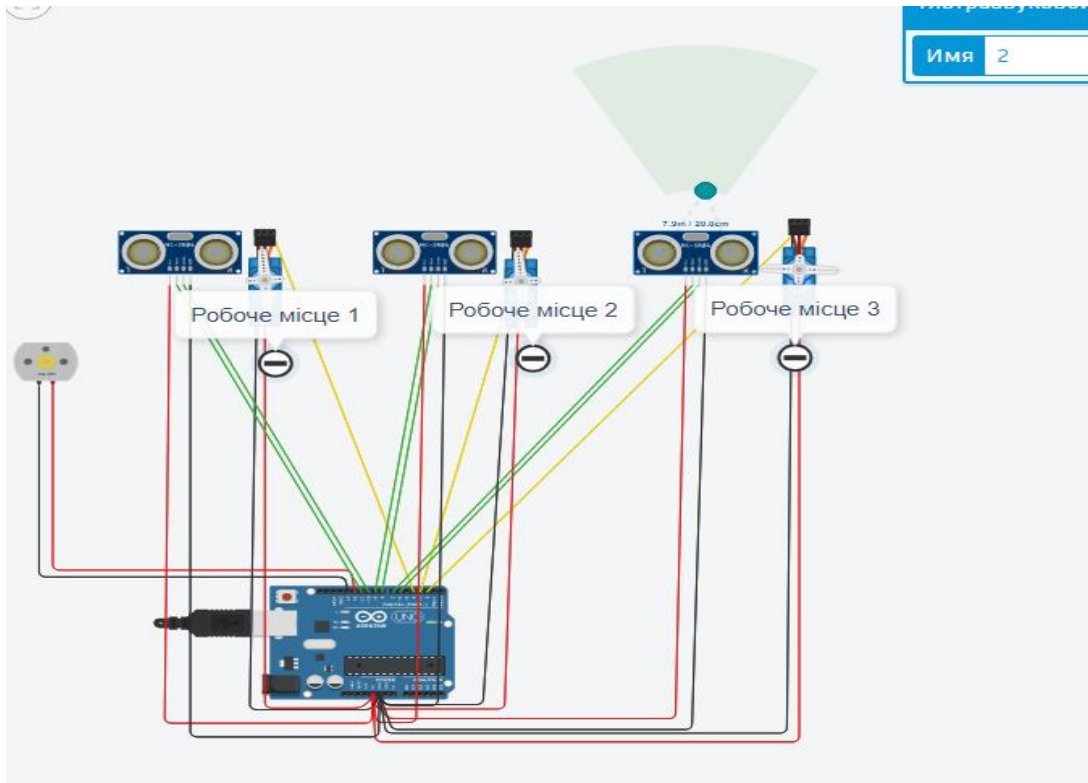


Рисунок 3.11 – Моделювання на третьому робочому місці

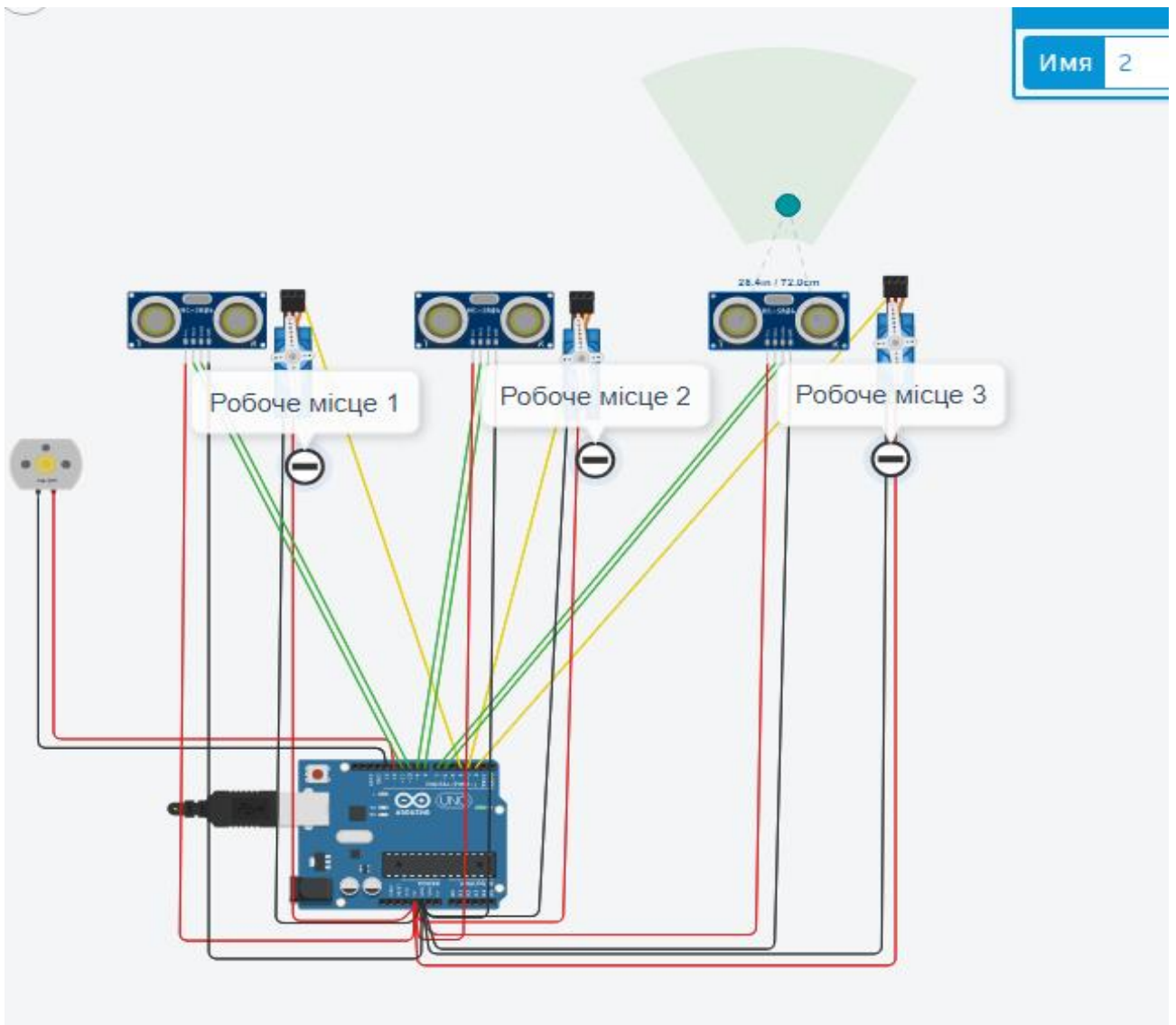


Рисунок 3.12 – Моделювання на третьому робочому місці

### 3.4 Розрахункова частина

Розробивши віртуальний макет проекту маємо змогу порівняти результат до і після автоматизації, щоб оцінити вплив нової системи на загальну ефективність виробничого процесу. Цей аналіз дозволяє чітко побачити, як автоматизація може змінити хід виробництва та допомогти підприємству досягти кращих результатів.

У результаті впровадження автоматизованої системи керування виробничим процесом з використанням конвеєрної лінії на виробництві досягнуто значне покращення продуктивності. Для оцінки ефективності цієї

системи порівнюємо кількість деталей, які зібрані до і після впровадження нової технології, а також визначимо відсоткове збільшення продуктивності.

До впровадження автоматизованої системи керування конвеєрною лінією, працівники самостійно забирали деталі для подальшого складання, що обмежувало кількість зібраних виробів за зміну. У випадку дрібносерійного виробництва, де важлива точність та швидкість, ручний процес забирання деталей часто призводив до затримок та підвищення ймовірності помилок. Всього за одну зміну працівник міг зібрати лише 100 деталей. Після впровадження автоматизованої конвеєрної лінії, яка здійснює автоматичну подачу деталей на робочі місця, процес складання став набагато швидшим і більш ефективним. З автоматизованою системою на конвеєрі деталі подавались на робочі місця без необхідності втручання оператора, що дозволяло заощадити час на кожному етапі і зменшити кількість помилок. Кількість зібраних виробів за зміну зросла до 118 деталей.

Для того, щоб визначити, на скільки відсотків збільшилася кількість зібраних виробів, використовуємо стандартну формулу для розрахунку відсоткової зміни:

$$\text{Відсоткове збільшення} = \frac{\text{Нова кількість} - \text{Стара кількість}}{\text{Стара кількість}} * 100. \quad (3.2)$$

Підставимо значення:

$$\text{Відсоткове збільшення} = \frac{118 - 100}{100} * 100 = \frac{18}{100} * 100 = 18\%.$$

Розрахунок показав, що продуктивність зросла на 18%. Це означає, що завдяки автоматизації виробничий процес став значно ефективнішим, і працівники змогли зібрати більше виробів, не збільшуючи кількість робочих годин або витрат.

Збільшення на 18% є значним покращенням для дрібносерійного виробництва, оскільки кожен виробничий процес, навіть за умов ручної праці,

має свій потенціал для оптимізації. У нашому випадку конвеєрна лінія автоматизує частину рутинної роботи, що дає змогу працівникам зосередитися на більш складних завданнях і досягти високої швидкості без втрати якості. Це також дозволяє знизити навантаження на працівників, що важливо для збереження здоров'я та підвищення загальної ефективності робочих процесів.

Відсоткове збільшення кількості зібраних виробів є підтвердженням того, що інтеграція автоматизованої системи в виробничий процес є вигідною інвестицією. Підвищення продуктивності на 18% вказує на те, що підприємство може досягти значного приросту в обсягах виробництва без необхідності збільшувати робочу силу або збільшувати виробничі витрати.

Модернізація і автоматизація виробничих процесів є одним з ключових факторів успіху на сучасному ринку. Підприємства, що впроваджують новітні технології, отримують значну конкурентну перевагу, збільшуючи обсяги виробництва і знижуючи витрати. Зважаючи на підвищення продуктивності на 18% у нашому випадку, можна передбачити, що подальша автоматизація інших етапів виробничого процесу дозволить підприємству досягти ще більших результатів.

Таким чином, інтеграція цієї системи на виробництві дає чітке підтвердження того, що автоматизація є потужним інструментом для підвищення ефективності і забезпечення стабільного розвитку підприємства в умовах сучасного ринку.

### 3.5 Висновки до третього розділу

У розділі проведена комплексна робота, спрямована на створення автоматизованої конвеєрної лінії, яка покликана підвищити ефективність виробничих процесів. Весь процес розробки включав вибір програмного середовища для моделювання, створення алгоритму роботи, розробку віртуального макету та програмного коду, а також проведення розрахунків ефективності нової системи.

Використання Tinkercad для створення віртуального макету дало змогу зручно і швидко змоделювати всі елементи системи, включаючи сенсори, двигуни та виконавчі механізми. Платформа дозволяє не тільки створювати схеми, але й тестувати їх у реальному часі, що є великим плюсом для оптимізації проекту ще на етапі моделювання. Це дозволяє заощадити час і ресурси, оскільки не потрібно створювати фізичні прототипи, а всі налаштування можна перевірити в віртуальному середовищі.

Розробка алгоритму роботи конвеєрної лінії, який включає чітке визначення взаємодії між різними компонентами системи, забезпечує ефективну роботу автоматизованої лінії. Визначення точних кроків, які має виконати система, дозволило створити стабільну і логічно вірну модель для подальшої реалізації. Це в свою чергу дозволяє зменшити ймовірність помилок і досягти високої точності в роботі всієї лінії.

Створення віртуального макету на платформі Tinkercad дозволило побудувати детальну модель системи з всіма компонентами лінії – від двигуна до датчиків. Це стало основою для написання програмного коду для Arduino, що забезпечив автоматичне управління всіма механізмами, зокрема відкриттям закрилок для подачі деталей на робочі місця. Програмування також включало налаштування сенсорів HC-SR04 для точного виявлення деталей і забезпечення їх подачі на відповідні робочі місця залежно від потреби.

У результаті проведених розрахунків було визначено, що після впровадження автоматизованої системи продуктивність виробництва зростає на

18%. Це показує, що система не лише скорочує витрати часу на переміщення деталей, а й підвищує загальну ефективність роботи лінії. Вона дозволяє значно зменшити навантаження на працівників і оптимізувати робочий процес, забезпечуючи стабільну і безперебійну роботу лінії.

Загалом, розробка віртуального макету автоматизованої конвеєрної лінії довела свою ефективність і показала важливість використання сучасних інструментів для моделювання і тестування виробничих процесів. Всі етапи розробки, починаючи від вибору програмного середовища до створення віртуальної моделі та проведення розрахунків, показали, що автоматизація процесів – важливий крок до досягнення високих результатів у виробництві. Інтеграція такої системи в реальне виробництво допоможе значно підвищити продуктивність, зменшити витрати часу та ресурсів, а також підвищити конкурентоспроможність підприємства на ринку.

## 4 ОЦІНКА ОСВІТЛЕНOSTІ РОБОЧОГО МІСЦЯ

Цілком очевидно, що нестача освітленості або невірний розподіл світлового потоку призводить до зниження загальної продуктивності, перевтомлює органи зору людини, погіршує настрій та може навіть призвести до серйозних травм – з цілком очевидних причин. Кожною державою передбачені власні вимоги до висвітлення робочих місць та приміщень, де працює персонал. Практично для кожного виду діяльності пропонується своя категорія світильників, здатних забезпечити необхідні показники комфорту. Для здійснення офіційного нормування існують загальні та галузеві ГОСТи, стандарти, а також набори розпоряджень обов'язкового та рекомендаційного характеру. Практично на будь-якому підприємстві існує три типи освітлення: природне, штучне (електричне) та комбіноване (світло сонця та світлодіодних світильників).

В рамках проєкту оцінено освітлення в кімнаті, де проводились дослідження, що включає використання персональних комп'ютерів (ПК), розташування вікна та освітлення за допомогою ламп. Згідно з Державними будівельними нормами України (ДБН В. 2.5-28-2006 "Організація робочих місць"), мінімальна освітленість робочого місця має становити не менше 300 люкс (лк). Це значення є мінімальним рівнем освітлення, який забезпечує комфортні умови для роботи, зокрема при використанні електронних пристроїв, що не призводить до напруги зору, втоми чи головного болю. У приміщенні, де проводилось дослідження, було виявлено наступне:

- наявність одного вікна, що дозволяє природне освітлення в денний час;
- дві лампи, кожна з яких забезпечує освітленість на рівні 100 лк.

Таким чином, сумарна освітленість в приміщенні складає 200 лк (100 лк × 2), що на 100 лк менше від норми, встановленої ДБН. Це означає, що рівень освітлення у кімнаті не відповідає вимогам для забезпечення

оптимальних умов праці, що може спричиняти некомфортність для людей, які працюють протягом тривалого часу.

Щоб визначити, скільки не вистачає до нормативної освітленості, можна розрахувати дефіцит у відсотках. Для цього використовуємо наступну формулу:

$$\text{Дефіцит в лк} = 300\text{лк} - 200\text{лк} = 100\text{лк}.$$

Тепер розрахуємо, скільки це становить у відсотках від нормативного значення:

$$\text{Дефіцит у відсотках} = (300/100) \times 100 = 33,3\%.$$

Таким чином, освітленість у кімнаті на 33,3% нижча за мінімально допустиму норму.

Для того, щоб забезпечити відповідний рівень освітленості в кімнаті, вживаємо такі заходи:

- замінюємо існуючі лампи на більш потужні, які забезпечать необхідний рівень освітлення. Зокрема, можна встановити лампи на 150 лк або більше, щоб досягти рівня 300 лк;
- якщо збільшення потужності існуючих ламп не дає достатнього результату, додатково встановлюємо ще одну лампу або використовуємо джерела світла іншого типу, наприклад, світлодіодні лампи з високою ефективністю;
- для покращення умов освітлення змінюємо розташування робочих місць таким чином, щоб максимально використовувати природне світло через вікно, або ж замінюємо старі віконні конструкції на більш прозорі або з високою світлопропускною здатністю;
- іншим варіантом є використання ламп з регульованим рівнем освітленості, що дозволить коригувати інтенсивність світла в залежності від часу доби та умов освітлення.

Загалом, забезпечення належного рівня освітленості на робочому місці є важливим аспектом охорони праці, який дозволяє знизити ризики виникнення захворювань зору та підвищити ефективність праці. Для досягнення норми освітленості в досліджуваній кімнаті необхідно вжити заходів щодо покращення якості освітлення, що включає модернізацію існуючої системи освітлення та оптимізацію використання природного світла.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи здійснено комплексний аналіз існуючих автоматизованих конвеєрних ліній, зокрема стічкові, роликові, рольтанги, а також лінії з роботами-маніпуляторами. Аналіз дозволив виявити ряд переваг і недоліків у використанні таких систем у різних галузях виробництва. Однією з основних переваг є високий рівень автоматизації, що дозволяє значно підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити кількість помилок та скоротити час на виконання операцій. Проте, серед недоліків, можна виділити високу вартість впровадження та обслуговування таких систем.

У результаті аналізу розроблено структурну блок-схему автоматизованої конвеєрної лінії, яка включає компоненти для подачі деталей, сервоприводи та датчики для визначення відстані до об'єкта. Блок-схема є основою для подальшого проєктування і моделювання системи.

Для реалізації керування конвеєрною лінією було обрано плату Arduino Uno R3, яка є популярним і доступним варіантом для малих та середніх проєктів автоматизації. Цей вибір обґрунтований низькою ціною, зручністю у використанні, широким колом підтримуваних бібліотек та сумісністю з різними електронними компонентами. Для виконання руху сервоприводів було вибрано серводвигуни моделі SG90, які забезпечують необхідну точність та потужність для роботи з конвеєрною лінією. Окрім цього, були використані датчики HC-SR04 для вимірювання відстані між об'єктами, що дозволяє точно визначити, коли деталь повинна потрапити на робоче місце або пройти далі.

У процесі проєктування розроблено схему підключення макету конвеєрної лінії. Усі компоненти були правильно підключені до плати Arduino: забезпечено коректне підключення до джерела живлення, до пінів для керування сервоприводами та зчитування даних від датчиків. Це дозволило створити модель лінії, яка може ефективно виконувати необхідні операції з подачі деталей та їх обробки.

Моделювання конвеєрної лінії виконано в програмному середовищі Tinkercad. Це середовище було обрано через його зручність у використанні, можливість віртуального моделювання та тестування схем, а також підтримку Arduino. Tinkercad дозволяє зібрати віртуальну модель, що дає змогу не тільки протестувати електричні з'єднання, а й перевірити логіку роботи програми в реальному часі, що значно спрощує процес розробки.

Код для моделювання був написаний таким чином, щоб система правильно реагувала на зміни відстані до деталей і вчасно активувала серводвигуни для переміщення об'єктів між робочими місцями. Після тестування та моделювання проаналізовано ефективність запропонованої системи. Розрахунок показав, що продуктивність лінії зросла на 18%, що є значним досягненням для автоматизованих систем у таких галузях.

Виконана робота підтверджує, що впровадження автоматизованої конвеєрної лінії на базі Arduino є ефективним рішенням для підвищення продуктивності на виробництві. Розроблена система дозволяє автоматизувати процес подачі деталей, зменшити людський фактор і підвищити точність виконання операцій. Така система є актуальною для широкого спектра виробничих процесів, де важлива швидкість та точність обробки деталей.

Впровадження автоматизованих конвеєрних ліній, заснованих на простих і доступних мікроконтролерах, таких як Arduino, є надзвичайно актуальним у сучасних умовах. Вони дозволяють знижувати витрати на виробництво, підвищувати ефективність роботи та швидкість виконання завдань. Оскільки автоматизація є однією з головних тенденцій у розвитку виробничих процесів, запропонована система має великий потенціал для подальшого впровадження та масштабування в різних сферах промисловості.

Мета кваліфікаційної роботи успішно досягнута: розроблено та протестовано ефективну модель автоматизованої конвеєрної лінії, що забезпечує значне покращення продуктивності. Це підтверджує важливість і актуальність обраної теми для сучасної промисловості.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. ДСТУ 3008 – 15. документація. звіти у сфері науки і техніки. структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015 – 06 – 22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29с.
2. Yevsieiev, V. ., & Gurin, D. . (2023). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BASICMETHODS USED IN INDUSTRY 4.0 AND INDUSTRY 5.0. Collection of Scientific Papers«ΛΟΓΟΣ», (September 29, 2023; Bologna, Italy), 113–115.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» /Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В.В.Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2023. 49 с.
4. Невлюдов І. Ш., і ін. (2019) Трансфер технологій у сучасній науці, освіті та виробництві в умовах четвертої промислової революції «ІНДУСТРІЯ 4.0» / Невлюдов І. Ш., Чала О. О., Олександров Ю. М. // Сучасний рух науки: тези доп. VIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 жовтня 2019 р. – Дніпро, 2, 604-608.
5. Н. О. Ривак, кандидат економічних наук, науковий співробітник відділу проблем реального сектору економіки регіонів ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України», м. Львів e-mail: ryvakn@gmail.com ORCID ID: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2022-3-7> УДК 338.45:339.92 JEL L16, L52.
6. Складська логістика : навчальний посібник / В. Є. Марчук, М. Ю. Григорак, О. М. Гармаш, О. В. Овдієнко. Київ: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 256 с.

7. Муляр, Ю. І. М90. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
8. Глухов О.В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. – 192 с.
9. Arduino UNO R3 (CH340) // ARDUINO.UA, 2024. URL: <https://arduino.ua/ru/prod2610-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення : 15.12.2024).
10. Інтернет-ресурс [https://uk.wikipedia.org/wiki/Промисловий\\_робот](https://uk.wikipedia.org/wiki/Промисловий_робот).
11. Сервопривід SG90 2кг // ARDUINO.UA, 2024. URL: <https://arduino.ua/ru/prod416-servoprivod-sg90-2kg> (дата звернення : 13.12.2024).
12. CUSTOMIZE YOUR UR ROBOT WITH CUTTING-EDGE PRODUCTS [Електронний ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.universal-robots.com/plus/>.
13. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 // ARDUINO.UA, 2024. URL: <https://arduino.ua/ru/prod182-yltrazvykovoii-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04> (дата звернення : 15.12.2024).
14. Гіль, А., Чала, О., Филипенко, О. (2021). Промислові інтерфейси та протоколи передачі даних інтегрованих систем для автоматизованого управління в умовах Industry 4.0. Виробництво & Мехатронні Системи 2021: матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 127-30.
15. Методичні вказівки для виконання індивідуального завдання «Розрахунок освітлення приміщення» з дисципліни «Охорона праці» для самостійної роботи студентів усіх спеціальностей денної і заочної форми навчання / Уклад. Т. С. Бондаренко, С. О. Вамболь, О. О. Кузьменко, І. О. Мезенцева. 36 с.– Харків : НТУ «ХП», 2023. – 36 с.