

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації  
та мехатроніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Розроблення автоматизованої системи контролю виконання монтажних  
операцій на виробництві  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи ІТМРТм-21-1

Пащенко Євгеній Валерійович  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 172 Телекомунікації та  
радіотехніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інтелектуальні технології  
мікросистемної радіоелектронної техніки  
(повна назва освітньої програми)

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

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш  
(прізвище, ініціали)

2022 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет \_\_\_\_\_ АКТ \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ КІТАМ \_\_\_\_\_  
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)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Пащенко Євгенію Валерійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій на виробництві

Затверджена наказом по університету від \_\_\_\_\_ 24.10.2022 № 1391Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 13.12.2022 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

В якості об'єкту керування виступає виробнича лінія збирального цеху підприємства

Програмна бібліотека – OpenCV

Спосіб контролю правильності монтажу – візуальний з використанням системи комп'ютерного зору

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Перелік витань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ. Аналіз предметної області. Синтез математичної моделі системи керування технологічним обладнанням для контролю виконання монтажних операцій. Аналіз методів обробки зображень, що використовуються для системи комп'ютерного зору. Експериментальні дослідження. Охорона праці. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі 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	08.11.2022	Виконано
2	Аналіз принципів застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві	10.11.2022	Виконано
3	Синтез математичної моделі системи керування технологічним обладнанням для контролю виконання монтажних операцій	15.11.2022	Виконано
4	Проведення експериментальних досліджень	20.11.2022	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2022	Виконано
6	Подання роботи на перевірку інтернет сервісу Unichesk	8.12.2022	
7	Подання роботи на рецензію	9.12.2022	
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	13.12.2022	
9	Подання атестаційної роботи до ЕК	13.12.2022	

Дата видачі завдання 08.11.2022

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Пащенко Є.В.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. каф. КІТАМ Новоселов С. П.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 2 табл., 39 рис., 3 дод., 15 джерел.

OPENCV, C#, ПК, СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ, КОНТРОЛЬ ПРАВИЛЬНОСТІ МОНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ, БЛОК КЕРУВАННЯ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ДРАЙВЕР, ПОХИБКА.

Об'єкт дослідження – система контролю якості виконання монтажних операцій.

Предмет дослідження – методи визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі з використанням системи комп'ютерного зору.

Мета роботи – вибір методу автоматизованого визначення похибки розташування компонентів на монтажній основі після виконання монтажної операції.

Методи дослідження – математичний аналіз, синтез потокових графів кінцевого автомату, програмування з використанням мов C++ та C#, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, оцінка розкиду похибки.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз предметної області відповідно до теми атестаційної роботи магістра. Описані принципи застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві. Проведено аналіз методів оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт. Розроблено схему роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій. Виконано синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи. Проведено експериментальні дослідження.

## ABSTRACT

Explanatory note: 92 pp., 2 tables, 39 figures, 3 appendices, 15 sources.

OPENCV, C#, PC, COMPUTER VISION SYSTEM, CHECKING THE CORRECTNESS OF ASSEMBLY OPERATIONS, CONTROL UNIT, PRINTED BOARD, DRIVER, ERROR.

The object of research is the system of quality control of assembly operations.

The subject of the research is methods of determining the correct location of components on the mounting base using a computer vision system.

The purpose of the work is to choose a method of automated determination of the error in the location of components on the assembly base after the assembly operation.

Research methods – mathematical analysis, synthesis of state machine flow graphs, programming using C++ and C# languages, mathematical expectation, root mean square deviation, estimation of error spread.

In the qualification paper, an analysis of the subject area was carried out in accordance with the topic of the master's attestation work. The principles of using control tools for assembly and assembly operations in production are described. An analysis of methods for assessing the accuracy of component installation during assembly work was carried out. The scheme of operation of the automated system for monitoring the execution of assembly operations has been developed. The synthesis of the mathematical model of the proposed automated system was performed. Experimental studies have been conducted.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, символів і термінів.....	8
Вступ .....	9
1 Аналіз предметної області .....	12
1.1 Аналіз принципів застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві .....	12
1.2 Аналіз методів оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт .....	16
1.3 Метод визначення точності технологічного обладнання для автоматизованого встановлення елементів.....	27
1.4 Попередні висновки.....	32
2 Синтез математичної моделі системи керування технологічним обладнанням для контролю виконання монтажних операцій .....	34
2.1 Ескізне проектування автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій на виробництві.....	34
2.2 Синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи .....	35
2.3 Висновки по другому розділу.....	41
3 Розробка методу визначення положення компонентів на монтажній основі .....	43
3.1 Розробка алгоритму визначення правильності виконання монтажних операцій .....	43
3.2 Вибір методу визначення відповідності розташування компонентів шаблону .....	47
3.3 Висновки до третього розділу .....	51
4 Експериментальні дослідження .....	52
4.1 Планування експерименту .....	52
4.2 Розробка структури бази даних.....	55

4.3	Опис алгоритму роботи та інтерфейсу програми для виконання експериментальних досліджень .....	65
4.4	Опис реалізації розробленого методу контролю правильності монтажних операцій .....	71
4.5	Висновки по четвертому розділу .....	79
5	Аналіз результатів експерименту .....	80
5.1	Аналіз отриманих результатів .....	80
5.2	Охорона праці .....	85
5.3	Висновки до п'ятого розділу .....	88
	Висновки .....	89
	Перелік джерел посилань .....	91
	Додаток А Текст програми .....	93
	Додаток Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентації .....	121

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ

ДП – друкована плата;

ДСТУ – державний стандарт України;

МПА – мікропрограмний автомат;

ПК – персональний комп'ютер;

ПУ – пульт управління;

OpenCV – open source computer vision (комп'ютерний зір з відкритим кодом);

SMD – surface mount technology.

## ВСТУП

Системи зору тепер вважаються невід'ємною частиною багатьох промислових процесів, тому що вони можуть пропонувати швидкі, точно відтворені можливості контролю.

Система комп'ютерного зору дозволяє роботам «бачити» об'єкт і обчислити його  $X$  та  $Y$ -позиції. Останнім часом роботи стали застосовуватися з можливістю дво- і трьох-бачення. Таким чином, ним стала доступна і третя координата, як правило, висота об'єкта. Список систем датчиків зображень, програмних пакетів і діапазон інтелектуальних камер постійно зростає, тому для будь-якого додатка існує технічне зір у системах управління роботами. З появою недорогих багатоядерних процесорів система розширила свої горизонти.

Впровадження автоматизованих систем контролю якості продукції що виробляється виробничим підприємством є досить актуальною задачею. Для цього застосовуються різні додаткові програмні та апаратні засоби. Наприклад, дуже популярною наразі є використання системи комп'ютерного зору для виконання задач контролю монтажних операцій.

Під якістю виробництва розуміють ступінь відповідності виготовленого виробу заданим розмірам, формі, механічним, фізичним та іншим характеристикам, які з призначення цього виробу. Точність виконання операції відрізняється від точності всього процесу. Застосування операцій контролю на кожній стадії виробництва підвищує якість виробництва та знижує розхід матеріалів і тим самим дозволяє знизити вартість кінцевої продукції.

Об'єктом дослідження в даній роботі є система контролю якості виконання монтажних операцій.

Предмет дослідження – методи визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі з використанням системи комп'ютерного зору.

Мета роботи – вибір методу автоматизованого визначення похибки розташування компонентів на монтажній основі після виконання монтажної операції.

Методи дослідження – математичний аналіз, синтез потокових графів кінцевого автомату, програмування з використанням мов C++ та C#, математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, оцінка розкиду похибки.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити принципи застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві;
- проаналізувати методи оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт;
- виконати ескізне проектування автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій на виробництві;
- виконати синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи
- розробити тестову програму для контролю правильності виконання монтажних операцій та виконати експериментальні дослідження.

Пояснювальна записка атестаційної роботи виконана з використанням опублікованих автором тез доповіді [1] відповідно до теми атестаційної роботи, згідно державного стандарту України (ДСТУ) 3008-15 [2], та керуючись навчальним посібником для дипломного проекту [3] та методичними вказівками з розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації 172 Телекомунікації та радіотехніка освітні програми: Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки [4].

Результати роботи знайшли відображення в науковій роботі «Методи ідентифікації виробів за їх візуальними ознаками» та представлені на всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт «Інженерія вбудованих систем».

Також результати роботи опубліковано в тезах доповідей:

– 25-го Міжнародного молодіжного форуму Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті, збірник матеріалів форуму, том 2.

– III International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs MC&FPGA-2021.

ї

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз принципів застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві

Відхилення від технічних вимог будь-якого параметра електронного апарата може порушити його роботу. У свою чергу працездатність пристроїв залежить від відповідності технічним вимогам блоків, вузлів і деталей, що входять до них. Тому контрольні операції мають велике значення для забезпечення якості виробів.

Контроль параметрів електронних засобів здійснюють на всіх етапах їхнього проектування і виробництва. Контролюють геометричні розміри, наявність напруги, величину струмів, спостерігають осцилограми і порівнюють їх з необхідними та ін. Контролюють правильність виконання окремих операцій виготовлення деталей, складання і монтажу пристроїв.

Об'єктом контролю називають технічні засоби, інформацію про технічний стан яких необхідно мати. Контролем називають процес отримання й обробки інформації, яка оцінює відповідність вибору технічним вимогам.

Контроль, у найширшому розумінні цього поняття, класифікують за рядом ознак.

За видом розв'язуваної задачі:

– контроль функціонування, тобто виконання виробом своїх функцій без кількісної оцінки. Так, перевіряють наявність зображення і звуку при прийомі телевізійних передач, не змінюючи параметрів, що характеризують якість прийому. Перевірку функціонування застосовують при підготуванні виробу до початку роботи і при пошуку несправностей;

– контроль працездатності, при якому перевіряють відповідність допуску основних параметрів виробу;

– контроль надійності, при якому перевіряють стійкість роботи виробу під впливом різних зовнішніх факторів і з часом.

За видом оцінки результатів контролю:

– допусковий контроль, метою якого є відбраковування непридатних виробів за принципом (придатний – непридатний);

– кількісний контроль, контроль з реєстрацією величин вимірюваних параметрів чи їхніх відхилень від номіналу.

За використанням результатів контролю:

– пасивний контроль, при якому результати контролю не використовуються для аналізу технологічного процесу виробництва. Для пасивного контролю досить використовувати допускову оцінку результатів контролю;

– активний контроль, при якому результати контролю обробляються і результати математичної обробки використовуються для впливу на технологічний процес виробництва з метою попередження браку. Активний контроль вимагає кількісної оцінки результатів контролю.

За обсягом контрольних робіт :

– вибірковий контроль, коли перевірці підлягає тільки визначена частина партії виробі-вибірка;

– суцільний контроль, коли перевірці підлягає кожен виріб.

За ступенем механізації:

– ручний контроль;

– напівавтоматичний контроль (з частковою участю людини );

– автоматичний контроль.

За місцем у технологічному процесі:

– вхідний контроль вихідних матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів. Організуються на складах матеріалів і комплектуючих виробів чи спеціальних лабораторіях;

- поопераційний контроль, контроль параметрів виробів по ходу технологічного процесу їхнього виготовлення. Дозволяє вчасно виявляти помилки робітників, збої устаткування, спрацьовування інструментів та ін.;

- вихідний контроль, що передбачає контроль вихідних параметрів виробу відповідно до технічних умов.

Організація контролю при виробництві електронних засобів переслідує дві мети: вилучення браку і попередження його.

Особливо актуальним і відповідальним є контроль в автоматизованому виробництві, в якому вся сукупність технологій і технічних засобів, пов'язаних інформаційними потоками, складає систему автоматизованого контролю (САК).

В автоматизованому виробництві САК має забезпечувати не тільки отримання заданої якості продукції, але і безвідмовний хід виробничого процесу.

У комплекс задач контролю автоматизованих виробництв входять також контроль за забезпеченням безперебійних потоків виробів, інструментів, пристосувань і вимірювальних пристроїв, перевірка стану інформаційних зв'язків усередині комплексу і між технологічними комплексами, транспортних систем, систем керування виробничим процесом.

Система автоматизованого контролю гнучкого автоматизованого виробництв вирішує такі задачі:

- отримання і подання інформації про якісні, кількісні, просторові і часові параметри продукції в процесі виготовлення;

- отримання і подання інформації про технологічні режими, параметри технологічного середовища, транспортні і робочі параметри тех. процесу й оснащення;

- порівняння фактичних значень параметрів із заданими;

- вироблення результату контролю й прийняття рішення про форму відгуку на результат;

- передача інформації про розузгодження в систему керування відповідного рівня;

- отримання і подання інформації про функції;

Якщо об'єктом контролю є деякий електронний пристрій, то всі параметри, контролюємі автоматизованими засобами, можна розділити на такі групи:

- параметри, виражені електричними величинами і не потребуєчі додаткових перетворень. До них відносяться: напруга постійного і змінного струму, сила струму, амплітуди струму і напруги, частота проходження імпульсів, часові інтервали, опори, ємності й індуктивності елементів пристроїв та ін;

- параметри, виражені електричними величинами, що потребуєчі додаткових перетворень, і параметри, вимірювані непрямим шляхом. До них відносяться: напруга струму високої частоти, дуже малі і дуже великі струми, вихідна потужність радіопристроїв, коефіцієнти шуму і модуляції та ін.;

- параметри, виражені неелектричними величинами, що потребуєчі попереднього перетворення. До них відносяться: кутові і лінійні величини, кількість, температура, тиск, кількість обертів та ін.;

- параметри, оцінювальні візуально. Існують певні параметри, автоматичний контроль яких є важким чи недоцільним. До них відносяться в основному параметри, оцінювані зовнішнім оглядом за допомогою органів чуттів людини, наприклад, дизайн об'єкта, зручність обслуговування та ін.

Особливе місце в технології контролю приділяється вхідному контролю, якість виконання якого значною мірою впливає на весь хід технологічного процесу виготовлення виробів.

Вхідний контроль у складальному процесі проводиться з метою перевірки на відповідальність ТУ комплектуючих елементів і вузлів пристрою, відбраковування виробів з дефектами і виявлення прихованих дефектів чи потенційно ненадійних елементів.

## 1.2 Аналіз методів оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт

Якість кінцевого виробу багато в чому залежить від правильного виконання операції встановлення компонентів на друковані плати (ДП). Компоненти, що монтуються на поверхню ДП, при оплавленні паяльної пасти під дією сил поверхневого натягу прагнуть зайняти правильне положення, що стало одним з аргументів на користь технології поверхневого монтажу для серійного та масового виробництва, де потрібен високий рівень автоматизації.

Однак при монтажі апаратури підвищеної надійності, такої як, наприклад, військова, медична, бортова електроніка, такий важко контрольований процес, як самовирівнювання компонентів, не повинен бути визначальним у досягненні заданого рівня якості апаратури, що виготовляється. Крім того, з переходом на безсвинцеву технологію стали застосовувати припої, які мають властивість вирівнювання компонентів значно меншою мірою, ніж традиційні олов'яно-свинцеві сплави. І, нарешті, мікромініатюризація виробів, що продовжується, призводить до необхідності застосування компонентів настільки малих розмірів і з таким частим розташуванням виводів, що зміщення компонента на кілька десятків мікрометрів може призводити до браку.

Тому одним із перших параметрів, на які звертають увагу сучасні виробники електроніки при виборі технології встановлення компонентів на поверхню друкованих, або монтажних плат, є точність.

Під точністю виробництва розуміють ступінь відповідності виготовленого виробу заданим розмірам, формі, механічним, фізичним та іншим характеристикам, які з призначення цього виробу. Точність виконання операції відрізняється від точності всього процесу. Наприклад, у системі контролю якості поверхневого монтажу (SMT) завдяки самовирівнюванню

компонентів, допустима точність установки може бути нижчою за задану точність процесу складання.

Точність складальної операції характеризується відхиленням положення встановлених виробів від заданих (номінальних) положень, які називають похибкою установки. Діапазон, утворений максимальними відхиленнями, що не призводять до браку в кінцевому виробі, називається полем допуску.

Під точністю обладнання (зокрема автоматів установки компонентів) розуміють практичну здатність цього обладнання забезпечити задану точність виконання операції у певних виробничих умовах і за досить малого впливу факторів, не залежить від цього устаткування. Іншими словами, точність автомата не враховує фактори, пов'язані з самим автоматом, наприклад, точність виготовлення ДП та електронних компонентів (ЕК).

Реальне становище будь-якого компонента завжди дещо відрізняється від номінального. При цьому зсув компонента може призводити до браку (якщо, наприклад, це викликає коротке замикання з сусіднім компонентом або відсутність контакту з майданчиком на платі), а може не впливати на якість виробу. В ідеалі, обладнання має забезпечувати встановлення всіх компонентів зі зміщенням у межах поля допуску, тобто. відхилення положення компонента від номінального має перевищувати деякого максимального значення.

На практиці завжди існує ймовірність, що компонент буде встановлений поза допуском, що призведе до появи браку. Частково цей брак може бути усунений у процесі контролю та виробничих випробувань, однак ці заходи підвищують вартість виробництва, і, крім того, на етапі контролю також існує ймовірність пропуску дефекту.

Оскільки, як правило, електронні пристрої містять досить велику кількість компонентів, а автоматична установка застосовується переважно в серійному та масовому виробництві, то ймовірність установки компонента поза допуском повинна бути досить малою. З іншого боку, надто жорсткі

вимоги призводять до необґрунтованого подорожчання обладнання та неадекватних заходів щодо забезпечення якості.

Тому при розробці системи якості виробництва в залежності від вимог до кінцевого виробу і планованих заходів з контролю та усунення шлюбу, що виникає, завжди приймають до уваги ймовірнісний допуск, який задається при певній ймовірності установки компонента зі зміщенням не більше заданого.

Як відомо, якщо на деякий процес впливає велика кількість незалежних рівноправних випадкових факторів, розподілених рівномірно, то сам процес підпорядковується закону розподілу Гауса, або нормальному закону розподілу:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (1.1)$$

В даному випадку  $x$  – зміщення компонента по кожній окремо взятій осі  $X$  або  $Y$  або відхилення по куту повороту  $\theta$  навколо осі  $Z$ . Імовірність потрапляння випадкової величини  $x$  в заданий діапазон  $(-\delta x, +\delta x)$  дорівнює інтегралу  $f(x)$  по даному діапазону (рис. 1.1):

$$P(\delta x^- < x < \delta x^+) = \int_{-\delta x}^{+\delta x} f(x) dx. \quad (1.2)$$

Ця ймовірність визначена двома величинами: математичним очікуванням  $\mu$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ . Тому замість ймовірності встановлення компонента в задане поле допуску можна вказати ці два параметри. Наприклад, параметри  $\mu = 0$  і  $\sigma = 0,05$  мм означають, що ймовірність влучення величини в область з відхиленням не більше  $\pm 0,05$  мм становить приблизно 0,683, тобто, 683 компоненти з тисячі будуть встановлені зі зміщенням не більше 0,05 мм обидві сторони по одній з осей (рис. 1.1).

Систематична та випадкова похибки. Похибка установки, як і будь-яка похибка, складається із систематичної та випадкової.

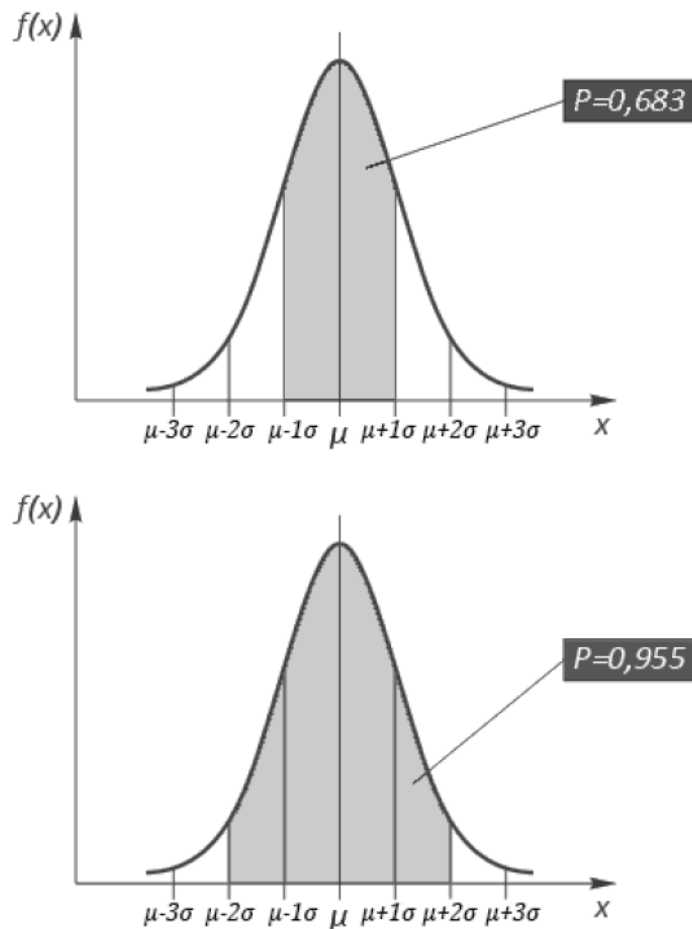


Рисунок 1.1 – Функція густини ймовірності для випадкової величини, розподіленої за нормальним законом

Систематична складова похибки виявляється у зміщенні положення встановленого компонента від номінального на постійну величину, тобто. під впливом систематичної похибки всі компоненти будуть зміщені однаково.

До систематичних похибок слід віднести ті з них, які пов'язані з точністю виготовлення, складання та налагодження даного конкретного автомата – деталей його складальних головок, приводів, пристрої фіксації плати, значень параметрів настроювання та ін. Відхилення цих величин від номінальних значень може викликати неточне позиціонування складальних головок, усунення та/або перекіс друкованої плати, усунення початку системи координат автомата і тощо.

Випадкова складова виявляється у зміщенні кожного окремого компонента різну величину.

Випадкові помилки виникають через похибки виготовлення складальних компонентів – ЕК та ДП, впливу навколишнього середовища, насамперед, температури та освітленості, живлячої напруги та створюваного вакууму, точності алгоритмів розпізнавання образів ЕК та реперних знаків на ДП, що вносять корекцію у положення захопленого складальною голівкою ЕК та зафіксованої плати, людського фактору (навичок та дій оператора) тощо.

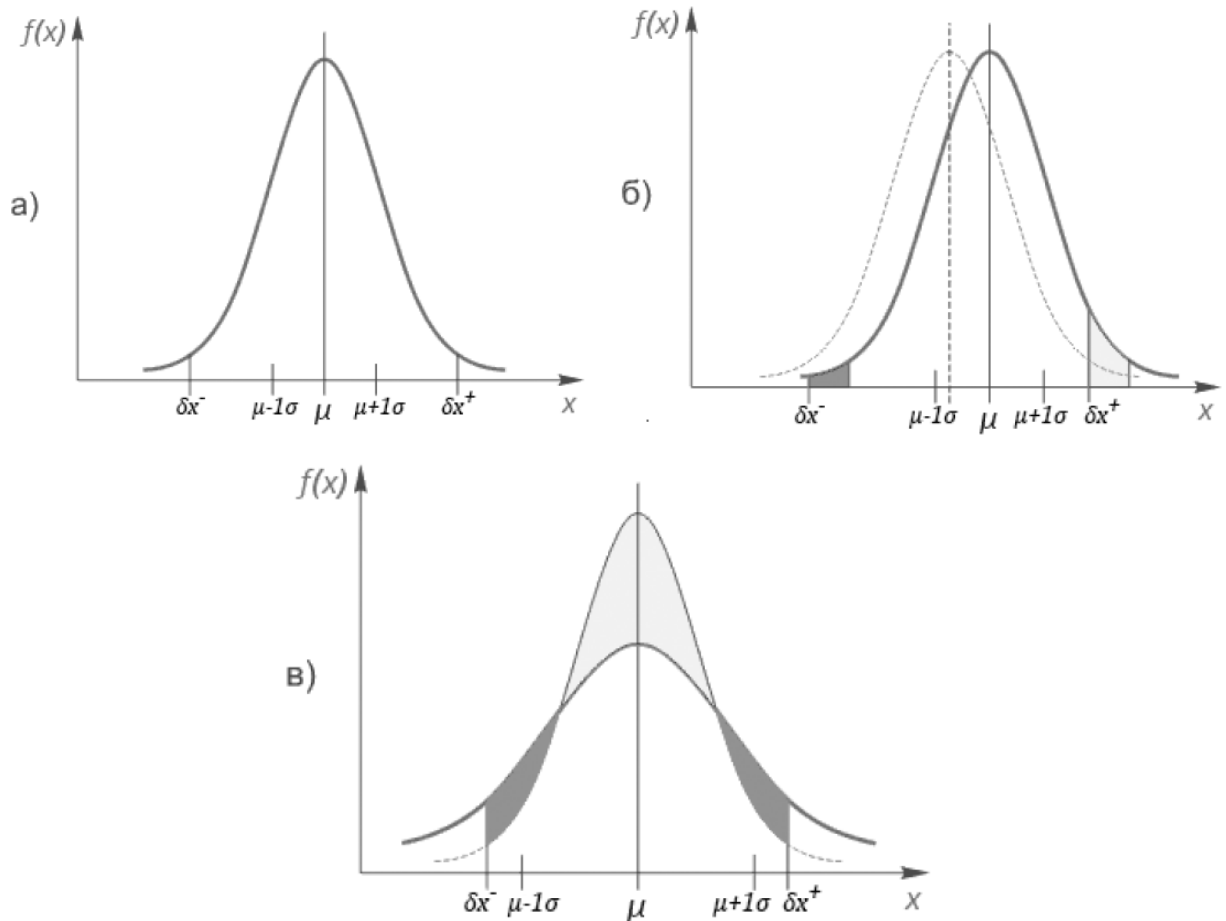
Необхідно відзначити, що як систематичні, так і випадкові похибки можуть бути викликані, з одного боку, особливостями автомата, а інший – факторами, що впливають, не відносяться до самого автомата. Далі розглядатимемо лише точність обладнання, оскільки інші фактори є об'єктом системи менеджменту якості підприємства, що виходить за межі даної допомоги. Іншими словами, надалі вважатимемо, що вплив факторів, що не визначаються обладнанням, зведено до мінімуму.

Насправді великого значення немає, які саме чинники викликають систематичну похибку автомата. Важливо, що їхня сукупна дія призводить до постійного зміщення, яке найчастіше може бути компенсовано. У більшу частину обладнання для поверхневого монтажу закладено можливість проведення калібрування, за допомогою якого систематичну похибку можна повністю усунути. Для випадкових складових проведення такої процедури як елемента обслуговування обладнання неможливо.

Математично сукупна дія факторів, що викликають систематичну похибку, виражається у відхиленні величини математичного очікування від нуля. Випадкова складова похибки знаходить відображення у величині середньоквадратичного відхилення  $\sigma$ : чим більше  $\sigma$ , тим більший розкид положень компонентів навколо точки з постійним зміщенням  $\mu$ .

Зміна значення  $\mu$  (систематична похибка) призводить до усунення графіка нормального розподілу вздовж осі абсцис, збільшення  $\sigma$  викликає розтягування графіка, при цьому зменшується його максимальне значення,

оскільки загальна площа під графіком на інтервалі  $(-\infty; +\infty)$  повинна залишатися рівною одиниці (рис. 1.2).



а – вихідний розподіл ймовірності; б -  $\mu$  зміщується вправо щодо середини діапазону; в – збільшено значення  $\sigma$

Рисунок 1.2 – Вплив  $\mu$  і  $\sigma$  на можливість потрапляння в діапазон

При збільшенні  $\mu$  світла частина (рис. 1.2 б) під графіком виявляється за межами поля допуску, а темна зміщується в полі допуску. Але оскільки площа темної частини завжди менша за світлу, то сумарна площа під графіком у полі допуску виявляється меншою, що відповідає меншій ймовірності правильної установки. При збільшенні також зменшується площа під графіком в полі допуску, тобто. менше компонентів виявляється встановленим без браку.

Раніше наведено приклад: при значенні параметрів  $\mu = 0$  і  $\sigma = 0,05$  мм 683 компоненти з тисячі потраплять у поле допуску  $\pm 0,05$  мм. На практиці дана ймовірність 0,683 дуже мала: кількість компонентів на одній платі може становити кілька сотень, і в цьому випадку майже, напевно, кожна плата виявиться бракованою. Реальна ймовірність має бути на порядок вищою. Чисельний вираз ймовірності правильної установки матиме кілька дев'яток після коми. З такими числами працювати незручно, тому на практиці для визначення ймовірності влучення/непопадання компонента в поле допуску застосовують показник, що дорівнює середній кількості виходів за межі поля допуску на мільйон компонентів, що встановлюються – ppm (parts per million).

У вказаному прикладі для поля допуску  $\pm 0,05$  мм, ppm = 317 тис. Якщо з допомогою даного автомата (з параметрами  $\mu = 0$  і  $\sigma = 0,05$  мм) потрібно досягти реальнішого значення ppm, потрібно розширювати поле допуску (відмовитися від компонентів малого розміру та малого кроку виводів). Наприклад, значення ppm = 2700 буде відповідати полі допуску  $\Delta = \pm 0,15$  мм. Якщо ж необхідно досягти такого значення ppm при збереженні поля допуску  $\Delta = \pm 0,05$  мм, то необхідно вибрати автомат, випадкова складова похибки якого втричі менша (тобто  $\sigma \approx 0,017$  мм).

Показник ppm пов'язаний з ймовірністю встановлення компонента в полі допуску співвідношенням  $\text{ppm} = 1000000 (1 - P(-\delta x < x < +\delta x))$ .

Як було зазначено, що більше значення  $\sigma$ , то менше ймовірність попадання компонента у полі допуску. Якщо поле допуску розширити, то, очевидно, ймовірність збільшиться.

При  $\mu = 0$  вираз для ймовірності попадання в поле допуску  $(-\delta x, +\delta x)$  набуває вигляду

$$P(\delta x^- < x < \delta x^+) = \int_{-\delta x}^{+\delta x} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = \quad (1.3)$$

$$= |y = x/\sigma| = \int_{-\delta x/\sigma}^{+\delta x/\sigma} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

Вочевидь, дана ймовірність залежить від відносини  $\delta x/\sigma$ , тобто. від числа сигм, що укладаються в половині поля допуску.

Значення ppm пов'язане з відношенням половини ширини поля допуску значення  $\sigma$ . При  $\Delta/2\sigma = 1$  ppm = 317 тис., при  $\Delta/2\sigma = 3$  ppm = 2700. Оскільки на практиці зручно працювати з величиною поля допуску, то часто для характеристики ймовірності вказують ширину поля допуску та відношення  $\Delta/2\sigma$ , зване числом сигм. Іншими словами, число сигм – це скільки значень  $\sigma$  укладається в половині поля допуску. У прикладі можна сказати, що точність автомата дорівнює  $\pm 0,15$  мм при  $3\sigma$ .

Оскільки при однаковому значенні ppm поле допуску пропорційно  $\sigma$ , знаючи ширину поля допуску для певного числа сигм можна легко отримати поле допуску для іншого числа сигм.

Для оцінки важливої можливості автомата виконати операцію складання із заданою точністю досить визначити поле допуску та число сигм. При цьому автомат має бути ідеально калібрований.

Значення числа сигм менше трьох практичного сенсу немає. Тому іноді для оцінки можливостей автомата в реальному виробничому процесі користуються показником відтворюваності процесу складання  $C_p$ , який чисельно дорівнює числу сигм, поділеному на три.

Показник  $C_p$  розраховують за такою формулою:

$$C_p = \Delta x / 6\sigma_x, \quad (1.4)$$

де  $\Delta x = \delta x^+ - \delta x^-$  – поле допуску автомата;

$\delta x^+$ ;  $\delta x^-$  – відповідно верхнє та нижнє відхилення поля допуску.

Таким чином, для симетричного допуску (при  $\delta x^+ = \delta x^- = \delta x$ )

$$C_p = \sigma_x / 3\sigma_x. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт  $C_p$  визначає принципову можливість досліджуваного автомата забезпечувати якість установки компонентів, коли середнє значення помилки установки знаходиться в середині поля допуску автомата, зазначеного в його технічних характеристиках.

Положення середнього  $\mu$ , отже, систематичні помилки у своїй не враховують.

Насправді завжди існує певна систематична похибка, що з точністю систем автомата. Понад те, згодом автомати схильні до розкалібрування, тобто. систематична похибка зростає.

На рис. 1.3 показано показники  $C_p$  та  $C_{pk}$  при значній систематичній похибці.

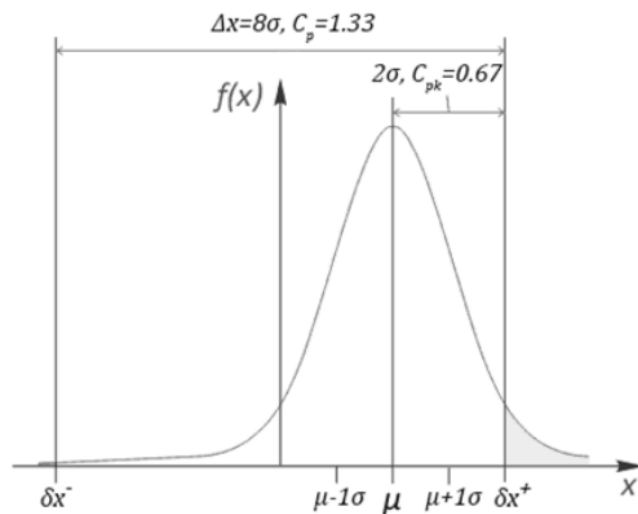


Рисунок 1.3 – Показники  $C_p$  та  $C_{pk}$  при значній систематичній похибці

Якщо систематична похибка має досить велику величину, тобто. середнє положення компонентів досить близько до лівої або правої межі поля допуску автомата, при складанні буде спостерігатися значна кількість виходів помилки за його межі, хоча значення коефіцієнта  $C_p$  при цьому може залишатися допустимим (рис. 1.3, світлим показано площу, що відповідає ймовірності

виходу за межі поля допуску). Показник  $C_p$  не враховує зміщення щільності ймовірності, тому в даному випадку його значення більше одиниці, що вказує на процес, що досить відтворюється. Показник реалізації процесу  $C_{pk}$  враховує зміщення графіка, тому в даному випадку його значення вказує на низьку ймовірність правильної установки.

За визначенням  $C_{pk}$  дорівнює:

$$C_{pk} = \min\{C_{p+}; C_{p-}\} = \frac{\min\{\delta x^+ - \mu; \mu - \delta x^-\}}{3\sigma}, \quad (1.6)$$

де

$$C_{p-} = \frac{\mu - \delta x^-}{3\sigma};$$

$$C_{p+} = \frac{\delta x^+ - \mu}{3\sigma}.$$

Аналогічно у разі поля допуску, симетричного щодо  $\mu$ ,

$$C_{pk} = \frac{\delta x - \mu}{3\sigma}. \quad (1.7)$$

Слід звернути увагу, що на практиці у додатку до автоматів установки компонентів поле допуску зазвичай симетрично щодо нуля, а не  $\mu$ . І тут остання формула справедлива лише за  $\mu = 0$ , тобто. для ідеально відкаліброваного автомата, при цьому  $C_{pk} = C_p$ .

Високе значення показника  $C_{pk}$  досягатиметься при значеннях розсіювання помилки  $\sigma$ , малих у порівнянні з полем допуску автомата, та близьким до нуля значенням  $\mu$  (рис. 1.4).

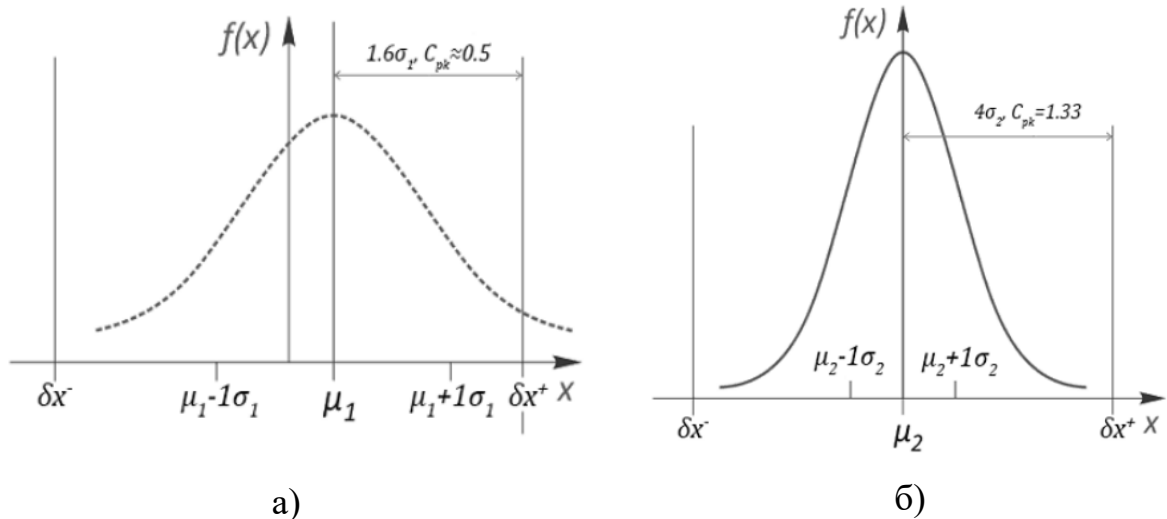
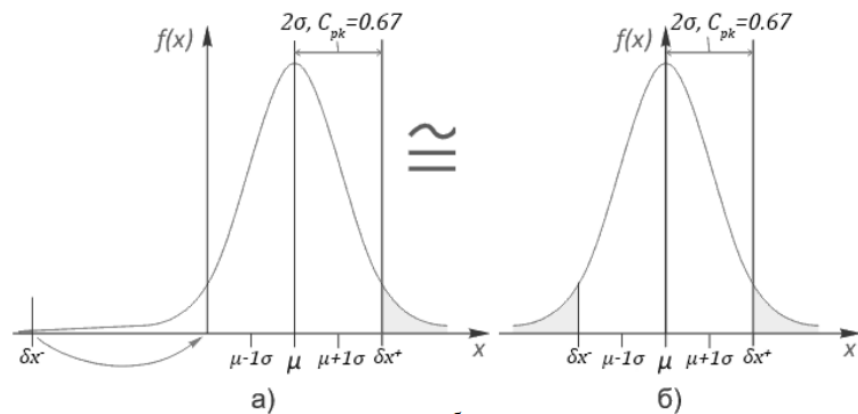


Рисунок 1.4 – Показник  $C_{pk}$ , що враховує як випадкову, і систематичну похибки

Можна сказати, що даний показник одночасно «зсуває» на величину  $\mu$  і «звужує» на величину  $2\mu$  поле допуску (рис. 1.5) порівняно з показником  $C_p$ . За наявності систематичної похибки значення  $C_{pk}$  відповідає значенню  $C_p$  при вузькому полі допуску, зміщеному своїм центром на величину  $\mu$ .



а – значна систематична похибка, широке поле допуску;

б – систематичної похибки немає, поле допуску досить вузьке

Рисунок 1.6 – Випадки, що відповідають одному значенню  $C_{pk}$

Процес теоретично вважається відтворюваним, якщо його  $C_p > 1,00$ . Тим не менш, відтворюваний на практиці процес має показник  $C_p > 1,33$ , так як

необхідно закласти деякий запас, пов'язаний з можливим виникненням різних додаткових похибок (розкалібрування автомата тощо). Для працездатного процесу  $C_{pk} > 1,33$ .

Цільові значення показників  $C_p$  та  $C_{pk}$  розраховують виходячи з певних характеристик точності процесу/автомата на рівні  $\pm N$  числа сигм.

### 1.3 Метод визначення точності технологічного обладнання для автоматизованого встановлення елементів

Розглянемо показники точності, які використовують виробники автоматів під час опису їх технічних характеристик. В даному випадку під  $x$  розумітимемо положення компонента по одній з координат  $x$  або  $y$  або куту повороту  $\theta$  навколо осі  $Z$ :

- поле допуску  $\pm \delta x$  (для найпоширенішого, симетричного, випадку) – діапазон величин  $x$ , потрапляння у який відповідає якійсь установці.

- число сигм  $N\sigma$  – показник, що характеризує ймовірність влучення значень  $x$  у поле допуску за відсутності систематичної похибки.

- показник реалізованості процесу  $C_{pk}$  – показник, що характеризує ймовірність влучення значень  $x$  у поле допуску за наявності систематичної похибки. При встановленні компонента він має три ступені свободи: по осі  $X$ , по осі  $Y$  і по куту повороту навколо осі  $Z$ . Фактично системою управління автомата забезпечується точність положення центру мас компонента. Але на практиці найбільш важливим є поєднання виведення з контактним майданчиком, однак, знаючи точність положення центру мас, наприклад, по осі  $X$ , не можна оцінити, точність положення по осі  $X$  деякої точки на виведенні компонента, не знаючи точності по  $\theta$ , а також геометрії компонента.

Нехай компонент має бути встановлений у точку  $x, y$  (рис. 1.7) у координатах плати; деяка критична точка  $A$  на виведенні компонента має координати щодо центру мас компонента  $(l; w)$ ; можливе відхилення

положення центру мас компонента при заданій ймовірності за трьома ступенями свободи дорівнює відповідно  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  і  $\Delta\theta$ . Тоді можливе відхилення положення точки А після встановлення при даній ймовірності визначатиметься такими співвідношеннями:

$$\Delta l = \Delta x - l + l \cos \Delta\theta - w \sin \Delta\theta, \quad (1.8)$$

$$\Delta w = \Delta y - w + l \sin \Delta\theta + w \cos \Delta\theta. \quad (1.9)$$

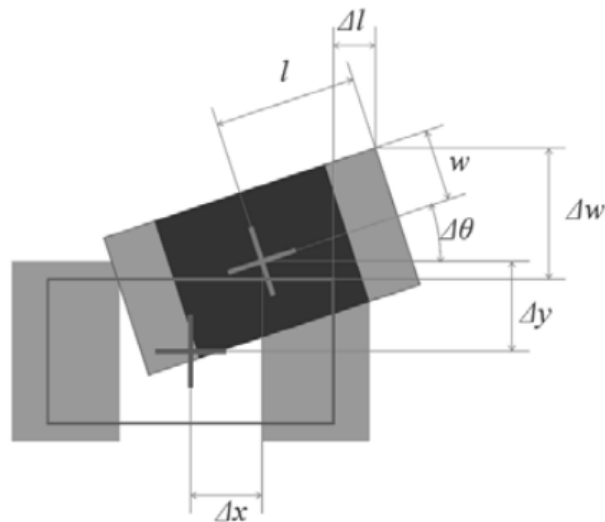


Рисунок 1.7 – Результуюче зміщення точки компонента

Таким чином, похибка установки центру мас може не відображати реального поля допуску установки компонента.

Часто похибка установки компонента справедлива будь-якої точки висновків (контактних поверхонь) певного корпусу, тобто. враховує похибки за всіма ступенями свободи (у термінах наведених вище формул виробник не вказує  $\max\{\Delta x, \Delta y\}$  та  $\Delta\theta$ , а  $\max\{\Delta l, \Delta w\}$ ). Цим типом корпусу може бути один із стандартних компонентів, зазначених у стандарті IPC-9850 (найчастіше, ЧПП-компонент розміру 0603), або найскладніший корпус, установка якого гарантується виробником автомата (наприклад, QFP або BGA максимального розміру з мінімальним кроком виводів) .

Розглянемо три найбільш часто зустрічаються варіанти вказівки даних про точність автомата у його специфікації.

Точність  $\pm 0,05$  мм. Очевидно, що існує ймовірність встановлення автоматично компонента поза полем допуску, проте цю ймовірність виробник не вказав. Іноді, якщо жодної інформації про ймовірність немає, вважається, що це поле допуску наведено для  $1\sigma$ , але це є загальним правилом. У цьому випадку слід уточнити у виробника ймовірнісні характеристики точності.

Точність  $\pm 0,05$  мм за  $3\sigma$ . В даному випадку виробник вказав точність для ідеально відкаліброваного автомата. Невелике розкалібрування буде причиною відхилення ймовірнісних показників точності від зазначених у специфікації, і до яких наслідків це призведе – не відомо. Деякі виробники вважають, що таке формулювання повністю ідентичне точності  $\pm 0,05$  мм при  $C_{pk} = 1$ , проте це також не є загальним правилом. У цьому випадку у виробника слід уточнити, як на точність складання впливатиме розкалібрування автомата.

Точність  $\pm 0,05$  мм за  $C_{pk} = 1$ . В даному випадку виробник вказав найповнішу інформацію про точність автомата, однак і в цьому випадку є певна неоднозначність. Значення поля допуску при заданому  $C_{pk}$ , виміряне на щойно відкаліброваному автоматі, буде відрізнятиметься від значення після деякого часу роботи через появу систематичної похибки. У цьому випадку варто уточнити, протягом якого періоду після калібрування виробник гарантує ці характеристики.

Деякі виробники вказують, наприклад, таке: Точність  $\pm 0,15$  мм за  $3\sigma$ ,  $\pm 0,20$  мм за  $4\sigma$ . У технічних характеристиках устаткування наводять дані, підтвержені під час випробувань. Наприклад, цей автомат проходив випробування для 3 і 4, але не проходив для 6 і виробник не повинен вказувати в специфікації точність  $\pm 0,30$  мм при 6, хоча, швидше за все, це на практиці буде правильно.

Точність автомата у випадку оцінюється під час аналізу деякої вибірки, тобто. установки групи компонентів на ПП, вимірі відхилення їх положення

від номінального, та подальшому проведенні статистичного аналізу отриманих даних.

Припустимо, з допомогою досліджуваного автомата на ПП було встановлено  $n$  компонентів, після чого було виміряно помилка розміщення кожного ЕК, тобто. відхилення центру його реального положення на ПП від номінального (по осях  $X$ ,  $Y$  або куту  $\theta$ ).

Важливо відзначити, що результати цієї процедури значною мірою залежатимуть від того, проводиться вона на відкаліброваному устаткуванні чи ні. Також повинні бути зведені до мінімуму фактори, що не належать до автомата: геометричні розміри компонентів та рисунка плати повинні бути виготовлені з достатньою точністю, щоб це не впливало на результати експерименту, напруга живлення та тиск у пневматичній системі повинні контролюватись тощо.

Вважаючи закон розподілу положення компонента нормальним, можна визначати незміщені оцінки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення за вибіркою з  $n$  компонентів за такими формулами:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.10)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}. \quad (1.11)$$

Потім можна вказати ймовірність попадання випадкової величини в стандартний діапазон, симетричний щодо нуля і кратний середньоквадратичним відхиленням:  $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$  і тощо. Щоб забезпечити як виробників автоматів установки компонентів, так і їх користувачів стандартною процедурою оцінки точності такого обладнання, Асоціацією IPC був випущений спеціальний стандарт IPC-9850 Surf ace Mount Placement

Equipment Characterization – Визначення параметрів обладнання для встановлення компонентів поверхневого монтажу.

Точність у цьому стандарті обчислюється двома способами:

- окремо для осей X, Y та кута  $\theta$  при  $C_{pk} = 1,33$  і  $C_{pk} = 2$ ;
- комплексно, з об'єднанням в одному значенні помилок установки по осях X, Y, Z та куту  $\theta$ , для показника перекриття виведення та контактної майданчика (КП) плати 50% та 75%.

Перший спосіб є традиційним для складального обладнання. Важливо відзначити, що стандарт передбачає вказівку точності за строго визначених значень показника працездатності процесу. Зазначимо, що коректно порівнювати значення похибок двох моделей обладнання можна лише в тому випадку, коли обидва з них наводяться при тому самому значенні  $C_{pk}$ .

Слід розрахувати відхилення симетричного допуску автомата при відомих значеннях  $\mu$ ,  $\sigma$  та наведених вище значеннях  $C_{pk}$ :

$$\delta x = 3\sigma C_{pk} + |\mu|. \quad (1.12)$$

Обчислені значення осей X, Y і куту  $\theta$  записують у звітну форму.

Другий спосіб більшою мірою бере до уваги наступний процес паяння встановлених на плату компонентів. Він дозволяє врахувати випадки, коли окремі складові сумарної похибки установки потрапляють у допустимий діапазон, але комплексі не забезпечують формування необхідної геометрії паяного з'єднання.

Перекриття контактних площадок плати та виводів на 50 та 75% обрано розробниками стандарту з наступних міркувань. Стандартом IPC-A-610D Критерії якості електронних складання передбачено поділ електронної апаратури на класи:

- Class 1 – електронні пристрої загального призначення;

– Class 2 – спеціалізовані електронні пристрої, для яких є обов'язковими вимоги збереження характеристик у процесі тривалої експлуатації;

– Class 3 – електронні пристрої з високими характеристиками, для яких найважливішим є збереження високих експлуатаційних параметрів, при цьому умови функціонування можуть бути жорсткими, а виріб має функціонувати безперебійно протягом необхідного часу.

Вимоги до пристроїв різних класів з точки зору точності встановлення електронних компонентів на плату відрізняються за максимально допустимим виступом виводу за межі КП – на 50% від ширини виводу для виробів 1- та 2-го класу та на 25% – 3-го класу, що відповідає вимогам до мінімально допустимої ширини утвореного паяного з'єднання: не менше 50% перекриття виведення ЕК та КП для виробів 1- та 2-го класу та не менше 75% для виробів 3-го класу.

Під помилкою встановлення компонентів у стандарті розуміється відстань між дійсним центром компонента на платі та його номінальним положенням, визначеним згідно з САД-даними щодо реперних знаків тестової плати. Помилка розраховується за взаємно перпендикулярними осями  $X$  і  $Y$ , а також за кутом  $\theta$  повороту ЕК навколо його центру тяжкості в площині  $XY$ ; вісь  $X$  розташовується паралельно напису на тестовій платі, а вісь  $Y$  – перпендикулярно їй.

#### 1.4 Висновки до розділу 1

В результаті виконання аналізу літератури за темою кваліфікаційної роботи розглянуті принципи застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві. Визначено об'єкт контролю та надано опис процес отримання й обробки інформації, яка оцінює відповідність вибору технічним вимогам.

Проведено аналіз методів оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт. Зазначені характеристики спеціалізованого обладнання для виконання монтажних робіт.

Надані теоретичні відомості про методику визначення систематичної та випадкової похибки встановлення компонентів на друковану плату або шасі приладу. Наведено опис методу визначення точності технологічного обладнання для автоматизованого встановлення елементів.

Враховуючи проведений аналіз предметної області в наступних розділах даної роботи необхідно:

- виконати ескізне проектування автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій на виробництві;
- виконати синтез математичної моделі системи керування технологічним обладнанням для контролю виконання монтажних операцій;
- розробити програму для візуального контролю правильності виконання монтажних операцій;
- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень.

## 2 СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ОБЛАДНАННЯМ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ МОНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ

2.1 Ескізне проектування автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій на виробництві

Враховуючи проведений аналіз предметної області розроблено схему роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій (рис. 2.1).

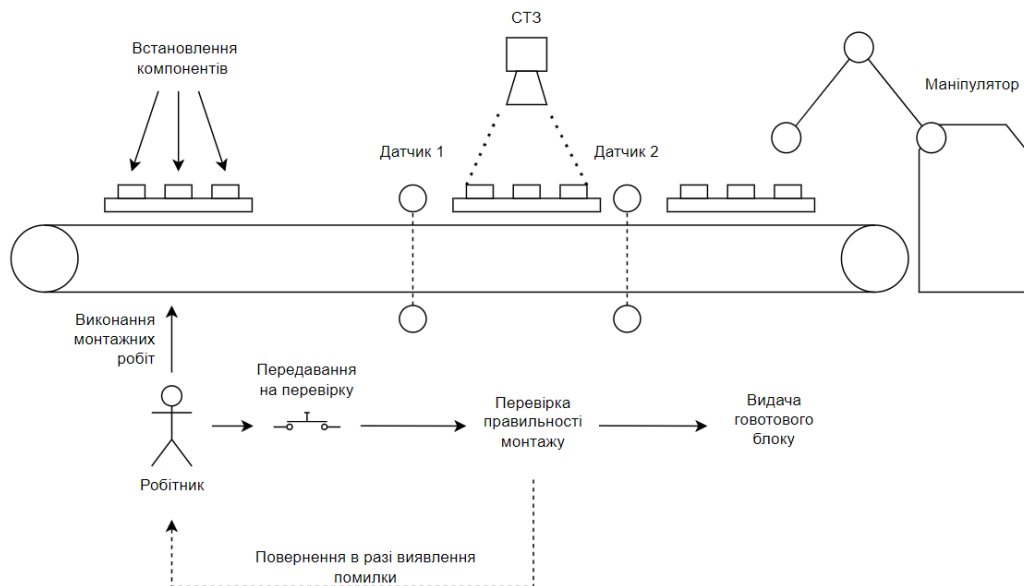


Рисунок 2.1 – Схема роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій

Основою запропонованої схеми є система технічного зору для виявлення дефектів після монтажних операцій. Система технічного зору інтегрована в технологічну послідовність операцій на конвеєрі збирального цеху.

В даній схемі автоматизована система контролює дії робітника, що виконує ручні монтажні операції з встановлення компонентів на шасі приладу.

Робітник виконує необхідні операції та після їх завершення запускає конвеєр із спеціальним лотком для переміщення шасі до зон контролю. Для цього він кладе шасі в напрямні та має змогу натиснути на кнопку Завершення операції.

Коли шасі потрапляє до зон контролю вмикається система технічного зору для перевірки правильності розташування елементів. Якщо браку не виявлено, то через певний час шасі переміщується в зону видачі.

В зоні видачі шасі з лотку забирає робот-маніпулятор. Після цього порожній лоток повертається знову до робітника.

У випадку, коли система технічного зору виявляє брак монтажної операції, лоток із шасі повертається до робітника для виправлення помилки. Знайдені помилки вказуються на робочому моніторі в монтажній зоні працівника.

Запропонована схема автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій дозволяє вже на етапі виконання операції виконувати поточний контроль для швидкого усунення дефектів. Таким чином, знижується час на виправлення помилок, та зменшується кількість бракованих виробів на виробництві.

## 2.2 Синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи

Розглянемо нашу систему, як кінцевий автомат із декількома стійкими станами, які можна уявити у вигляді тригерів. При синтезі систем з використанням тригерів умови роботи схем з декількома станами подаються у вигляді графів переходів.

Граф переходів – це графічне зображення послідовності роботи багатотактної схеми. Елементами графа є вершини і ребра. Вершини відповідають станам схеми і позначаються кружками. Ребра – це лінії із

стрілками, що з'єднують вершини і показують напрям переходу з одного стану схеми в інший.

Кількість вершин графа при синтезі асинхронних схем на RS – тригерах визначається з умови

$$2^n \geq S, \quad (2.1)$$

де  $S$  – кількість станів схеми;  
 $2^n$  – кількість вершин графа;  
 $n$  – кількість тригерів.

Вершини графа рекомендується розміщувати так, щоб при  $n=2$  вони створювали конфігурацію  $2 \times 2$ , при  $n=3$  – конфігурацію  $4 \times 2$ , а при  $n=4$  – конфігурацію  $4 \times 4$ .

Вихідні сигнали тригерів виконують роль проміжних змінних, тому тригери та їх вихідні сигнали позначаються буквами  $P_1, P_2, \dots$ . Ці позначення записують зверху ліворуч від графа.

Кожна вершина графа кодується набором значень вихідних сигналів тригерів. Коди вибираються так, щоб для сусідніх вершин вони відрізнялися значенням тільки однієї змінної. У вихідному стані схеми (стан очікування) звичайно приймають, що усі проміжні змінні дорівнюють нулеві. Значення проміжних змінних для кожної вершини записуються над кружками у тій черговості, в якій записані позначення тригерів.

Вершини, між якими повинні відбуватися переходи, з'єднують ребрами із стрілками. Над стрілками або праворуч від них, якщо ребра спрямовано вертикально, записують позначення вхідних сигналів, що спричинюють ці переходи.

При побудові схем на асинхронних RS – тригерах переходи можна робити тільки між сусідніми вершинами. Якщо ця умова не виконується, то необхідно передбачити так звані природні переходи (за рахунок подавання вхідного сигналу одиниця) через проміжні нестійкі стани.

Розглянемо запропоновану схему роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій, що зображена на рис. 2.1 та створимо для неї граф переходів. Граф переходів, що розроблюється, описує роботу схеми керування механізмом конвеєра, який працює в режимі циклів, що повторюються.

На рис. 2.2 показана схема роботи промислового обладнання для виконання завдання синтезу графу переходів.

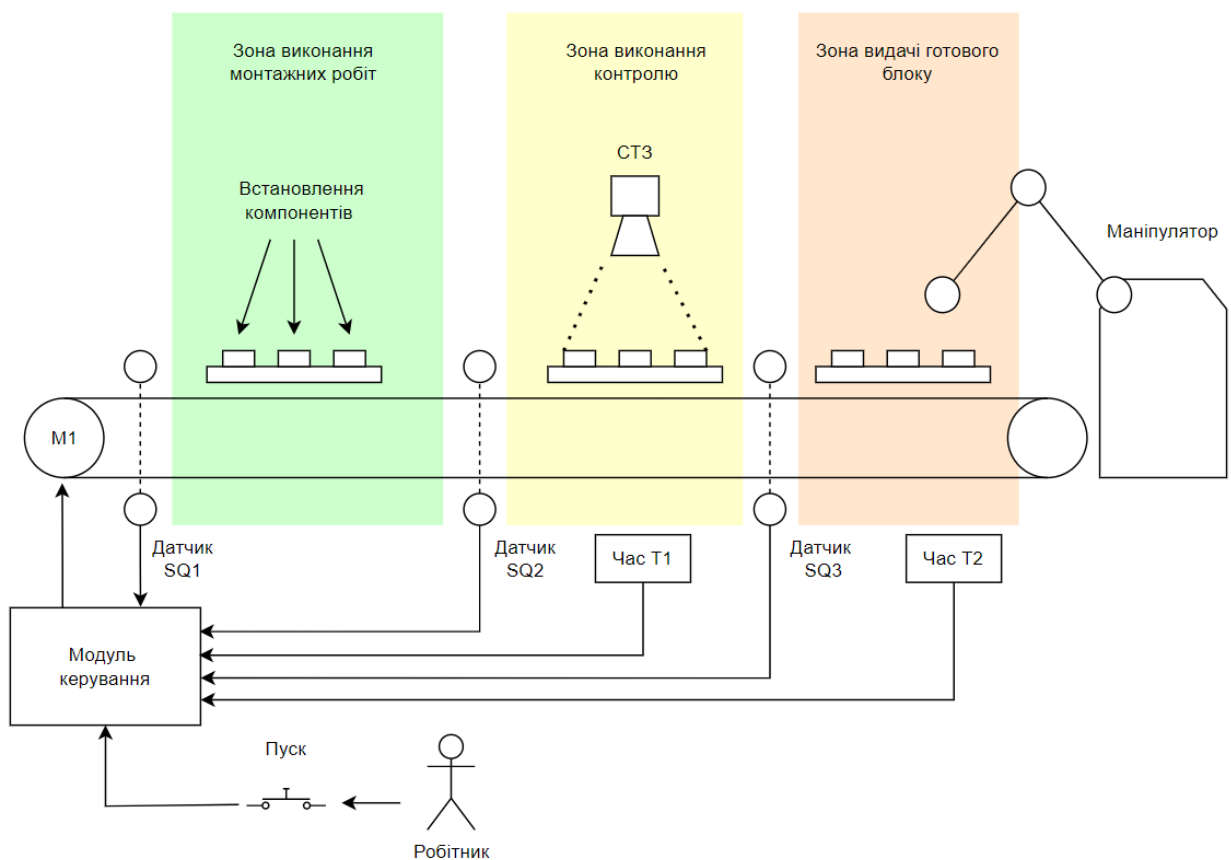


Рисунок 2.2 – Схема роботи промислового обладнання для виконання завдання синтезу графу переходів

У вихідному положенні механізму кінцевий датчик SQ1 знаходиться в стані включено. Це той випадок, коли лоток із шасі приладу знаходиться в зоні виконання монтажних операцій (рис. 2.2, зелена зона).

Цикл роботи починається після надходження команди Пуск від працівника після завершення монтажної операції. Механізм переміщується в

положення, що фіксується кінцевим вимикачем SQ2 – це зона виконання контролю. В даному стані система знаходиться протягом часу  $\Delta t_1$  (рис. 2.2, жовта зона).

У випадку, коли помилок в монтажу не знайдено, лоток переміщується в положення, що фіксується кінцевим вимикачем SQ3. В даному положенні шасі стоїть протягом часу  $\Delta t_2$  (рис. 2.2, червона зона).

Після видалення шасі з лотка за допомогою маніпулятора, механізм повертається в вихідне положення. Для повторення циклу необхідно знов подати команду "Пуск".

Якщо система технічного зору знаходить помилку в монтажу, шасі переміщується в першочергове положення. Якщо команда від працівника буде надходити безперервно, то після відпрацювання одного циклу автоматично починається наступний.

Прийmemo такі позначення вхідних і вихідних сигналів, а також сигналів таймерів, які необхідно розглядати як вхідні сигнали для графа переходів.

Вхідні сигнали:

- a – команда "Пуск";
- b, c, d – сигнали кінцевих вимикачів SQ1, SQ2, SQ3 відповідно;
- t1, t2 – сигнали таймерів, що дають затримки  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$ .

Вихідні сигнали:

- f1 – команда на переміщення механізму з вихідного положення;
- f2 – команда на повернення механізму в вихідне положення.

Побудову графа переходів починаємо з визначення кількості станів, в яких може перебувати схема автоматичного керування. Таких станів шість:

- 1 – вихідне положення;
- 2 – переміщення з вихідного положення;
- 3 – стоянка протягом часу  $\Delta t_1$  ;
- 4 – подальше переміщення;
- 5 – стоянки протягом часу  $\Delta t_2$ ;
- 6 – повернення в вихідне положення.

Виходячи з кількості станів схеми  $6 < 2^3$ , визначаємо кількість тригерів  $n=3$  і кількість вершин графа переходів  $2^3=8$ . Позначаємо проміжні змінні  $P_1, P_2, P_3$ , будуємо 8 вершин графа і кодуємо їх комбінаціями значень проміжних змінних.

Кожному станові схеми ставимо у відповідність одну з вершин графа, причому стани, між якими повинен відбуватися перехід згідно з умовами роботи схеми, розміщуємо у сусідніх вершинах. Вільні вершини використовуємо для переходу з стану 6 в стан 2 під час роботи схеми в режимі циклів, що повторюються, або в стан 1 при відпрацьовуванні поодиноких циклів.

Позначення вихідних сигналів  $f_1$  і  $f_2$  записано під позначеннями проміжних змінних. Значення  $f_1$  і  $f_2$  для кожного стану схеми записуємо під відповідними вершинами графа.

Синтез схеми полягає у записі умов вмикання і скидання кожного тригера [7]. Для цього охоплюють замкнутою лінією всі стани на графі переходів, в яких значення вихідного сигналу даного тригера дорівнює одиниці. Вхідні сигнали схеми, позначення яких стоять на ребрах, що заходять в одержану замкнуту область, встановлюють тригер в стан 1, а вхідні сигнали на ребрах, що виходять з цієї області, скидають тригер в стан 0.

Умови вмикання тригера записуються у вигляді добутку сигналу на ребрі, що заходить в область, і сигналів решти тригерів, стан яких не змінюється при переході, позначеному ребром. Наприклад, якщо сигнал на ребрі, що заходить в область з одиничним значенням вихідного сигналу тригера  $P_1$ , дорівнює  $a$ , а тригери  $P_2$  і  $P_3$  не перемикаються, а зберігають стан  $P_2=1, P_3=0$ , то умова вмикання тригера  $P_1$  записується у вигляді

$$S_{P_1} = ap_2\overline{p_3}. \quad (2.2)$$

Якщо в замкнуту область входить кілька ребер, то умова вмикання тригера записується у вигляді суми добутків відповідних сигналів, складених для кожного ребра.

Умова скидання тригера записується аналогічно для кожного ребра, що виходить з даної області, і подається у вигляді формули  $RP_i$ . Описану процедуру виконують для кожного тригера і визначають для них умови вмикання і скидання.

Вигляд отриманого графа переходів для автоматизованої системи контролю монтажних операцій показано на рис. 2.3.

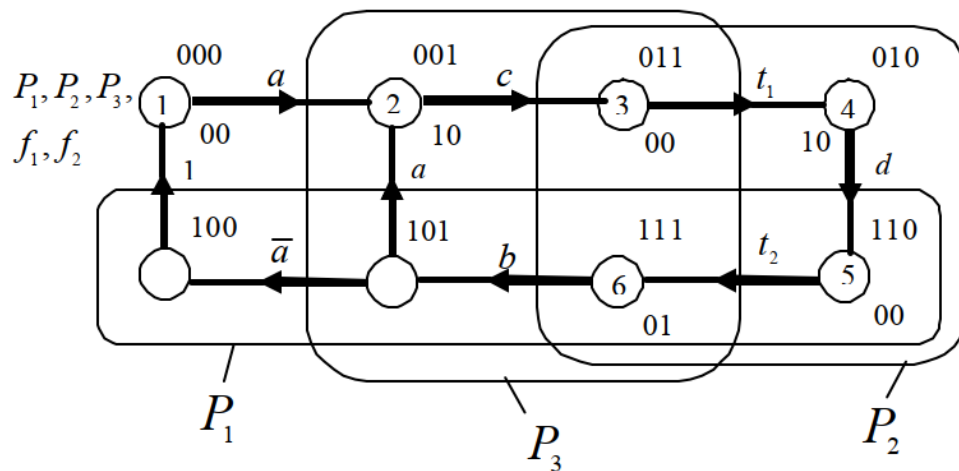


Рисунок 2.3 – Вигляд генерованого графа переходів для автоматизованої системи контролю монтажних операцій

Застосувавши процедуру, що описана в [7], визначення умов вмикання і скидання тригерів для графа переходів на рис. 2.3 отримаємо:

$$S_{P_1} = ap_2\bar{p}_3;$$

$$R_{P_1} = a\bar{p}_2p_3 + \bar{p}_2\bar{p}_3; \quad (2.3)$$

$$S_{P_2} = c\bar{p}_1p_3; \quad (2.4)$$

$$R_{P_2} = bp_1p_3; \quad (2.5)$$

$$S_{P_3} = a\bar{p}_1\bar{p}_2 + t_2p_1p_3; \quad (2.6)$$

$$R_{P_3} = t_1 \bar{p}_1 p_3 + \bar{a} p_1 \bar{p}_2. \quad (2.7)$$

Формули для вихідних сигналів  $f_1$  і  $f_2$  записуються як комбінаційні функції вихідних сигналів тригерів  $P_1, P_2, P_3$ . Дійсно, функція  $f_1 = 1$  в станах 2 і 4, тобто в станах, яким відповідають такі комбінації значень вихідних сигналів тригерів:  $p_1=0, p_2=0, p_3=1$  і  $p_1=0, p_2=1, p_3=0$ . Тому

$$f_1 = \bar{p}_1 \bar{p}_2 p_3 + \bar{p}_1 p_2 \bar{p}_3. \quad (2.8)$$

Аналогічно, функція  $f_2 = 1$  в стані 6 ( $p_1 p_2 p_3 = 111$ ), тобто

$$f_2 = p_1 p_2 p_3. \quad (2.9)$$

Таймер  $T_1$  вмикається в стані 3 ( $p_1 p_2 p_3 = 011$ ), а таймер  $T_2$  – в стані 5 ( $p_1 p_2 p_3 = 110$ ), тому

$$T_1 = \bar{p}_1 p_2 p_3. \quad (2.10)$$

$$T_2 = p_1 p_2 \bar{p}_3. \quad (2.11)$$

### 2.3 Висновки по другому розділу

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи виконане ескізне проектування в результаті якого розроблена схема роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій.

Основою запропонованої схеми є система технічного зору для виявлення дефектів після монтажних операцій. Система технічного зору інтегрована в технологічну послідовність операцій на конвеєрі збирального цеху.

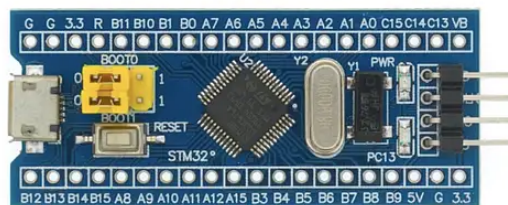
Виконано синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи та згенеровано граф переходів для автоматизованої системи контролю монтажних операцій.

Запропонована схема автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій дозволяє вже на етапі виконання операції виконувати поточний контроль для швидкого усунення дефектів. Таким чином, знижується час на виправлення помилок, та зменшується кількість бракованих виробів на виробництві.

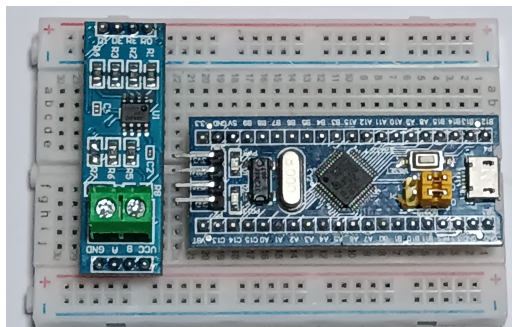
### 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ НА МОНТАЖНІЙ ОСНОВІ

3.1 Розробка алгоритму визначення правильності виконання монтажних операцій

В якості монтажної основи може виступати друкована плата (рис. 3.1, а), макетна плата для швидкого монтажу (рис. 3.1, б), шасі приладу (рис. 3.1, в).



а)



б)



в)

Рисунок 3.1 – Різні види монтажу

Метод, що пропонується використовувати може бути застосовано для будь-якого виду монтажу, коли необхідно виконувати контроль правильності розташування компонентів на основі.

Основними стадіями автоматизованого контролю правильності монтажу є:

- отримання зображення об'єкту контролю;
- попередня обробка зображення;
- пошук компонентів на зображенні за їх кольоровою ознакою;
- накладання маски за кольором для відсічі непотрібного кольору;
- конвертація в сіре;
- бінаризація;
- пошук контурів компонентів;
- фільтрація результатів та видалення непотрібних ділянок з малим периметром;
- виділення значущих ділянок;
- визначення координат їх розташування;
- пошук реперних точок;
- прив'язка до реальних координат;
- визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі.

Алгоритм роботи системи автоматизованого визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі показано на рис. 3.2.

При отриманні зображення об'єкту можуть застосовуватись різні джерела світла. В залежності від рівня освітленості обирається коефіцієнт корегування для виконання попередньої обробки зображення. Після обробки зображення виконується перевірка досягнутої яскравості за даними з певних його ділянок. В разі необхідності, коефіцієнт корегування змінюється на відповідну величину та дана операція повторюється [8, 9].

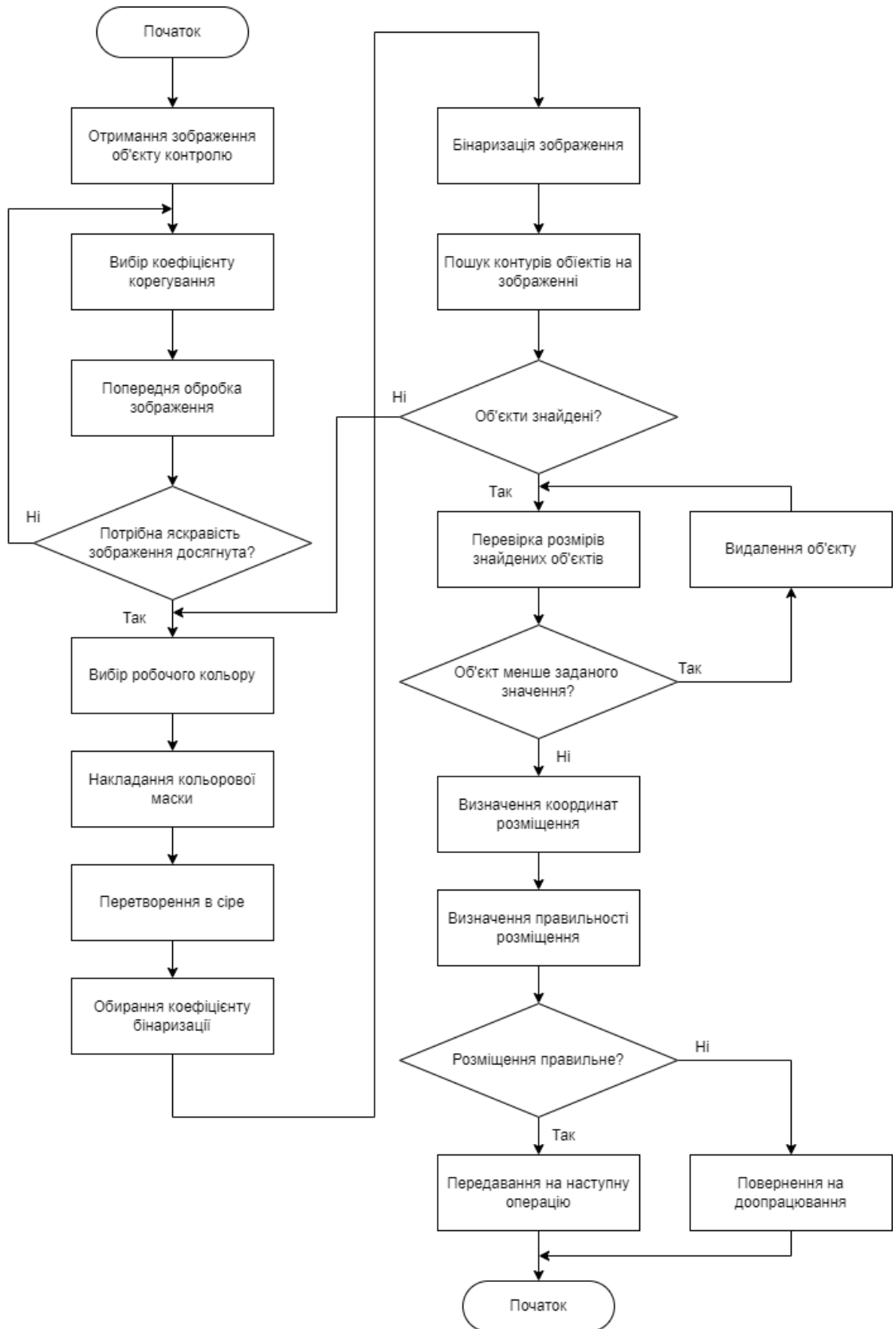


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи автоматизованого визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі

Для визначення різних компонентів застосовуються різні кольорові маски [10 - 13]. Наприклад, для визначення мікросхем, застосовується маска з темними кольорами, що наближаються до блакитного. Для перевірки правильності встановлення джамперів (рис. 3.1, а), що мають жовтий колір, обирають відповідну (жовту) маску. Правильність вставлення клемників контролюється за зеленим або синім кольором.

Після попередньої обробки зображення виконується бінаризація – збільшення контрастності ділянок зображення, рівень освітленості яких більше заданого рівня. Цей рівень обирається експериментально, або може бути адаптивний.

В разі, якщо встановлення кольорової маски не дає результатів пошуку, виконується корегування типу маски та процедура пошуку повторюється.

Далі виконується фільтрація знайдених результатів. За числовими даними контуру об'єктів видаляються замалі об'єкти, що не повинні брати участь в процедурі визначення правильності монтажу.

Для об'єктів зображення, що залишились, виконується процедура визначення координат їх розміщення. Для цього, попередньо обчислюється масштабний коефіцієнт. Обчислення коефіцієнту виконується на основі відомої інформації про розташування опорних ділянок на зображенні. Якщо заздалегідь відомі розміри між ними, то можна автоматично отримати коефіцієнт перерахунку координат ділянок на зображенні в реальні координати.

Після отримання реальних координат розміщення знайдених компонентів виконується порівняння їх значень з тими, що зберігаються в таблиці бази даних та вважаються еталонними.

В разі співпадіння координат розміщення компонентів з їх еталонами, видається повідомлення про передачу об'єкту контролю до наступної робочої операції.

В разі, якщо виявлено помилку в монтажній операції, об'єкт контролю повертається на доопрацювання.

### 3.2 Вибір методу визначення відповідності розташування компонентів шаблону

В результаті попередніх досліджень аналізу літератури було зазначено, що характерні ознаки компонентів на монтажній основі вибудовують комбінацію складових, що є визначенням конкретного модуля на зображенні. Неможливо однозначно встановити цю комбінацію, тому що знайдені ознаки постійно змінюються під впливом різних зовнішніх факторів, наприклад рівня внутрішнього освітлення в зоні контролю. Також, такими факторами можуть бути: зовнішнє освітлення, похибки вимірювання, внутрішній шум відеокамери, нестабільність живлення, забруднення плати та інше.

Виходячи з вищесказаного, для розпізнавання деталі необхідно використовувати такий математичний метод, який дозволить з певною вірогідністю вказати на той чи інший модуль. Таким методом може бути метод кореляційного аналізу. Кореляційною називають таку статистичну залежність, при якій якщо змінюється одна з величин, то змінюється середнє значення іншої.

Лінія регресії показує як залежить середнє значення одного емпіричного ряду від значень другого ряду. Якщо побудувати точки  $(x_i, \bar{y}_{x_i})$  в Декартовій системі координат, то за характером розміщення цих точок можна зробити припущення про форму лінії регресії та відповідну форму кореляційного зв'язку – лінійну, квадратичну, логарифмічну тощо.

Для оцінювання тісноти кореляційного зв'язку між випадковими величинами  $X$  та  $Y$  використовують коефіцієнт кореляції, який визначається за формулою

$$r = \frac{M(XY) - M(X) \cdot M(Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт кореляції, який знаходиться за даним рівнянням називається емпіричним коефіцієнтом кореляції (коефіцієнтом кореляції Пірсона).

Властивості коефіцієнту кореляції:

Значення коефіцієнта кореляції змінюється в межах від  $-1$  до  $+1$ . Якщо  $r=0$ , то між ознаками, що вивчаються немає лінійної кореляційної залежності, але ця умова не виключає існування якого-небудь іншого виду кореляційного зв'язку (параболічного, показникового і т.п.).

Чим більше  $r$ , тим тісніший зв'язок (сильніша спряженість) між ознаками, які вивчаються. Якщо  $r=1$ , то кореляційна залежність стає лінійною функціональною залежністю. Залежно від значення коефіцієнта кореляції, кореляційні зв'язки поділяють на:

- сильну (тісну) кореляцію –  $0,7 < r < 1$ ;
- середню кореляцію –  $0,5 < r < 0,7$ ;
- помірну кореляцію –  $0,3 < r < 0,5$ ;
- слабку кореляцію –  $0,2 < r < 0,3$ ;
- відсутність кореляції –  $r < 0,19$ .

Кореляційна залежність між  $X$  та  $Y$  називається лінійною, якщо обидві функції регресії є лінійними. В такому випадку обидві лінії регресії є прямими, їх називають прямими регресії. Рівняння прямих регресії мають вигляд:

$$y = \rho\left(\frac{X}{Y}\right)(x - M(X)) + M(Y) \text{ – рівняння прямої регресії } X \text{ на } Y,$$

$$y = \rho\left(\frac{X}{Y}\right)(y - M(Y)) + M(X) \text{ – рівняння прямої регресії } Y \text{ на } X.$$

Кутовий коефіцієнт прямої регресії  $X$  на  $Y$

$$\rho\left(\frac{X}{Y}\right) = \frac{M(XY) - M(X)M(Y)}{D(Y)}. \quad (3.2)$$

Кутовий коефіцієнт прямої регресії  $Y$  на  $X$

$$\rho\left(\frac{Y}{X}\right) = \frac{M(XY) - M(X)M(Y)}{D(X)}. \quad (3.3)$$

Якщо при збільшенні однієї величини збільшується інша це вказує на додатній зв'язок між цими величинами, тобто має пряму кореляційну залежність. І навпаки, якщо збільшення однієї змінної супроводжується зменшенням значень іншої, це вказує на від'ємний зв'язок, тобто обернену кореляційну залежність.

Для прямої кореляції  $\rho\left(\frac{Y}{X}\right) > 0$ , для оберненої –  $\rho\left(\frac{Y}{X}\right) < 0$ .

На практиці для знаходження кутових коефіцієнтів використовують метод найменших квадратів.

В результаті рівняння прямих регресії приймуть вигляд:

$$y - M(Y) = \frac{M(XY) - M(X)M(Y)}{S(X)S(Y)} \cdot \frac{S(Y)}{S(X)} (x - M(X)), \quad (3.4)$$

або

$$y - \bar{y} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{S^2(X)} \cdot (x - \bar{x}) \quad (3.5)$$

і відповідно

$$x - \bar{x} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{S^2(Y)} \cdot (y - \bar{y}). \quad (3.6)$$

Перевірка значущості вибіркового коефіцієнту кореляції

На практиці для оцінки тісноти кореляційного зв'язку використовують вибіркового коефіцієнту кореляції:

$$r = \frac{M(XY) - M(X)M(Y)}{S^2(X)S^2(Y)}. \quad (3.7)$$

Після його обчислення перевіряють гіпотезу про значущість вибіркового коефіцієнту кореляції. З цією метою обчислюють експериментальне значення критерію  $t$ , який має розподіл Стюдента:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, \quad (3.8)$$

де  $n$  – об'єм вибірки.

Потім задавшись рівнем значущості  $p$ , за таблицею критичних точок розподілу Стюдента знаходять критичне значення  $t_{кр}(p;n-2)$  для достовірної критичної області.

Якщо  $|t| > t_{кр}$ , то вважають коефіцієнт кореляції значущим, якщо ж  $|t| < t_{кр}$  – то незначущим.

Відповідно до рівня значущості розглядається часткова класифікація кореляційних зв'язків:

– висока значима кореляція – при  $r$ , який відповідає рівню статистичної значущості  $p \leq 0,01$ ;

– значима кореляція – при  $r$ , який відповідає рівню статистичної значущості  $p \leq 0,05$ ;

– тенденція достовірного зв'язку – при  $r$ , який відповідає рівню статистичної значущості  $p \leq 0,1$ ;

– незначима кореляція – при  $r$ , який не досягає рівня статистичної значущості.

### 3.3 Висновки до третього розділу

В результаті виконання третього розділу кваліфікаційної роботи розроблено алгоритм роботи системи автоматизованого визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі. Для визначення різних компонентів застосовуються різні кольорові маски

Виконано вибір методу визначення відповідності розташування компонентів шаблону. Таким методом є метод кореляційного аналізу – статистична залежність, при якій якщо змінюється одна з величин, то змінюється середнє значення іншої.

Метод, що пропонується використовувати може бути застосовано для будь-якого виду монтажу, коли необхідно виконувати контроль правильності розташування компонентів на основі.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1 Планування експерименту

Для перевірки правильності роботи запропонованого методу виконаємо експериментальні дослідження визначення якості виконання монтажних операцій працівником.

Якість операції будемо визначати за критерієм похибки відхилення координат розташування компонентів на монтажній основі. Максимальне відхилення не повинне перевищувати 2,5 мм.

Таке значення максимального відхилення взяте тому, що в якості монтажної основи будемо використовувати макетну плату для швидкого монтажу (рис. 4.1).

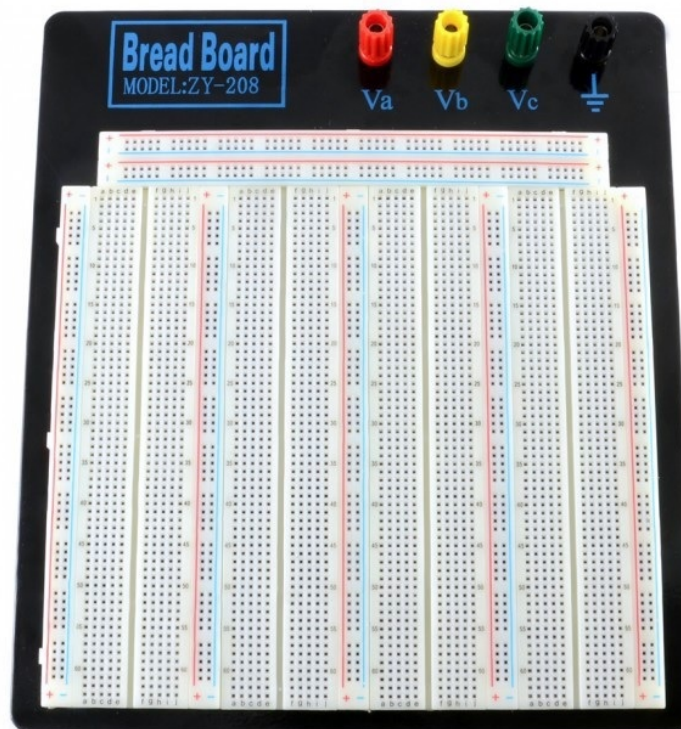


Рисунок 4.1 – Приклад контактної макетної плати

На рис. 4.1 показана контактна макетна плата ZY-208 призначена для швидкої збірки різних електронних схем. Це велика алюмінієва монтажна основа з макетними платами. Можна просто підключити компоненти до макетної плати, з'єднати їх перемичками і без будь-якого паяння, перевірити працездатність схеми. Повністю не вимагає пайки, що економить час і є зручним і екологічно чистим.

На алюмінієвій основі є 4 круглі отвори для установки клем, для додаткової потужності. Три різних напруги і GND, підходить для експериментів, які працюють при різній нарузі одночасно. Таким чином, ця плата забезпечує велику різноманітність засобів для проведення експериментів. З тильного боку алюмінієвою основи, ви можете додати 4 гумових підстави, наданих в упаковці, тому дошку можна зручно розмістити на столі або верстаті.

В процесі експерименту може бути застосована або показана на рис. 4.1 плата, або інша, але схожа за принципом монтажу.

На плату будуть встановлюватись такі компоненти:

- плата розробника STM32F103C8T6 ARM STM32 (рис. 4.2);
- інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485 (рис. 4.3).

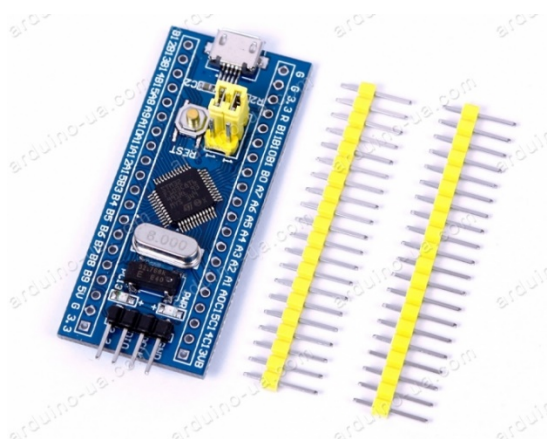


Рисунок 4.2 – Плата розробника STM32F103C8T6 ARM STM32

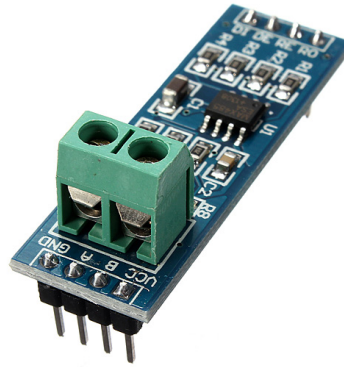


Рисунок 4.3 – Інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485

За правильно виконаний монтаж будемо вважати таке розташування модулів, що показано на рис. 4.4.

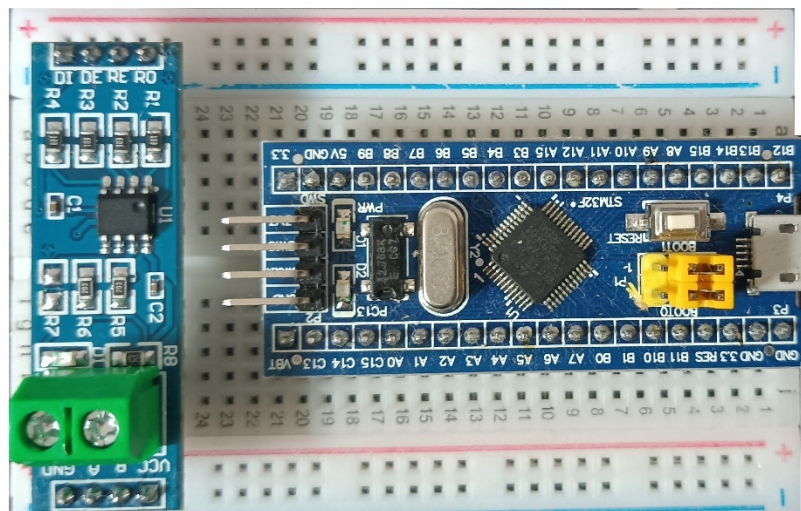


Рисунок 4.4 – Приклад правильно виконаного монтажу

В процесі експерименту будемо визначати відхилення розташування вказаних компонентів від еталонного.

Для проведення експерименту необхідно створити програмний засіб, що реалізує запропонований метод визначення правильності монтажу. Програмний засіб повинен мати можливість отримання зображення досліджуваної монтажної основи. Результати визначення правильності монтажу повинні відобразитись на екрані у вигляді текстового повідомлення.

Також необхідно розробити структуру бази даних для зберігання ознак кожного модуля і координат їх розташування на платі.

## 4.2 Розробка структури бази даних

Для проведення експерименту використовується база даних SQLite, що дає можливість розгортання її прямо на ПК користувача без встановлення додаткових серверів та програмних засобів.

В програмному засобі використовуються такі сутності:

- компонент, або модуль;
- характерні ознаки модуля;
- робоча зміна;
- робітник;
- завдання на робочу зміну;
- перелік виконаних завдань (зібраних модулів);
- журнал хибних монтажних операцій.

Компонент, або модуль – це об’єкт монтажу, що встановлюється на монтажну основу. Для його візуальної ідентифікації використовуються такі атрибути:

- назва компонента або модуля;
- графічне зображення компонента або модуля.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Board]

Fields: 3

[ID\_Board]: INTEGER

[Name]: TEXT

[Image\_Path]: TEXT

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Board]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Board] end

Виходячи з даної схеми можна бачити, що поле Name має текстовий тип, поле Image\_Path – текстовий тип, а ключове поле ID\_Board – числовий тип.

поле Image\_Path використовується для збереження шляху розташування файлу із зображенням даного модуля.

На рис. 4.5 показана структура таблиці «Board».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique	Unique Conflict Clause	Collate	FK
1	ID_Board	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
2	Name	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
3	Image_Path	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			

Рисунок 4.5 – Структура таблиці «Board»

Для збереження характерних ознак модуля передбачені такі атрибути:

- периметр;
- координата X розташування ознаки на платі модуля;
- координата Y розташування ознаки на платі модуля;
- координата Z розташування ознаки на платі модуля;
- посилання на плату модуля.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Oznaka]

Fields: 6

[ID\_Oznaka]: INTEGER

[ID\_Board]: INTEGER

[XO]: INTEGER

[YO]: INTEGER

[ZO]: INTEGER

[Perimetr]: INTEGER

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Oznaka]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Oznaka] end

Виходячи з даної схеми можна бачити, що в таблиці Oznaka поле XO має числовий тип, YO має числовий тип, ZO має числовий тип, ключове поле ID\_Oznaka має числовий тип, а також поле для посилання на таблицю Board ID\_Board має числовий тип.

На рис. 4.6 показана структура таблиці «Oznaka».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique	Unique Conflict Clause
1	ID_Oznaka	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
2	ID_Board	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
3	XO	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
4	YO	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
5	ZO	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
6	Perimetr	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Рисунок 4.6 – Структура таблиці «Oznaka»

Для збереження даних про робочу зміну застосовуються такі атрибути:

- назва зміни;
- дата робочої зміни.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Smena]

Fields: 3

[ID\_Smena]: INTEGER

[DateSmena]: TEXT

[Name]: TEXT

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Smena]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Smena] end

В таблиці Smena поле DateSmena має текстовий тип тому що дата та час будуть зберігатися у системному форматі в одній комірці, Name має текстовий тип, ключове поле ID\_Smena має числовий тип.

На рис. 4.7 показана структура таблиці «Smena».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique	Unique Conflict Clause
1	ID_Smena	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
2	DateSmena	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
3	Name	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Рисунок 4.7 – Структура таблиці «Smena»

Для збереження даних про завдання, що необхідно виконати впродовж робочої зміни застосовуються такі атрибути:

- назва завдання;
- посилання на модуль, операцію над яким необхідно виконати;
- посилання на робочу зміну;
- посилання на робітника;
- позначку про завершення завдання;
- кількість модулів, що необхідно опрацювати.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Task]

Fields: 7

[ID\_Task]: INTEGER

[ID\_Smena]: INTEGER

[ID\_Work]: INTEGER

[ImagePath]: TEXT

[isComplete]: BOOL

[Count]: INTEGER

[NameTask]: TEXT

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Task]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Task] end

В таблиці Task поле ID\_Task ключове та має числовий формат, а також ознаку автоінкременту. Поле для посилання на таблицю робочої зміни ID\_Smena має числовий формат. Поле для посилання на таблицю з даними про робітників ID\_Work має числовий формат. Поле для посилання на зображення зібраного виробу ImagePath має текстовий формат. Поле для зберігання позначки про виконання завдання isComplete має тип BOOL. Поле для зберігання кількості операцій Count має тип INTEGER. Поле з ім'ям завдання NameTask має текстовий тип.

На рис. 4.8 показана структура таблиці «Task».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique
1	ID_Task	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
2	ID_Smena	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	ID_Work	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
4	ImagePath	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5	isComplete	BOOL			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
6	Count	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
7	NameTask	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.8 – Структура таблиці «Task»

Для збереження даних про працівників застосовуються такі атрибути:

- ім'я працівника;
- прізвище працівника.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Work]

Fields: 3

[ID\_Work]: INTEGER

[Name]: TEXT

[SName]: TEXT

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Work]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Work] end

В таблиці Work поле ID\_Work ключове та має числовий формат, а також ознаку автоінкременту. Поле Name має текстовий тип. Поле SName має текстовий тип.

На рис. 4.9 показана структура таблиці «Work».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique
1	ID_Work	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
2	Name	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	SName	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.9 – Структура таблиці «Work»

Для збереження даних про перелік виконаних завдань впродовж робочої зміни застосовуються такі атрибути:

- посилання на модуль, операцію над яким необхідно виконати;
- посилання на робочу зміну;
- посилання на таблицю із завданням;
- посилання на робітника;
- дата завершення операції.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Complete]

Fields: 6

[ID\_Complete]: INTEGER

[ID\_Work]: INTEGER

[ID\_Board]: INTEGER

[ID\_Task]: INTEGER

[ID\_Smena]: INTEGER

[DateComplete]: TEXT

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Complete]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Complete] end

В таблиці Complete поле ID\_Complete ключове та має числовий формат, а також ознаку автоінкременту. Поле для посилання на таблицю робочої зміни ID\_Smena має числовий формат. Поле для посилання на таблицю з даними про робітників ID\_Work має числовий формат. Поле для посилання на таблицю Board ID\_Board має числовий формат. Поле для посилання на таблицю Task ID\_Task має числовий формат. Поле для зберігання дати виконання операції DateComplete має тип TEXT.

На рис. 4.10 показана структура таблиці «Complete».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique
1	ID_Complete	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
2	ID_Work	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	ID_Board	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
4	ID_Task	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5	ID_Smena	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
6	DateComplete	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Структура таблиці «Complete»

Для збереження даних про хибні операції, що містять брак за результатами перевірки застосовуються такі атрибути:

- посилання на модуль, операцію над яким необхідно виконати;
- посилання на робочу зміну;
- посилання на таблицю із завданням;
- посилання на робітника;
- дата проведення операції.

Для збереження вказаних полів розроблена таблиця в базі даних. Схема даної таблиці в форматі SQL:

Table [Brak]

Fields: 6

[ID\_Brak]: INTEGER

[ID\_Task]: INTEGER

[ID\_Work]: INTEGER

[ID\_Smena]: INTEGER

[DateBrak]: TEXT

[ID\_Board]: INTEGER

Indexes: 0

Triggers: 0

Table constraints:

Primary Key:

Fields: [ID\_Brak]

On Conflict:

Foreign Keys: 0

Unique constraints: 0

Check constraints: 0

Table [Brak] end

В таблиці Complete поле ID\_Complete ключове та має числовий формат, а також ознаку автоінкременту. Поле для посилання на таблицю робочої зміни ID\_Smena має числовий формат. Поле для посилання на таблицю з даними про

робітників ID\_Work має числовий формат. Поле для посилання на таблицю Board ID\_Board має числовий формат. Поле для посилання на таблицю Task ID\_Task має числовий формат. Поле для зберігання дати виконання операції DateBrak має тип TEXT.

На рис. 4.11 показана структура таблиці «Brak».

RecNo	Column Name	SQL Type	Size	Precision	PK	Default Value	Not Null	Not Null Conflict Clause	Unique
1	ID_Brak	INTEGER			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
2	ID_Task	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	ID_Work	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
4	ID_Smena	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5	DateBrak	TEXT			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
6	ID_Board	INTEGER			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.11 – Структура таблиці «Brak»

Отримана структура бази даних показана на рисунку 4.12.

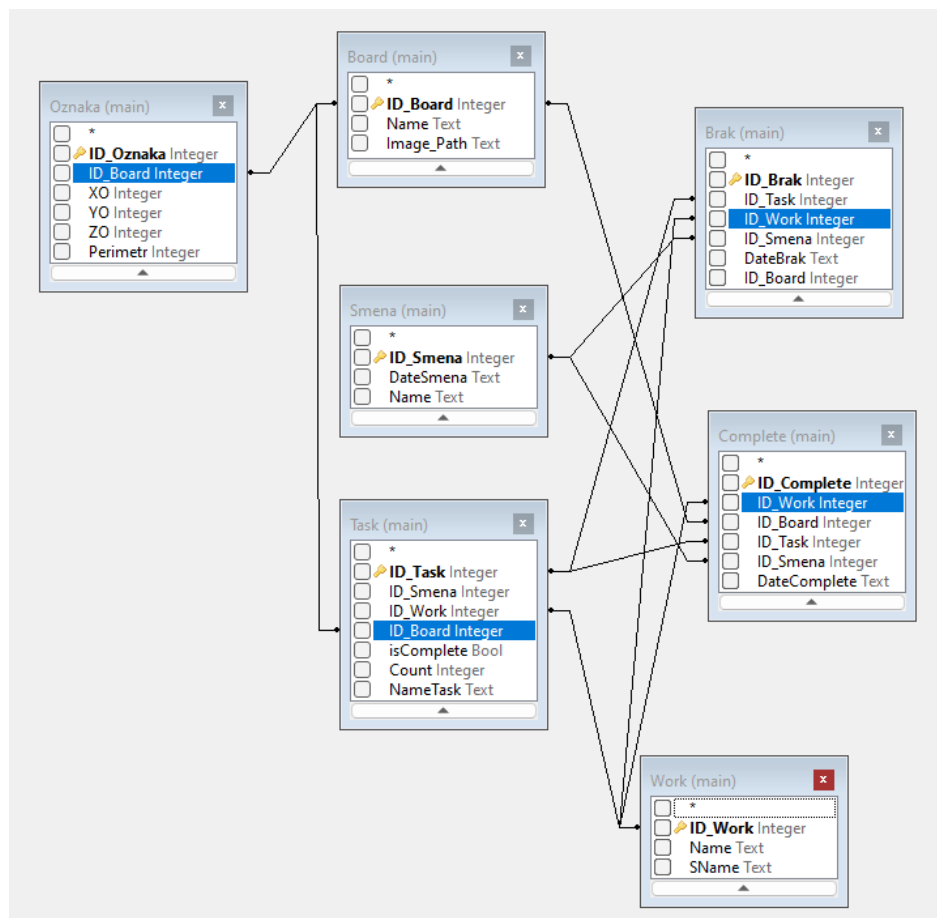


Рисунок 4.12 – Структура бази даних

### 4.3 Опис алгоритму роботи та інтерфейсу програми для виконання експериментальних досліджень

Загальний алгоритм роботи програми показано на рис. 4.13 [11].

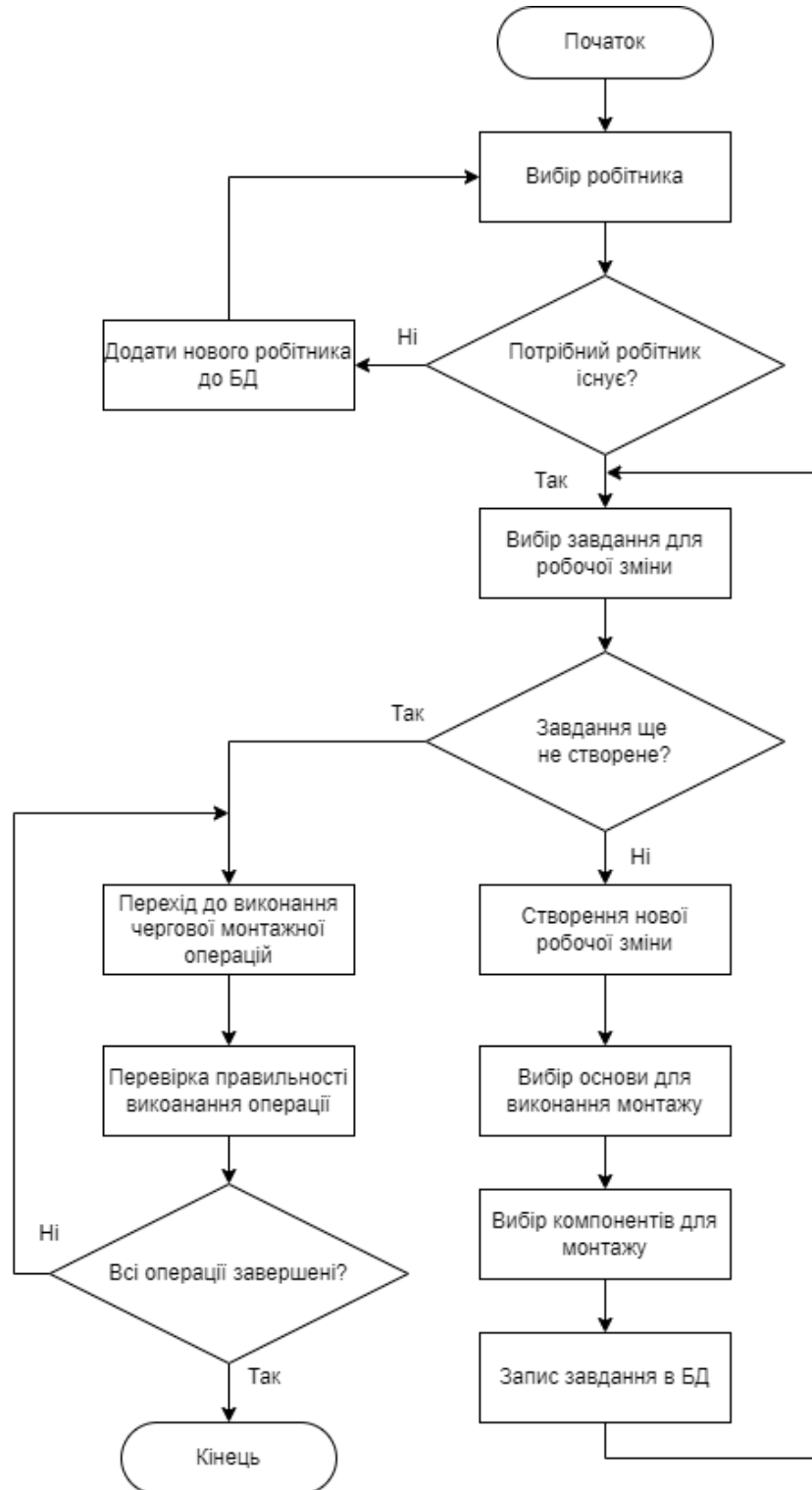


Рисунок 4.13 – Загальний алгоритм роботи програми

Робота розпочинається з вибору робітника. Якщо потрібного робітника ще не існує, то до бази даних додається основна інформація про нього. На рис. 4.14 показано діалогове вікно для додавання нового робітника.

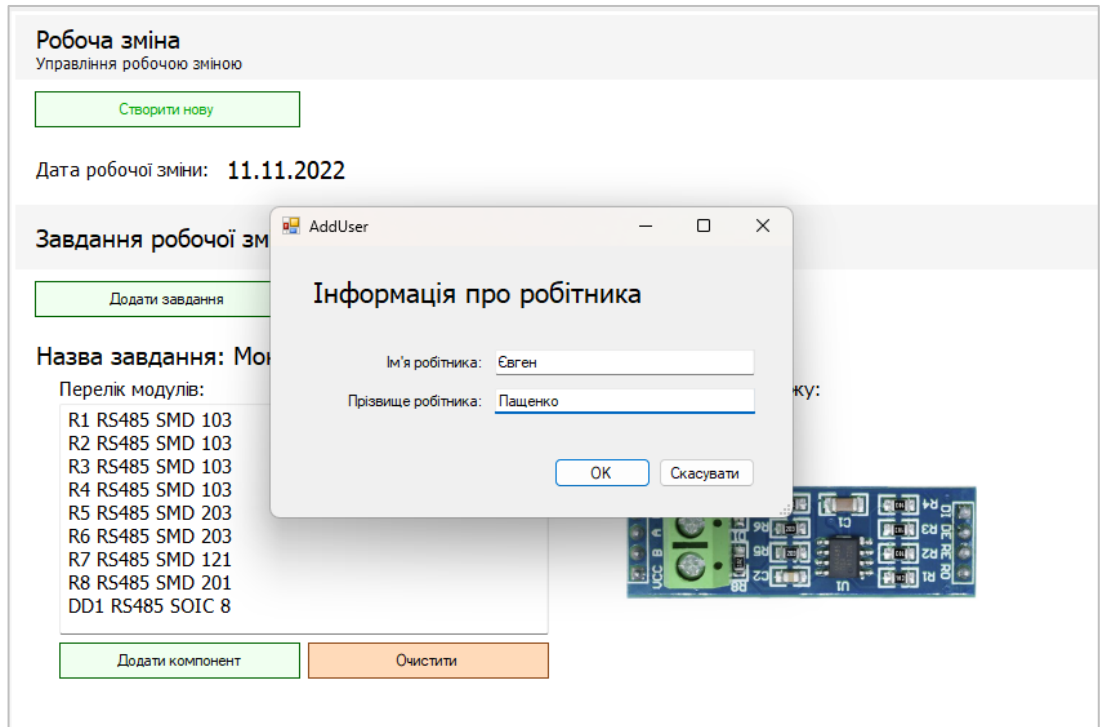


Рисунок 4.14 – Діалогове вікно для додавання нового робітника

В разі, коли робітник вже існує, то обирається його прізвище. Автоматично перевіряється поточне завдання для даного робітника. В такому випадку на екрані буде висвітлено дату поточної зміни (рис. 4.15).

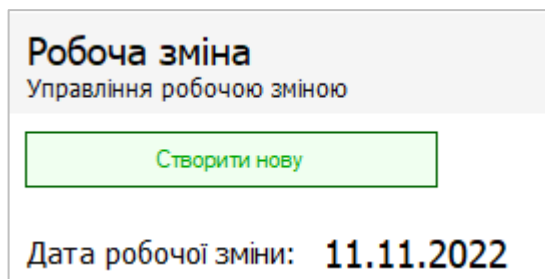


Рисунок 4.15 – Дата поточної зміни

Якщо робочої зміни ще не було створено, то необхідно натиснути на кнопку «Створити нову». В такому разі буде автоматично створено запис в базі даних про нову робочу зміну.

В залежності від обраного робітника, змінюється і інформація про монтажні операції, що необхідно виконати впродовж зміни. На рис. 4.16 показано приклад змісту завдань для двох різних робітників.

Андрій Головка

Додати

**Робоча зміна**  
Управління робочою зміною

Створити нову

Дата робочої зміни: 11.11.2022

**Завдання робочої зміни**

Додати завдання

Назва завдання: Монтажна операція SMD

Перелік модулів:

- R1 RS485 SMD 103
- R2 RS485 SMD 103
- R3 RS485 SMD 103
- R4 RS485 SMD 103
- R5 RS485 SMD 203
- R6 RS485 SMD 203
- R7 RS485 SMD 121
- R8 RS485 SMD 201
- DD1 RS485 S01C 8

Приклад виконання монтажу:

Додати компонент

Очистити

а)

Свєтєн Пашєнєкє

Додати

**Робоча зміна**  
Управління робочою зміною

Створити нову

Дата робочої зміни: 11.11.2022

**Завдання робочої зміни**

Додати завдання

Назва завдання: Монтажна операція

Перелік модулів:

- Інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485
- Плата розробника STM32F103C8T6 ARM STM32

Приклад виконання монтажу:

Додати компонент

Очистити

б)

Рисунок 4.16 – Приклад змісту завдань для двох різних робітників

У випадку, якщо необхідно створити нове завдання розроблено спеціальну форму для заповнення (рис. 4.17).

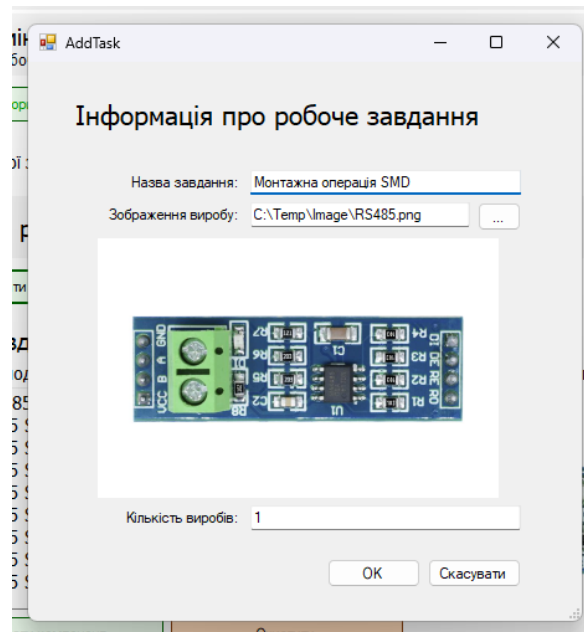


Рисунок 4.17 – Форма для створення завдання

Для заповнення форми необхідно ввести назву завдання та обрати зображення готового виробу. За цим зображення монтажник буде візуально контролювати правильність виконання операції до передавання на ділянку автоматизованого контролю.

Додавання нового компоненту на монтажну основу розроблена відповідна екранна форма, зовнішній вигляд якої показано на рис. 4.18.

В даному режимі необхідно вибрати зі спадаючого списку елементів потрібні за назвою та маркуванням. Наприклад, «DD1 RS485 SOIC 8». Попередньо в базі даних створюється перелік всіх можливих компонентів, що використовуються для монтажу та описуються їх характерні ознаки.

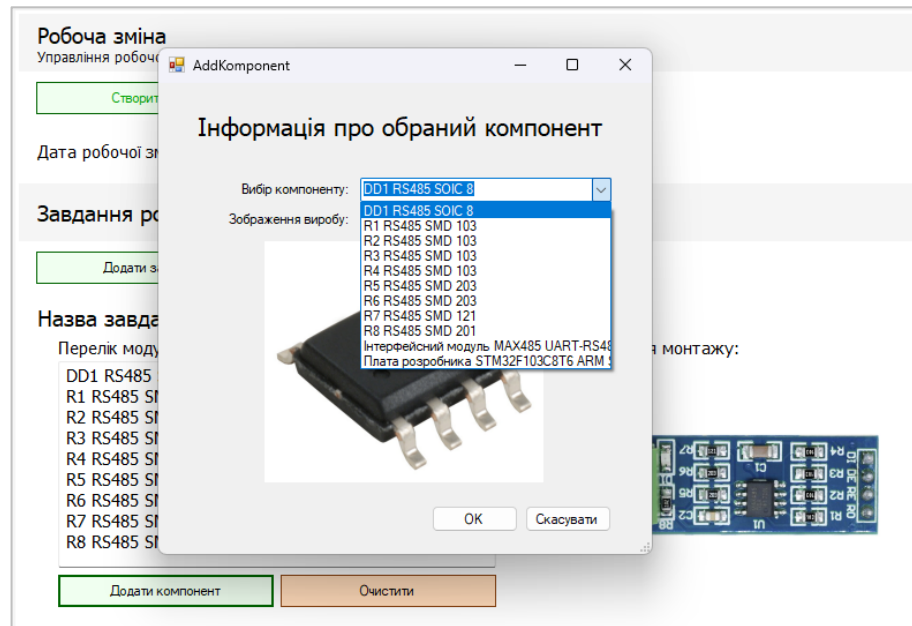


Рисунок 4.18 – Екранна форма для додавання нового компоненту на монтажну основу

Приклад заповнення таблиці з ознаками компонентів показано на рис. 4.19.

rowid	ID_Oznaka	ID_Board	XO	YO	ZO	Perimetr	Angle
Click here to define a filter							
1	1	1	21	21	0	1116	0.5
2	2	1	36	20	0	1065	1.5
3	3	2	61	16	0	1357	1.5
4	4	3	702	392	0	89	1
5	5	4	701	336	0	86	1
6	6	5	699	284	0	87	1
7	7	6	701	229	0	85	1
8	8	7	456	336	0	88	0
9	9	8	454	280	0	85	0
10	10	9	454	225	0	88	1
11	11	10	339	357	0	74	0
12	12	11	576	344	0	384	0.5

Рисунок 4.19 – Приклад заповнення таблиці з ознаками компонентів

В цій таблиці наряду з координатами правильного розташування, також вказані такі ознаки, як периметр границі зображення, що оточує компонент, та кут його правильної орієнтації на монтажній основі.

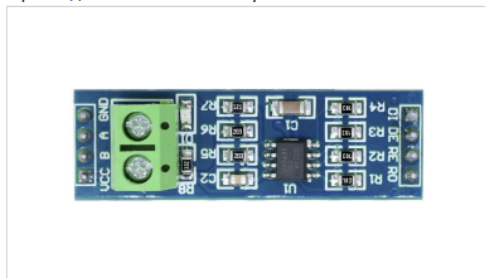
На рис. 4.20 показано приклад програмного класу, що описує дані про ознаку компонентів.

```
public class OznakaMember
{
    public int ID_Oznaka { get; set; }
    public int ID_Board { get; set; }
    public int X0 { get; set; }
    public int Y0 { get; set; }
    Ссылка: 0
    public int Z0 { get; set; }
    Ссылка: 3
    public int Perimetr { get; set; }
    Ссылка: 3
    public string Angle { get; set; }
}
```

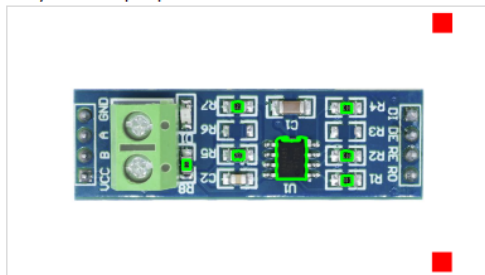
Рисунок 4.20 – Приклад програмного класу, що описує дані про ознаку компонентів

Після створення завдання на робочу зміну можна переходити до виконання цих завдань. На рис. 4.21 показано фрагмент інтерфейсу програми, на якому зображено робоче вікно монтажника.

Приклад виконання монтажу:



Результат перевірки:



Операція завершена.  
Виконати перевірку

Монтаж із помилкою!

Повернути для  
усунення недоліків

Перейти до нового  
завдання

Протокол перевірки:

Модуль "DD1 RS485 SOIC 8" встановлено вірно  
Модуль "R1 RS485 SMD 103" встановлено вірно  
Модуль "R2 RS485 SMD 103" встановлено вірно  
Помилка в монтажі модуля "R3 RS485 SMD 103"  
Модуль "R4 RS485 SMD 103" встановлено вірно  
Модуль "R5 RS485 SMD 203" встановлено вірно  
Помилка в монтажі модуля "R6 RS485 SMD 203"  
Модуль "R7 RS485 SMD 121" встановлено вірно  
Модуль "R8 RS485 SMD 201" встановлено вірно

Рисунок 4.21 – Робоче вікно монтажника

У відповідності до алгоритму (4.13) працівник, дивлячись на приклад виконання монтажної операції встановлює компоненти на монтажну основу. Після візуального огляду він передає зібраний виріб на ділянку автоматизованого контролю. Для цього він натискає на кнопку «Операція завершена. Виконати перевірку». Як біло зазначено в розділі 2 та показано на рис. 2.2, виріб автоматично переміщується в зону контролю де за допомогою системи комп'ютерного зору перевіряється правильність виконання операції.

Результат перевірки виводиться на екран, де також показується протокол дослідження з вказанням правильного або ні розташування компонентів на монтажній основі. Якщо всі компоненти розташовані правильно, то можна переходити до наступної операції. Якщо ні, то виріб повертається на доопрацювання, та порядок дій повторюється.

#### 4.4 Опис реалізації розробленого методу контролю правильності монтажних операцій

На етапі автоматизованого контролю правильності монтажної операції використовується відповідний розроблений метод. В основі запропонованого методу лежить бібліотека Emgu CV [14, 15]. Ця бібліотека є різновидом OpenCV, що призначена для використання разом із мовою програмування C#.

OpenCV та Emgu CV – це дуже популярна бібліотека для обробки зображень, що написана мовами програмування C і C++ [8]. Програмісти, знайомі з мовами C# і Visual Basic.NET, часто стикаються з проблемами під час використання OpenCV. Тому для розробників C#, доступна міжплатформна оболонка .NET для бібліотеки обробки зображень OpenCV, що називається Emgu CV. Ця оболонка дозволяє програмам на C# спілкуватися з власними API базової бібліотеки, написаної за допомогою некерованого коду.

Структура бібліотеки Emgu CV показана на рис. 4.22 [8].

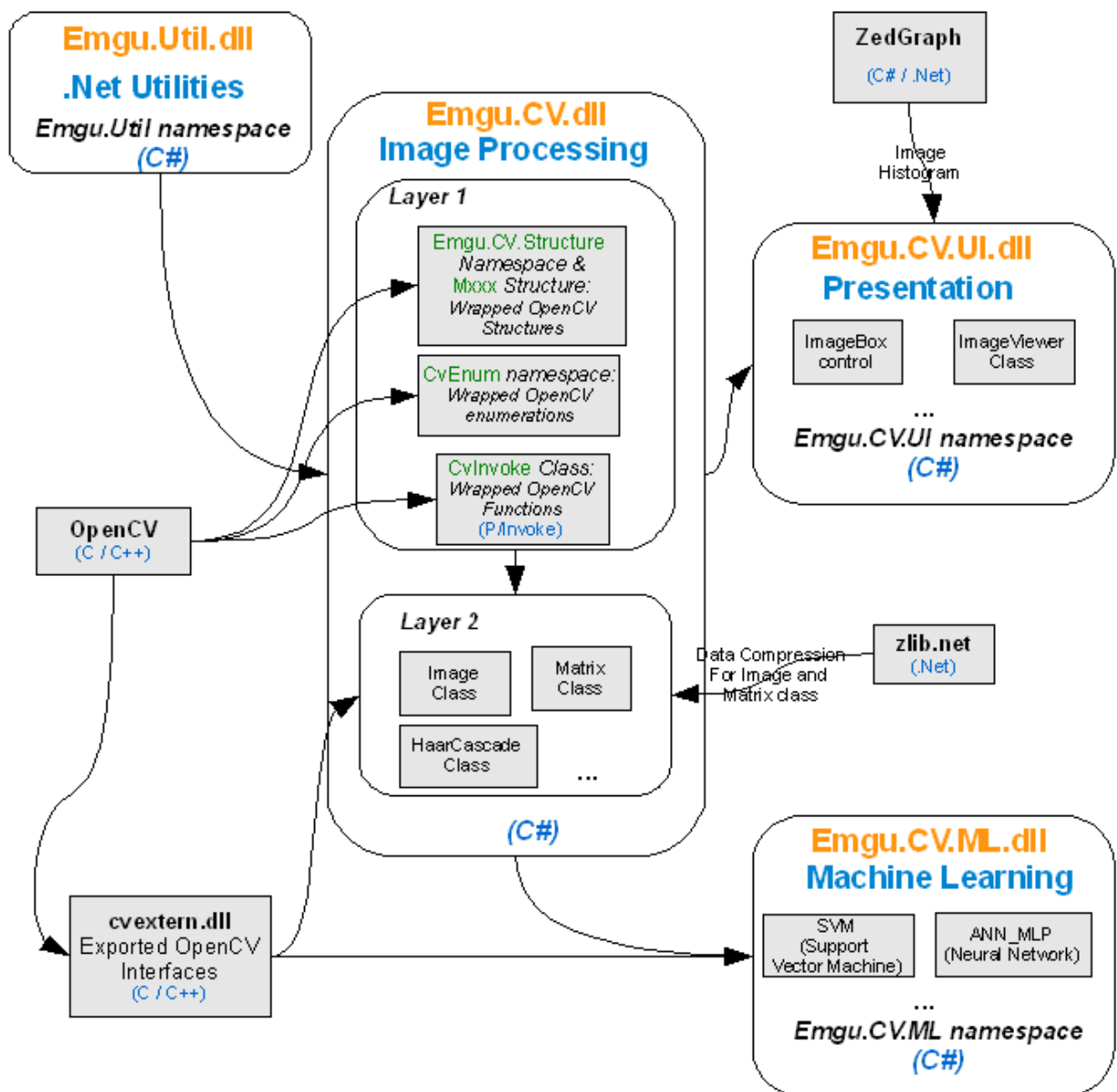


Рисунок 4.22 – Структура бібліотеки Emgu CV

Функції Emgu CV можна викликати з таких мов, як C#, VB, VC++, Python тощо. Цю оболонку можна скомпільувати в Mono та запускати на пристроях Windows, Linux, Mac OS X, iPhone, iPad і Android.

Бібліотеки Emgu CV сумісні з іншими мовами, а інсталяція супроводжується прикладом коду для повторного використання розробниками. Emgu CV здатний виконувати багато функцій, що пов'язані з

задачами обробки та розпізнавання зображень, зокрема, це: визначення країв, перетворення відтінків сірого та вирівнювання гістограми.

Функція розпізнавання залежить від типу монтажної операції. Насамперед, це пов'язано з розміром компонентів, що встановлюються на монтажну основу, точністю визначення координат їх розміщення. Метод виклику функції розпізнавання показана на рис. 4.20.

```
private void button23_Click(object sender, EventArgs e)
{
    button23.Enabled = false;
    if (TaskName.Contains("SMD"))
    {
        CheckOznakaSMD();
    }
    else
    {
        Calibrate();
        CheckOznaka();
    }
    testMontage();
}
```

Рисунок 4.20 – Метод виклику функції розпізнавання

Монтаж великих за габаритами компонентів на основу потребує застосування функції попереднього калібрування. Це робиться для прив'язки до місця розташування монтажної основи, а також визначення масштабних коефіцієнтів перетворення лінійних розмірів компонентів, що встановлюються.

В нашому випадку в якості міток прив'язки до початкових координат використовуються дві червоні мітки, як показано на рис. 4.21.

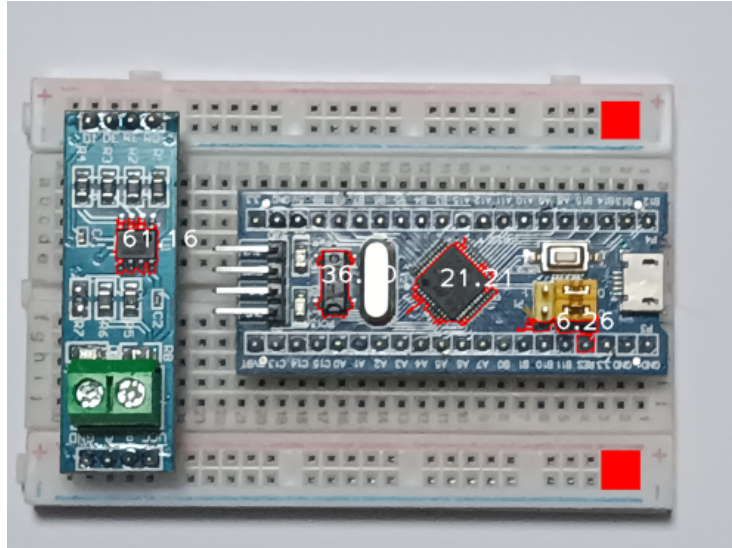


Рисунок 4.21 – Позначки на монтажній основі

На рис. 4.22 показано принцип визначення масштабних коефіцієнтів [11-13].

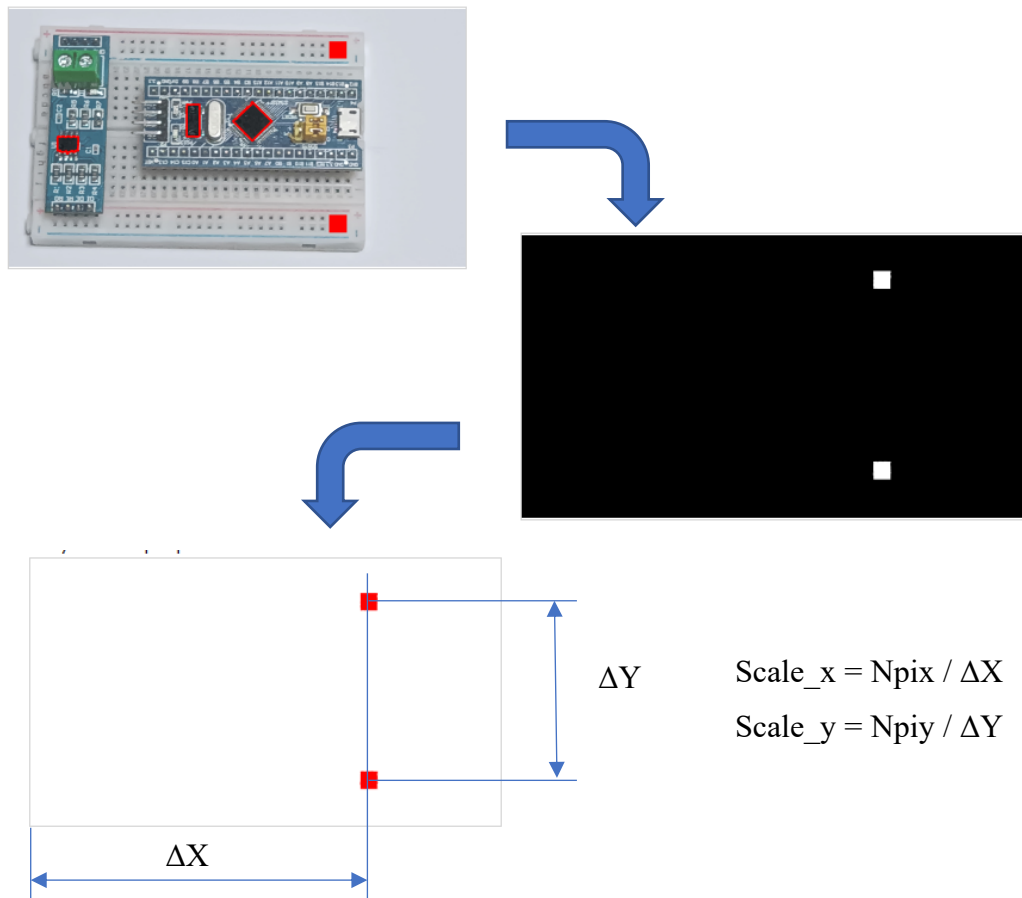


Рисунок 4.21 – Принцип визначення масштабних коефіцієнтів

Масштабний коефіцієнт по осі Y визначається, як відношення кількості пікселів між позначками до реального значення відстані між ними в мм:

$$\text{Scale}_y = N_{\text{pix}} / \Delta Y. \quad (4.1)$$

Масштабний коефіцієнт по осі X визначається, як відношення кількості пікселів між лівою границею зображення та нижньою позначкою до реального значення відстані між ними в мм:

$$\text{Scale}_x = N_{\text{pix}} / \Delta X. \quad (4.2)$$

За процедуру підготовки зображення до калібрування відповідає наступний програмний код:

```
Image<Bgr, byte> mImage = inputImage.Convert<Bgr, byte>();
mImage.SmoothGaussian(5);
Bgr lower = new Bgr(0, 0, 200);
Bgr higher = new Bgr(0, 0, 255);
var mask = mImage.InRange(lower, higher).Not();
mImage.SetValue(new Bgr(255, 255, 255), mask);
pictureBox2.Image = mImage.Bitmap;
Image<Gray, Byte> grayImage =
mImage.SmoothGaussian(5).Convert<Gray, Byte>().ThresholdBinaryInv(new
Gray(80), new Gray(255));
VectorOfVectorOfPoint counturs = new VectorOfVectorOfPoint();
Mat hierarhy = new Mat();
```

В даному коді можна бачити, як накладається бітова маска на зображення, щоби виділити тільки реперні точки для подальшого визначення масштабних коефіцієнтів.

Програмний код визначення масштабних коефіцієнтів показано на рис. 4.22.

```

if (marker.Count > 1)
{
    Point A = marker[0];
    Point B = marker[1];
    int lengthMarker = Math.Abs(A.Y - B.Y);
    scale_y = scale_x = lengthMarker / 44;

    //Null Point
    if (A.Y > B.Y)
    {
        nullCoordinates = new Point(B.X, B.Y);
    }
    else nullCoordinates = new Point(A.X, A.Y);
}

```

Рисунок 4.22 – Програмний код визначення масштабних коефіцієнтів

В даному коді число 44 – це реальна відстань між реперними мітками на монтажному шасі.

Функція перевірки правильності монтажу показана на рис. 4.23.

```

//Get list all board
string sql = String.Format("Select * from TaskBoard where ID_Task = '{0}';", ID_Task);
List<System.Object> rows = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("Rcogn_Image.TaskBoardMember", sql);
foreach (System.Object ob in rows)
{
    string ID_Board = (ob as TaskBoardMember).ID_Board.ToString();
    string Name = DataBase.Find_Value(String.Format("Select Name from Board where ID_Board = '{0}'", ID_Board), "Name");

    //test Boart
    String rTest = "";
    string BoardName = DataBase.Find_Value(String.Format("Select Name from Board where ID_Board = '{0}'", ID_Board), "Name");
    bool resultBoard = testBoard(ID_Board);
    if (resultBoard == true)
    {
        rTest = String.Format("Модуль \"{0}\" встановлено вірно\r\n", BoardName);
    }
    else
    {
        rTest = String.Format("Помилка в монтажу модуля \"{0}\"!\r\n", BoardName);
        resTest = false;
    }
    textBox3.Text += rTest;
}

```

Рисунок 4.23 – Функція перевірки правильності монтажу

В даній функції на початку отримуються перелік всіх компонентів, що повинні бути встановлені на монтажній основі. За це відповідає наступний програмний код:

```

string sql = String.Format("Select * from TaskBoard where ID_Task = '{0}';",
ID_Task);

List<System.Object> rows =
(List<System.Object>)DataBase.LoadList("Rcogn_Image.TaskBoardMember",
sql);

```

Після отримання переліку компонентів, починається цикл перевірки встановлення кожного компоненту. Приклад даного коду показано на рис. 4.24.

```

private bool testBoard(string ID_Board)
{
    bool res = false;

    //Get list all Oznaka
    string sql = String.Format("Select * from Oznaka " +
        "where ID_Board = '{0}';", ID_Board);
    List<System.Object> rows = (List<System.Object>)DataBase.
        LoadList("Rcogn_Image.OznakaMember", sql);
    foreach (System.Object ob in rows)
    {
        bool resRecogn = recognOznaka(ob as OznakaMember);
        if (resRecogn == true)
        {
            return true;
        }
    }

    return res;
}

```

Рисунок 4.24 – Функція перевірки встановлення кожного компоненту

В процесі виконання даної функції отримується перелік всіх ознак для обраного компоненту. Для знайдених ознак викликається функція розпізнавання правильності монтажу, що показана на рис. 4.25.

```

private bool recognOznaka(OznakaMember oznakaMember)
{
    bool res = false;

    int X0 = oznakaMember.X0;
    int Y0 = oznakaMember.Y0;
    int Perimetr = oznakaMember.Perimetr;
    double Angle = double.Parse(oznakaMember.Angle.ToString().Replace('.', ','));

    foreach (OznakaMember oz in findOznaka)
    {
        bool complexCheck = true;

        //check X
        if ((oz.X0 < (X0 - 2)) || (oz.X0 > (X0 + 2))) complexCheck = false;

        //check Y
        if ((oz.Y0 < (Y0 - 2)) || (oz.Y0 > (Y0 + 2))) complexCheck = false;

        //check Perimetr
        if ((oz.Perimetr < (Perimetr - 20)) || (oz.Perimetr > (Perimetr + 20))) complexCheck = false;

        //check Angle
        double testAngle = double.Parse(oz.Angle.ToString().Replace('.', ','));
        if ((testAngle < (Angle - 0.3)) || (testAngle > (Angle + 0.3))) complexCheck = false;

        //test Complex
        if (complexCheck == true)
        {
            return true;
        }
    }

    return res;
}

```

Рисунок 4.25 – Функція розпізнавання правильності монтажу

З даного прикладу можна бачити, що знайдені ознаки на зображенні послідовно перевіряються з ознаками кожного компоненту. Якщо хоча б одна ознака не співпадає – видається негативний результат порівняння.

При розпізнаванні для кожної ознаки задається діапазон похибки. Для координат розміщення компонентів – це похибка  $\pm 2$  мм. Для значення периметру – це  $\pm 20$  пікселів на зображенні. Для кута оберту при встановленні –  $\pm 0,3$  градуси.

Вихідним значенням функції розпізнавання є true або false, тобто правильно, або не правильно встановлений компонент. На основі отриманих даних генерується повідомлення монтажнику та вирішується, чи повертати модуль на доопрацювання.

#### 4.5 Висновки по четвертому розділу

В результаті виконання четвертого розділу кваліфікаційної роботи виконано планування експерименту. Описані компоненти, що приймають участь в експерименті. Описані вимоги до програмного засобу та бази даних, що необхідно створити для проведення експерименту.

Розроблена структура бази даних. Для проведення експерименту використовується база даних SQLite. Створені необхідні схеми для реалізації задачі зберігання даних.

Описано алгоритм роботи та інтерфейс програми для виконання експериментальних досліджень. Надано опис реалізації розробленого методу контролю правильності монтажних операцій у вигляді тестової програми.

В основі запропонованого методу лежить бібліотека Emgu CV. Наведено опис основних функцій розпізнавання зображень виробів при автоматизованому контролі монтажних операцій.

## 5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

### 5.1 Аналіз отриманих результатів

В результаті проведеного експерименту отримані реальні дані про роботи запропонованого методу. На рис. 5.1 показані координати розміщення основних компонентів на платах, що встановлюються на монтажну основу.

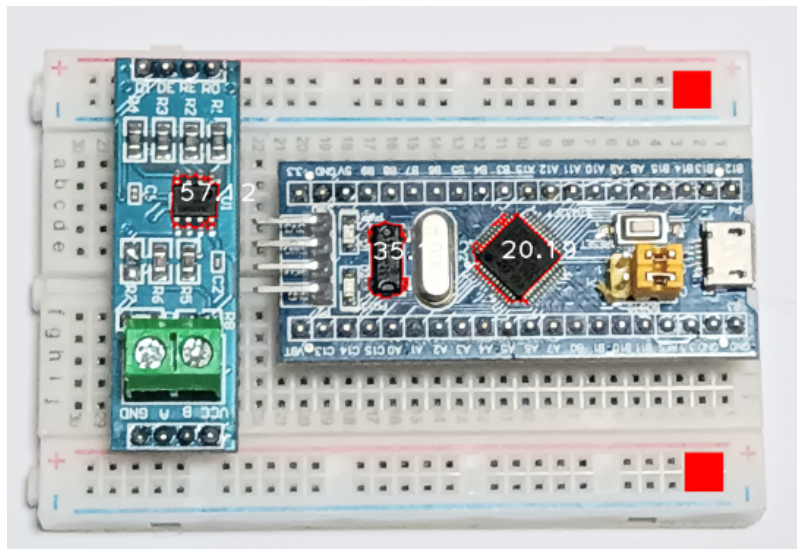


Рисунок 5.1 – Координати розміщення основних компонентів на платах

За результатами даного експерименту можна зробити висновок, що плата Інтерфейсний модуль MAX485 UART-RS485 встановлена невірно. Якщо порівняти з еталоном, щоображено на рис. 4.21, то можна бачити, що координати характерної ознаки (мікросхеми DD1) відрізняються за віссю X на 4 мм, та віссю Y – теж на 4 мм (див. таб. 5.1), що означає зміщення плати відносно її заданого місця встановлення.

Інший експеримент був проведений для випадку встановлення інтерфейсного модуля в зворотному напрямку. Приклад такого експерименту показано на рис. 5.2.

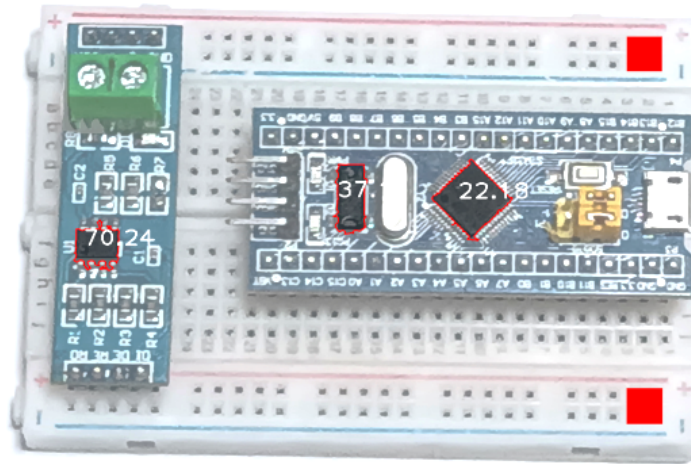


Рисунок 5.2 – Випадок встановлення інтерфейсного модуля в зворотному напрямку

Дані проведених експериментів показані в таблиці 5.1.

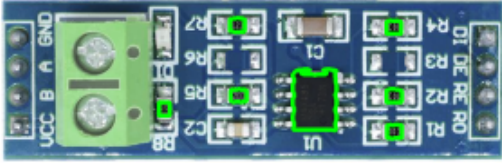
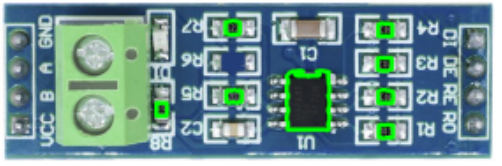
Таблиця 5.2 – Результати експерименту

№ плати	Компонент	X, мм	Y, мм	$\Delta X$ , мм	$\Delta Y$ , мм	Результат
1	DD1, MAX485, (еталон)	61	16	0	0	вірно
	VD1, Діодна збірка, (еталон)	36	10	0	0	вірно
	DD2, STM32, (еталон)	21	21	0	0	вірно
2	DD1, MAX485, (експ. 1)	57	12	- 4	- 4	не вірно
	VD1, Діодна збірка, (експ. 1)	35	12	1	2	вірно
	DD2, STM32, (експ. 1)	20	19	1	2	вірно
3	DD1, MAX485, (експ. 2)	70	24	11	8	не вірно
	VD1, Діодна збірка, (експ. 2)	37	12	1	2	вірно
	DD2, STM32, (експ. 2)	22	18	1	3	вірно

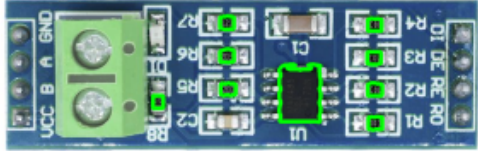
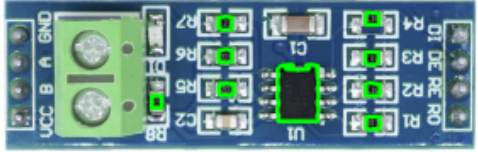
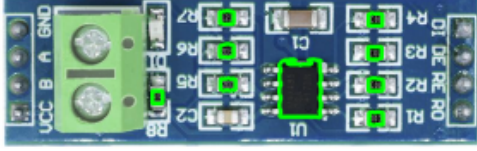
За даними експериментальних досліджень визначення правильності встановлення габаритних компонентів запропонований метод показав достатню точність для виявлення похибок в монтажних операціях.

Наступний експеримент проводився для перевірки правильності монтажу SMD компонентів. Приклади правильних та неправильних результатів показані в таблиці 5.2.

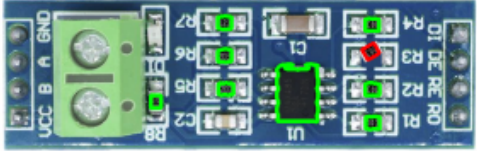
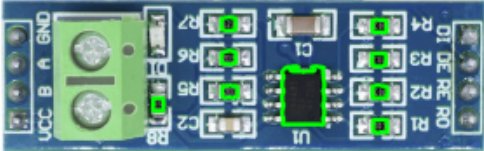
Таблиця 5.2 – Результати перевірки правильності монтажу SMD компонентів

№ експерименту	Зображення	Результат
1		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Помилка в монтажу модуля "R3"!  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Помилка в монтажу модуля "R6"!  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>
2		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Модуль "R3" встановлено вірно  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Помилка в монтажу модуля "R6"!  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>

## Продовження таблиці 5.2

№ експерименту	Зображення	Результат
3		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Модуль "R3" встановлено вірно  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Модуль "R6" встановлено вірно  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>
4		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Помилка в монтажу модуля "R3"!  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Модуль "R6" встановлено вірно  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>
5		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Модуль "R3" встановлено вірно  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Модуль "R6" встановлено вірно  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>

## Продовження таблиці 5.2

№ експерименту	Зображення	Результат
6		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Помилка в монтажу модуля "R3"!  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Модуль "R6" встановлено вірно  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>
7		<p>Модуль "DD1" встановлено вірно  Модуль "R1" встановлено вірно  Модуль "R2" встановлено вірно  Модуль "R3" встановлено вірно  Модуль "R4" встановлено вірно  Модуль "R5" встановлено вірно  Модуль "R6" встановлено вірно  Модуль "R7" встановлено вірно  Модуль "R8" встановлено вірно</p>

В результаті аналізу отриманих даних можна бачити, що в першому експерименті монтажник не встановив два SMD компоненти – R3 та R6. Запропонований метод цю помилку виявив та показав в звіті про перевірку.

В результаті другого експерименту можна бачити відсутність SMD компоненту R6. Функція розпізнавання виявила цю помилку (див. таб. 5.2).

В третьому експерименті всі SMD компоненти встановлені вірно. Відхилення від зразку мінімальні.

В четвертому експерименті SMD резистор R4 встановлено зі зміщенням на 1 мм в вертикальній вісі Y. Програма виявила цю похибку.

В п'ятому експерименті всі компоненти встановлені вірно.

В шостому експерименті резистор R3 встановлено не вірно. Компонент повернуто на кут більше 3 градусів відносно заданого положення. Також він зміщений догори на 0,5 мм. Запропонований метод виявив цю помилку.

В сьомому експерименті всі компоненти встановлені вірно.

## 5.2 Охорона праці

Штучне освітлення повинно бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Освітлення приміщення і робочого місця повинно бути м'яким, без блиску. Для штучного освітлення приміщення рекомендується використовувати люмінесцентні лампи, у яких велика світлова віддача, мала яскравість світної поверхні, близький до природного спектральний склад випромінювання.

Розрахунок штучного освітлення зробимо методом коефіцієнта використання світлового потоку. Мета розрахунку – визначення числа світильників при загальному рівномірному освітленні.

Пропонується обладнати підвісну стелю світильниками ЛПО 04 -2x40-002 з лампами ЛД (ЛБ) 40.

Коефіцієнти відбиття світлового потоку від підлоги, стін і стелі відповідно рівні:  $\rho_{ст} = 30\%$ ,  $\rho_{ст} = 50\%$ ,  $\rho_{ст} = 70\%$ . За індексом приміщення і коефіцієнтів відбиття вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку  $n = 0,47$ .

Визначимо необхідну кількість світильників при загальній системі освітлення.

Для машинних залів рівень робочої поверхні над підлогою складає  $h_{pn} = 0.8$  м. При цьому  $H = 3,2$  (висота підвісу над робочою поверхнею при величині схилу світильника 0 м).

$$h = H - h_{pn} - h_c, \quad (5.1)$$

$$h = 3,2 - 0,8 = 3,2 \text{ м.}$$

Відомо, що найкраще ставлення відстані між світильниками до відстані до робочої поверхні становить 1,4. Використовуються світильники стельового типу, розташовані уздовж довгої сторони приміщення. Звідси можна знайти оптимальну відстань між рядами світильників і число цих рядів

$$L = h \cdot \xi, \quad (5.2)$$

де  $\xi$  - вигідна ефективність для світильників, що використовуються.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 7 \cdot 6 = 42 \text{ м}^2. \quad (5.3)$$

$$L = 1,4 \cdot h \quad (5.4)$$

$$L = 1,4 \cdot 3,2 = 4,48 \text{ м.}$$

Знаходимо число рядів світильників:

$$n = B/L, \quad (5.5)$$

де  $B$  – ширина приміщення

$$n = 6/4,48 = 1,34.$$

Для світильників ДРЛ(6) світловий потік, створюваний однією лампою  $P_L = 3200$  лм (люмен),  $Z$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення (дорівнює 1,1).

Визначається показник індексу приміщення

$$\Phi = (A \cdot B) / ((H_p \cdot (A+B))) = (7 \cdot 6) / ((3,2 \cdot (7+6))) = 1. \quad (5.6)$$

Необхідна кількість світильників визначається за формулою

$$N = (E_{\min} \cdot S \cdot k) Z / (P_L \cdot n \cdot \eta). \quad (5.7)$$

Оскільки довжина приміщення  $A = 6$  м, всі світильники розміщуються в двох рядах з розривами.

$$N = (400 \cdot 42 \cdot 1,5) \cdot 1,1 / (3200 \cdot 2 \cdot 0,47) = 9,22 = 10 \text{ шт.} \quad (5.8)$$

Число ламп в світильнику одно 2. Загальна кількість ламп одно

$$n = 2 \cdot N \quad (5.9)$$

$$n = (2 \cdot 10) = 20 \text{ шт.}$$

Розділивши  $N$  на число рядів, можна визначити число світильників, що встановлено в кожному ряду. Оскільки довжина світильника відома, то потрібно знайти довжину всіх світильників ряду.

Якщо ця довжина близька до геометричній довжині приміщення, він виходить суцільним; якщо менше, то світильники розміщуються з розривами; якщо більше довжини приміщення, то збільшується число рядів.

Довжина світильника ЛПО 04 - 2x40-002 рівняється 1,2 м, довжина одного ряду дорівнює  $5 \cdot 1,2 = 6$  м.

Число світильників в кожному ряду:  $N_p = N / 2 = 5$ .

$$L \cdot (N - 1) + 2 \cdot C = B \quad (5.9)$$

$$3,1 \cdot (2 - 1) + 2 \cdot 1,45 = 6 \text{ м.} \quad (5.10)$$

### 5.3 Висновки до п'ятого розділу

В результаті виконання п'ятого розділу кваліфікаційної роботи виконано аналіз отриманих результатів, наведені звітні таблиці для опису отриманих результатів перевірки правильності монтажних операцій. Проаналізовані результати монтажу як габаритних компонентів, так і SMD-компонентів на монтажну основу.

Таким чином, запропонований метод показав свою працездатність та можливість визначення мінімального відхилення в розташуванні компонентів на платі  $\pm 1$  мм.

## ВИСНОВКИ

Результатом виконання кваліфікаційної роботи є розробка методу визначення правильності розташування компонентів на монтажній основі з використанням системи комп'ютерного зору.

В результаті виконання аналізу літератури за темою кваліфікаційної роботи розглянуті принципи застосування засобів контролю монтажних та збиральних операцій на виробництві. Визначено об'єкт контролю та надано опис процес отримання й обробки інформації, яка оцінює відповідність вибору технічним вимогам.

Проведено аналіз методів оцінки точності встановлення компонентів при виконанні монтажних робіт. Зазначені характеристики спеціалізованого обладнання для виконання монтажних робіт.

Надані теоретичні відомості про методику визначення систематичної та випадкової похибки встановлення компонентів на друковану плату або шасі приладу. Наведено опис методу визначення точності технологічного обладнання для автоматизованого встановлення елементів.

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи виконане ескізне проектування в результаті якого розроблена схема роботи автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій.

Основою запропонованої схеми є система технічного зору для виявлення дефектів після монтажних операцій. Система технічного зору інтегрована в технологічну послідовність операцій на конвеєрі збирального цеху.

Виконано синтез математичної моделі запропонованої автоматизованої системи та згенеровано граф переходів для автоматизованої системи контролю монтажних операцій.

Запропонована схема автоматизованої системи контролю виконання монтажних операцій дозволяє вже на етапі виконання операції виконувати поточний контроль для швидкого усунення дефектів. Таким чином,

знижується час на виправлення помилок, та зменшується кількість бракованих виробів на виробництві.

Основою запропонованої схеми є система комп'ютерного зору для виявлення дефектів після монтажних операцій. Система технічного зору інтегрована в технологічну послідовність операцій на конвеєрі збирального цеху. В даній схемі автоматизована система контролює дії робітника, що виконує ручні монтажні операції з встановлення компонентів на шасі приладу.

В основі запропонованого методу лежить бібліотека Emgu CV. Ця бібліотека є різновидом OpenCV, що призначена для використання разом із мовою програмування C#.

Розроблена структура бази даних. Для проведення експерименту використовується база даних SQLite. Створені необхідні схеми для реалізації задачі зберігання даних.

Розроблено алгоритм роботи та інтерфейс програми для виконання експериментальних досліджень. Надано опис реалізації розробленого методу контролю правильності монтажних операцій у вигляді тестової програми.

Проведено експериментальні дослідження працездатності запропонованого методу визначення правильності виконання монтажних операцій. Розроблено тестову програму та структуру бази даних.

Запропонований метод показав свою працездатність та можливість визначення мінімального відхилення в розташуванні компонентів на платі  $\pm 1$  мм. Максимальна припустима похибка для координат розміщення компонентів –  $\pm 2$  мм, для кута оберту при встановленні –  $\pm 0,3$  градуси.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. – Введ. 2015-06-22. - К.: Держстандарт України, 2015. - 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка, освітньо-професійної програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є. А. Разумов-Фризюк, О.О. Чала. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 51 с.
3. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
4. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. – Режим доступу: [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-diju-rishennja-vchenoi-radi -universitetu.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-diju-rishennja-vchenoi-radi -universitetu.pdf)
5. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
6. Невлюдов І.Ш. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2019. . – 286 с.
7. Grout I. Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs. Amsterdam: Elseveit, 2008. 784 p

8. OpenCV шаг за шагом. Нахождение контуров и операции с ними [Электронный ресурс] URL: <https://robocraft.ru/blog/computervision/640.html> – Дата звернення: 14.09.2022 р.

9. A. Djajadi, F. Laoda, R. Rusyadi, T. Prajogo and M. Sinaga, "A model vision of sorting system application using robotic manipulator", Journal.uad.ac.id, 2017. [Online]. Available: <http://journal.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/615/424>. [Accessed: 21- Sep- 2022].

10. Juang, Jih-Gau, Yi-Ju Tsai, and Yang-Wu Fan. "Visual recognition and its application to robot arm control." Applied Sciences 5, no. 4 (2015).

11. Varun Batra, Vijay Kumar, "Real-Time Object Detection and Localization for Vision-Based Robot Manipulator", SN Computer Science, vol.2, no.3, 2021.

12. Kaur, Jaskirat & Singh, Williamjeet. (2022). Tools, techniques, datasets and application areas for object detection in an image: a review. Multimedia Tools and Applications. 81. 1-55.

13. D. P. Yousefian Barfeh, P. X. Mari Delos Reyes, M. -R. Mirzaee, H. Esmailian, J. Montalbo and R. Bustamante, "Pixel-based Scene Analysis in Robot Vision," 2019 5th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSPIS48872.2019.9066056.

14. Пащенко Є.В. Побудова SIFT дескрипторів і завдання зіставлення зображень для автоматизованої системи розпізнавання деталей на виробництві [Текст] // 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 2. – Харків: ХНУРЕ. 2021 – 19-20 с.

15. S. Novoselov, O. Sychova, Y. Pashchenko, Automated module for product identification by their visual characteristics. III International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2021, Kharkiv, Ukraine, June 24-25, 2021. – Kharkiv, NURE. P. 25-29.