

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____

(підпис)

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Рогачову Антону Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи оптичного контролю для автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату

Затверджена наказом по університету від 08.11.2021 №1696 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____

3. Вихідні дані до роботи: Напруга живлення 220 В, 50 Гц. Робоча поверхня 250мм x 350мм. Типи корпусів для встановлення: SMD0805, SMD0603, SOIC-8, SOIC-16, SOT-223, LQFP32, LQFP64

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз предметної області; _____

4.3 Розробка конструкції системи встановлення елементів на друковану плату; _____

4.4 Розробка програмної частини; _____

4.5 Аналіз точності системи оптичного контролю; _____

4.6 Охорона праці; _____

4.7 Висновки; _____

4.8 Додатки. _____

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

Демонстраційний матеріал представлений у виді презентації PowerPoint (*.ppt)

– с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	05.11.21	виконав
2	Аналіз вимог технічного завдання	10.11.21	виконав
3	Аналіз вибору матеріалів та компонентів	15.11.21	виконав
4	Розрахунок точності переміщень крокових двигунів	24.11.21	виконав
5	Збірка корпусу макету	28.11.21	виконав
6	Розробка програмного коду системи оптичного контролю	01.12.21	виконав
7	Оформлення пояснювальної записки	02.12.21	виконав
8	Перевірка керівником роботи	02.12.21	виконав
9	Нормоконтроль		
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk		
11	Подання роботи на рецензію		
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
13	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 05.11.2021 р.

Студент _____ Рогачов А.С.
(підпис)

Керівник роботи _____ доцент Разумов-Фризюк Є. А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69 с., 6 табл., 52 рис., 15 джерел.

АВТОМАТИЧНЕ ВСТАНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, СТАНОК, ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОКОМПОНЕНТ, ТЕХНІЧНИЙ ЗІР, ОПТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

Предмет дослідження – автоматизація процесу збірки друкованої плати.

Об'єкт дослідження – технічний зір автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату.

Метою магістерської кваліфікаційної є проектування системи оптичного контролю для автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено конструкцію та виготовлено діючий прототип автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату. Розроблені програмні забезпечення для плати керування верстатом та для комп'ютера.

Проведено експериментальне дослідження впливу різних варіантів освітлення на точність розпізнавання розробленою системою технічного зору елементів в корпусах SOIC8, SOIC16, SOT-223, LQFP32, LQFP64. Проведено математичний аналіз результатів експериментальних досліджень. Виходячи з проведених досліджень було систему систему підсвічування для системи оптичного контролю.

ABSTRACT

Explanatory note: 69 pages, 6 tables, 52 pictures, 15 sources.

AUTOMATIC INSTALLATION OF ELEMENTS, PRINTED CIRCUIT BOARD, MACHINE, ELECTRONICS, RADIOCOMPONENT, TECHNICAL VISION, OPTICAL CONTROL.

The subject of research is the automation of the PCB assembly process.

The object of research is the technical vision of an automated system for installing elements on a printed circuit board.

The purpose of the master's qualification is to design an optical control system for an automated system placing elements on a printed circuit board.

During the qualification work, was designed a construction of an automated system placing elements on the printed circuit board. The analysis of types of systems placing of elements and systems of technical vision is carried out.

An experimental study of the influence of different lighting options on the recognition accuracy of the developed system of technical vision of elements in the buildings SOIC8, SOIC16, SOT-223, LQFP32, LQFP64. The mathematical analysis of the results of experimental research. Based on the research, there was a backlight system for the optical control system.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Види автоматизованих систем встановлення елементів на друковану плату	11
1.1 Аналіз типів систем встановлення елементів.....	11
1.1.1 Револьверні установчі автомати.....	11
1.1.2 Портальні установчі автомати.....	12
1.2 Види систем технічного зору.....	13
1.2.1 Розпізнавальні системи технічного зору.....	13
1.2.2 Оглядово-інформаційні системи технічного зору.....	14
1.2.3 Лазерні триангуляційні 3D-камери машинного зору.....	15
1.3 Аналіз аналогічних систем.....	15
1.3.1 Саморобні станки.....	17
1.3.2 Автомати початкового рівня.....	18
1.3.3 Автомати середнього рівня.....	19
1.3.4 Автомати високого рівня.....	20
1.4 Висновки до розділу.....	21
2 Розробка конструкції системи встановлення елементів на друковану плату	22
2.1 Розробка структурної схеми.....	22
2.2 Розробка конструкції механічної частини установки.....	25
2.3 Вибір елементів електричної частини.....	31
2.4 Висновки до розділу.....	34
3 Аналіз систем технічного зору	35
3.1 Види захоплення зображення.....	35
3.1.1 Електронно-променевої трубки.....	35
3.1.2 ПЗЗ та КМОН матриці.....	36
3.2 Типи освітлення об'єкту.....	38
3.3 Висновки до розділу.....	40

4 Вибір компонентів, розробка програмного забезпечення, аналіз точності.....	41
4.1 Вибір компонентів технічного зору	41
4.2 Розробка програмного забезпечення	42
4.2.1 Розробка програмного забезпечення для плати керування верстатом.....	42
4.2.2 Розробка програми для ПК.....	46
4.3 Аналіз точності системи оптичного зору.....	52
4.4 Висновки до розділу.....	59
5 Охорона праці.....	60
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	66
Додаток А Демонстраційний матеріал у вигляді презентації	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЕА – електронна апаратура

ЕПТ – електронно-променева трубка

ДП – друкована плата

КМОН – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник

ПК – персональний комп'ютер

ПЗЗ – прилад із зарядним зв'язком

ПМВ – поверхнево монтвані вироби

ТЗ – технічне завдання

ЧПУ – числове програмне управління

DCMI – Digital camera interface

DMA – Direct memory access

I2C – Inter-Integrated Circuit

ВСТУП

В складально-монтажному виробництві електронної апаратури(ЕА) задачі освоєння нових технологій та автоматизації виробництва особливо актуальні, тому як до сих пір ручна праця займає значну долю у виробництві.

При функціонально-блоковому принципі конструювання ЕА основним елементом конструкції стали блоки на друкованих платах (ДП), звані типовими елементами збірки. Автоматизація операцій збірки і монтажу в значні мірі дозволяє збільшити продуктивність технологічних процесів, підвищити якість виробів, вирішити ряд соціальних і екологічних проблем.

Використання автоматизованих систем встановлення елементів в залежності від її класу, дозволяє збільшити продуктивність праці до 100 разів за рахунок зниження трудомісткості виготовлення.

Автоматизовані системи встановлення елементів на друковану плату, зазвичай звані Pick and Place machines (машини захвату та розміщення), є машинами, які використовуються для розміщення елементів поверхневого монтажу на ДП. Вони використовуються для високошвидкісного і високоточного розміщення широкого спектра електронних компонентів, таких як конденсатори, резистори, інтегральні схеми, на ДП, які в свою чергу використовуються в комп'ютерах, побутовій техніці, а також промислового, медичного, автомобільного, військового і телекомунікаційного обладнанні.

Одним з показників технічних характеристик даних систем є наявність у неї технічного зору. Завдяки наявності у систем встановлення елементів технічного зору, можливості таких систем зростають у рази. Стає можливим точне позиціонування та встановлення мікросхем з великою кількістю виводів та малою відстанню між ними. Для роботи зі складними друкованими платами ця можливість є обов'язковою.

Предмет дослідження – автоматизація процесу збірки друкованої плати.

Об'єкт дослідження – технічний зір автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка програмної та апаратної частини технічного зору автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз технічного завдання;
- аналіз аналогічних конструкцій;
- аналіз систем технічного зору;
- вибрати компоненти для розробки макета;
- розробити конструкцію макета;
- написати два програмних коди;

Атестаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008:2015 [1], методичними вказівками, [2] та навчальним посібником [3].

1 ВИДИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВСТАНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНУ ПЛАТУ

1.1 Аналіз типів систем встановлення елементів

1.1.1 Револьверні установчі автомати

Базовий револьверний автомат використовувався для установки пасивних поверхнево монттованих виробів (ПМВ) (наприклад, конденсаторів, резисторів) на самих ранніх стадіях розвитку технології поверхневого монтажу.

Декілька захоплюючих головок, розташовані навколо стаціонарної револьверної головки (рисунок 1.1), що обертається в горизонтальній площині. Рухомий візок встановлює стрічки живильників, з яких радіокомпоненти подаються в кожну головку.

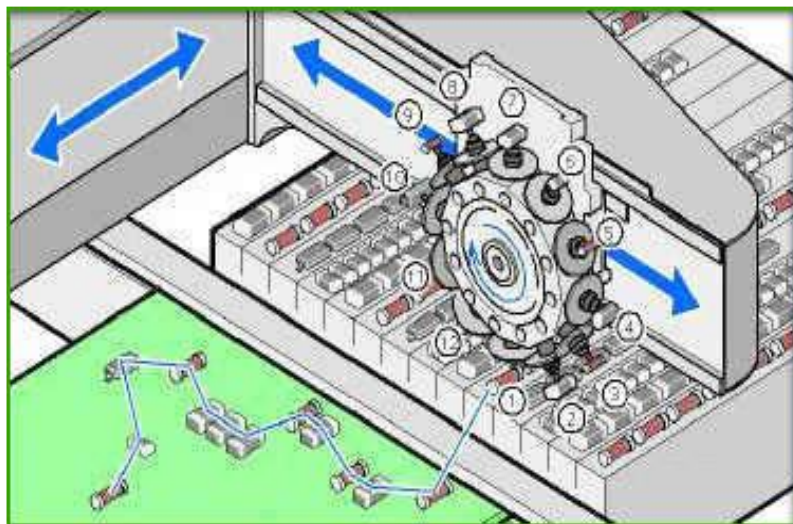


Рисунок 1.1 – Встановлюючий автомат револьверного типу

Після захоплення елемента [4] револьверний автомат повертає його до оптичної робочої станції для отримання зображення на камері приладу з зарядовим зв'язком. Це зображення потім обробляється і ідентифікується, щоб встановити радіокомпонент в заданому місці ДП.

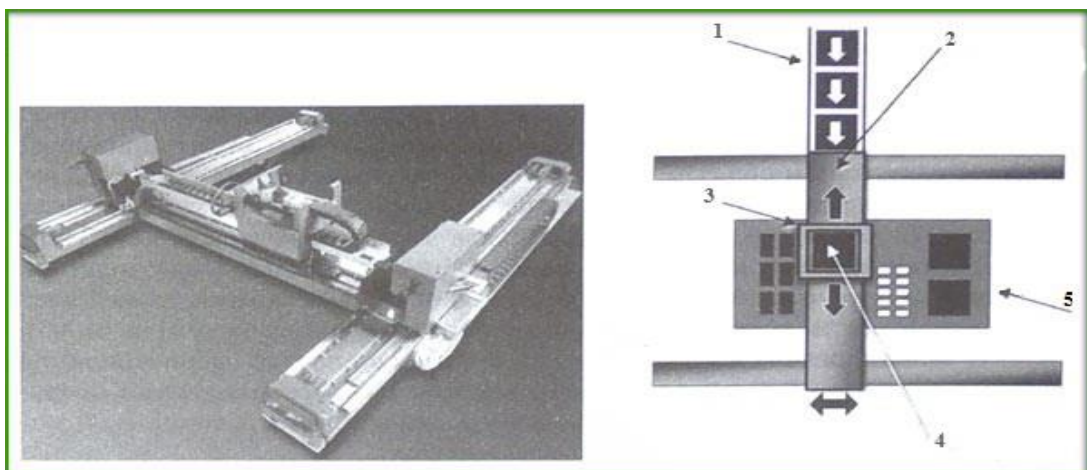
При обертанні револьверної головки рухомий стіл позиціонує ДП таким чином, щоб потрібне місце знаходилося точно під головкою з компонентом. Головка опускається на ДП, встановлюючи ПМВ. Потім головка повертається для захоплення наступного радіокомпоненту, та цикл повторюється.

Ця технологія постійно [5] використовується для встановлення дрібних пасивних пристроїв (типорозмірів 0101 і 01005). Зростає її використання в монтажі безкорпусних кристалів (фліп-чипів) на ДП з більшою щільністю радіокомпонентів. Виробники обладнання та користувачі повинні постійно вирішувати питання з установкою нових ПМВ з різною геометрією виводів

1.1.2 Портальні установчі автомати

Конструкція портальних автоматів відрізняється від револьверних тим, що ДП нерухомо фіксується на місці, а рухома установча головка захоплює радіоелементи і встановлює їх в правильне положення (рисунок 1.2).

Живильники також є нерухомими. Портальні автомати, як правило, використовуються для розміщення великих радіокомпонентів (наприклад, SOIC, PLCC, тощо).



1 – радіокомпоненти; 2 – захват компонента на стрічці; 3 – головка;
4 – установка компонента; 5 – друкована плата.

Рисунок 1.2 – Встановлюючий автомат портального типу

Кожен портальний встановлюючий автомат пристосований для встановлення різних компонентів, оскільки обладнаний багатошпindelною головкою. Монтажна головка автомата розміщується над живильником, звідки захоплює елемент. Потім голівка переносить ПМВ до відеокамери нижнього перегляду для перевірки, після чого встановлює компонент на плату. Другим варіантом є двохпортальна система з двома блоками встановлюючих головок, кожна з яких може встановлювати як один тип компонентів, так і декілька завдяки шпindelній головці.

1.2 Види систем технічного зору

За функціями системи технічного зору бувають трьох типів: розпізнавальні, оглядово-інформаційні, вимірювальні. Проте, зазвичай, вони поєднують кілька функцій одночасно.

1.2.1 Розпізнавальні системи технічного зору

Розпізнавальні системи технічного зору(рисунок 1.3) дозволяють визначати в режимі реального часу на конвеєрі, що рухається, деталі по:

- формі;
- кольору;
- напису;
- поточній координаті та куту оберту.

Для цього необхідно навчити систему шляхом поміщення в її пам'ять правильного образу деталі для подальшого порівняння з видимими в кожний конкретний момент образами на конвеєрі. При цьому орієнтація деталей немає значення.



Рисунок 1.3 – Розпізнавальні системи технічного зору

1.2.2 Оглядово-інформаційні системи технічного зору

Дана система(рисунок 1.4) включає дві відео камери машинного зору в одному корпусі. І є 3D-камерою, що дозволяє визначати дистанцію до об'єкта та його положення у просторі. Класичним застосуванням такої бінарної системи технічного зору є взяття деталей із контейнера, де вони лежать хаотично.



Рисунок 1.4 – Оглядово-інформаційні системи технічного зору

1.2.3 Лазерні триангуляційні 3D-камери машинного зору

Такі системи (рисунок 1.5) дозволяють обробляти 3D-зображення з високою роздільною здатністю, не вимагають додаткового підсвічування, незалежні від контрасту або кольору об'єкта.

Мають зручний графічний інтерфейс для швидкої розробки прикладних програм. Ступінь точності визначення розмірів об'єктів залежить від кількості знятих профілів. Але в будь-якому випадку визначення об'єкта проводиться з високою точністю.

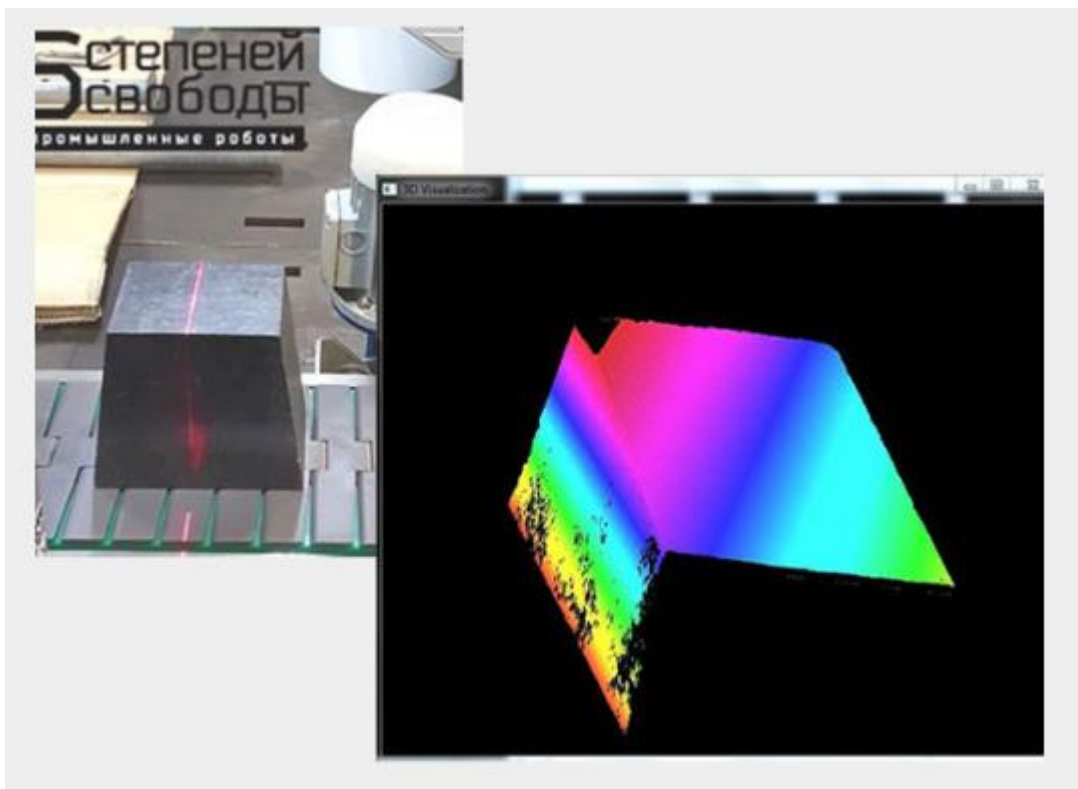


Рисунок 1.5 – Вимірювальна система технічного зору

1.3 Аналіз аналогічних систем

Автоматизована система встановлення елементів [6] обирається в залежності від вартості, обсягу виробництва, та необхідній швидкості та точності встановлення елементів.

В умовах дрібносерійного виробництва монтажу ДП і для виробництва прототипів в лабораторних умовах використовують автомати початкового рівня,

або виготовляють свої саморобні станки. Такі автомати мають низьку швидкість встановлення елементів (від 500 до 4000 елементів на годину), невеликі габаритні розміри та відносно малу вартість.

Перевагами таких автоматів [7] у рамках одиночного або дрібносерійного виробництва є простота у налаштуванні, значний зріст швидкості виробництва у порівнянні з людиною-оператором, та відсутність необхідності у висококваліфікованому монтажнику друкованих плат.

А Автомати установки середнього рівня успішно використовуються як в дрібносерійному так і в середньо серійному виробництвах. Машина мають модульну конструкцію і велику кількість додаткового обладнання, що дозволяють оптимально налаштувати автомат під поставлені задачі. Автомати працюють в складі виробничої лінії і як окреме обладнання з розширеною базою живильників.

Такі автомати коштують набагато більше, ніж машини початкового рівня, але мають значно вищі показники зі швидкості (5000 – 15000 елементів на годину) та точність розстановки, здатні працювати з більш складними типами корпусів радіокомпонентів, та за необхідністю можуть бути легко модифіковані в процесі використання.

Із ростом об'ємів виробництва, з'являється необхідність у збільшенні промислових потужностей [8]. Для крупносерійного виробництва використовують автомати високого рівня. Такі машини контролюють всі технологічні параметри установки електронних компонентів на ДП та геометричні розміри компонентів та друкованих плат. Розпізнання елементів відбувається за допомогою системи технічного зору в автоматичному режимі. Здатні розташовувати елементи типорозмірів 01005, за швидкістю від 20 до 50 тисяч елементів на годину.

Експлуатація даних систем потребує спеціальних промислових приміщень та висококваліфікований персонал.

Далі необхідно розглянути конкретні екземпляри з усіх вищезазначених типів систем.

1.3.1 Саморобні станки

В першу чергу саморобні автомати з розташування радіокомпонентів (рисунок 1.6) приваблюють саме своєю вартістю. При відсутності необхідності у виготовленні великих обсягів ДП у короткий термін, в умовах лабораторії, або невеликої приватної компанії, раціонально буде за відносно дуже малу вартість виготовити власний автомат, який буде відповідати вашим вимогам з точності та швидкості виконання роботи.

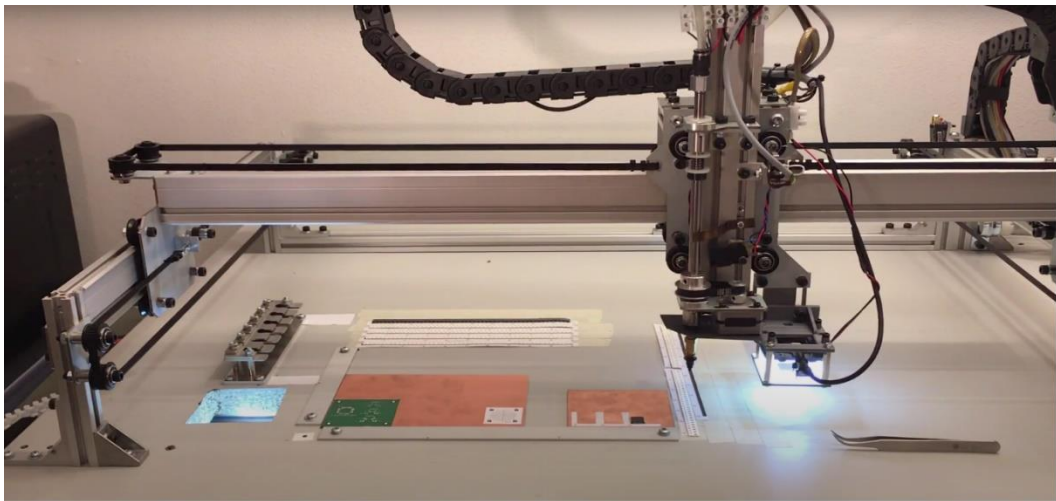


Рисунок 1.6 – Приклад саморобного автомата з розташування радіокомпонентів

Недоліками таких саморобних автоматичних систем є низька точність позиціонування, мала швидкість розташування компонентів та вузько спрямованість.

Технічні характеристики :

- кількість установчих головок – 1-2;
- точність встановлення елемента – 0.1мм;
- типорозміри встановлюваних компонентів – від 0805 до 5050;
- швидкість – до 1000 ел./год.;
- вартість – до 1500\$.

1.3.2 Автомати початкового рівня

Установка початкового рівня TVM802A від китайської компанії Wenzhou Yingxing Technology Co. поєднує в собі доступність та простоту використання пристрою. Автомат зображений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Система автоматичного встановлення елементів
TVM802A

Технічні характеристики :

- розміри ДП – від 20x20 до 340x340мм;
- кількість встановлюючих головок – 2;
- точність встановлення елементу – 0.04мм;
- типорозміри встановлюючих компонентів – від 0402 до 5050;
- кількість живильників – 29;
- швидкість – 2000 ел./год.;
- вартість ~ 3500\$.

Настільний станок КАУО-А4 (рисунок 1.8) від китайської компанії КАУО Automation Technology Co. на відміну від TVM802A більш

інформативний завдяки зовнішньому монітору, обладнаний системою машинного зору, що забезпечує високу точність розміщення елементів.



Рисунок 1.8 – Система автоматичного встановлення елементів
KAYO-A4

Технічні характеристики :

- розміри ДП – до 480x380мм;
- кількість встановлюючих головок – 4;
- точність встановлення елементу – 0.01мм;
- типорозміри встановлюючих компонентів – від 0201 до 40x40мм;
- кількість живильників – 46;
- швидкість – 4000 ел./год.;
- вартість ~ 8500\$.

1.3.3 Автомати середнього рівня

Автомат середнього рівня від німецької компанії Fritsch. Може використовуватися як окремо, так і вбудований у виробничу лінію. Модель XL (рисунок 1.9) у лінійці PlaceALL була розроблена спеціально для роботи с ДП великих розмірів, при відносно невеликій вартості, що є її головною перевагою.

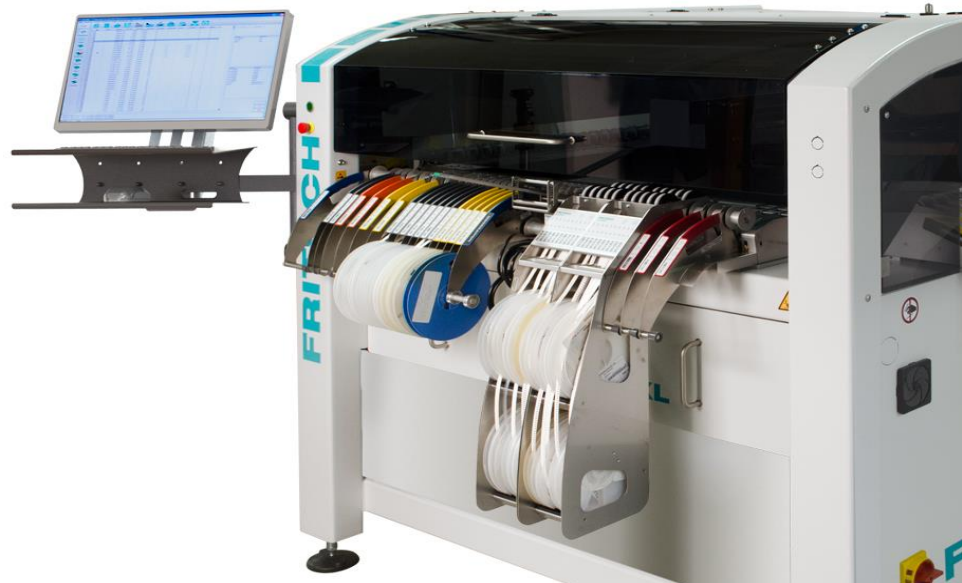


Рисунок 1.9 – Автомат PlaceALL610XL

Технічні характеристики :

- розміри ДП – до 1020x770мм;
- кількість встановлюючих головок – 2;
- точність встановлення елемента – 0.01мм;
- типорозміри встановлюючих компонентів – від 01005 до 45x45мм;
- кількість живильників – 162;
- швидкість – 10500 ел./год.;
- вартість ~ 25000\$.

1.3.4 Автомати високого рівня

Промисловий тип автоматизованої системи встановлення елементів FusionOF від американської компанії Universal Instruments, яка має більш ніж 50-річний досвід у розробці та будівництві машин автоматичного розташування радіокомпонентів на ДП.

FusionOF (рисунок 1.10) на цей час є найефективнішою, адаптивною до будь-яких задач системою встановлення елементів на друковану плату.



Рисунок 1.10 – Промисловий автомат встановлення елементів на ДП
FuzionOF

FuzionOF [9] звісно може бути використаний як автономний станок, але весь свій потенціал та можливості він показує будучи вбудований у виробничу лінію, не важливо до чого вона зазначена, виробництво надвеликих об'ємів одного типу ДП, чи великої кількості різних прототипів.

Технічні характеристики :

- розміри ДП – до 1500x990мм;
- кількість встановлюючих головок – 7 ;
- точність встановлення елементу – 0.01мм;
- типорозміри встановлюючих компонентів – від 01005 до 75x75мм;
- швидкість – 140000 ел./год.;
- вартість ~ 100000\$.

1.4 Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто види автоматизованих систем встановлення елементів на друковану плату, проаналізовано види систем технічного зору. Також були розглянуті аналогічні системи різного рівня та проаналізовані їх технічні характеристики.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ВСТАНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НА ДРУКОВАНУ ПЛАТУ

2.1 Розробка структурної схеми

В основу структурної схеми макета (рисунок 2.1) був обраний мікроконтролер STM32f407VGT6, додатковою перевагою є той факт, що на базі цього ядра вже є розроблена налагоджувальна плата від компанії ST Microelectronics, STM32f4 Discovery (рисунок 2.2), що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та його подальшої наладки.

Згідно зі структурної схеми, головна керуюча плата виконує наступні функції:

- переміщення виконавчого пристрою (вакуумної присоски) по осям X, Y, Z, та обертання навколо осі Z керуванням відповідними кроковими двигунами через драйвери крокових двигунів;
- вивід інформації та зчитування команд оператора через рідкокристалічний дисплей з сенсорним екраном;
- зчитування виконавчої програми з карти пам'яті Micro SD;
- зчитування та запис базових налаштувань у зовнішню пам'ять EEPROM;
- вивід інформації про загальний стан роботи системи на світлодіодні індикатори;
- опитування кінцевих датчиків для контролю роботи виконавчого пристрою суворо у заданих просторових межах;
- опитування кнопки аварійної зупинки для повної зупинки системи у випадку позаштатної ситуації.

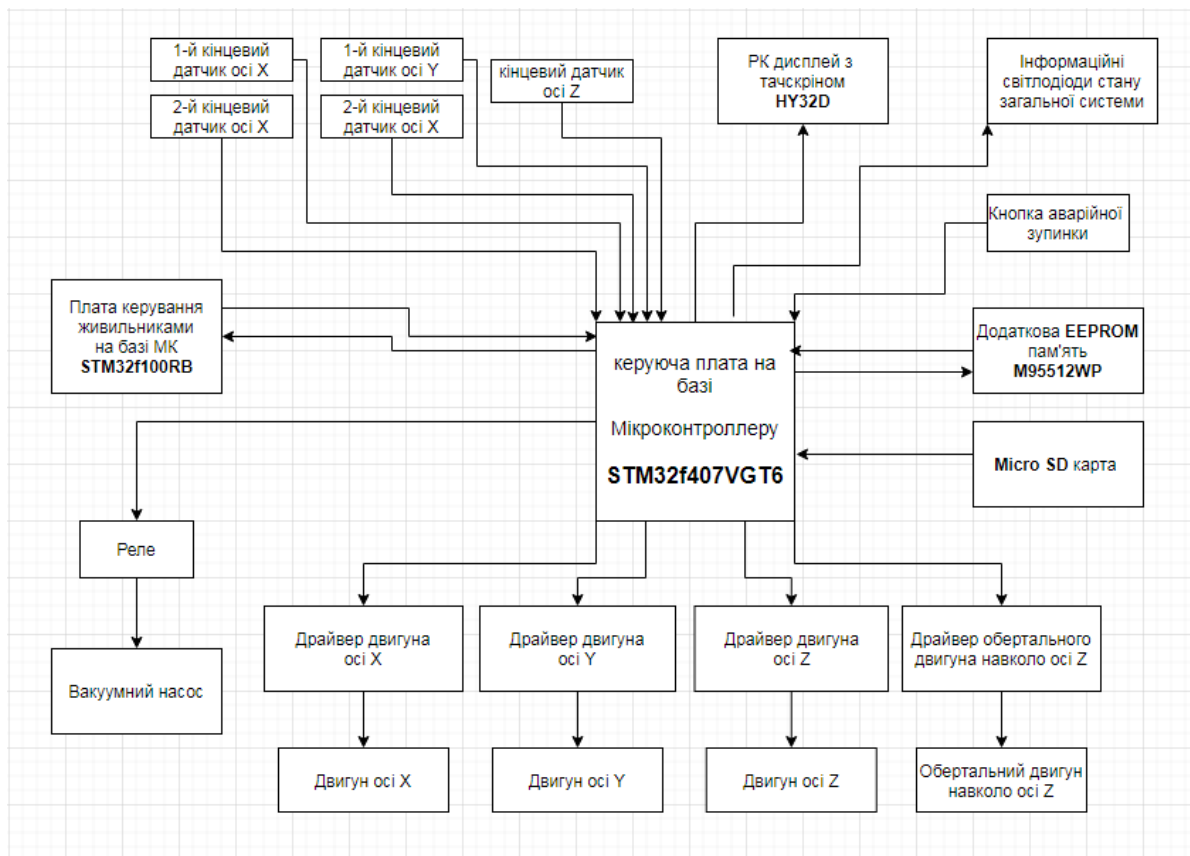


Рисунок 2.1 – Структурна схема



Рисунок 2.2 – Налагоджувальна плата STM32f4 Discovery

Оскільки пристрій, що розробляється працює у декартовій системі координат, необхідно забезпечити переміщення виконавчої головки уздовж осей X, Y, Z та обертання навколо осі Z.

Для забезпечення переміщення виконавчої головки по осям X , Y , Z та обертання навколо осі Z доцільно використовувати крокові двигуни, які забезпечать високоточне та достатньо швидке переміщення, та володіють великим обертаючим моментом для переміщення каретки з управляючим пристроєм достатньо великої маси.

Переміщення уздовж осей X та Y здійснюють крокові двигуни Nema 23, оскільки передбачається, що рухомі конструкції осей X та Y матимуть значну вагу, та навантаження на ці осі будуть значними. Переміщення виконавчого пристрою по осі Z здійснюється завдяки кроковому двигуну Nema 17, а обертання навколо осі Z виконується двигуном Nema 8, вибір цих двигунів обґрунтовується невеликими навантаженнями, а у випадку з Nema 8 вони взагалі майже відсутні.

Враховуючи, що крокові двигуни Nema 23 та Nema 17 мають 200 кроків на 360 градусів, чого було б недостатньо для точного позиціонування радіоелементів, що мають вкрай невеликі габарити, або великі мікросхеми але з дуже малим кроком між контактними виводами, тому для їх роботи використовується неповнокроковий режим, а використовуються драйвери, які розбивають кожен крок на додаткову кількість мікрокроків.

В якості драйвера для двигуна Nema 17, який здійснює переміщення по осі Z був обраний драйвер, який здатен розділити один крок двигуна на 32 мікрокроки, що у сумі дає 6400 кроків на один оберт валу двигуна.

Для двигунів Nema 23 осей X та Y цієї кількості мікрокроків буде недостатньо, адже вони виконують основне позиціонування виконавчої головки у площині XY , тому для цих двигунів були обрані драйвери, які здатні поділити один крок двигуна на 125 мікрокроків, що забезпечує 25000 мікрокроків на повний оберт.

Для визначення початкового та кінцевого положення використовуються кінцеві вимикачі. Були обрані механічні кінцеві вимикачі, через свою надійність та низьку ціну. Дуже часто в схемах використовують лише один, початковий вимикач на кожну ось, але в цій схемі використовуються два вимикача кінцевого

та початкового положення по осі X та Y і один початковий вимикач на ось Z , де немає необхідності у вимикачі кінцевого положення.

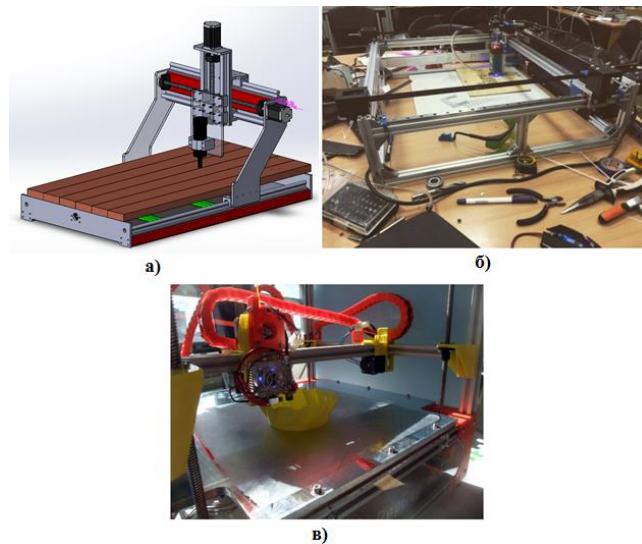
У якості виконавчого пристрою використовується вакуумна присоска зі змінними насадками для різних типів корпусів радіокомпонентів. Вакуум у присосі створюється завдяки вакуумному насосу. В свою чергу вакуумний насос працює безперервно з моменту ввімкнення макету, а наявність вакууму керується завдяки клапану, з мікроконтролера через реле.

Вивід основної інформації для користувача, внесення змін до налаштувань пристрою, вибір виконавчої програми, та керування пристроєм у «ручному режимі» відбувається через рідкокристалічний дисплей з сенсорним екраном.

2.2 Розробка конструкції механічної частини установки

За основу конструкції установки з ЧПУ (числове програмне управління) була обрана кінематика Head-XYZ. В даній кінематиці усі переміщення уздовж осей (X , Y , Z) виконуються самою робочою головкою, що виправдовує себе у разі, коли необхідно отримати дуже точні переміщення і велику площу робочого простору по осях X та Y .

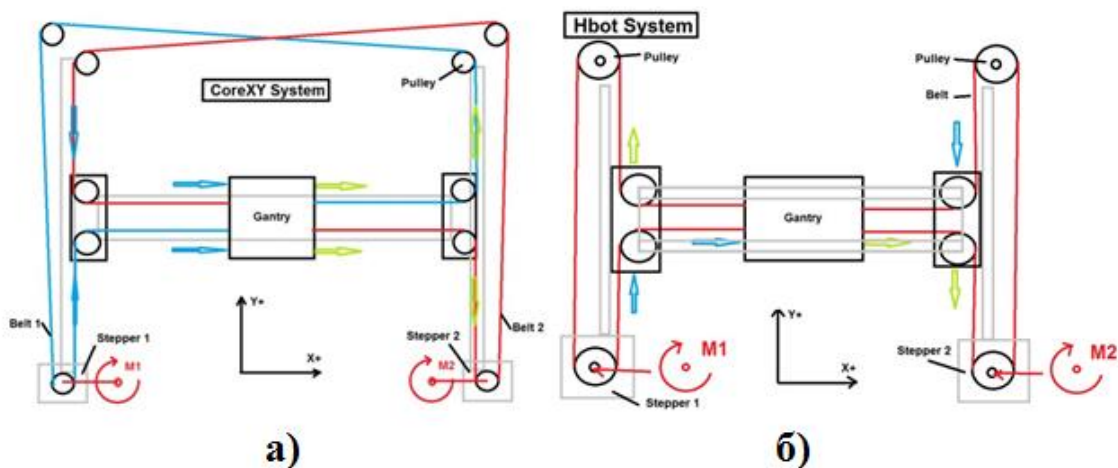
Також за цим принципом виготовляють 3D-принтери, фрезерні верстати та лазерні гравери, рисунок 2.3.



а) модель фрезерного верстату; б) лазерний гравер; в) 3D-принтер Alto XYZ.

Рисунок 2.3 – Пристрої з використанням кінематики Head-XYZ

В обраній кінематиці, на відміну від кінематик CoreXY та H Bot, рисунок 2.4, ремінні передачі встановлені незалежно одна від одної, завдяки чому ремені більш натягнуті на великій довжині направляючих і спрощується процес їх заміни при пошкодженні або виходу з ладу.



а) CoreXY кінематика; б) H Bot кінематика.

Рисунок 2.4 – Кінематики H Bot та CoreXY

На рисунку 2.5 зображена 3D-модель макету.

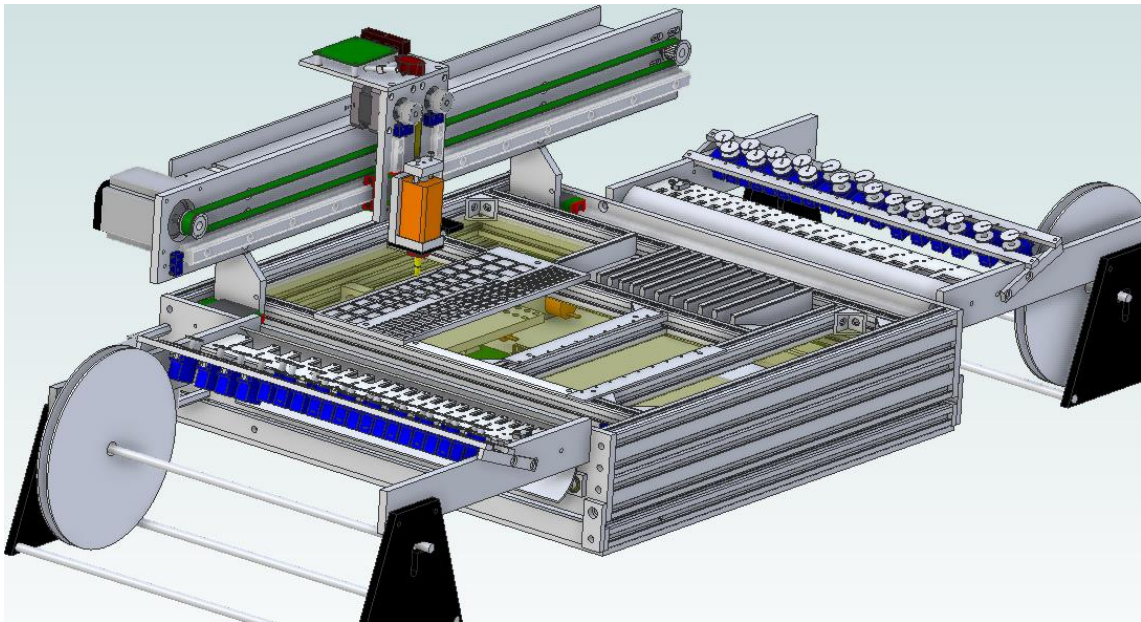


Рисунок 2.5– 3D-модель макета

У якості каркаса макету були обрані верстатні алюмінієві профілі 20 мм х 20 мм та 40 мм х 40 мм, з'єднані між собою конструкційними кутами 20 мм х 20 мм, рисунок 2.6.

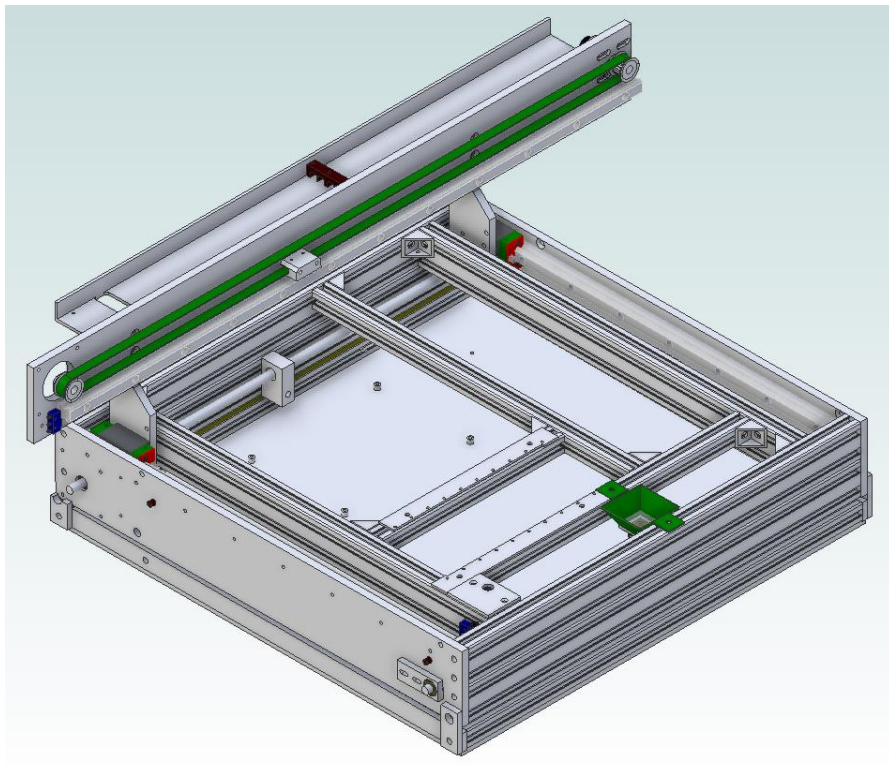


Рисунок 2.6 – Каркас макета

Дані профілі забезпечують міцність та надійність конструкції макету. У верхній частині каркаса на рейсових направляючих HiWin HGH 15 розташовані каретки (рисунок 2.7), які забезпечують переміщення виконавчого пристрою по осі Y.

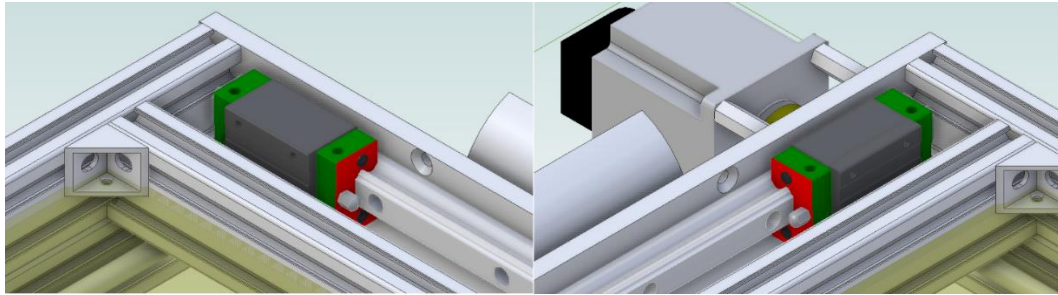


Рисунок 2.7 – Каретки осі Y

На каретки осі Y через дві алюмінієві пластини встановлена основна пластина осі X з двигуном Nema 23 та рейсовою направляючою по осі X, по каретці якої (рисунок 2.8) здійснює переміщення пластини осі Z.

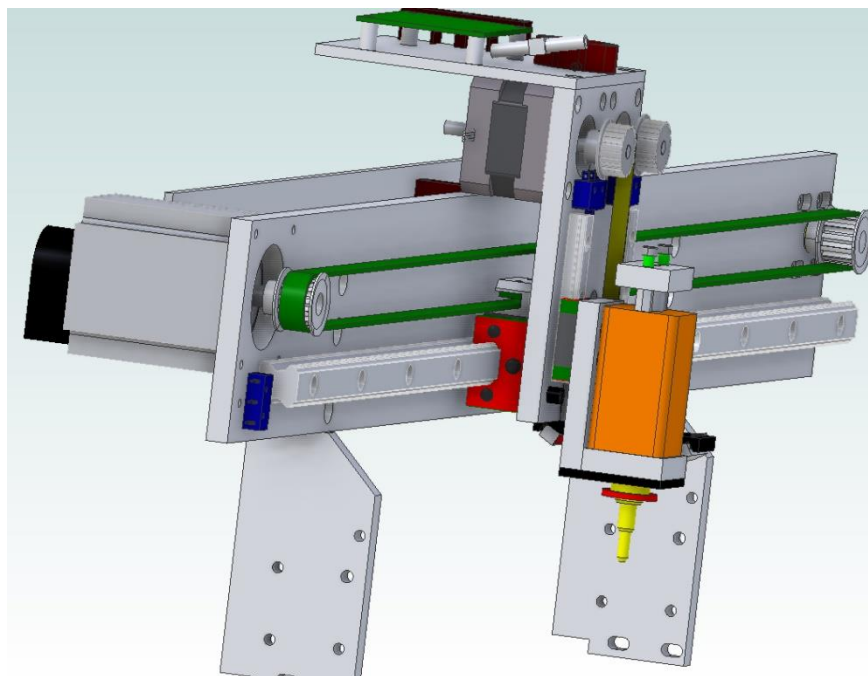


Рисунок 2.8 – Каретка осі X

На пластині осі Z розташований полегшений кроковий двигун Nema 17 та рейсова направляюча HiWin MGN 09 з кареткою для здійснення переміщень по

осі Z. До каретки осі Z (рисунок 2.9) приєднаний виконавчий пристрій – вакуумна присоска, з двигуном Nema 8, який забезпечує її обертання навколо осі Z.

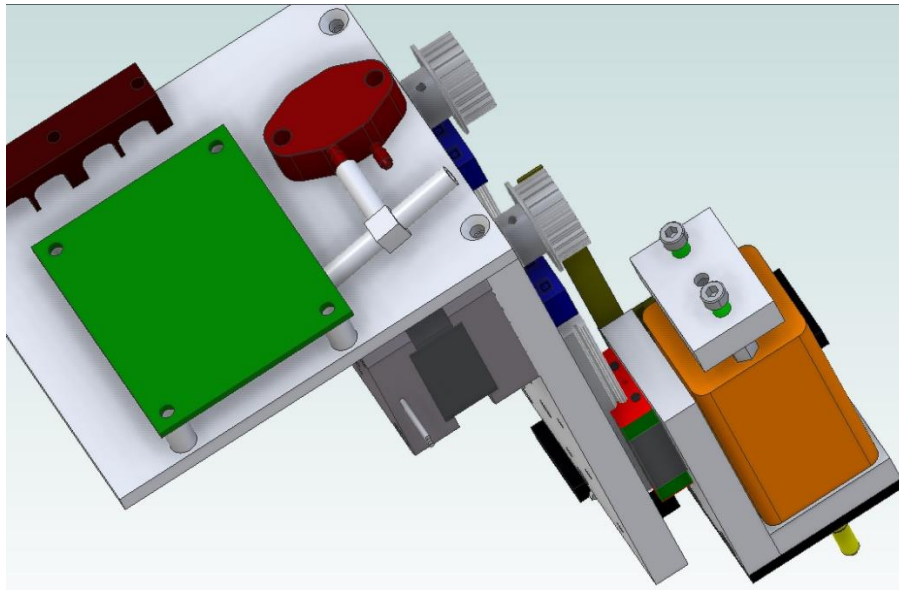


Рисунок 2.9 – Каретка осі Z

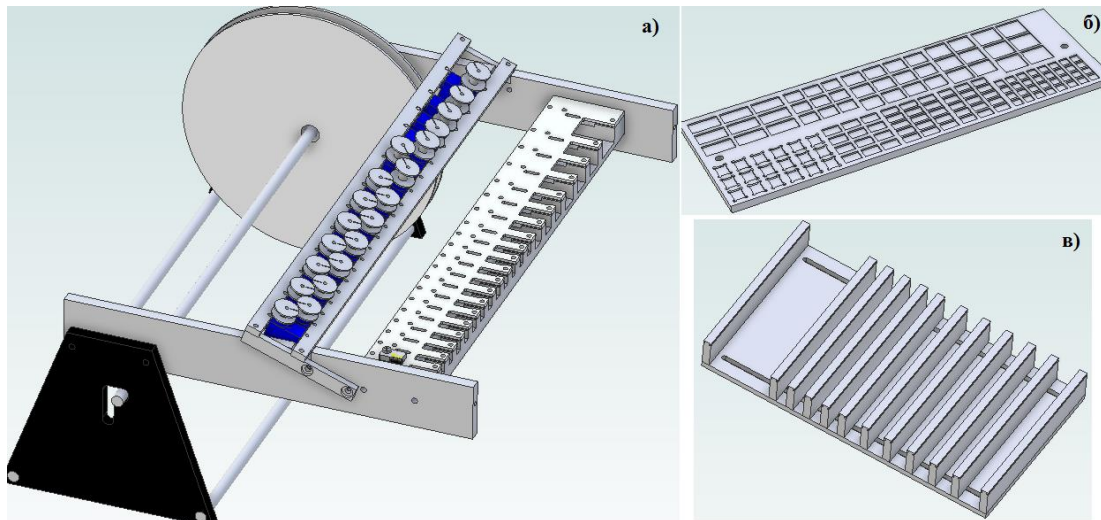
Оскільки однією з головних задач була розробка саме гнучкого макету, здатного розташовувати радіоелементи різних типів корпусів, було розроблено одразу декілька типів живильників, вони зображені на рисунку 2.10.

На рисунку 2.10а зображена модель блоку автоматичних живильників, розрахованих для використання елементів у котушках. Даний блок розрахований на 13 котушок шириною 8 мм, 3 котушки шириною 12 мм, 3 котушки 16 мм та на одну котушку шириною 24 мм. Цей блок живильників керується за допомогою окремої плати-контролера, яка в свою чергу отримує команди від головної плати керування, який саме живильник треба активувати. До кожного живильника цього блоку встановлений серводвигун для протягування стрічки, та кінцевий вимикач для відстеження своєчасної зупинки.

На рисунку 2.10б зображений живильник-лоток призначений для розташування мікросхем, які не виготовляються у котушках-стрічках.

На рисунку 2.10в зображений тип живильників, призначений для окремих відрізків стрічок з компонентами, на випадок коли тип компоненту рідко використовується, та купувати цілу котушку не раціонально. Також перевагою

цього типу живильників є те, що ширина кожного живильника встановлюється власноруч, тому можна використовувати стрічки будь-якої ширини.



а) блок автоматичних живильників; б) живильник – лоток;
в) живильник для відрізків стрічок.

Рисунок 2.10 – Моделі живильників

Точність переміщень крокових двигунів уздовж осей X, Y та Z з використанням зубчастої - ремінної передачі представлений у формулі

$$S_{\text{осі}} = \frac{(S_{\text{крок двиг.}} \cdot S_{\text{мікрокрок драйвера}})}{(S_{\text{рем.}} \cdot S_{\text{зуб.}})}, \quad (2.1)$$

де $S_{\text{крок двиг.}}$ – крок двигуна 200 крок/мм;
 $S_{\text{мікрокрок драйвера}}$ – мікрокрок драйвера;
 $S_{\text{рем.}}$ – крок зубів ременя;
 $n_{\text{зуб.}}$ – кількість зубів шківа.

Тоді отримуємо:

$$S_{\text{осіY}} = \frac{(200 \cdot 125)}{(5 \cdot 12)} = 416,6 \text{ кроків/мм,}$$

$$S_{\text{ociX}} = \frac{(200 \cdot 125)}{(5 \cdot 12)} = 416,6 \text{ кроків/мм,}$$

$$S_{\text{ociZ}} = \frac{(200 \cdot 32)}{(5 \cdot 12)} = 106,6 \text{ кроків/мм.}$$

2.3 Вибір елементів електричної частини

Для переміщення по осі Y був обраний кроковий двигун типу Nema 23, Szruitech 57A2 (рисунок 2.11), оскільки він володіє дуже великим обертаючим моментом, достатнім для переміщення над робочим простором каретки осі X та Z, які мають дуже велику вагу.



Рисунок 2.11 – Кроковий двигун Nema 23 Szruitech 57A2

Переміщення уздовж осі X здійснюється також завдяки кроковому двигуну Nema 23, але моделі Usongshine 23HS5628 (рисунок 2.12). Ця модель менш потужна, але у той самий час вона потребує менше електроенергії, а її обертаючого моменту більш ніж достатньо аби виконувати переміщення виконавчої головки.

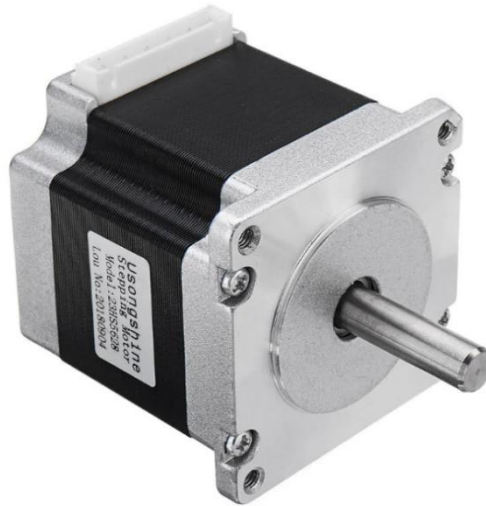


Рисунок 2.12 – Кроковий двигун Nema 23 Usongshine 23HS5628

У якості змінних насадок (рисунок 2.13) для виконавчого пристрою було обрано готове рішення від компанії JUKI, яка займається виготовленням професійних систем автоматизованого встановлення елементів, та обладнання для цих систем. Ці насадки розроблені кожна для певного типорозміру та корпусу із максимально ефективною площею дотику з радіокомпонентом, досягти чого в умовах лабораторії було б вкрай складно. Попри це вартість таких насадок незначно більша за собівартість виготовлення схожого аналогу власноруч.



Рисунок 2.13 – Змінні насадки для виконавчого пристрою

На рисунку 2.14 зображений зібраний модуль виконавчого пристрою.



Рисунок 2.14 – Модуль виконавчого пристрою

Для відображення інтерфейсу користувача був обраний рідкокристалічний дисплей з сенсорним екраном HY32D (рисунок 2.15). Керування контролером дисплею SSD1289 виконується за допомогою 16-розрядної паралельної шини. Даний РК дисплей дозволяє відображати графічні дані з роздільною здатністю 320x240 пікселів до 262000 кольорів. В состав модуля дисплею входить резистивний сенсорний екран з контролером ХРТ2046. Враховуючи, що мікросхема ХРТ2046 не підтримує високошвидкісного обміну по шині SPI, сенсорний екран керується за допомогою програмно організованого SPI-інтерфейсу, що дозволяє звільнити апаратний SPI інтерфейс для роботи з швидшими пристроями, такими як EEPROM та MicroSD.

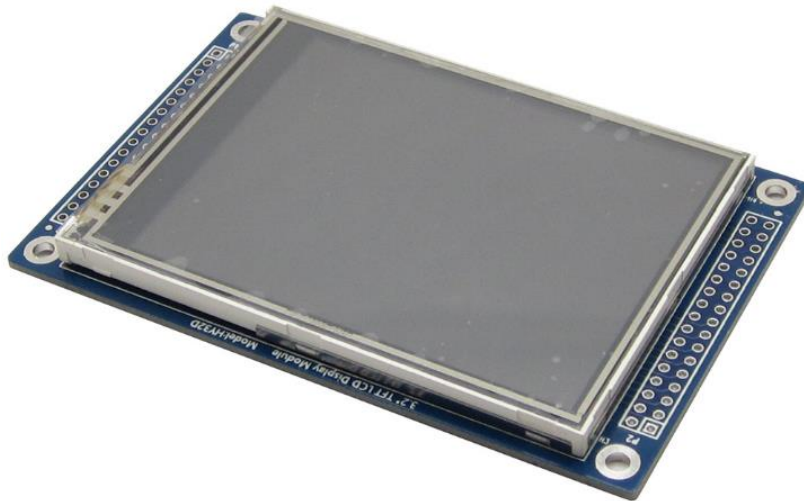


Рисунок 2.15 – Рідкокристалічний дисплей HY32D

2.4 Висновки до розділу

В даному розділі було обрано мікроконтролер для виконавчої плати макету та розроблено структурну схему. У середовищі Alibre Atom 3D було розроблено 3D-модель конструкції макету та підібрано компоненти електричної частини макету.

3 АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

3.1 Види захоплення зображення

3.1.1 Електронно-променеві трубки

До початку 60-х років минулого сторіччя для отримання та передачі зображення широко використовувалась технологія електронно-променевих трубок (ЕПТ) з накопиченням зарядів. Найпоширенішим типом передавальних трубок були «Відикони» (рисунок 3.1), які використовувалися у промислових телевізійних камерах.

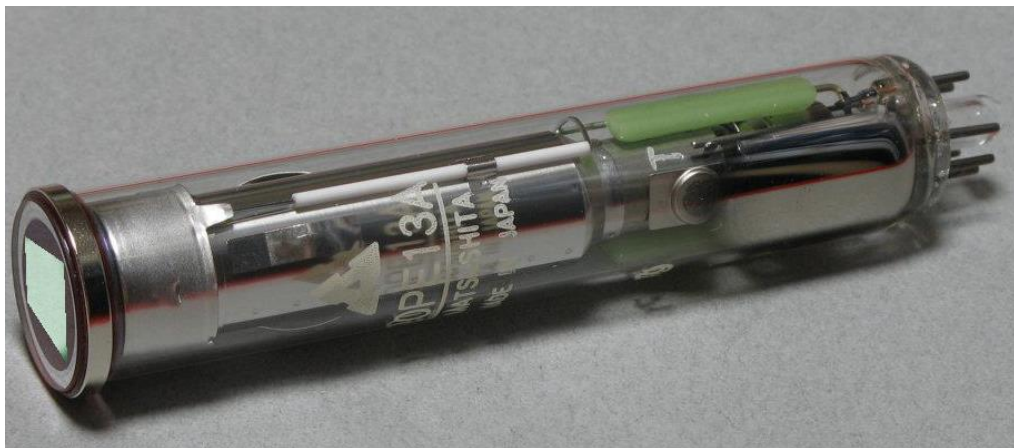


Рисунок 3.1 – Відикон фірми “Matsushita”, діаметром 2/3 дюйми

Відикон – телевізійна трубка з накопиченням заряду, дія якої заснована на внутрішньому фотоєфекті. Зображення у відиконі проектується на плоску мішень з напівпровідникового матеріалу, на якому накопичується потенційний рельєф. Мішень сканується електронним променем, що підключає зчитувану ділянку до навантаження. Рельєф при цьому руйнується і відновлюється на момент наступного проходу променю. На рисунку 3.2 зображено пристрій відикону.

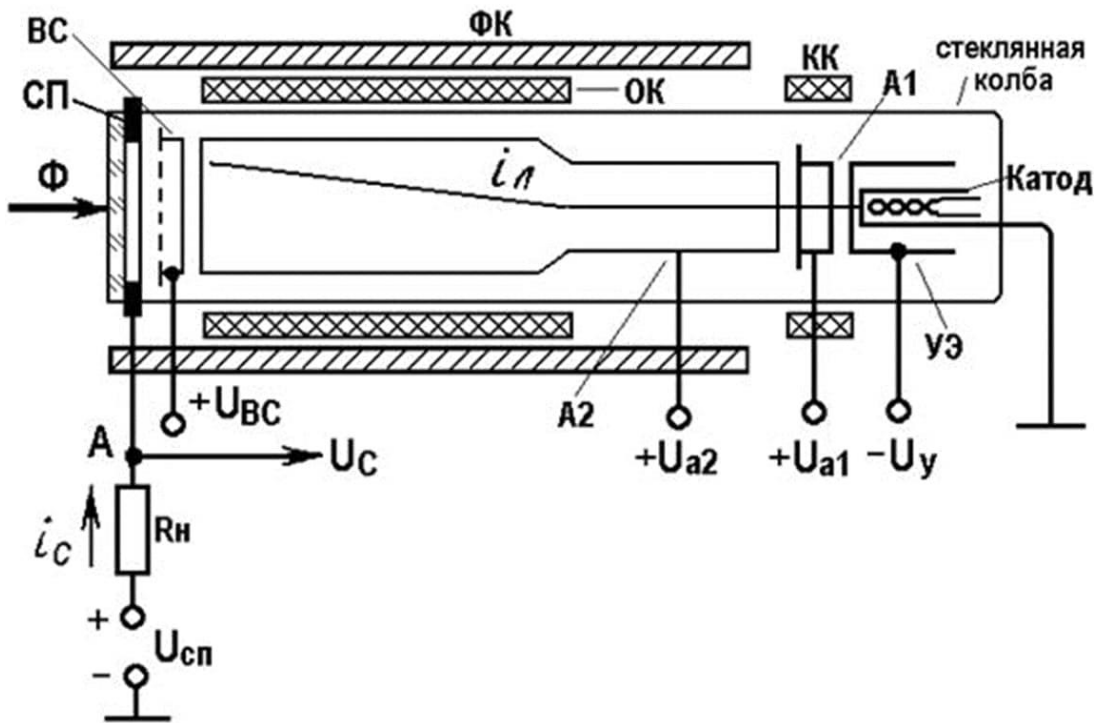


Рисунок 3.2 – схема пристрою відикону

Всередині циліндричної скляної трубки розташований електронний прожектор, що складається з катоду, керуючого електроду та першого аноду. Уздовж стінок трубки розташований другий анод та третій анод, який підключений до сітки, встановленої поблизу мішені.

3.1.2 ПЗЗ та КМОН матриці

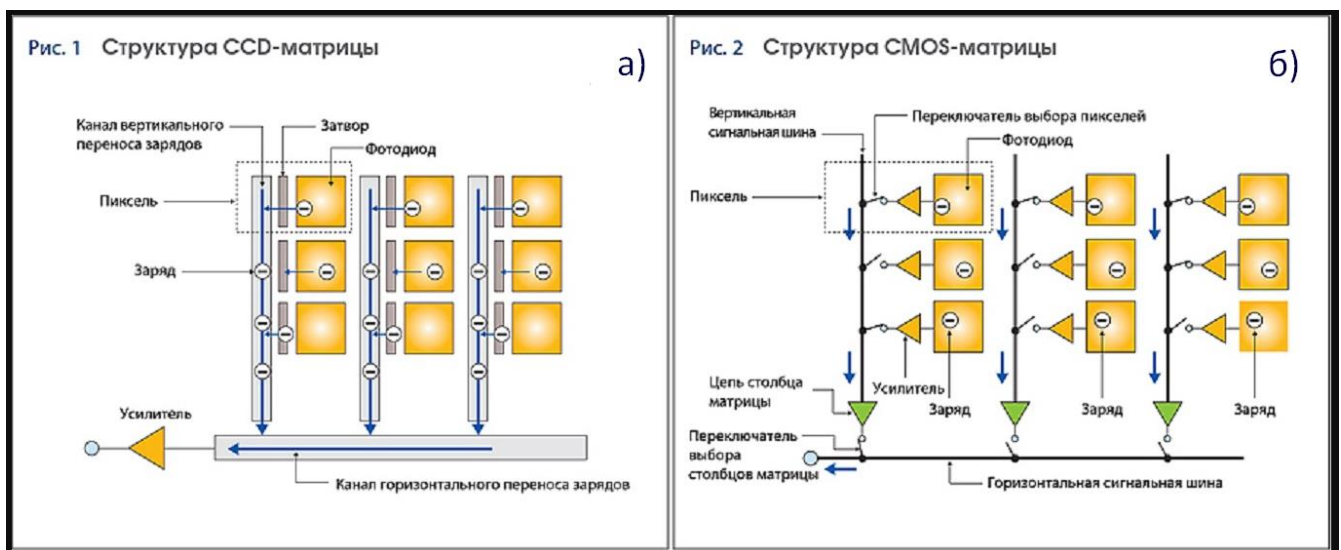
ПЗЗ (прилад із зарядним зв'язком) та КМОН (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник) матриці були винайдені в 1960-1970-х роках, і вони прийшли на зміну електронно-променевим відиконам.

У ПЗЗ матриці світло, яке потрапляє на піксель, змінює його електричний стан. Інформація про це передається тільки через один вихідний канал (рідше – два). Далі відбувається конвертація в рівень напруги, проходить процедура буферизації та подача на виході – як аналоговий електричний сигнал. Даний сигнал потім посилюється і конвертується в цифрове значення завдяки аналого-цифровому перетворювачу (АЦП), який знаходиться поза сенсором.

КМОН матриці завдяки технології виробництва вже включають підсилювачі та АЦП, відповідно процедура отримання зображення дозволяє досягти набагато більшої швидкості читання.

Все це позначається на загальному методі отримання зображення – технологія ПЗЗ дозволяє проводити зчитування лише з одного каналу або максимум двох. Тоді як у сенсорі КМОН цифрові підсилювачі використовуються в кожному окремому пікселі (на даний момент в КМОН сенсорах можуть використовуватися 8 і 16 каналне зчитування). Здавалося б, окреме зчитування кожного пікселя повинно займати більше часу, але оскільки процеси зчитування в КМОН сенсорах відбуваються паралельно, це дозволяє досягти більшої пропускної спроможності в порівнянні з ПЗЗ сенсорами.

На рисунку 3.3 зображені структури ПЗЗ та КМОН матриць [10].



а) структура ПЗЗ матриці; б) структура КМОН матриці

Рисунок 3.3 – структурні схеми ПЗЗ та КМОН матриць

У таблиці 3.1 наведено порівняння переваг та недоліків ПЗЗ та КМОН матриць.

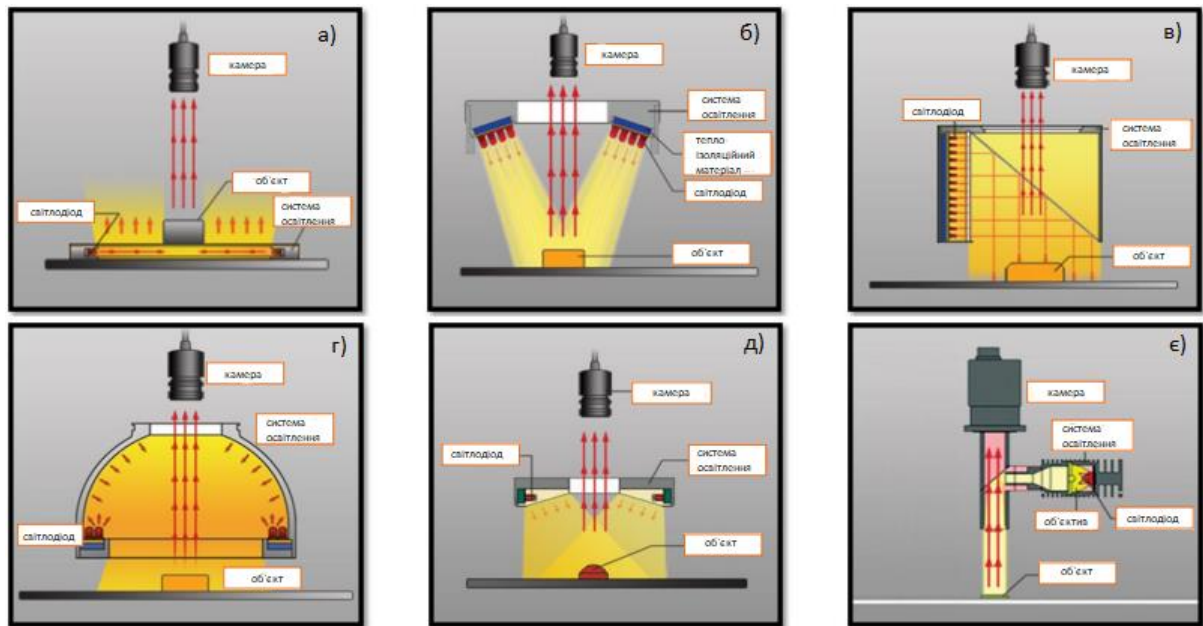
Таблиця 3.1 – порівняння ПЗЗ та КМОН матриці

	КМОН	ПЗЗ
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> – Низьке енергоспоживання – Стійкість до ударів та вібрацій – Дешеві – Високошвидкісні – Оскільки робота відбувається з окремими пікселями, це забезпечує низький рівень взаємних перешкод 	<ul style="list-style-type: none"> – Висока точність – Гарна чутливість при слабкому освітленні / у темних місцях – Можливість мініатюризації
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> – Погіршення розширення зображення – Погана якість зображення в темних місцях – При мініатюризації збільшується рівень шуму – Точне відображення ускладнене 	<ul style="list-style-type: none"> – Високе енергоспоживання – Вразливість до ударів та вібрацій – Дорогі – Збільшення швидкості ускладнено
Приклад застосування	Розпізнавання об'єктів, вимірювання відстані, надшвидка зйомка та ін.	Програми, що вимагають нерухомих зображень високого розширення

3.2 Типи освітлення об'єкту

Для захоплення належного зображення об'єкта хороші умови освітлення є однією з найважливіших налаштувань. Різні типи освітлення впливатимуть на

виявлення різних об'єктів, але вони також можуть відображати різні області одного й того ж об'єкта. На рисунку 3.4 зображені різні види освітлення об'єкту.



а – підсвічування; б – пряме світло; в – кругове світло;

г – купольне світло; д – коаксіальне світло;

є – точкове коаксіальне світло

Рисунок 3.4 – види освітлення об'єкту

Кожен з наведених типів освітлення розроблений для різних типів потреб або різних типів об'єктів, а саме:

- підсвічування (рисунок 3.4а) – контроль силуету, виявлення подряпин на прозорому об'єкті;
- пряме світло (рис 3.4б) – основний тип контролю;
- кругове світло (рисунок 3.4в) – розсіяне світло для вигнутого об'єкту;
- купольне світло (рисунок 3.4г) – рівномірне освітлення, об'єкт з низьким заломленням променя та блиском на поверхні;
- розсіяне освітлення, блискучий об'єкт;
- для вузького поля зору.

3.3 Висновки до розділу

В даному розділі було проведено аналіз систем технічного зору, розглянуті та порівняні різні технології захвату зображення. Аналізуючи види штучного освітлення компоненту у системах технічного зору було обрано тип купольне світло для розроблюваного макету.

4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ, РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ

4.1 Вибір компонентів технічного зору

У якості виконавчого елемента оптичного контролю було обрано модуль [11] з камерою OV9655 (рисунок 4.1). Даний модуль розроблений за технологією КМОН-матриць, здатний знімати зображення з максимальною розподільною здатністю у 1280x1024 пікселя, має велику кількість навчальних прикладів роботи з ним в інтернеті, та достатньо низьку ціну на ринку серед аналогів.



Рисунок 4.1 – модуль камери OV9655

Після проведеного аналізу типів освітлення об'єктів, було вирішено розробити освітлення типу купольне світло. Освітлення було виготовлене з макетних плат та світлодіодів типорозміру 2512. Живиться від постійної напруги 12В, з роз'єму, виведеному на платі керування макетом. На рисунку 4.2 зображено виготовлене освітлення для системи оптичного контролю.

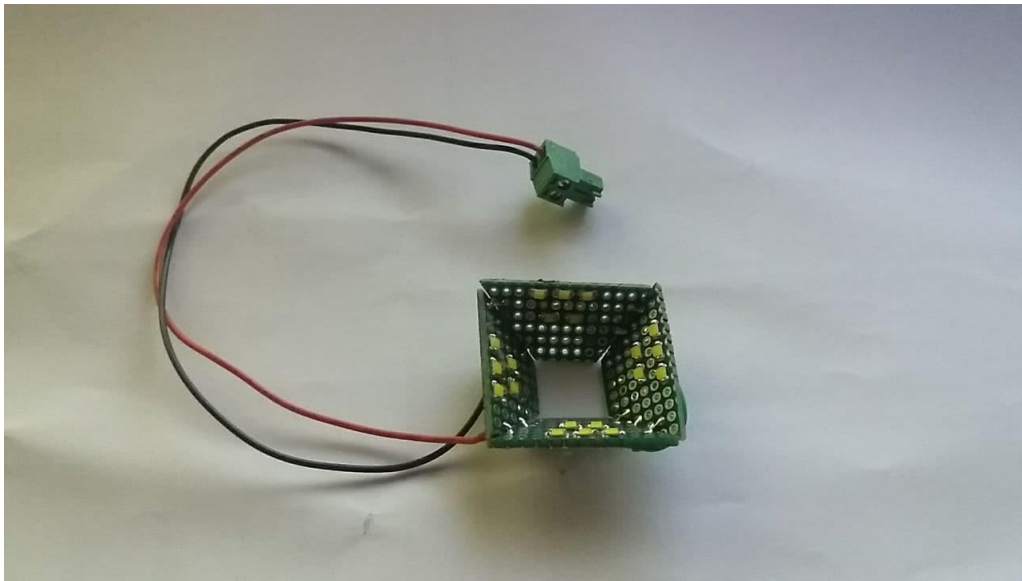


Рисунок 4.2 – плата освітлення для системи оптичного контролю

4.2 Розробка програмного забезпечення

За оптичний контроль кожного компоненту у проєкті відповідають одразу дві виконавчі програми. Перша – програма керуючої плати верстату, яка керує модулем камери за допомогою команд, які посилає по інтерфейсу I2C (Inter-Integrated Circuit), та отримує з неї зображення за допомогою інтерфейсу DCMI (Digital camera interface). Друга – програма для персонального комп'ютера (ПК), написана для операційної системи Windows 7, яка отримує зображення з виконавчої плати, оброблює його, визначає силует мікросхеми та її зміщення відносно центру, яке потім надсилає назад до плати верстату.

4.2.1 Розробка програмного забезпечення для плати керування верстатом

Для досягнення поставленої задачі необхідно доробити керуючу програму верстату, для роботи головної плати з модулем камери та для передачі зображення та отримання команд від ПК.

Обраний модуль камери OV9655 налаштовується та керується за допомогою інтерфейсу I2C.

I2C – послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем, розроблена фірмою Philips на початку 1980-х як проста шина внутрішнього зв'язку для

створення керуючої електроніки. Використовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з материнською платою, вбудовуваними системами та мобільними телефонами.

На рисунку 4.3 зображено налаштування інтерфейсу I2C у проекті верстату.

```

277  /* Configure I2C1 */
278  /* I2C DeInit */
279  I2C_DeInit(I2C1);
280
281  /* Enable the I2C peripheral */
282  I2C_Cmd(I2C1, ENABLE);
283
284  /* Set the I2C structure parameters */
285  I2C_InitStruct.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
286  I2C_InitStruct.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;
287  I2C_InitStruct.I2C_OwnAddress1 = 0xFE;
288  I2C_InitStruct.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
289  I2C_InitStruct.I2C_AcknowledgedAddress = I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
290  I2C_InitStruct.I2C_ClockSpeed = 100000;
291
292  /* Initialize the I2C peripheral */
293  I2C_Init(I2C1, &I2C_InitStruct);
294

```

Рисунок 4.3 – налаштування інтерфейсу I2C

Мікроконтролер STM32f407, на базі якого спроектована керуюча плата верстатом, має вбудований апаратний інтерфейс DCMІ, через який буде отримуватись безпосередньо зображення з камери. Оскільки байти одержуваного зображення поступають у регістри DCMІ з дуже великою швидкістю, аби не втрачати інформацію великою кількості пікселів з зображення було вирішено зберігати байти регістрів інтерфейсу DCMІ за допомогою апаратного контролеру DMA (Direct memory access).

На рисунку 4.4 зображено налаштування інтерфейсу DCMІ та модуля DMA.

```

335  /*** Configures the DCMI to interface with the OV9655 camera module ***/
336  /* Enable DCMI clock */
337  RCC_AHB2PeriphClockCmd(RCC_AHB2Periph_DCMI, ENABLE);
338
339  /* DCMI configuration */
340  DCMI_InitStructure.DCMI_CaptureMode = DCMI_CaptureMode_Continuous; //; DCMI_CaptureMode_SnapShot
341  DCMI_InitStructure.DCMI_SynchroMode = DCMI_SynchroMode_Hardware;
342  DCMI_InitStructure.DCMI_PCKPolarity = DCMI_PCKPolarity_Falling;
343  DCMI_InitStructure.DCMI_VSPolarity = DCMI_VSPolarity_High;
344  DCMI_InitStructure.DCMI_HSPolarity = DCMI_HSPolarity_High;
345  DCMI_InitStructure.DCMI_CaptureRate = DCMI_CaptureRate_All_Frame;
346  DCMI_InitStructure.DCMI_ExtendedDataMode = DCMI_ExtendedDataMode_8b;
347
348  /* Configures the DMA2 to transfer Data from DCMI */
349  /* Enable DMA2 clock */
350  RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_DMA2, ENABLE);
351
352  /* DMA2 Stream1 Configuration */
353  DMA_DeInit(DMA2_Stream1);
354
355  DMA_InitStructure.DMA_Channel = DMA_Channel_1;
356  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr = DCMI_DR_ADDRESS;
357  DMA_InitStructure.DMA_Memory0BaseAddr = FSMC_LCD_ADDRESS;
358  DMA_InitStructure.DMA_DIR = DMA_DIR_PeripheralToMemory;
359  DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 2;
360  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc = DMA_PeripheralInc_Disable;
361  DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Disable;
362  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize = DMA_PeripheralDataSize_Word;
363  DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize = DMA_MemoryDataSize_HalfWord;
364  DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
365  DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
366  DMA_InitStructure.DMA_FIFOMode = DMA_FIFOMode_Enable;
367  DMA_InitStructure.DMA_FIFOThreshold = DMA_FIFOThreshold_Full;
368  DMA_InitStructure.DMA_MemoryBurst = DMA_MemoryBurst_Single;
369  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBurst = DMA_PeripheralBurst_Single;
370
371

```

Рисунок 4.4 – налаштування інтерфейсу DCMI та модуля DMA

Для відправлення зображення на ПК, та отримання від нього команди на зміщення мікросхеми для досягнення більш точного позиціонування компоненту було вирішено налагодити комунікацію між керуючою платою та програмою на комп'ютері за допомогою асинхронного інтерфейсу USART.

На рисунках 4.5 та 4.6 зображено програмне налагодження інтерфейсу USART та зовнішнього переривання від нього, під час отримання інформації з ПК.

```

120  /*подача тактування порту A, та периферії USART_1*/
121  RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);
122  RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_USART1, ENABLE);
123
124  /*ввімкнення альтернативних функцій пінів A9 та A10*/
125  GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource9, GPIO_AF_USART1);
126  GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource10, GPIO_AF_USART1);
127
128  /* налаштування ноги A9 мікроконтролера як вивід TX */
129  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_9;
130  GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
131  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
132  GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
133  GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
134  GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);
135
136  /* налаштування ноги A10 мікроконтролера як вивід RX */
137  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_10;
138  GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
139  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
140  GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);
141
142  USART_InitStructure.USART_BaudRate = 256000; //9600://
143  USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
144  USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
145  USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
146  USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl = USART_HardwareFlowControl_None;
147  USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
148
149  /* ініціалізація USART_1 */
150  USART_Init(USART1, &USART_InitStructure);
151
152  USART_Cmd(USART1, ENABLE);

```

Рисунок 4.5 – налагодження інтерфейсу USART

```

153
154     NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2);
155
156     /* ввімкнення зовнішнього переривання від USART_1 */
157     NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = USART1_IRQn;
158     NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
159     NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0;
160     NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
161     NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
162
163     /* конфігурація переривання від отримання даних на виводі RX */
164     USART_ITConfig(USART1, USART_IT_RXNE, ENABLE);
165
166     NVIC_EnableIRQ(USART1_IRQn);
167
168     __enable_irq ();
169

```

Рисунок 4.6 – налагодження зовнішнього переривання по отриманню даних з виводу RX периферії USART 1

Оскільки дані с камери отримуються апаратно за допомогою DMA, це зовсім не навантажує основну виконавчу програму макету, тому камера працює постійно з початку роботи верстату. Отже головною задачею програми є ввімкнення підсвічування камери, зупинка відеопотоку для захвату окремого зображення з компонентом, відправка його до ПК та отримання та обробка результатів роботи програми на ПК. Даний процес зображено на рисунку 4.7.

```

365     CAM_LED_ON(); // ввімкнення підсвічування камери
366     Delay(50); //
367     CameraStop(); // зупинка відеопотоку камери для захвату зображення
368
369     USART_SendData(USART1, currentPackage); // відправка інформації про корпус компоненту
370     while (USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE) == RESET);
371
372     for(int i = 0; i < 320*240; i++)
373     {
374         data = cameraBuf[i]; // вчитування у змінну двох байтів зображення
375         //відправка байтів зображення до ПК
376         USART_SendData(USART1, data);
377         while (USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE) == RESET);
378         USART_SendData(USART1, data >> 8);
379         while (USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE) == RESET);
380     }
381
382     CAM_LED_OFF(); // вимкнення підсвічування камери
383     CameraStart(); // ввімкнення камери у режимі відеопотоку

```

Рисунок 4.7 – процес захвату та відправки зображення

4.2.2 Розробка програми для ПК

Для написання програми для ПК було обрано середовище розробки Visual Studio Community 2019. Дане середовище є абсолютно безкоштовним, має велику кількість поширених вбудованих бібліотек та можливість покрокового налагодження програми, для зручного та швидкого знаходження помилок під час написання програмного коду.

Оскільки головною задачею програми полягає розпізнавання образу різних типів мікросхем на отриманому зображенні, в основі програми полягає бібліотека OpenCV (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – логотип бібліотеки OpenCV

Дана бібліотека [12] знаходиться у відкритому доступі, доступна для роботи з операційними системами Windows, Linux та MacOS, має велику кількість навчальних відео та підтримує дві мови програмування – C++ та Python.

Виходячи з технічного завдання (ТЗ), програма повинна опитувати COM-порт комп'ютера, трансформувати отримані байти інформації з камери у зображення, формату “.bmp”, визначити на отриманому зображенні контур компоненту та його відхилення від умовного центру, та відправити команду з даними для зміщення на плату керування макетом. На рисунку 4.9 зображений алгоритм основного циклу програми.

```

454 int main() {
455
456     if (!comPortInit() )
457         cout << "Com port didn't initialize" << endl;
458
459     while (true) {
460
461         ReadCOM(); //отримання файлу зображення з плати
462         setCompareTools(); //налаштування інструментів обробки зображення в залежності від корпусу компонента
463         Compare(); //визначення контуру компонента на зображенні
464         sendCommand(); //відправка результату контролю
465     }
466 }
467
468

```

Рисунок 4.9 – алгоритм основного циклу програми

Перш за все для комунікації програми з платою керування макетом [13] було налагоджено роботу СОМ-порту комп'ютера (рисунок 4.10). Цей процес виконує функція comPortInit(). Дуже важливим моментом на цьому етапі є виставлення швидкості передачі даних такою самою, як встановлена швидкість у платі керування макетом, а саме 256000 бод.

```

64 bool comPortInit() {
65
66     LPCTSTR sPortName = L"COM8";
67     hSerial = ::CreateFile(sPortName, GENERIC_READ | GENERIC_WRITE, 0, 0, OPEN_EXISTING, FILE_ATTRIBUTE_NORMAL, 0);
68     if (hSerial == INVALID_HANDLE_VALUE)
69     {
70         if (GetLastError() == ERROR_FILE_NOT_FOUND)
71         {
72             cout << "serial port does not exist.\n";
73         }
74         cout << "some other error occurred.\n";
75         return 0;
76     }
77
78     DCB dcbSerialParams = { 0 };
79     dcbSerialParams.DCBlength = sizeof(dcbSerialParams);
80
81     if (!GetCommState(hSerial, &dcbSerialParams)) {
82
83         cout << "getting state error\n";
84         return 0;
85     }
86
87     dcbSerialParams.BaudRate = CBR_256000;
88     dcbSerialParams.ByteSize = 8;
89     dcbSerialParams.StopBits = ONESTOPBIT;
90     dcbSerialParams.Parity = NOPARITY;
91
92     if (!SetCommState(hSerial, &dcbSerialParams)) {
93
94         cout << "error setting serial port state\n";
95         return 0;
96     }
97
98     return 1;
99 }
100

```

Рисунок 4.10 – налаштування СОМ-порту

На рисунку 4.11 зображений процес отримання байтів зображення з камери до масиву у внутрішній пам'яті програми.

```

void ReadCOM() {
    DWORD iSize;
    uint8_t j = 0;
    uint32_t i = 0;
    uint8_t imageArray[INPUT_IMAGE_SIZE];

    while (j < INSTRUCTION_BUFFER_SIZE) { // отримання інформації про компонент, який розпізнаємо
        ReadFile(hSerial, &packgType, 1, &iSize, 0); // отримуємо 1 байт
        if (iSize > 0) // якщо байт отримано - інкрементуємо змінну j
            j++;
    }

    while (i < INPUT_IMAGE_SIZE) { // отримання сирого масиву байтів зображення
        ReadFile(hSerial, &imageArray[i], 1, &iSize, 0); // отримуємо 1 байт
        if (iSize > 0) // если что-то принято, выводим
        {
            i++;
        }
    }
}

```

Рисунок 4.11 – отримання зображення з плати макету

Далі наведений код збереження зображення у файл test.bmp. Оскільки зображення з камери передається у форматі RGB565, а формат .bmp потребує інформацію про піксель у форматі ARGB було необхідно зробити конвертацію кожного пікселю зображення, що відображено на рисунку 4.12.

```

121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161

```

```

/* ... */
uint16_t temp;
uint32_t tmp = 0;
uint32_t Array[IMAGE_SIZE_X][IMAGE_SIZE_Y];
int k = 0;

for (int i = 0; i < IMAGE_SIZE_X; i++) {
    for (int j = 0; j < IMAGE_SIZE_Y; j++) {
        temp = imageArray[k+1];
        temp = temp << 8;
        temp |= imageArray[k];

        aRGB[0] = RGB565_TO_R(temp);
        aRGB[1] = RGB565_TO_G(temp);
        aRGB[2] = RGB565_TO_B(temp);
        aRGB[3] = 0xFF;

        tmp = (uint32_t) aRGB[3] << 24;
        tmp |= (uint32_t) aRGB[2] << 16;
        tmp |= (uint32_t) aRGB[1] << 8;
        tmp |= (uint32_t) aRGB[0];

        Array[i][j] = tmp;

        k += 2;
    }
}

cv::Mat image = cv::Mat(IMAGE_SIZE_X, IMAGE_SIZE_Y, CV_8UC4, (uint32_t*)Array);
imwrite("temp.bmp", image); // Збереження зображення у файл "temp.bmp"
// ...

```

Рисунок 4.12 – збереження зображення у файл

Перш ніж виявити контур компоненту на зображенні, потрібно його перетворити, аби позбавитися різного виду перешкод, які могли утворитися на

зображені під час його отримання з камери. Серед виконаних перетворень можна виділити наступні:

- `cvtColor()` – конвертація вихідного зображення у зображення чорно-білого формату;
- `GaussianBlur()` – розмиття чорно-білого зображення, для усунення дрібних перешкод;
- `Canny()` – виявлення на розмитому зображенні кутів об'єктів;
- `dilate()` – збільшення масштабу зображення з кутами для уникнення розриву у отриманому контурі з кутів об'єкту.

Після описаних вище перетворень викликається функція `getContours()`, яка визначає з перетвореного зображення контур компоненту, та його кут нахилу. Після чого викликається функція `getPoints()`, яка знаходить центр мас визначеного контуру. Описані перетворення зображені на рисунку 4.13.

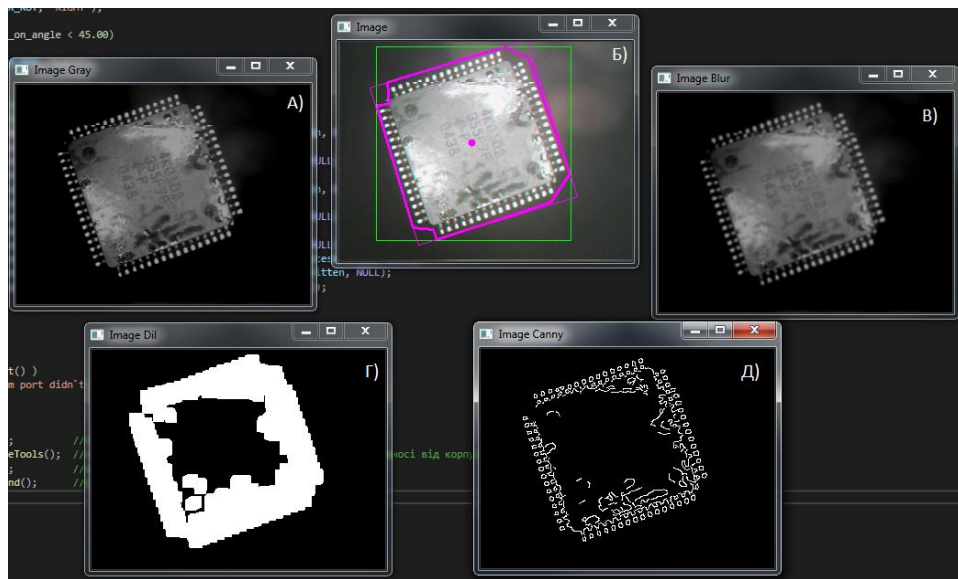
```

384 void Compare(void)
385 {
386     Mat imgGray, imgBlur, imgCanny, imgDil;
387     Mat kernel = getStructuringElement(MORPH_RECT, Size(kernelX, kernelY));
388
389
390     cvtColor(imgMain, imgGray, COLOR_BGR2GRAY); //ковертація зображення у чорно-білий формат
391     imgGray.convertTo(imgGray, -1, 1, -90);
392     GaussianBlur(imgGray, imgBlur, Size(3, 3), 3, 0); //розмиття зображення
393     Canny(imgBlur, imgCanny, 150, 100); //виявлення кутів на зображенні
394     dilate(imgCanny, imgDil, kernel); //продовження знайдених кутів, для заповнення контуру
395
396     getContours(imgDil, imgMain); //визначення контуру на зображенні
397     getPoints(); //визначення його центру мас та кута відхилення
398 }

```

Рисунок 4.13 – процес обробки зображення, виявлення контуру об'єкту, та його кута та координат центру

Також на рисунках 4.14 та 4.15 відображений результат перетворень вихідного зображення під час налагодження програми.



а – конвертація зображення у чорно-білий формат; б – вихідне зображення з виділеним контуром компоненту та його центром мас; в – чорно-біле зображення після розмиття; г – зображення зі збільшеним масштабом виявлених кутів об'єкту; д – виявлення кутів об'єкту

Рисунок 4.14 – результат обробки вихідного зображення

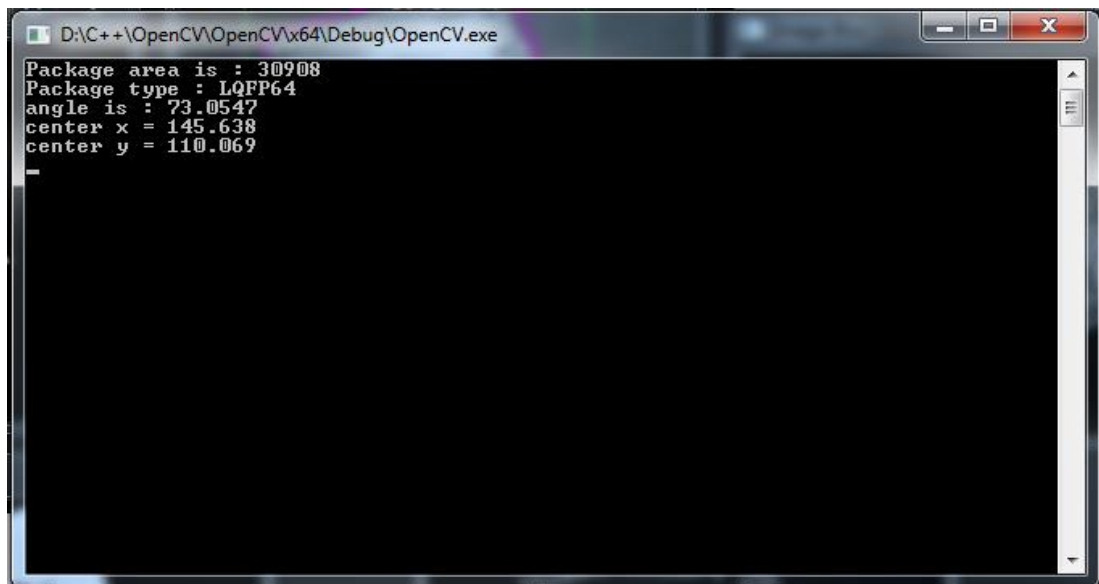


Рисунок 4.15 – отримані дані про положення компоненту

Після процесу виявлення положення компоненту, необхідно вирахувати його майбутнє зміщення та оберт платою керування, та сформувані змінні для відправки їх до мікроконтролера. Даний етап зображений на рисунках 4.16 та 4.17.

```

400 void sendCommand(void)
401 {
402     DWORD dwBytesWritten;
403     char DIR_X[8];
404     char DIR_Y[6];
405     char DIR_ROT[6];
406
407     if (pos_x >= 160.00)
408     {
409         pos_x -= 160.00;
410         strcpy_s(DIR_X, "REVERSE");
411     }
412     else if (pos_x < 160.00)
413     {
414         pos_x = 160.00 - pos_x;
415         strcpy_s(DIR_X, "FORWARD");
416     }
417     if (pos_y >= 120.00)
418     {
419         pos_y -= 120.00;
420         strcpy_s(DIR_Y, "LEFT");
421     }
422     else if (pos_y < 120.00)
423     {
424         pos_y = 120.00 - pos_y;
425         strcpy_s(DIR_Y, "RIGHT");
426     }
427     if (rotate_on_angle >= 45.00)
428     {
429         rotate_on_angle = 90.00 - rotate_on_angle;
430         strcpy_s(DIR_ROT, "RIGHT");
431     }
432     else if (rotate_on_angle < 45.00)
433     {
434         strcpy_s(DIR_ROT, "LEFT");
435     }
436 }

```

Рисунок 4.16 – визначення дистанції та напрямку зміщення компоненту

```

436 //відправка змінних з дистанцією необхідного
437 //зміщення та обертку компоненту
438 WriteFile(hSerial, "delta X: ", sizeof("delta X: "), &dwBytesWritten, NULL);
439 WriteFile(hSerial, &pos_x, sizeof(pos_x), &dwBytesWritten, NULL);
440 WriteFile(hSerial, "DIR X: ", sizeof("DIR X: "), &dwBytesWritten, NULL);
441 WriteFile(hSerial, &DIR_X, sizeof(DIR_X), &dwBytesWritten, NULL);
442 WriteFile(hSerial, "delta Y: ", sizeof("delta Y: "), &dwBytesWritten, NULL);
443 WriteFile(hSerial, &pos_y, sizeof(pos_y), &dwBytesWritten, NULL);
444 WriteFile(hSerial, "DIR Y: ", sizeof("DIR Y: "), &dwBytesWritten, NULL);
445 WriteFile(hSerial, &DIR_Y, sizeof(DIR_Y), &dwBytesWritten, NULL);
446 WriteFile(hSerial, "Angle: ", sizeof("Angle: "), &dwBytesWritten, NULL);
447 WriteFile(hSerial, &rotate_on_angle, sizeof(rotate_on_angle), &dwBytesWritten, NULL);
448 WriteFile(hSerial, "DIR Angle: ", sizeof("DIR Angle: "), &dwBytesWritten, NULL);
449 WriteFile(hSerial, &DIR_ROT, sizeof(DIR_ROT), &dwBytesWritten, NULL);
450 }
451
452

```

Рисунок 4.17 – відправка даних до мікроконтролера

Після відправки даних до мікроконтролеру під час налагодження програми ми можемо спостерігати отриманий результат на рисунку 4.18.

+	Delta_X	0x200011E0 "14.36"
+	DIR_X	0x200011B8 "FORWARD"
+	Delta_Y	0x20001190 "9.93"
+	DIR_Y	0x20001168 "RIGHT"
+	Angle	0x20001140 "16.95"
+	DIR_ROT	0x20001118 "RIGHT"

Рисунок 4.18 – отриманий результат на платі контролю макету

4.3 Аналіз точності системи оптичного зору

В ході проведення експериментальних досліджень розробленої системи технічного зору було проведено ряд експериментів для оцінки впливу типу освітлення зони технічного зору. Експериментальні дослідження проводяться на різних типорозмірах корпусів, освітлення виконується при наступних умовах: одне джерело світла, два джерела світла, кругове освітлення та без використання додаткового освітлення. Експериментальні дослідження проводяться з метою визначення найкращого з можливих варіантів освітлення для підвищення точності визначення елементів.

Для оцінки точності вимірів використовується аналіз математичних очікувань та дисперсія отриманих результатів. Розрахунки для кожного з типу освітлення наведені після таблиці з результатами експериментів з використанням даного типу освітлення.

Дисперсія розподілу отриманих результатів визначається як

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.1)$$

де \bar{x} – аналіз математичних очікувань;

x_i – значення i -го результату експерименту;

n – кількість проведених вимірів.

В свій час аналіз математичних очікувань розраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum(\frac{x}{100})}{n}, \quad (4.2)$$

де x – значення i -го результату експерименту;

n – кількість проведених експериментів.

У таблиці 4.1 наведені результати експериментів без підсвічування

Таблиця 4.1 – Результати експериментів без підсвічування

Корпус компоненти	Загальна кількість замірів	Кількість успішних замірів	Кількість невдалих замірів
LQFP144	100	15	85
LQFP128	100	18	82
LQFP 64	100	11	89
LQFP32	100	8	92
SOIC28	100	10	90
SOIC24	100	15	85
SOIC20	100	4	96
SOIC16	100	9	91
SOIC8	100	8	92
TSOP28	100	14	86
DPAK	100	5	95
SOT23-3	100	13	87
SOT23-5	100	3	97
SOT223	100	8	92
SOT323	100	14	86
TO263-5	100	9	91
MPT3	100	7	93
VSSOP-10	100	6	94
TSSOP-14	100	8	92
QFN48	100	9	91

$$\bar{x} = \frac{\sum(\frac{x}{100})}{n} = \frac{1,94}{20} = 0,097,$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{19} = 0,0016.$$

У таблиці 4.2 наведені результати експериментів з використанням одного джерела світла

Таблиця 4.2 – Результати експериментів з одним джерелом світла

Корпус компоненту	Загальна кількість замірів	Кількість успішних замірів	Кількість невдалих замірів
LQFP144	100	24	76
LQFP128	100	26	74
LQFP 64	100	27	73
LQFP32	100	20	80
SOIC28	100	29	71
SOIC24	100	30	70
SOIC20	100	32	68
SOIC16	100	28	72
SOIC8	100	36	64
TSOP28	100	31	69
DPAK	100	40	60
SOT23-3	100	35	65
SOT23-5	100	37	63
SOT223	100	32	68
SOT323	100	29	71
TO263-5	100	28	72
MPT3	100	25	75
VSSOP-10	100	29	71
TSSOP-14	100	24	76
QFN48	100	30	70

$$\bar{x} = \frac{\sum(\frac{x}{100})}{n} = \frac{5,92}{20} = 0,296,$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{19} = 0,0023 .$$

У таблиці 4.3 наведені результати експериментів з використанням двох джерел світла.

Таблиця 4.3 – Результати експериментів з двома джерелами світла.

Корпус компоненту	Загальна кількість замірів	Кількість успішних замірів	Кількість невдалих замірів
LQFP144	100	45	55
LQFP128	100	48	52
LQFP 64	100	47	53
LQFP32	100	50	50
SOIC28	100	61	39
SOIC24	100	63	37
SOIC20	100	62	38
SOIC16	100	60	40
SOIC8	100	65	35
TSOP28	100	49	51
DPAK	100	64	36
SOT23-3	100	55	45
SOT23-5	100	57	43
SOT223	100	52	48
SOT323	100	53	47
TO263-5	100	50	50
MPT3	100	48	42
VSSOP-10	100	55	45
TSSOP-14	100	58	42
QFN48	100	57	43

$$\bar{x} = \frac{\Sigma(\frac{x}{100})}{n} = \frac{10,99}{20} = 0,5495,$$

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{19} = 0,0038 .$$

У таблиці 4.4 наведені результати експериментів з використанням кругового підсвічування.

Таблиця 4.4 – Результати експериментів з круговим підсвічуванням

Корпус компоненту	Загальна кількість замірів	Кількість успішних замірів	Кількість невдалих замірів
LQFP144	100	85	15
LQFP128	100	87	13
LQFP 64	100	87	13
LQFP32	100	90	10
SOIC28	100	91	9
SOIC24	100	89	11
SOIC20	100	93	7
SOIC16	100	95	5
SOIC8	100	93	7
TSOP28	100	84	16
DPAK	100	98	2
SOT23-3	100	89	11
SOT23-5	100	96	4
SOT223	100	93	7
SOT323	100	89	11
TO263-5	100	92	8
MPT3	100	96	4
VSSOP-10	100	93	7

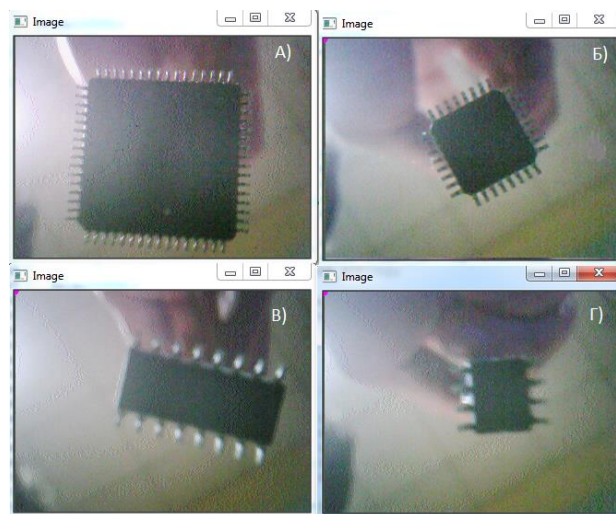
Продовження таблиці 4.4

TSSOP-14	100	94	6
QFN48	100	90	10

$$\bar{x} = \frac{\sum(\frac{x}{100})}{n} = \frac{18,24}{20} = 0,912,$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{19} = 0,0014 .$$

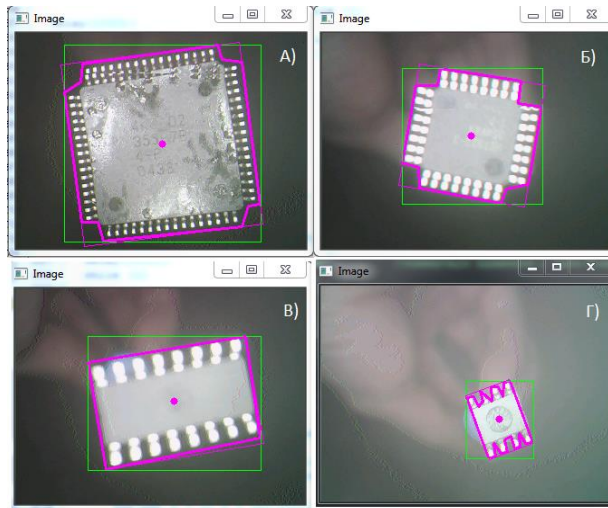
Виходячи з проведених експериментів було вирішено використовувати саме кругове підсвічення об'єкту, оскільки воно дозволяє отримати найбільший відсоток розпізнавання силуету мікросхеми на отриманому зображенні. На рисунках 4.19 та 4.20 показані отримані зображення компонентів з використанням кругового підсвічування та без використання нього.



а – корпус LQFP64; б – корпус LQFP32;

в – корпус SOIC16; г – корпус SOIC8.

Рисунок 4.19 – зображення з камери без використання підсвічення



а – корпус LQFP64; б – корпус LQFP32;
в – корпус SOIC16; г – корпус SOIC8.

Рисунок 4.20 – зображення з камери з використанням кругового підсвічення

З приведених вище рисунків 4.19 та 4.20 можна зробити висновки, що зображення, отримані без використання підсвічення мають гіршу якість фокусування та через вплив довколишнього освітлення корпус елемента стає занадто затемненим для визначення його контуру. Це також виразно спостерігається під час обробки зображення (рисунок 4.21).

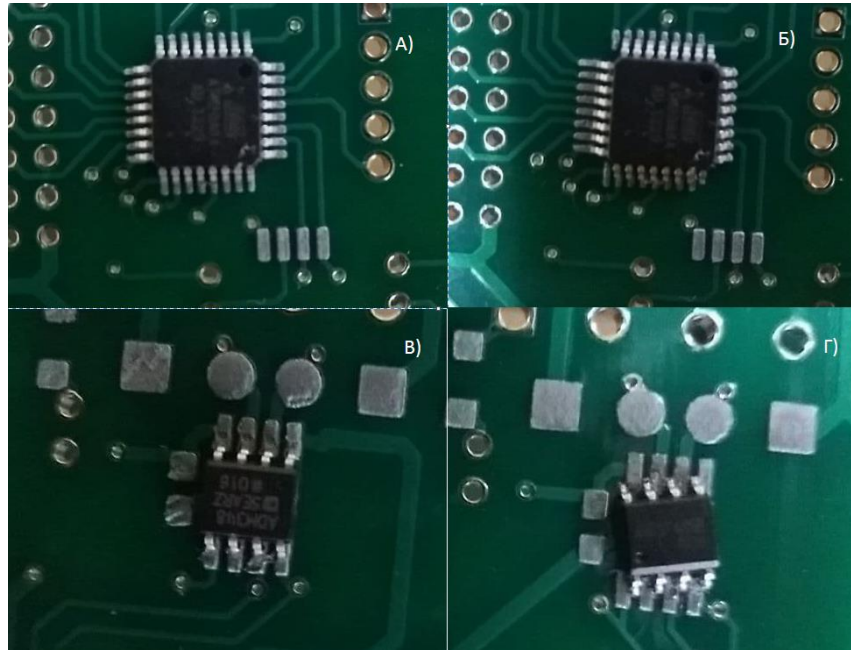


а – зображення після визначення кутів об'єктів;

б – зображення після збільшення визначених кутів об'єктів

Рисунок 4.21 – визначення контуру об'єкта без використання підсвічення

Як можна спостерігати по виділенім червоним еліпсам на рисунках 4.21а та 4.21б, навіть масштабування визначених кутів об'єкту не дозволяє отримати його замкнутий контур без використання підсвічування через занадто затемнені ділянки елемента. На рисунку 4.22 відображені встановленні на друковану плату компоненти з використанням оптичного контролю та без нього.



- а – корпус LQFP32 з використанням оптичного контролю;
- б – корпус SOIC8 без використання оптичного контролю;
- в – корпус LQFP32 з використанням оптичного контролю;
- г – корпус SOIC8 без використання оптичного контролю

Рисунок 4.22 – встановлені макетом компоненти з та без використання оптичного контролю

4.4 Висновки до розділу

В даному розділі були обрані компоненти безпосередньо для технічного зору макету, розроблені дві програми – для плати керування макету та комп'ютера, який виконує аналіз компоненту, що спостерігається. Також був проведений аналіз впливу типу освітлення на якість розпізнавання компоненту, та проведені експериментальні дослідження.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Установка для лиття та її автоматична система управління розроблялася у прибраному лабораторному приміщенні, з площею $\approx 43 \text{ м}^2$, об'ємом $\approx 130 \text{ м}^3$. Приміщення має двері, великі вікна, та штучне освітлення, якого достатньо для нормальних умов роботи. У приміщенні є 9 розеток 220 В та 2 розетки 380 В. Також дотримані норми щодо пожежної безпеки, приміщення обладнане вогнегасником, пожежною ковдрою та пісоком.

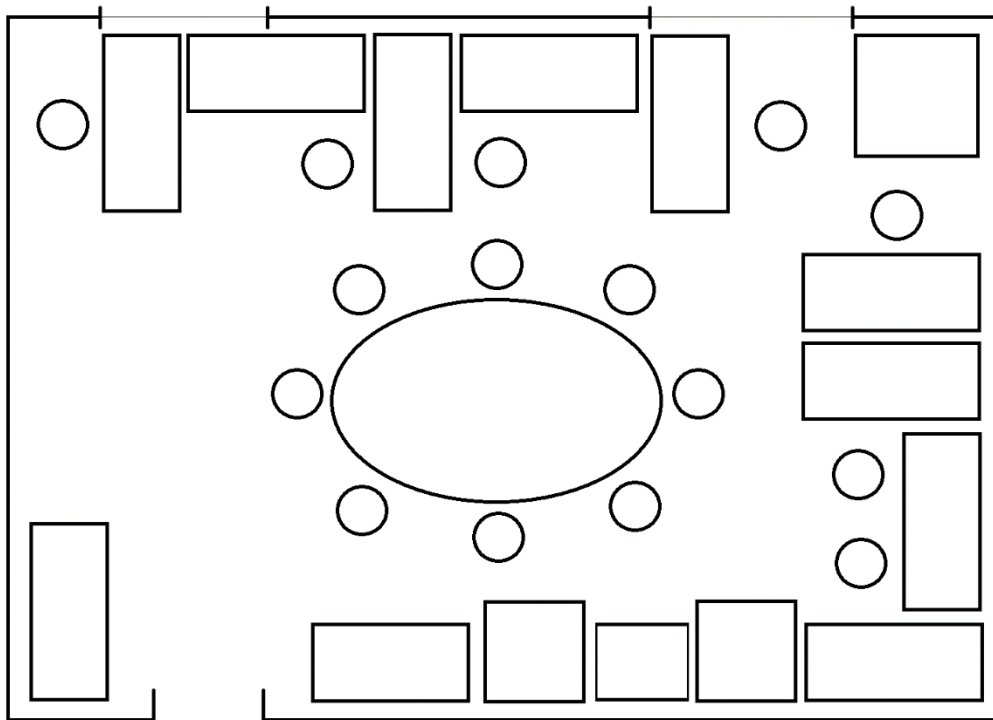


Рисунок 5.1 – Схема лабораторного приміщення

Розрахуємо параметри вентиляції, які є необхідними для приведеного приміщення. Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 опалення, вентиляція та кондиціонування для механічної майстерні, необхідна швидкість повітрообміну складає 3-5 $\text{м}^3/\text{ч}$. Використаємо формулу для розрахунку мінімально необхідного повітрообміну для механічної майстерні, взявши коефіцієнт 3, об'єм приміщення 130 м^3 .

$$L = n \cdot V, \quad (5.1)$$

де L – необхідний повітрообмін в приміщенні;

n – кратність повітрообміну;

V – об'єм приміщення.

Тоді отримаємо:

$$L = 130 \cdot 3 = 390 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для людини, яка постійно перебуває в приміщенні достатній норматив – $60 \text{ м}^3/\text{ч}$, тобто у лабораторії постійно можуть перебувати 6 чоловік.

У таблиці 5.1 наведено оцінку факторів виробничого середовища та факторів трудового процесу.

Таблиця 5.1 - Оцінка факторів виробничої середовища та трудового процесу

Фактори виробничого середовища і трудового процесу	значення фактору (ГДК, ПДУ)		3 клас – небезпечні та шкідливі умови праці			Тривалість дії фактору, в% за зміну
	Норма	Факт	1 ст	2 в	3 в	
1	2	3	4	5	6	7
1. Освітленість: природне, %	> 1,2	1,5				87,5
штучне, Лк	300-500	335				87,5
2. Шум, дБ	50	50				87,5
3. Мікроклімат: – Температура повітря, °С	23 - 25	26	+			87,5
- Швидкість руху повітря, м/с	<0,1	0,1				87,5
- Відносна вологість,%	40-60	50				87,5
4. Неіонізуючі випромінювання: – Радіочастотного діапазону 6 Гц – 2 кГц, В/м	10	9				
– Радіочастотного діапазону 2 кГц – 400 кГц, В/м	1	1				
5. Рентгенівське випромінювання, мкР/год	100	14				87,5

Продовження таблиці 5.1

6. Атмосферний тиск, мм рт.ст.	760 ± 30	763				100
7. Тяжкість трудового процесу: – Дрібні стереотипні рухи кистей і пальців рук (кількість за зміну)	До 40000	35000				
– Робоча поза (перебування в похилому положенні протягом зміни)	Періодичне знаходження в незручній позі і / або у фіксованій позі до 25% часу зміни, знаходження в позі «стоячи» до 60% часу зміни	Періодичне перебування в незручній позі з незручним розташуванням кінцівок і фіксованій позі – стоячи				50
8. Напруженість трудового процесу – Інтелектуальні навантаження: 1) зміст роботи	Рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією	Рішення складних завдань з вибором по відомим алгоритмом	+			10
2) розподіл функцій за ступенем складності завдання	Обробка, виконання завдання і його перевірка	Обробка, виконання завдання і його перевірка				87,5
3) характер виконуваної роботи	Робота за встановленим графіком з можливістю його коригування	Робота за встановленим графіком з можливістю його коригування				50

Продовження таблиці 5.1

– Навантаження на зоровий аналізатор: 1) розмір об'єкта відмінності в мм/% часу спостереження	5,0– 1,1 мм більше 50 % часу; 1,0 0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25 % часу	5,0– 1,1 мм більше 50 % часу;	+			50
2) спостереження за екранами ВДТ, годин в зміну	2 – 3	5	+			62,5
– Навантаження на слуховий аналізатор (сприйняття мови або сигналів),%	Чіткість слів або сигналів 90–70%	90 %				90
9. Режим роботи – Фактична тривалість робочої зміни, годин	8–9	8				100
– Змінність роботи	Двозмінна робота (без нічної зміни)	Перша зміна				87,5
– Наявність регламентованих перерв і їх тривалість,% часу зміни	Перерви регламентовані, недостатньої тривалості: 3–7% від часу зміни	12,5 % – перерва				12,5
Загальна кількість факторів	22					

ВИСНОВКИ

В ході виконання атестаційної роботи згідно технічного завдання було розроблено систему оптичного контролю для автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату.

Головною метою роботи є розробка діючого макету, який здатен в автоматичному режимі аналізувати вихідний файл програми, та за проведеним аналізом розташовувати елементи на друковану плату. Було проаналізовано літературу за темою роботи. Був проведений аналіз типів систем технічного зору, проаналізовано види захоплення зображення, та види підсвічування об'єкту, що використовуються на різних типах систем оптичного контролю.

Були проведені розрахунки кількості мікрокроків двигунів на один міліметр проходу виконавчого пристрою по трьом осям, та на основі цих розрахунків були обрані крокові двигуни Nema 17 та Nema 23.

Було розроблено підсвічування для системи оптичного контролю, та у якості пристрою для захвата зображення було обрано модуль камери OV9655.

Було розроблено програмне забезпечення для плати керування головної плати керування макету та для персонального комп'ютера. Для розробки цих програм використовувалась середовище програмування Keil uVision 4 та Microsoft Visual Studio Community 2019.

Після збірки макету був проведений аналіз типу освітлення на якість розпізнавання елементів та обрано тип підсвічування для нього.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
2. Методичні вказівки з виконання та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка освітньої програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є. А. Разумов-Фризюк. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 40 с.
3. Основи виробництва електронних апаратів [Текст] / Невлюдов І. Ш. – Харків: ХНУРЕ, 2005. – С. 7 – 16.
4. Технология сборки, монтажа и контроля в производстве электронной аппаратуры[Текст] учеб. / В.Л. Ланин. - Минск: Инпредо, 1997. - 64 с.
5. Монтаж друкованих плат [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://pcbdesigner.ru/montazh-pechatnykh-plat/>); дата використання [10.12.2021].
6. Автомати встановлення SMD компонентів [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://www.smt-prof.com.ua/>); дата використання [10.12.2021].
7. How to select a Pick and Place machine [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://www.ddmnovastar.com/smt-quick-tips-selecting-a-pick-and-place-machine>); дата використання [10.12.2021].
8. The latest offerings in low and medium volume Pick-and-Place machines [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://www.electronicshobby.com/uncategorized/the-latest-offerings-in-low-and-medium-volume-pick-and-place-machines/>); дата використання [10.12.2021].
9. Universal instruments. FuzionOF [Електронний ресурс]; режим доступу (<http://www.uic.com/solutions/surface-mount/fuzion-platform/>); дата використання [10.12.2021].

10. Autonics. Введение в систему технического зрения [Електронний ресурс]; режим доступу (https://kipia.ru/upload/iblock/d78/Auton_sist_tech_zrn.pdf); дата використання [10.12.2021].

11. Waveshare. OV9655 datasheet [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://www.waveshare.com/w/upload/0/0a/OV9655.pdf>); дата використання [10.12.2021].

12. Introduction to OpenCV [Електронний ресурс]; режим доступу (https://docs.opencv.org/4.x/df/d65/tutorial_table_of_content_introduction.html); дата використання [10.12.2021].

13. Рогачов А.С. Розробка автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – Вип. 2. – 185 с. С. -75-79

14. Невлюдов І. Ш., Разумов-Фризюк Є. А. / Regression analysis of the influence of 3D printing on product quality / І. Ш. Невлюдов, Разумов-Фризюк Є. А. // Theoretical and scientific bases of development of scientific thought : матеріали V-ої Міжнародної наукової конференції за новими тенденціями у науці та освіті. – Рим, Італія 16-19 лютого 2021 р. – 606 с.