



Харківський національний університет радіоелектроніки

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КІТАМ

І.Ш. Невлюдов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 року

**ЗАВДАННЯ  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

студентові Кадубовському Денису Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
Технологія оптичного позиціонування шлюзу завантаження підкладок

затверджені наказом по університету від 02.11.2020 р.№ 1508 Ст.

2. Термін подання студентом роботи (проекту) \_\_\_\_\_ 11.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
Об'єкт автоматизації – автоматична система фотолітографії

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ

4.2 Аналіз сучасного стану питання

4.2 Розробка структурної схеми та розрахунок компоновки РТК

4.3 Розрахунок циклограми технологічного процесу фотолітографії

4.4 Охорона праці

4.5. Висновки

4.6 Перелік посилань

4.7 Додатки

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

Графічний матеріал у вигляді презентації – арк.. ф. А4

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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання	02.11.2020	Виконано
2	Аналіз завдання	03.11.2020	Виконано
3	Аналіз аналогів	04.11.2020	Виконано
4	Аналіз об'єкту автоматизації	08.11.2020	Виконано
5	Проведення проектування з виконанням відповідних розрахунків	13.11.2020	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	15.11.2020	Виконано
7	Подання на підпис керівнику роботи	30.11.2020	Виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	08.12.2020	Виконано
9	Подання роботи на рецензію	06.12.2020	Виконано
10	Подання атестаційної роботи до ЕК	10.12.2020	Виконано

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2020 р.

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кадубовський Д.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Проф. Филипенко О.І.

(посада, прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 66 с., 36 рис., 3 табл., 12 джерел.

### ФОТОЛІТОГРАФІЯ, ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, КВАРЦЕВА ПІДКЛАДКА, ПЕРЕТВОРЕННЯ ХАФА

Об'єкт дослідження – система технічного зору, автоматична обробка, аналіз зображень та адаптер захоплення зображення.

Предмет дослідження – методи первинної обробки візуальної інформації промислового робота.

Мета магістерської роботи – дослідження та удосконалення методів контролю при позиціонуванні підкладок у роботизованому шлюзі завантаження з використанням оптичних систем.

Методи дослідження – метод пошуку середнього квадратичного відхилення, методи медіанної фільтрації, перетворення Хафа.

Удосконалено математичний метод оптичного позиціонування підкладок в завантажувальному шлюзі автоматичної системи фотолітографії. Розроблено алгоритм попередньої обробки зображення, що передбачає після фільтрації зображення поточної позиції підкладки оцінку координати центру кола підкладки проводити з використанням перетворення Хафа.

Розроблено програмний модуль, що реалізує математичні методи аналізу результатів позиціонування оптичним методом контролю. Експериментальні дослідження показали працездатність методу. Недоліками розробленого методу є відсутність графічного інтерфейсу та відносно велике відхилення  $\pm 340$  мкм. Таке значення можливо зменшити за умови удосконалення системи кріплення камери, використання більш якісної ПЗС матриці.

## ABSTRACT

Explanatory note: 66 pp., 36 figs., 3 tables, 12 sources.

### PHOTOLITHOGRAPHY, INDUSTRIAL ROBOT, POSITIONING, QUARTZ LINING, HAFA TRANSFORMATION

The object of research – the system of technical vision, automatic processing, image analysis and image capture adapter.

The subject of research – methods of primary processing of visual information of industrial robots.

The purpose of the master's work is to study and improve control methods for positioning substrates in a robotic loading gateway using optical systems.

Research methods – the method of finding the standard deviation, the methods of median filtration, Hafa transformation.

The mathematical method of optical positioning of substrates in the loading gateway of the automatic photolithography system has been improved. An algorithm for image pre-processing has been developed, which provides for estimating the coordinates of the center of the substrate circle after filtering the image of the current substrate position using the Huff transform.

A software module has been developed that implements mathematical methods of analysis of positioning results by optical control method. Experimental studies have shown the effectiveness of the method. The disadvantages of the developed method are the lack of a graphical interface and a relatively large deviation of  $\pm 340 \mu\text{m}$ . This value can be reduced by improving the camera mounting system, using a better CCD array.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	7
ВСТУП .....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Технологія фотолітографії .....	10
1.2 Аналіз технологічного обладнання та компонентів .....	14
1.3 Висновки першого розділу .....	19
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК КОМПОНОВКИ РТК.....	20
2.1 Розробка структурної схеми .....	20
2.2 Аналіз етапів автоматизованого процесу та вибір засобів автоматизації .....	22
2.2.1 Основні етапи процесу.....	22
2.2.2 Вибір промислового робота .....	23
2.3 Проектування та розрахунок компоновки РТК.....	24
2.4 Алгоритм РТК з урахуванням особливостей напівнеперервної дії процесу.....	28
2.5 Висновки другого розділу.....	31
3 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ....	32
3.1 Проектування структурної схеми системи технічного зору шлюзу завантаження підкладок .....	32
3.2 Методи фільтрації сигналів .....	36
3.2.1 Медіанна фільтрація .....	36
3.2.2 Кепстральних аналіз.....	39
3.3 Математичний метод визначення позиції .....	46
3.4 Висновки третього розділу .....	49
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ .....	50
4.1 Реалізація програмного модулю.....	50
4.2 Еспериментальне дослідження.....	55

4.3 Аналіз похибки.....	59
4.4 Висновки четвертого розділу.....	60
5 РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОГО ПОВІТРООБМІНУ В ЛАБОРАТОРІЇ.....	61
5.1 Аналіз умов праці на робочому місці.....	61
5.2 Розрахунок необхідного повітрообміну.....	62
5.3 Висновки п'ятого розділу.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
Додаток А. Текст програми.....	69
Додаток Б. Демонстраційний матеріал.....	70

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ІМС – інтегральна мікросхема;

ІС – інтегральна схема;

КП – кремнієва підложка;

ООП – оптичний обчислювальний пристрій;

РЕА – радіоелектронні апарати;

РЕЗ – радіоелектронні засоби;

РТК – робото-технічний комплекс;

СТЗ – система технічного зору;

ФР – фоторезист;

ФШ – фотошаблон.

## ВСТУП

Фотолітографічні процеси – невід’ємна частина технології виготовлення інтегральних мікросхем. В даний час без фотолітографії неможливо уявити отримання напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем (ІМС). Забезпечення та оптимізація автоматичних процесів фотолітографії є актуальним завданням сучасності. До технічних факторів, які обмежують оптичну передачу зображення на фоторезист, відносяться неточності малюнків ФШ, помилки, що виникають при операціях суміщення і розмноження зображень, проявлення і травлення та ін.

В процесі виготовлення ІМС на підкладці формуються топологічні шари, які повинні бути послідовно відтворені в заданих відносно один одного позиціях, визначених розробником ІМС.

У системах використовується два основні методи суміщення: відокремлене від проєкційного об’єктива (глобальне) і поєднання через проєкційний об’єктив (локальне). Глобальне поєднання включає в себе обертальне і поступальне суміщення пластини і шаблону. Позиціонування здійснюється з використанням лазерних інтерферометрів або за допомогою візуального визначення положення пластини через контрольний об’єктив перед початком експонування.

Якість позиціонування залежить від оптичних властивостей системи, площинності поверхонь фотошаблону і підкладки, а також виду міток суміщення і способів обробки сигналу розузгодження.

Сучасні технології фотолітографії будуються з використанням промислових роботів. Істотну роль у цьому випадку відіграють системи технічного зору (СТЗ), що забезпечують сприйняття відеоінформації про навколишнє середовище, автоматичну обробку та аналіз зображень сцен в цілях формування команд управління роботом в процесі роботи. Тому удосконалення технології оптичного позиціонування підкладок є актуальною темою роботи [1-3].

Темою випускної магістерської роботи є технологія оптичного позиціонування шлюзу завантаження підкладок.

Мета магістерської роботи – дослідження та удосконалення методів контролю при позиціонуванні підкладок у роботизованому шлюзі завантаження з використанням оптичних систем.

Об'єкт дослідження – система технічного зору.

Предмет дослідження – методи первинної обробки візуальної інформації промислового робота.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз сучасного стану питання та сучасних технологічних рішень;
- аналіз конструктивних особливостей та компонентів технологічного устаткування загрузочного шлюзу завантаження підкладок вакуумної технологічної лінії.
- огляд методів та засобів позиціонування підкладок в автоматичній системі фотолітографії;
- удосконалення математичного методу оптичного позиціонування підкладок в завантажувальному шлюзі автоматичної системи фотолітографії;
- розроблення програмного забезпечення, що реалізує математичні методи аналізу результатів позиціонування оптичним методом контролю.
- провести розрахунок освітлення приміщення, які повинні задовольняти умовам робочої зони;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [2], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [3], та методичними вказівками [4].

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Технологія фотолітографії

В технології напівпровідникових пристроїв важливе місце займають маски, які забезпечують локальний характер епітаксії, окиснення, легування, травлення та інших операцій.

Літографія – це технологічний процес формування отворів у масках, які застосовуються для створення структури інтегральних схем (ІС). Зазвичай на кремнієвих пластинах створюють маски із оксидного шару. Існує різні технології літографії (рис. 1.1).

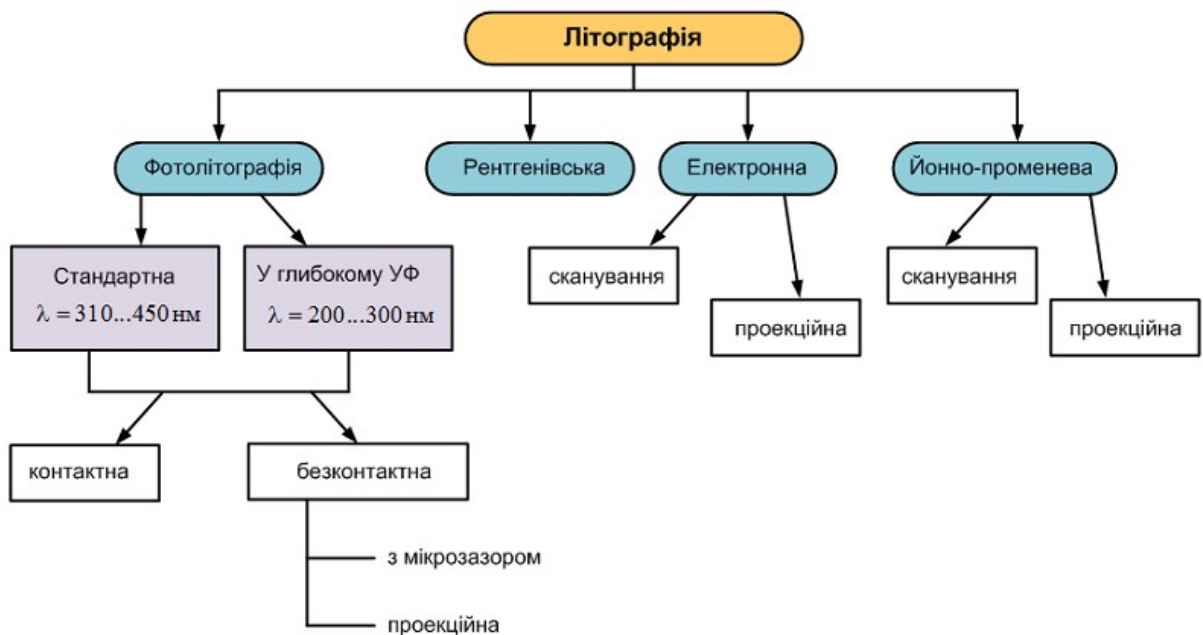


Рисунок 1.1 – Класифікація процесів літографії

Провідне місце в технології виготовлення масок займає фотолітографія.

Фотолітографічні процеси невід’ємна частина технології виготовлення інтегральних мікросхем. В даний час без фотолітографії неможливо уявити отримання напівпровідникових приладів та ІМС.

Фотолітографія – совокупність фотохімічних процесів, що застосовуються для отримання необхідних розмірів і конфігурацій компонентів інтегральних мікросхем (ІМС) та інших електронних мікровузлів.

Сутність процесу фотолітографії полягає в тому, що на поверхню матеріалу наносять шар фоторезисту – особливого світлочутливого складу (речовини, що призначені для створення захисного рельєфу необхідної конфігурації від подальшого впливу хімічних, фізичних, електрохімічних та інших агресивних впливів). Залежно від механізму протікають в фоторезисте реакцій і особливостей зміни його властивостей фоторезисти ділять на негативні і позитивні (рис. 1.2).

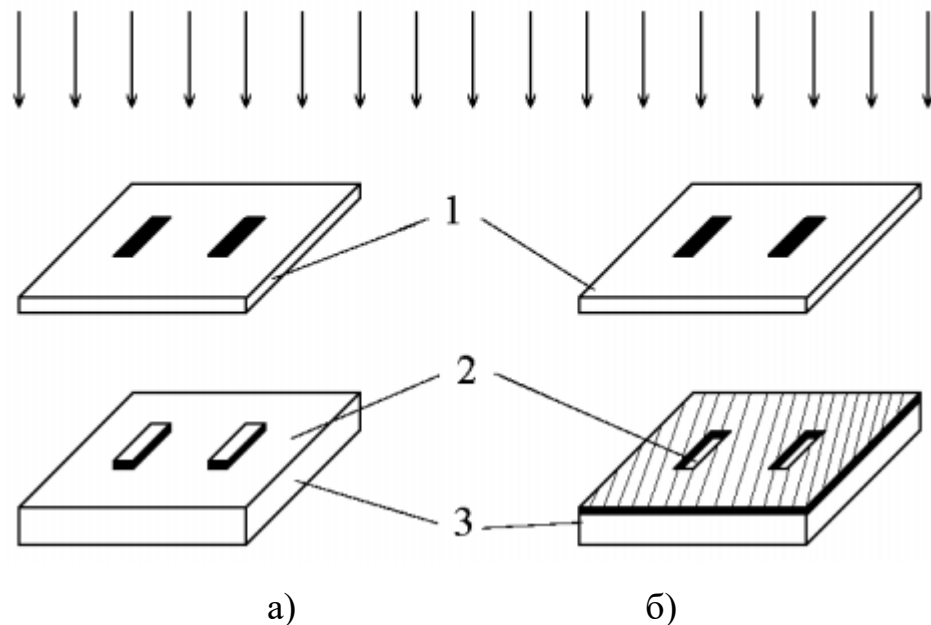


Рисунок 1.2 – Фотолітографічний процес з використанням позитивного (а) і негативного (б) фоторезисту

В технологічних циклах виготовлення ІМС процеси літографії використовують здебільш багаторазово, це пов'язано з тим, що інтегральні схеми мають багато шарів структури (базові і емітерний області, контактні площадки та інші) і для створення кожного шару потрібна своя маска. Кожна

модифікація інтегральної схеми призводить до необхідності виробництва нових масок, тому весь процес внесення правок дуже витратний.

При нанесенні фотошару використовується розчин світлочутливого полімеру в органічному розчиннику (фоторезист). Для отримання тонких шарів фоторезиста на поверхні пластини його в'язкість повинна бути дуже мала, що досягається високим вмістом розчинника. У свою чергу, зі зменшенням товщини фотошару підвищується роздільна здатність фотолітографічного процесу. Однак, при товщині менше 0,5 мкм щільність дефектів ("проколів") в фотошарі різко зростає, і захисні властивості фотомаски знижуються.

Нанесення фотошару може бути виконано одним з двох способів:

- центрифугуванням;
- розпиленням аерозолію.

У разі використання центрифуги дозоване кількість фоторезисту подається в центр пластини, притиснутою вакуумом до поворотній платформі (центрифугі). Рідкий фоторезист розтікається від центру до периферії, а відцентрові сили рівномірно розподіляють його по поверхні пластини, скидаючи надлишки в спеціальний кожух.

Технологія фотолітографії складається з наступних операцій:

– створення на поверхні підкладки захисного шару (рис. 1.3, а). У разі кремнієвих підкладок для цього зазвичай використовують термічне окиснення поверхні з утворенням оксидного шару. Товщина захисного шару підбирається такою, щоб за час, необхідний для створення легованої області необхідної конфігурації у підкладці, легуючий елемент не досяг підкладки крізь захисний шар;

– на захищену поверхню пластини наносять шар фоторезисту (рис. 1.3, б). Найбільш розповсюджені способи – це центрифугування та розпорошення.

У разі використання центрифуги крапля фоторезисту подається на центр пластини, яка притиснута вакуумом до платформи центрифуги. Рідкий

фоторезист розтікається від центру до периферії, в той час як відцентрові сили рівномірно розподіляють фоторезист по поверхні пластини, скидаючи надлишки в спеціальний кожух. Для розпорощення аерозоль фоторезисту подається з форсунки на пластини, що лежать на столі, який здійснює зворотно-поступальний рух. Необхідна товщина формується поступово. Отриману плівку фоторезисту висушують до затвердіння.

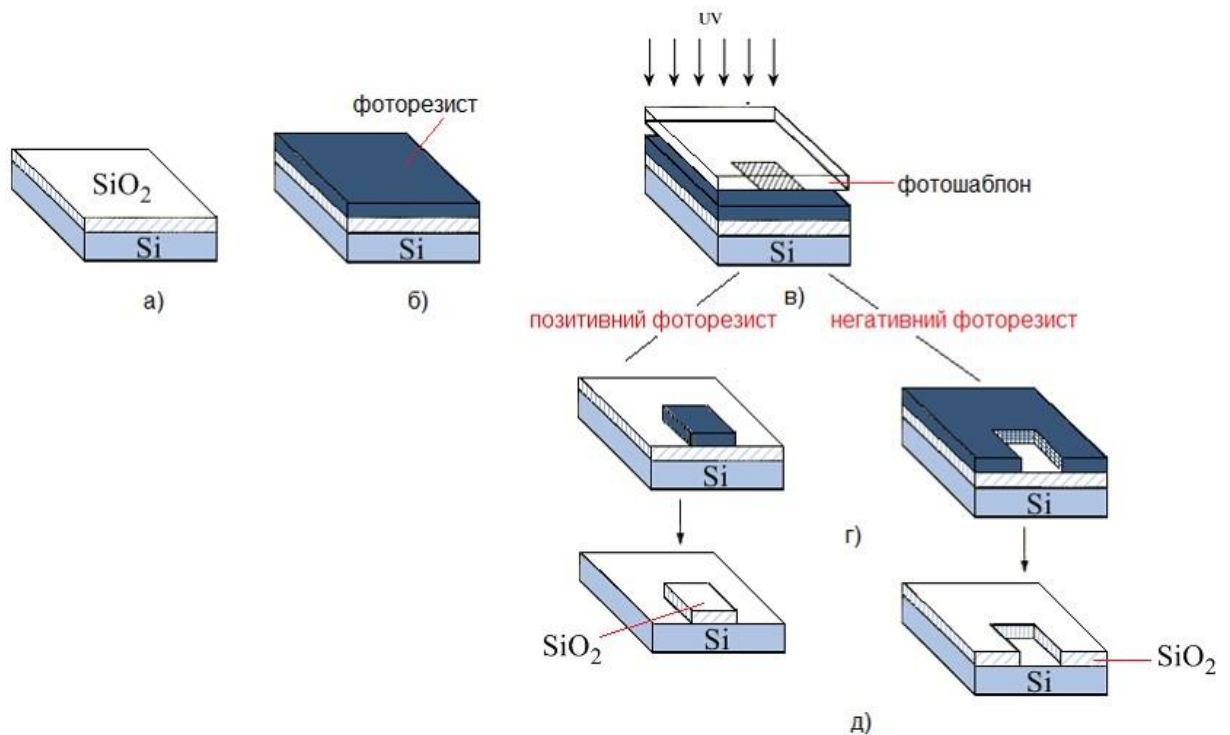


Рисунок 1.3 – Схема процесу фотолітографії

– на пластину, вкриту фоторезистом, накладають фотошаблон рисунком до фоторезисту та експонують його у променях кварцової лампи (рис. 1.3, в). Під дією світла у фоторезисті протікають фотохімічні реакції, які залежно від типу фоторезисту призводять до посилення або послаблення його розчинності в певних хімічних розчинах. Для отримання необхідного результату вкрай важливим є час експонування.

– фотошаблон знімають і здійснюють травлення незакріпленого фоторезисту (виключно засвітлених областей у разі використання позитивного фоторезисту або незасвітлених – у разі негативного фоторезисту) (рис. 1.3 , г). Після проявлення залишається захисний шар

фоторезисту, що повторює позитивне або негативне зображення фотошаблону. Це означає, що рисунок з фотошаблону переноситься на фоторезист.

В позитивних фоторезистах на ділянках, які зазнали опромінення, відбувається руйнування структури (деструкція) з утворенням кислоти. Для переведення кислоти у розчин застосовують неорганічної сполуки з лужними властивостями (KOH, NaOH та інші). При застосуванні позитивного фоторезисту прозорі частини фотошаблону відповідають тим місцям на пластині, які будуть стравлені.

Проявлення прихованого зображення для негативних фоторезистів полягає в обробці фотошару органічним розчинником. При цьому ділянки, які не були опромінені, розчиняються, а опромінені ділянки, на яких відбулося поглинання енергії, розрив міжатомних зв'язків та перебудова структури (фотополімеризація) – зберігаються. При застосуванні негативного фоторезисту непрозорі частини фотошаблону співпадають з майбутніми вікнами у масці.

Після відмивання від слідів проявника і сушки отриману фотомаску піддають тепловому задубінню (120...180°C залежно від марки фоторезисту), в результаті чого остаточно формуються її захисні властивості.

– травлення захисного шару з підкладки на ділянках, не вкритих фоторезистом, і видалення залишків шару фоторезиста. Отже, рисунок з фотошаблону переноситься на захисний шар.

## 1.2 Аналіз технологічного обладнання та компонентів

Розглянемо автомат SUSS ACS300 Gen2 (рис. 1.4) – це модульна кластерна система для нанесення і прояви резисту призначена для роботи з пластинами розміром від 200 до 300 мм без необхідності механічної заміни, а також для роботи з квадратними підкладками [5].



Рисунок 1.4 – Автоматична система фотолітографії Suss ACS300 Gen2

Основні можливості автомату:

- гнучка кластерна система для багатосерійного виробництва;
- паралельна обробка пластин діаметром 200 і 300 мм без механічної заміни;
- розширювана і гнучка архітектура;
- технологія нанесення фоторезисту із закритою кришкою Gyrset;
- обробка краю пластини від резисту завдяки комбінації точності видалення матеріалу і високотехнологічного сучасного дизайну власника і чаші;
- індивідуальні рішення для обробки стандартних і нестандартних підкладок;
- 6-осьової робот для переміщення різних підкладок, включаючи касетні рішення;
- інтерфейс для установки суміщення Field Proximity Mask Aligner MA300 Gen2.

Системи серії ACS300 від компанії SUSS MicroTec встановлені на багатьох виробництвах науково-дослідних інститутах по всьому світу.

ACS300 Gen2 є гнучкою модульну систему з модернізованими на місці модулями, яка дозволяє планувати робочий процес від стадії розробки і пілотного запуску до багатосерійного виробництва. Її можна об'єднати з установкою суміщення SUSS MA300 Gen2 1X Full Field Proximity Mask Aligner, щоб створити інтегрований кластер LithoPack300. Технологія GYRSET дозволяє отримати товщину нанесення в діапазоні від менш 1 мкм до понад 100 мкм [8].

Розглянемо кластери – складові модулі технологічного обладнання більш детально.

Технологія GYRSET дозволяє наносити однорідні покриття на пластини діаметром 200/300 мм, а також квадратні підкладки з мінімальною витратою фоторезиста у центрифугі (рис. 1.5). Можливе використання процесів як з відкритою, так і з закритою кришкою.



Рисунок 1.5 – Центрифуга

Модулі нанесення фоторезиста мають три незалежних лінії розпилення з опціональним контролем температури на кожному сопелі. Налаштування використання розчинника дозволяють домогтися точності при видаленні напливів резисту на краях пластини і промиванні задньої сторони. Опція автоматичного очищення дає можливість промити кожне сопло окремо. Автоматичне очищення камери забезпечує простоту обслуговування і збільшує час безперервної експлуатації.

Етажерочний модуль ACS300 Gen2 HCV можна додатково обладнати 7 касетами з нагрівальними або охолоджувальними плитами або вакуумним праймером ГМДС, який займає в модулі два осередки (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Етажерочний модуль з нагрівальної плитою

Один етажерочний модуль можна встановити безпосередньо в ACS300 Gen2, і ще два в додаткове розширення рами.

Касети оснащені моторизованими підйомними штифтами з настроюваної висотою підйому і нерухомими обмежувачами мінімального зазору, що гарантує оптимальні результати задубління. Випаровування розчинника виводяться за допомогою витяжки та продувки азотом.

Для проявлення експонованих плівок доступний цілий ряд опцій. Стандартними конфігураціями є бінарний спрей, віяловий спрей і розпорошення наливом. Можливе налаштування рухів рук і їх висоти для досягнення кращої геометрії розпилення (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Модуль проявлення

Для оптимального контролю однорідності в кожному рецепті можлива настройка зразків рухів рук. Контроль температури в точці використання гарантує рівномірний вплив в процесах, чутливих до температури.

Система ACS300 Gen2 пропонує два варіанти завантаження / розвантаження (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Модуль введення / виводу (I/O)

Схема «повного моста» забезпечується за допомогою касетних перехідників, що дозволяє використовувати пластини діаметром 200 мм. Система ACS300 Gen2 пропонує можливість одночасної обробки пластин діаметром 200 і 300 мм без механічної заміни.

У кожній рамі один центральний шестикоординатний робот обслуговує до 4 модулів нанесення. Для розширених конфігурацій можливе подальше збільшення кількості роботів. Шестикоординатний робот поєднує максимальну швидкість і точність з великим діапазоном дії (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Шестикоординатний робот, що обслуговує лінію

Робот має максимальне номінальне навантаження більше 3 кг, що дозволяє йому переміщати підкладки з великою вагою, наприклад складені пластини або касетні рішення зі скла, кремнію або кераміки. Безконтактне центрування пластини здійснюється за допомогою оптичної системи попереднього суміщення, яка використовує відеосистему установки для визначення положення пластини. Відхилення в поєднанні виправляються роботом в систему управління для обробки інформації та коригуванню позиції маніпулятора.

Для різного роду маніпуляцій над окремими пластинами / кристалами використовуються або вакуумні маніпулятори, які складаються з вакуумного захоплення, вакуумного наконечника, спіральної вакуумної трубки і підставки, або механічні пінцети.

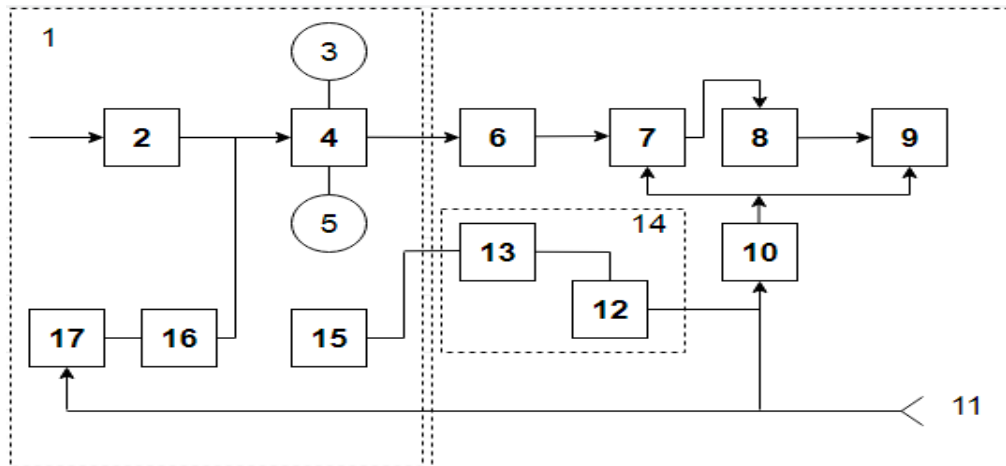
### 1.3 Висновки першого розділу

В результаті виконання першого розділу магістерської атестаційної роботи було проведено огляд літератури за темою дослідження, технологія фотолітографії та аналіз технологічного обладнання та компонентів.

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК КОМПОНОВКИ РТК

### 2.1 Розробка структурної схеми

Фотолітографія методом центрифугування є найбільш широко використовуваною в напівпровідниковій технології. Загалом структурну схему обладнання для нанесення фоторезисту методом центрифугування можна представити на рис. 2.1.



1 – захистний скафандр установки; 2 – повітряний клапан; 3 – кнопка «пуск», 4 – центрифуга; 5 – кнопка «стоп», 6 – індикатор; 7 – магнітний підсилювач; 8 – регулятор обертів центрифуги; 9 – стабілізований випрямляч; 10 – мікропроцесор; 11 – блок управління та живлення; 12 – автомат включення камери інфрачервоного сушіння; 13 – регулятор температури в камері інфрачервоного сушіння; 14 – блок управління сушінням; 15 – камера інфрачервоного сушіння; 16 – повітряний клапан; 17 – вакуумний насос

Рисунок 2.1 – Структурна схема установки для нанесення шару фоторезиста

При цьому методі кремнієва підкладка встановлюється на столику центрифуги і утримується на ньому вакуумним присосом. Далі фоторезист подається крапельницею-дозатором, після чого столик приводиться в обертання та фоторезист розтікається тонким шаром по поверхні підкладки. Надлишки фоторезисту скидаються з підкладки та стікають по кожуху. При обертанні центрифуги з великою частотою відбувається випаровування розчинника і в'язкість фоторезисту швидко зростає.

Кварцева підкладка поміщається на предметний стол центрифуги 4 та за допомогою вакуумного захоплення та пневматичної системи ( п. 16 рис. 2.1) фіксується. Після нанесення певної дози фоторезиста на поверхню підкладки запускається центрифугування (3000 об/хв.) Час обертання центрифуги регулюється за допомогою реле часу та складає 20-30 с.

Шари фоторезиста, що нанесені центрифугуванням, можуть мати дефекти. Дефекти виглядають, як направлені від центру локальні потовщення та утворюються, якщо на поверхні підкладок були залишкові забруднення або фоторезист був погано відфільтрований.

Напівавтомат для нанесення шару фоторезиста центрифугування складається з блоків центрифуг і дозаторів, блоку управління, а також блоку подачі і прийому підкладок (вхідний/вихідний шлюз). У блоці центрифуг є електро-двигун малої інерційності, частота обертання якого контролюється спеціальним електронним блоком (п. 7 рис. 2.1). Підкладки утримуються на столиках центрифуг вакуумним присосом, створюваним системою вакуумної відкачки (п. 16. рис.2.1). Блок дозаторів укріплений на задній стінці напівавтомата. Мікроконтролерний блок управління (п. 10 рис.2.1) забезпечує узгодження роботи всіх блоків напівавтомата.

Такі напівавтомати призначені для одночасного нанесення шару фоторезиста за двома паралельними лініями, на які завантажуються стандартні касети з 25 підкладками. Після нанесення фоторезисту підкладки надходять на сушку.

Етап сушки шару фоторезиста. Для остаточного видалення розчинника з шару фоторезиста його просушують. При цьому ущільнюється молекулярна структура шару, зменшуються внутрішні напруги і підвищується адгезія до підкладки. Для видалення розчинника підкладки нагрівають до температури  $\sim 100$  °С. Час сушіння вибирають оптимальним для конкретних типів фоторезистів ( $\sim 5 - 30$  хв.).

## 2.2 Аналіз етапів автоматизованого процесу та вибір засобів автоматизації

### 2.2.1 Основні етапи процесу

Усі операції повинні виконуватися в єдиному виробничому циклі, що забезпечується використанням модульно-кластерної структури технологічного обладнання в комбінації з роботизованим маніпулятором. Для подальшого проектування модульно-кластерної структури обладнання технологічного процесу нанесення фоторезисту запишемо в таблицю всі операції у необхідній послідовності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1– Виробничий цикл нанесення фоторезисту

№ етапу	Операція	Модуль	Час
1	Отримання заготовки з касети	Порт вводу-виводу маніпулятор	$t_{касет}$
2	Переміщення заготовки до модулю центрифугування	маніпулятор	$t_1$
3	Нанесення фоторезисту	Модуль центрифугування	$t_{фотор}$
4	Центрифугування	Модуль центрифугування	$t_{центр}$

Продовження таблиці 2.1

№ етапу	Операція	Модуль	Час
5	Переміщення заготовки до ІЧ печі	маніпулятор	$t_2$
6	Сушка фоторезисту	ІЧ піч	$t_{IЧ}$
7	Переміщення заготовки до модулю виводу	Порт вводу-виводу	$t_3$

### 2.2.2 Вибір промислового робота

З метою збільшення продуктивності виробництва, підвищення якості позиціонування, доцільно використовувати елементи автоматизованого виробництва, зокрема використання промислових роботів.

При обранні промислового маніпулятора для обслуговування кластерного обладнання слід забезпечити виконання наступних вимог:

- максимальна гнучкість;
- швидкість та оптимізація послідовності рухів;
- висока точність рухів та позиціонування;
- зона обслуговування до 2 метрів;
- 6 степеней рухливості.

Оберемо промислові роботи KUKA (табл. 2.2).

Роботи серії KR QUANTEC стали першими промисловими роботами в світі, оснащеними підключаються цифровими режимами руху. Йдеться про оцифрованих режимах руху, що оптимізують переміщення робота для конкретних випадків застосування. Наприклад, режим «Path Mode» забезпечує високоточне переміщення по певних траєкторіях, а режим «Dynamic Mode» дозволяє досягати більш високої швидкості, сприяючи максимальному зменшенню тривалості тактів.

Серед обраних варіантів KR 150 R2700-2 найбільш задовольняє вимогам.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики промислових маніпуляторів

Kuka

Модель	KR 120 R3100-2	KR 120 R2700-2	KR 150 R2700-2
Категорія	80-300 кг	60-200 кг	до 60 кг
Макс. радіус дії	3100 мм	2701 мм	2701 мм
Кількість вісей керування	6	6	6
Стабільність півторюємості позиціонування (ISO 9283)	±0,05 мм	±0,05 мм	±0,05 мм
Вага	1105 кг	1061 кг	1072 кг
Монтаж	Підлога	Підлога	Підлога
Температура зовнішнього середовища	від 0 °C до + 55 °C	від 0 °C до + 55 °C	від 0 °C до + 55 °C
Система керування	KR C4	KR C4	KR C4
Клас захисту	IP 65	IP 65	IP 65

Серія KR QUANTEC переконає максимальною продуктивністю і передовим дизайном. Габаритні розміри, допустимі умови експлуатації забезпечують максимально можливу гнучкість застосування.

Швидкість руху з максимальним вантажем в 2,5 кг: за вільною траєкторією – до 1 м/с; по прямій – до 0,5 м/с.

### 2.3 Проектування та розрахунок компоновки РТК

Робототехнічний комплекс (РТК) є сукупністю одиниці технологічного обладнання, промислових роботів і засобів оснащення, які функціонують автономно і здійснюють багаторазові цикли.

Засобами оснащення РТК можуть бути пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва та інші пристрої, що забезпечують функціонування РТК.

Основою РТК в рамках сучасних автоматизованого виробництва радіоелектронних приладів є промислові роботи – автоматичні машини, стаціонарні або мобільні, які складаються з виконавчого пристрою у вигляді маніпулятора, що має кілька ступенів рухливості, і перепрограмувального пристрою програмного керування для виконання рухових і керуючих функцій у виробничому процесі.

Промислові роботи є універсальним засобом автоматизації виробничих процесів в умовах великої номенклатури та частотої зміни виробів. Вони можуть виконувати як основні, так і допоміжні операції з обслуговування технологічного обладнання.

При обслуговуванні основного технологічного обладнання ПР здійснюють такі операції, як завантаження і розвантаження деталей, контроль, зміна інструментів, прибирання відходів, встановлення та зміна засобів контролю в автоматичному режимі.

Широко поширене застосування ПР для обслуговування складського обладнання.

РТК в умовах сучасних виробництв можуть бути задіяні майже на всіх етапах виробництва радіоелектронних приладів, в тому числі і на етапі реалізації технологічних процесів (ТП) складання [5].

Обираємо кругову компоновку РТК – обладнання розташовується навколо промислового робота у радіусі його робочого простору.

При цьому робот обслуговує всі позиції РТК.

Кругове компонування характеризує мінімальний час обслуговування, незручність обслуговування для оператора, мінімальну кількість обладнання, яке можна розташувати близько робота, так як зона визначається геометричними та експлуатаційними характеристиками промислового робота.

РТК включає в себе (рис. 2.4):

– промисловий маніпулятор KR 150 R2700-2 (п. 1);

- порт вводу-вивода IsoPort для касет на 25 кремнієвих підкладок діаметром до 300 мм (п. 2);
- модуль центрифугування Laurell 650;
- ІЧ сушка на 2 позиції.

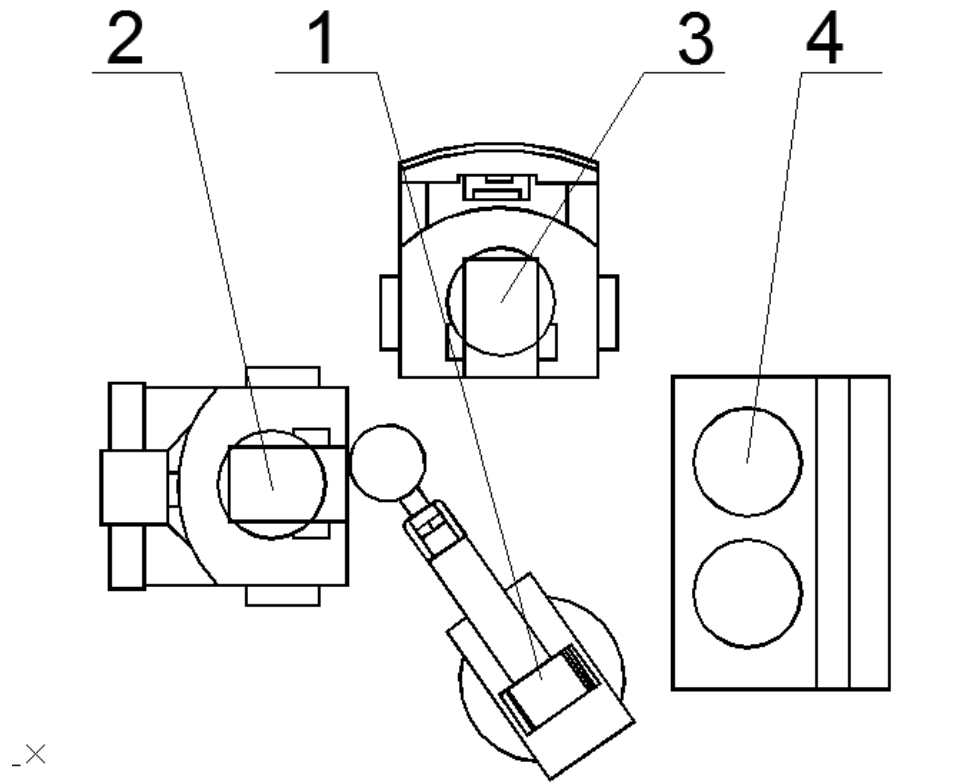


Рисунок 2.4 – Компоновка РТК

Другий варіант компоновки передбачає обслуговування одним промисловим роботом (ПР) двох ліній нанесення фоторезисту, що забезпечить підвищення продуктивності та зменшення вартості РТК (рис. 2.5).

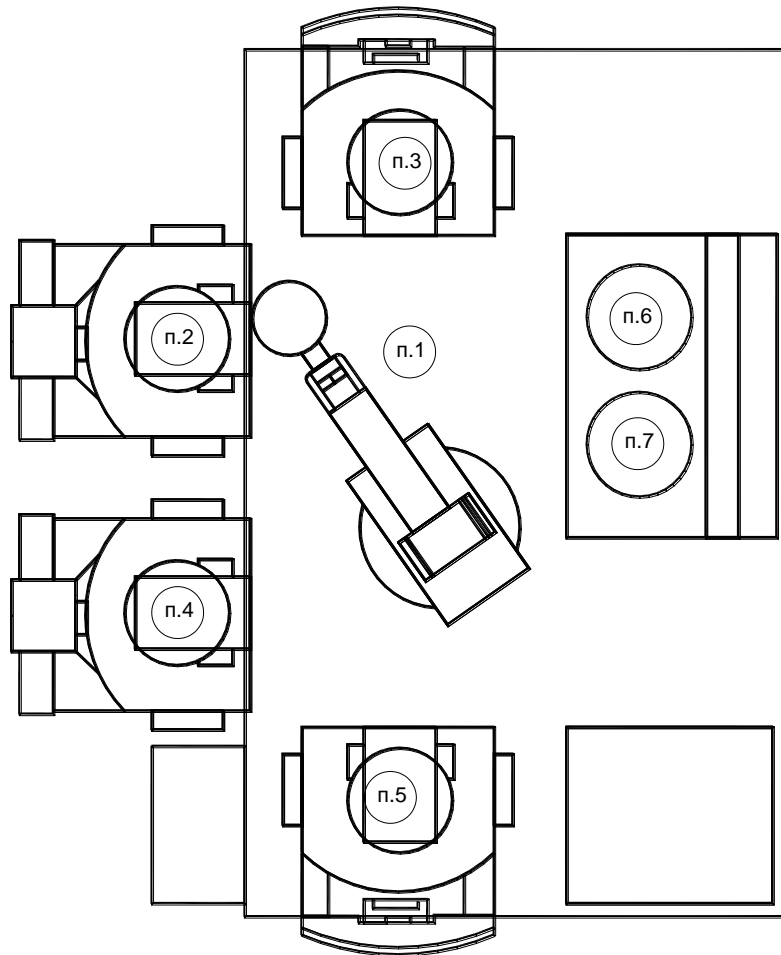


Рисунок 2.5 – Варіант компоновки РТК для двох паралельних циклів обробки

Послідовність переміщення заготовки для варіанту (рис. 2.4) можна представити наступним чином:

- початкова позиція ПР (п.1);
- захват кремнієвої підложки (п.2);
- переміщення заготовки до модулю центрифугування (з п.2 до п.3);
- переміщення до ІЧ сушки (п.3 до п.6);
- переміщення заготовки до вихідного шлюзу (з п.6 до п.2).

Цикл переміщення заготовки для паралельного варіанту (рис. 2.5) можна представити наступним чином:

- початкова позиція ПР (п.1);
- захват кремнієвої підложки 1 (п.2);

- переміщення заготовки 1 до модулю центрифугування (з п.2 до п.3);
- захват кремнієвої підложки 2 (п.4);
- переміщення заготовки 2 до модулю центрифугування (з п.4 до п.5);
- переміщення заготовки 1 до ІЧ сушки (п.3 до п.6);
- переміщення заготовки 2 до ІЧ сушки (п.3 до п.6);
- переміщення заготовки 1 до вихідного шлюзу (з п.6 до п.2);
- переміщення заготовки 2 до вихідного шлюзу (з п.6 до п.2).

Розрахуємо параметри для автоматизації захвату кремнієвої пластини промисловим роботом із касети, що розташовані у вхідному шлюзі.

У завданні на проектування вказано використання вакуумного принципу керування технологічною лінією, тому обираємо вакуумні пласкі присмоктувачі, що будуть встановлені ну якості виконавчого механізму промислового маніпулятора.

Заготовка, що буде переміщуватися пластина діаметром 300мм, товщиною 775 мкм (0,775 мм), з матеріалу – кремній (густина 2,33 г/см<sup>3</sup>).

#### 2.4 Алгоритм РТК з урахуванням особливостей напівнеперервної дії процесу

Аналіз режимів проведення операцій фотолітографії дозволяє зробити висновок, що зазначені операції суттєво відрізняються за часом, температурним режимом та точністю відтворення розмірів елементів під час експонування. Тому операція експонування виконується окремо, щоб мінімізувати дію зовнішніх впливів.

Процес виконання функцій робота – перевантажувача в модульно – кластерному комплексі відбувається наступним чином.

На початку циклу (1) береться перша пластина з завантажувальної касети (2) і відповідно до заданого технологічним маршрутом обробки переноситься на наступну позицію (3). Після цього перевіряється умова (4): є пластини в завантажувальній касеті, які не пройшли обробку. Якщо таких

пластин немає, то перевіряється умова (5) наявності пластин в комплексі на будь-якому з технологічних модулів (у разі використання паралельної обробки умова відсутності пластини на одному з двох модулів центрифугування).

У разі виконання умови (4) робот бере наступну пластину з одного з модулів завантаження (6) і при вільному технологічному модулі центрифугування (7) по ходу технологічного маршруту переносить її та позиціонує на столику.

У разі не виконання умови (5) відбувається зупинка (8) і транспортний механізм повертається у вихідне положення (п.1 рис. 2.5). При виконанні умови (5) транспортний механізм чекає найближчу до схоплювання робота пластину і бере її (9). Якщо потрібний модуль зайнятий обробкою пластини, то пластина переноситься на позицію буфера-накопичувача (10), а якщо вільний, то вона переноситься на наступний технологічний модуль (11). Після цього аналізується ситуація наявності пластин, які пройшли процес обробки на будь – якому з технологічних модулів (12).

Якщо така пластина одна (13), то вона переноситься або на технологічний модуль (якщо він вільний), або на буфер – накопичувач (якщо необхідний технологічний модуль зайнятий). У разі декількох оброблених пластин пріоритет віддається пластинам, які перебувають на модулях термообробки (14). Якщо таких немає, то перевіряється наявність оброблених пластин на модулях ІЧ обробки (15).

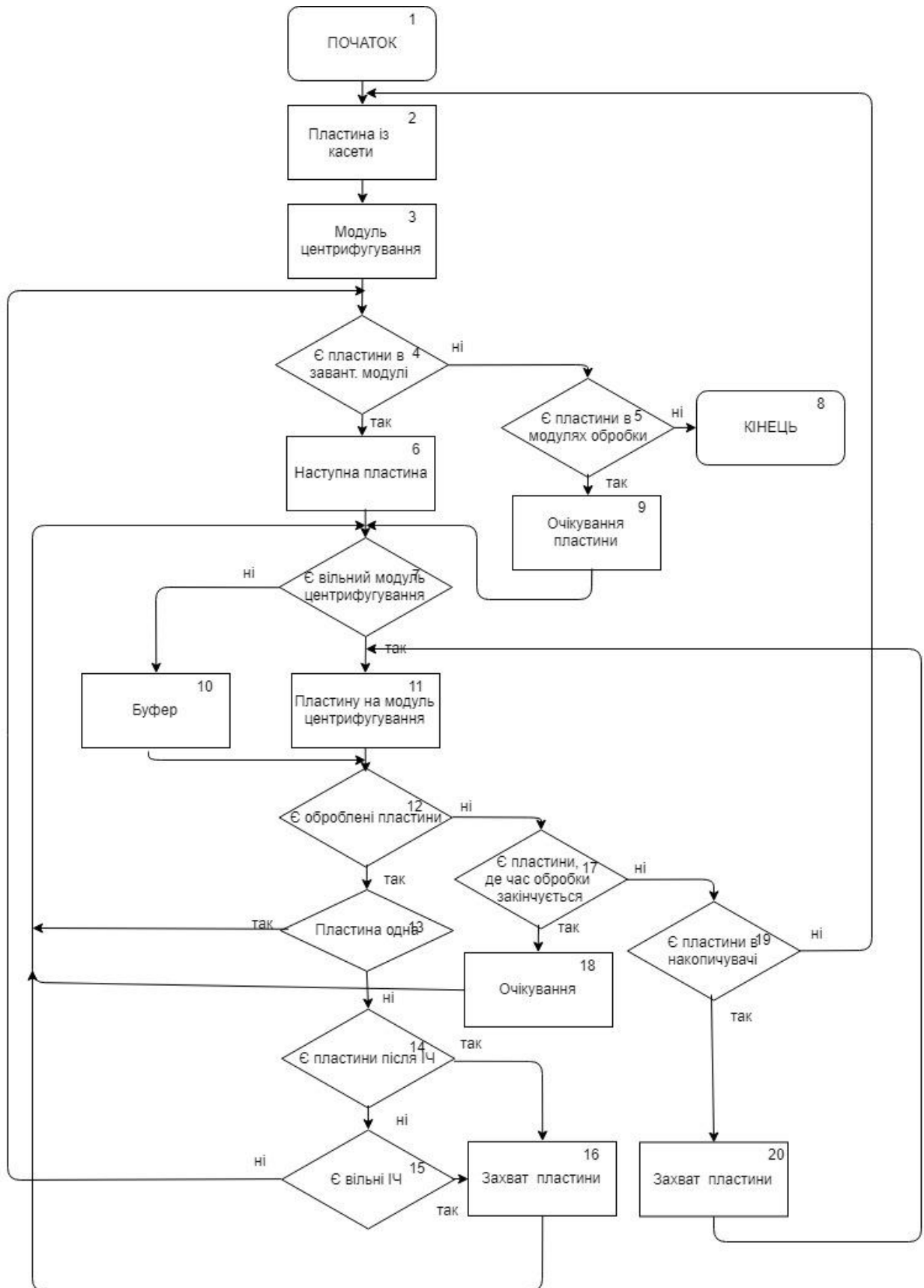


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи модульно-кластерного комплексу

Далі пластина береться (16) роботом і при наявності вільного необхідного технологічного модуля переноситься туди, якщо немає то на буфер-накопичувач. У разі відсутності оброблених пластин на технологічних модулях перевіряється умова наявності пластин, чий час, що залишився до кінця обробки, менше часу, необхідного на її перенесення на наступний модуль по ходу технологічного маршруту (17). Якщо така пластина є, то транспортний механізм чекає її (18) і переносить або на наступний технологічний модуль (якщо він вільний), або на буфер-накопичувач.

При відсутності таких пластин робота йде з пластинами, що знаходяться на буфері накопичувачі: перевіряється умова їх наявності (19). Якщо такі є, то береться і пластина, (20) для якої є вільний наступний технологічний модуль по ходу технологічного процесу. На рис. 2.6 зображений алгоритм роботи маніпулятора.

## 2.5 Висновки другого розділу

В результаті виконання другого розділу магістерської атестаційної роботи було виконано розробку структурної схеми та розрахунок компоновки РТК, аналіз етапів автоматизованого процесу, вибір засобів автоматизації та розробку алгоритму РТК з урахуванням особливостей напівнеперервної дії процесу.

### 3 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

#### 3.1 Проектування структурної схеми системи технічного зору шлюзу завантаження підкладок

Застосування технічного зору в навігації рухомих ланок механізмів дозволяє розробити єдиний універсальний технічний модуль для різних середовищ і просторів. Позичування кремнієвих підкладок у шлюзі завантаження відбувається із застосуванням промислового шестикоординатного маніпулятора. Точності позиціонування таких пристроїв приділяється багато уваги тому у середньому вони забезпечують стабільність півторюваності відповідно до ISO 9283  $\pm 0,05$  мм. Але для задач калібрування та відпрацювання керуючої програми недостатньо лише візуального контролю з боку оператора. Така система потребує застосування системи технічного зору (СТЗ) для задач позиціонування підкладок.

Для виконання свого функціонального призначення СТЗ в загальному випадку повинна забезпечувати: сприйняття оптичного сигналу і формування зображення; передачу отриманих результатів в систему керування робота. СТЗ при вирішенні своїх функціональних завдань може використовувати додаткову інформацію від інших систем очування робота: тактильних, сіломоментних, локаційних.

Розміри і форма робочої зони багато в чому визначають вибір типу і місце установки відеосенсорів і освітлювальних пристроїв (необхідно враховувати відносні розміри об'єктів і робочої зони; уникнути негативного впливу на рухам виконавчих органів робота і не загороджувати поля зору відеосенсор при виконанні маніпуляційних операцій). Вимоги до швидкодії формуються з урахуванням швидкісних характеристик робота і темпів роботизіруємих процесів або істотних змін у навколишньому середовищі.

Основні групи функціональних операцій узагальненої СТЗ робота:

– формування зображення (освітлення робочої сцени);

- сегментація зображення (декомпозиція зображення робочої сцени на зіставляють об'єкти);
- опис зображення (проведення вимірювань та розрахунків);
- аналіз зображення (розпізнавання образів або класифікація об'єктів);
- зв'язок з системою управління робота (обмін логічними сигналами).

За характером організації процесу проходження інформації через систему СТЗ можна розділити на:

- розімкнуті з незмінною послідовністю операцій;
- з умовними переходами;
- адаптивні зі зворотним зв'язком між різними етапами процесу технічного зору.

У загальному вигляді структурна схема СТЗ представлена на рис. 3.1.

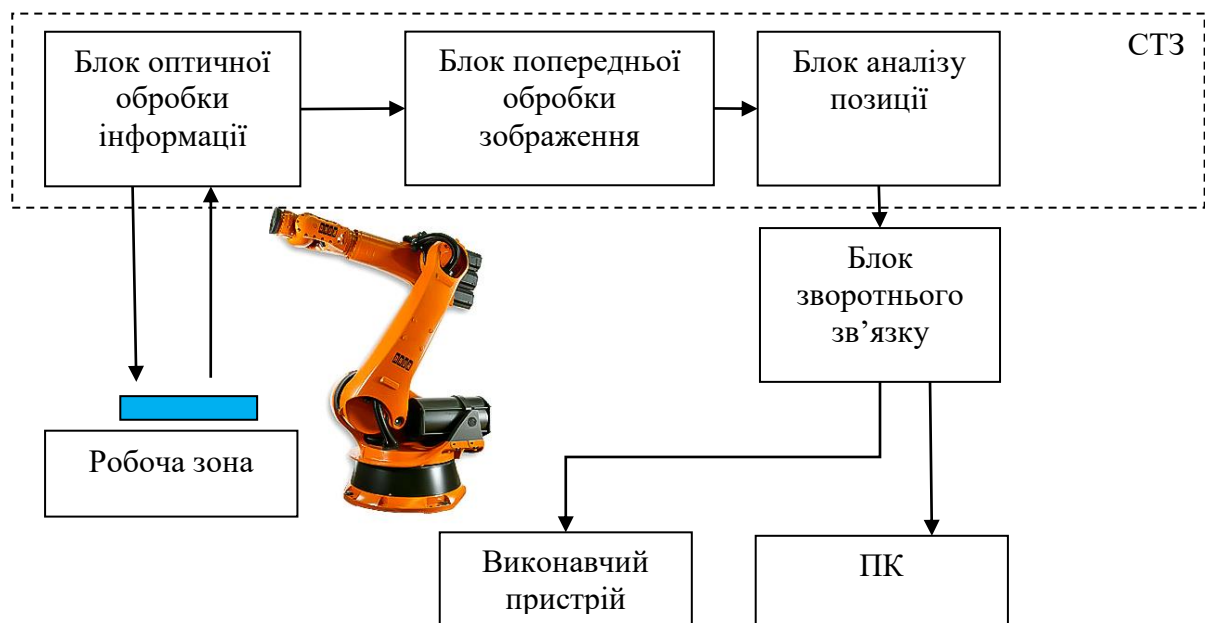


Рисунок 3.1 – Блок-схема СТЗ

Сигнал від джерела інформації (робоча зона) поступає на вхід системи обробки інформації. На вході оптичного обчислювального пристрою має

бути когерентний пучок світла, в параметрах якого задована оброблювана інформація (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Блок-схема оптичної обробки інформації

Наступним кроком в алгоритмі є реалізація оптичним обчислювальним пристроєм (ООП) заданого алгоритму обробки сигналів таким чином, щоб в параметрах пучка на виході пристрою була отримана оброблена інформація. Перетворювач вихідних даних фіксує результат обробки інформації, наприклад, у вигляді фотографічного зображення або відеосигналу ПЗЗ-камери та передає одержувачу інформації.

Оптичний обчислювальний пристрій – це пристрій, в якому виконується перетворення вхідного просторового (оптичного) сигналу. Він може представляти собою набір різноманітних елементів, таких як лінзи, діафрагми, спеціальні фільтри, дифракційні лінзи, ґратки тощо, розташованих в просторі певним чином [12].

Розмір пікселя буде визначати просторове положення об'єкту (рис. 3.3).

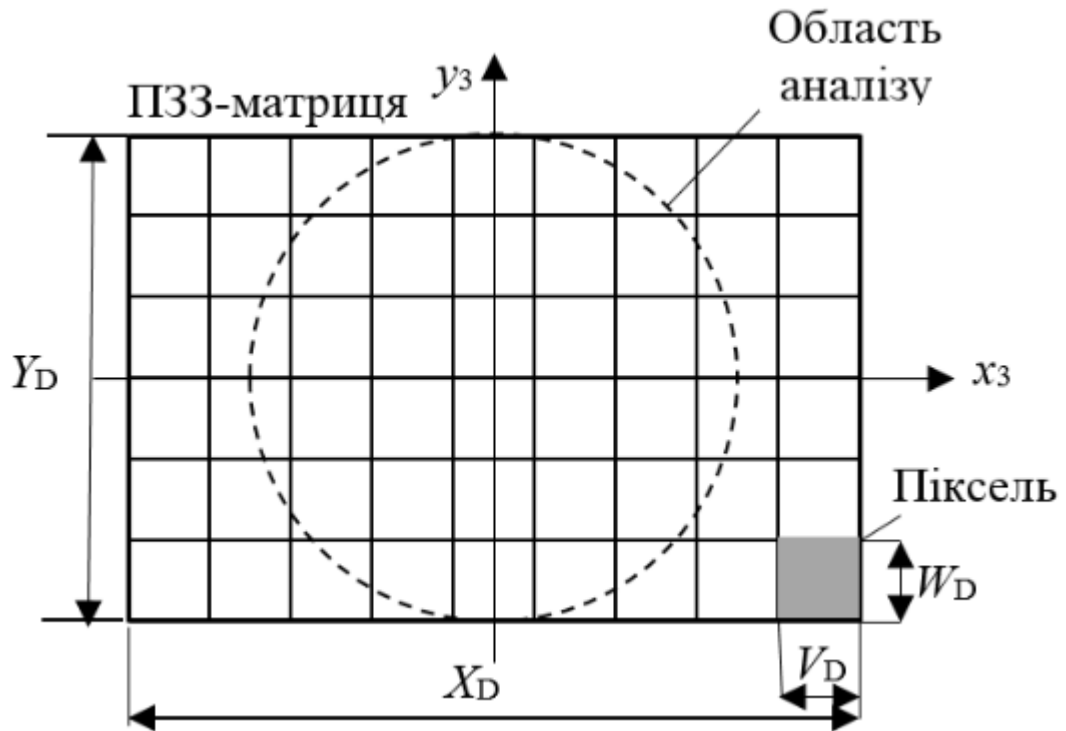


Рисунок 3.3 – Площина ПЗС матриці

Після отримання зображення на ПЗС матриці даний сигнал передається до блоку попередньої обробки інформації. До задач цього блоку відносяться:

- видалення/зниження шуму (операції фільтрації);
- допоміжні математичні операції над зображенням.

При нелінійної фільтрації вихідний сигнал формується нелінійним чином від даних вихідного зображення, а для рекурсивної фільтрації – нелінійним чином від відфільтрованого на попередніх кроках зображення. У системах обробки зображення найбільш широке застосування знаходять два класи нелінійних фільтрів. Фільтри, що відносяться до першого класу, використовуються для придушення шумів, а фільтри другого класу – для підкреслення перепадів яскравості. Досить ефективним методом для придушення шумів є медіанна фільтрація.

## 3.2 Методи фільтрації сигналів

### 3.2.1 Медіанна фільтрація

Медіанна фільтрація відноситься до класу нелінійних методів обробки сигналів, внаслідок чого її застосування не завжди вдається обґрунтувати за допомогою строгих критеріїв якості [9, 11, 20]. Медіанну фільтрацію в задачах придушення шумів слід вважати евристичним методом, проте простота обчислень і ефективність обробки зумовили широке поширення цього методу.

Важливою перевагою медіанної фільтрації є здатність до видалення імпульсних перешкод практично без спотворення плавно змінюються послідовностей значень сигналу, тривалість яких перевищує половину довжини апертури медіанного фільтра.

Одновимірний медіанний фільтр являє собою "ковзне вікно" протяжністю  $N$  відліків, в якому центральний елемент замінюється медіаною (т.ч. середнім елементом послідовності, впорядкованої у порядку зростання значень сигналу в "вікні"). Таким чином, операція медіанної фільтрації  $K$ -послідовності значень сигналу характеризується співвідношенням

$$\text{med}\{S_k\} = \begin{cases} 0,5(S_n + S_{n+1}), & N = 2n \\ S_n, & N = 2n - 1, \end{cases} \quad (3.1)$$

де  $n = 1, 2, \dots$  – фіксоване значення, визначає апертуру фільтра.

Дія медіанного фільтра з апертурою  $N = 5$  елементів на інтерференційний сигнал, спотворений імпульсною завадою, ілюструється на рис. 3.4.

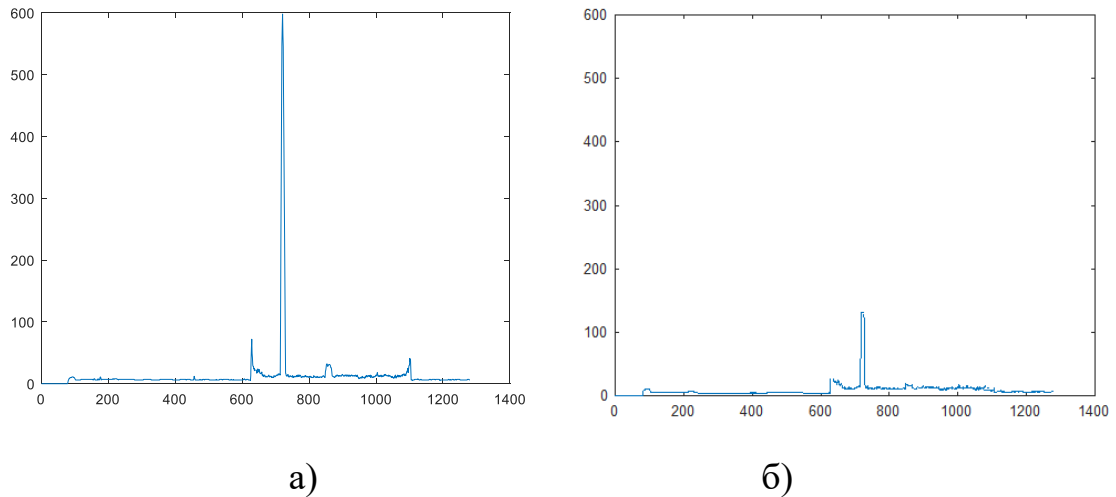


Рисунок 3.4 – Медіанная фільтрація сигналу в умовах імпульсної перешкоди

З рисунку видно, що відбувається ефективно придушення одиночних і парних імпульсних викидів сигналу.

Властивості медіанного фільтра характеризуються такими співвідношеннями:

$$\text{med}\{a s(k)\} = a \text{med}\{s(k)\}, \quad (3.2)$$

$$\text{med}\{s_0 + s(k)\} = s_0 + \text{med}\{s(k)\}, \quad (3.3)$$

де  $a$  і  $s_0$  – постійні.

Однак при медіанній фільтрації не дотримується принцип суперпозиції:

$$\text{med}\{s_1(k) + s_2(k)\} \neq \text{med}\{s_1(k)\} + \text{med}\{s_2(k)\}. \quad (3.4)$$

Внаслідок нелінійності (3.4) не можна строго розмежувати вплив медіанної фільтрації на сигнал і шум (при лінійній фільтрації таке завдання вирішується порівняно просто).

Наведемо дані про вплив медіанного фільтра на послідовність незалежних однаково розподілених випадкових змінних.

У разі рівномірного закону розподілу на інтервалі результуюча дисперсія дорівнює

$$\sigma_{med\{s_1, \dots, s_n\}}^2 \approx 3\sigma_s^2 / (N + 2), \quad (3.5)$$

де  $\sigma_s^2$  – вихідна дисперсія випадкових змінних;

$N$  – як і раніше – апертура медіанного фільтра.

При нормальному законі розподілу

$$\sigma_{med\{s_1, \dots, s_n\}}^2 \approx (\pi / 2)\sigma_s^2 / (N + \pi / 2 + 1), \quad (3.6)$$

де  $N=2n+1$ ,  $n=0, 1, \dots$ .

Оскільки середнє значення  $\langle s \rangle$  для  $N$  незалежних випадкових змінних має дисперсію  $\sigma_s^2 / N$  то можна зробити висновок, що при впливі гауссовського білого шуму, згідно (4.6), ефективність медіанної фільтрації при великих  $N$  нижче на  $(\pi / 2 - 1) \approx 60\%$  в порівнянні з ковзному середнім.

Медіанна оцінка є найкращою оцінкою в порівнянні зі змінним середнім і оптимальною оцінкою за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки для випадку подвійного експоненціального розподілу

$$p(s) = (\sqrt{2} / \sigma_s) \exp(-\sqrt{2}|s - s_0| / \sigma_s), \quad (3.7)$$

при цьому

$$\sigma_{med}^2 = (1/2)\sigma_s^2 / (N - 1/2). \quad (3.8)$$

З (3.7) і властивостей гармонійного процесу слід, що медіанна фільтрація може бути ефективно використана при вирішенні задач пошуку

значення максимуму інтерференційного сигналу по емпіричним гістограми. Медіана забезпечує найкращу по мінімуму абсолютного відхилення оцінку центру розподілу з щільністю ймовірності (3.7), задовільно апроксимує крайові області функції. Для зазначеного розподілу ймовірностей

$$\min \sum_{k=1}^k |s_k - s_0|, \quad (3.9)$$

досягається при  $s_0 = med[s_1, \dots, s_N]$ .

Медіанний фільтр дозволяє зменшити вплив шумів спекл-структури в інтерференційних зображеннях. Оскільки медіанний фільтр зберігає монотонно змінюються ділянки сигналу, то операція придушення імпульсного шуму не вносить значних фазових спотворень в інформаційну складову.

Справді, згідно з даними [11], для стаціонарного випадкового процесу виду

$$s(k) = s_m \cos(\varepsilon + 2\pi l_0 k \Delta x), \quad (3.10)$$

де  $s_m$  – постійна,  $\varepsilon$  має рівномірний розподіл на інтервалі  $[0, 2\pi]$ ,  $l = 1, 2, \dots, K$ , медіанний фільтр з апертурою  $N > 5$  має характеристики, близькі до характеристик змінного середнього.

Таким чином, медіанну фільтрацію можна розглядати як ефективний метод попередньої обробки сигналів в умовах імпульсних перешкод, що забезпечує стійкість подальших оцінок фазових характеристик сигналу, які засновані на гіпотезі про нормальний розподіл шуму.

### 3.2.2 Кепстральних аналіз

Іншим ефективним методом нелінійної обробки сигналів є кепстральних аналіз, заснований на логарифмічному перетворенні сигналів в

частотній області [7, 11]. Частотний кепстра зберігає інформацію про повній фазі, що є важливою властивістю при обробці інтерференційних сигналів. Іншою перевагою кепстрального аналізу є можливість виділення періодичної складової в "пакеті частот" складного складу.

Техніка кепстрального аналізу являє собою приклад нелінійної обробки, яка здійснюється найбільш ефективно за допомогою комп'ютерних засобів. Побудова кепстра засноване на наступному математичному принципі. Якщо вихідний сигнал  $s(x)$  має частотний спектр  $S(u)$ , тоді його кепстра визначається виразом

$$K(\chi) = F^{-1}\{LnS(u)\}. \quad (3.11)$$

Для дійсного сигналу  $s(x)$  спектр  $S(u)$ , є комплексним

$$S(u) = F\{s(x)\} = S_R(u) + jS_i(u), \quad (3.12)$$

т.ч. містить дійсну та уявну складові, або в експоненційної формі

$$S(u) = |S(u)| \exp j\varphi(u). \quad (3.13)$$

Комплексний логарифм в (3.11) буде дорівнює

$$Ln S(u) = Ln |S(u)| + j\varphi(u), \quad (3.14)$$

т.ч. є комплексною функцією частоти. Дійсна частина цієї функції є логарифмом амплітуди, а уявна частина характеризує фазовий спектр.

Зазвичай спектр інтерференційного сигналу є ермітовим-сполученої функцією, т.ч.  $S(-u) = S^*(u)$ , цьому  $Ln|S(u)|$  є парною функцією, тоді як фаза  $\varphi(u)$  – непарна функція.

Поряд з поняттям комплексного кепстра (3.12) можна надати таке визначення кепстра потужності:

$$C(\chi) = F^{-1}\{Ln G(u)\}. \quad (3.15)$$

Кепстра (3.15) є дійсною парною функцією. Подібно кореляційної функції, кепстра містить інформацію про періодичні компонентах вихідного сигналу  $s(x)$ .

На рис. 3.5, а показана вибіркова функція (інтерференційний сигнал), яка є сумою інформаційної складової і помилкової періодичної складової. Такі спотворення виникають при паразитного інтерференції на допоміжних елементах оптичної системи. Результуюча спектральна щільність  $G(u)$  матиме максимуми на частотах  $u=0$ ,  $u_0$  и  $u_1$  (рис. 3.5, б). Для ідентифікації істинної складової з частотою  $u_0$  необхідно виявити наявність помилкової спектральної складової  $u_1$  для подальшого її придушення. В принципі виявити приховані періодичності можливо на основі відомого властивості кореляційної функції. Однак рішення такого завдання в умовах перешкод є більш ефективним при використанні кепстра (3.11). Це ілюструється на рисунку 3.6, на якому чітко видно перевагу кепстральних аналізу в порівнянні з оцінкою автоковаріації.

Інша важлива властивість кепстра, яке зумовило поширення цього методу обробки, складається в можливості виконання "протизвертки", т.ч. усунення спотворює впливу системної функції.

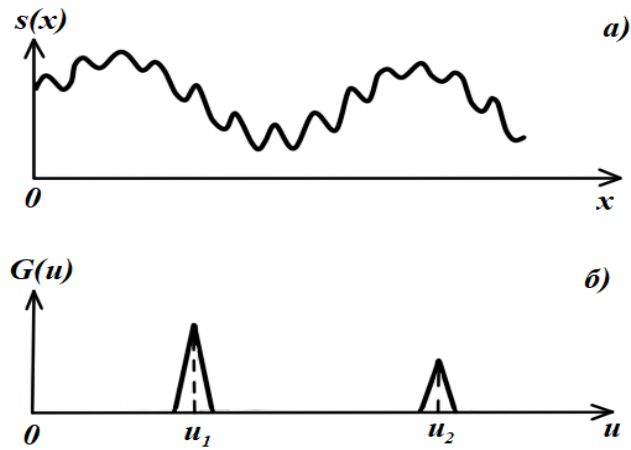


Рисунок 3.5 – Вибіркова функція у вигляді реалізації інтерференційного сигналу на тлі періодичної перешкоди (а) і спектр потужності (б)

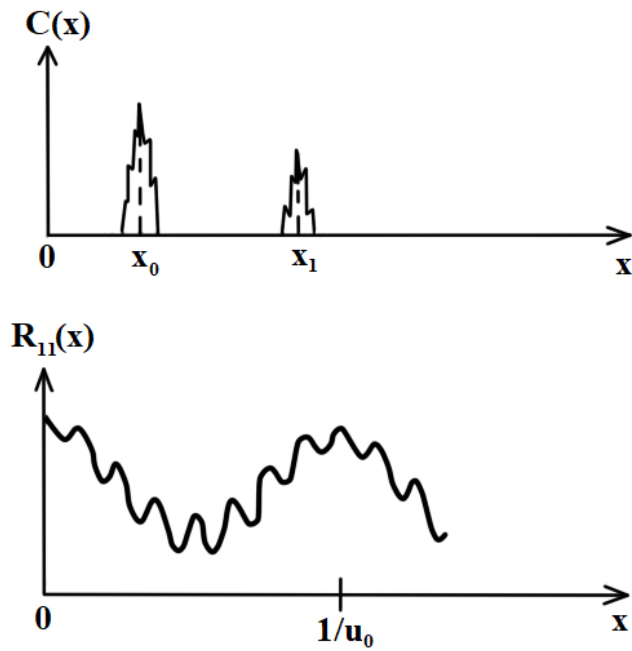


Рисунок 3.6 – Кепстральних уявлення (а) і автоковаріаційна функція (б) інтерференційного сигналу, показаного на рис. 3.5

До сигналу  $s(x)$  при проходженні через систему реєстрації

застосовується лінійне спотворення, яке визначається операцією згортки з імпульсним відгуком системи  $h(x)$ . Тому результуючий сигнал буде мати вигляд

$$\hat{s}(x) = s(x) \cdot h(x), \quad (3.16)$$

або відповідно в спектральній області:

$$\hat{S}(u) = S(u)H(u). \quad (3.17)$$

Аналогічний вираз для спектральної щільності можна навести в формі

$$\hat{G}(u) |H(u)|^2. \quad (3.18)$$

Логарифмування виразу (3.17) приводить до співвідношення

$$\text{Ln } \hat{S}(u) = \text{Ln } S(u) + \text{Ln } H(u). \quad (3.19)$$

З огляду на властивість лінійності перетворення Фур'є, отримано вираз

$$F^{-1}\{\text{Ln } \hat{S}(u)\} = F^{-1}\{\text{Ln } S(u)\} + F^{-1}\{\text{Ln } \hat{H}(u)\}. \quad (3.20)$$

Таким чином, "протизвертка" в термінах комплексного кепстра зводиться до відомої задачі лінійної фільтрації в умовах адитивної перешкоди, представленої другим доданком виразу (3.19).

Аналогічний підхід можна використовувати і стосовно до співвідношення (3.17), при цьому в результаті отримаємо суму ефектів, аналогічних обчисленню автокореляції (при інтерпретації  $|H(u)|^2$  як

нормованого спектра потужності).

На рис. 3.7 наведено принцип розрахунку кепстра інтерференційного сигналу. Вихідний сигнал  $s(x)$  піддається амплітудній корекції в блоці нормування (БНС).

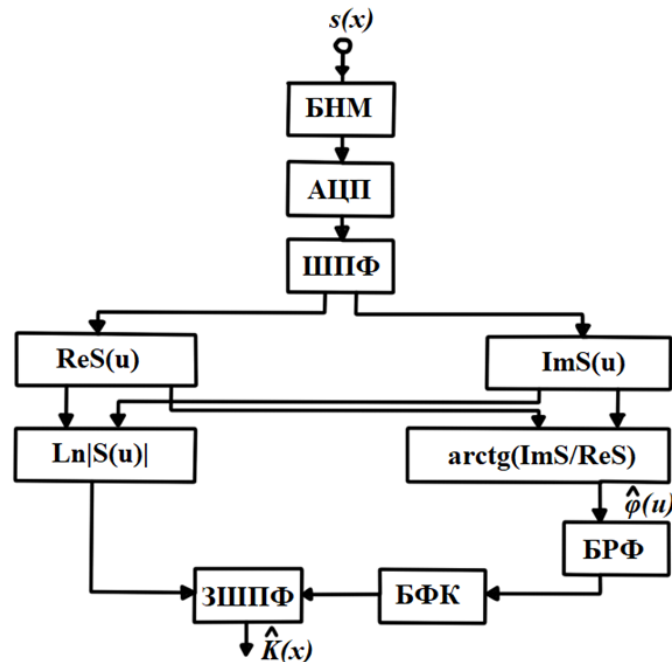


Рисунок 3.7 – Структурна схема алгоритму обчислення кепстра сигналу

Після операцій аналого-цифрового перетворення (АЦП) і швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) отримують дійсну і уявну частини спектра  $\text{Re } S(u)$  та  $\text{Im}(S(u))$ . Далі обчислюється логарифм модуля спектра і фазовий спектр

$$\hat{\varphi}(u) = \text{arctg}[\text{Im } S(u) / \text{Re } S(u)]. \quad (3.21)$$

Значення  $\hat{\varphi}(u)$  з урахуванням знаків чисельника і знаменника в (3.20) відновлюється в межах  $[-\pi, \pi]$ . Внаслідок цього фазовий спектр має дискретний характер, як це показано на рис. 3.8, а.

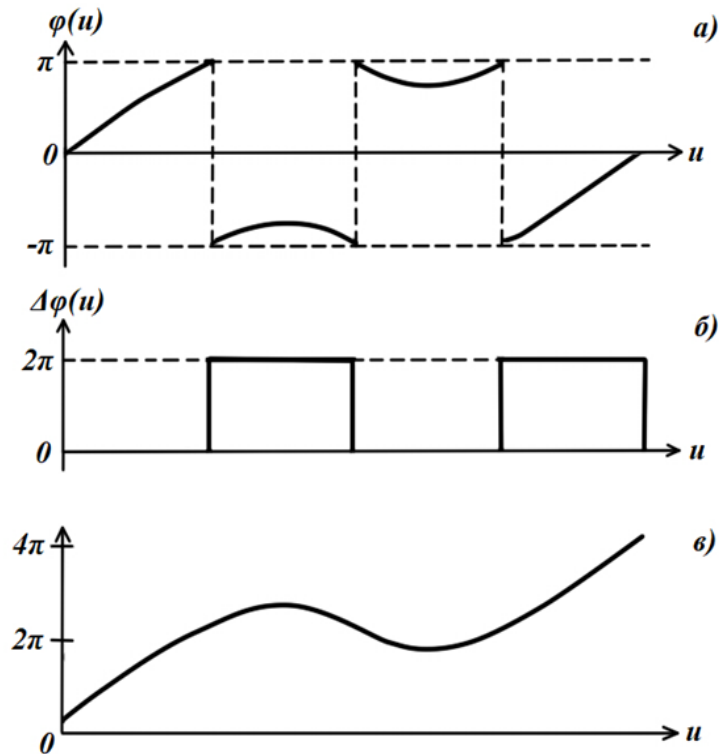


Рисунок 3.8 – Розгортання фази

Для відновлення безперервної зміни фази в схемі рис. 3.7 передбачається блок розгортання фази (БРФ). При необхідності лінійна складова розгорнутого фазового спектра може бути скоригована або видалена в блоці фазової корекції (БФК). В результаті зворотного швидкого перетворення Фур'є (ЗВПФ) отримуємо оцінку кепстра сигналу.

Така операція може бути виконана двома основними методами:

- з використанням поправочного коефіцієнта;
- методом оцінки фази.

У методі поправочний коефіцієнт передбачається, що значення фази  $2\pi$  становить величину поправки при порівнянні сусідніх значень фази. Якщо зміна фази між сусідніми точками становить менше  $\pi$ , то поправка не робиться. Якщо стрибок фази перевищує  $\pi$ , то приймається поправка, при цьому величина корекції  $\Delta\varphi$  значення фази в  $k$ -й точці дорівнює

$$\Delta\varphi(k) = \begin{cases} \Delta\varphi(k-1) - 2\pi, & \hat{\varphi}(k) - \hat{\varphi}(k-1) > \pi, \\ \Delta\varphi(k-1) + 2\pi, & \hat{\varphi}(k) - \hat{\varphi}(k-1) < -\pi, \\ \Delta\varphi(k-1), & -\pi \leq \hat{\varphi}(k) - \hat{\varphi}(k-1) \leq \pi, \end{cases} \quad (3.22)$$

причому,  $\Delta\varphi(0) = 0$ .

На рис. 3.8, б представлений вид коригуючої функції (3.21), а на рис. 3.8, в – результуюча розгорнута фаза у вигляді безперервної функції. Практично корекція фази (3.22) виконується безпосередньо в процесі обчислення її головних значень за формулою (3.22) і ідентифікації стрибків фази [11].

### 3.3 Математичний метод визначення позиції

У загальному вигляді задача визначення позиції об'єкта відносно робочої позиції вирішується на підставі різниці координат. У нашому випадку об'єктом є підкладка з кварцу діаметром 300 мм. Знання про форму об'єкту допомагає визначити опорну точку – центр кола підкладки (рис. 3.9).

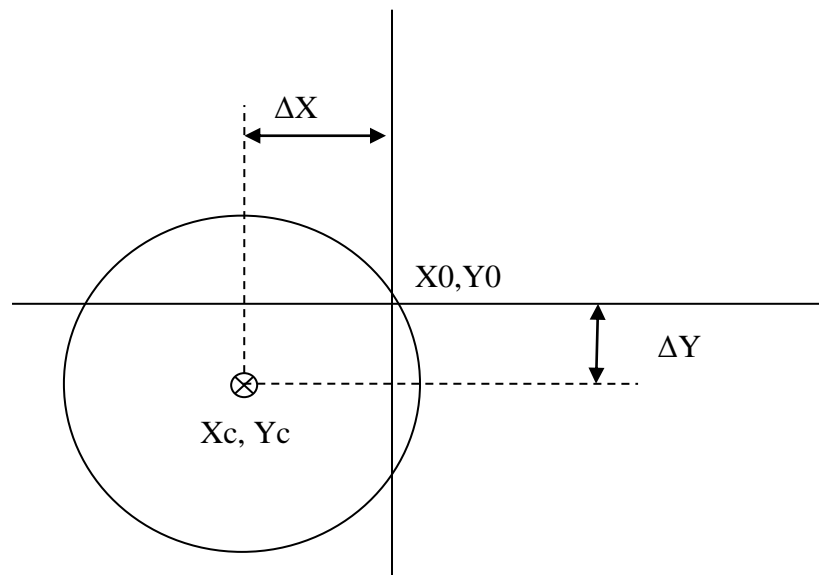


Рисунок 3.9 – Схема визначення розузгодженості позиції об'єкта та робочої позиції

Постає задача визначення центру кола. Перетворення Хафа – це метод виявлення прямих і кривих ліній на напівтонових або кольорових зображеннях. Метод дозволяє вказати параметри сімейства кривих і забезпечує пошук на зображенні безлічі кривих заданого сімейства.

В алгоритмі перетворення Хафа використовується акумуляторний масив, розмірність якого відповідає кількості невідомих параметрів в рівнянні сімейства шуканих кривих. Цей підхід використовується через його стійкість до шуму, оклюзії і зміни освітлення.

Перетворення Хафа не є строго визначеним алгоритмом, скоріше існує ряд різних підходів, які можна використовувати при його реалізації. Однак, є три основні кроки, загальних для всіх:

- обчислення масиву акумуляторів. Пікселі переднього плану з високим градієнтом позначаються як пікселі-кандидати, і їм дозволяється віддавати «голос» в масиві накопичувачів. У класичній реалізації алгоритму пікселі-кандидати голосують за шаблоном навколо себе, який утворює повне коло фіксованого радіуса. На рис. 3.10, а показаний приклад пікселя-кандидата, лежачого на реальному колі (суцільний круг), і класичний зразок голосування (пунктирні кола) для пікселя-кандидата;

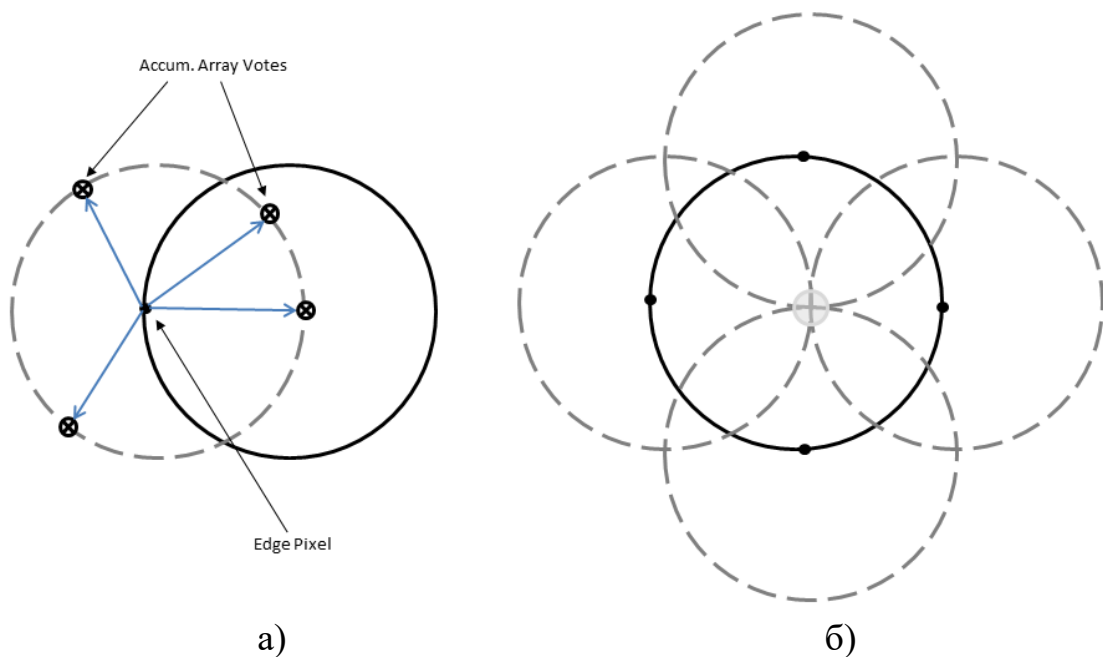


Рисунок 3.10 – Демонстрація алгоритму Хафа

– оцінка центру кола. Голоси пікселів кандидатів, що належать колу зображення, мають тенденцію накопичуватися в бункері масиву накопичувачів, відповідному центру кола. Отже, центри кіл оцінюються шляхом виявлення піків в масиві акумуляторів. На малюнку 3.10, б показаний приклад пікселів-кандидатів (суцільні точки), що лежать на реальному колі (суцільний круг), і їх схеми голосування (пунктирні кола), які збігаються в центрі фактичного кола;

– оцінка радіуса кола. Якщо один і той же масив акумуляторів використовується для кількох значень радіуса, як це зазвичай робиться в алгоритмах Хафа, радіуси виявлених кіл повинні оцінюватися як окремий крок.

В процесі настройки апаратної підсистеми здійснюється установка камери, наведення об'єктива на об'єкт, фокусування і просторова калібрування. Спочатку, керуючи рядом параметрів відеодатчики шляхом зміни фокусування, просторового положення камери, розкриття діафрагми, чутливості, формуємо зображення сцени з заданими характеристиками. Управління параметрами датчика здійснюється за результатами обробки візуальної інформації і складається з наступних операцій: фокусування та налаштування по яскравості і контрасту.

Фокусування здійснюється переміщенням об'єктива по оптичній осі до досягнення максимуму різкості, що оцінюється за кількістю перетинів Продиференціювали видеосигналом деякого наперед заданого рівня. Відповідно до положення об'єктива визначається відстань до шуканої деталі об'єкта. Для фокусування застосовується різностная (кореляційний) схема. Підстроюванням чутливості камери забезпечується адаптація зображення по яскравості.

Заданий рівень освітленості встановлюється і підтримується підсистемою автоматичного регулювання освітленості.

### 3.4 Висновки третього розділу

В результаті виконання третього розділу магістерської атестаційної роботи були описані: математичне забезпечення системи позиціонування, проектування структурної схеми системи технічного зору шлюзу завантаження підкладок, методи фільтрації сигналів та математичний метод визначення позиції.

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ

### 4.1 Реалізація програмного модулю

Реалізація програмного модуля виконана в середовищі MATLAB. Для зв'язку програмного забезпечення з зображеннями потрібно здійснити підключення та налаштування камери. Зв'язок між системою MATLAB і камерою здійснює відеооб'єкт (winvideo). Параметри об'єкта використовують для контролю процесу захоплення відео.

Формування якісних вихідних відеоданих є одним з необхідних умов для їх ефективної обробки з метою отримання достовірної інформації. Ця інформація в подальшому служить основою для прийняття рішень. Таким чином, від якості вихідних даних залежить достовірність прийнятих на основі цієї інформації рішень. Тому завдання формування вихідних даних є актуальною і для її вирішення використовується додаток Image Acquisition Toolbox, яке функціонує в середовищі MATLAB [11].

Додаток Image Acquisition Toolbox забезпечує:

- можливість програмної реалізації захоплення відеозображень за допомогою плат і пристроїв захоплення з подальшою передачею потоку зображень безпосередньо в робочий простір MATLAB;
- дозволяє проводити попередній перегляд зображень і потокового відео в системі MATLAB при аналізі і візуалізації.

При необхідності Image Acquisition Toolbox дозволяє відповідним чином конфігурувати пристрої захоплення відеозображень.

Додаток забезпечує передачу даних одного або декількох фреймів в робочий простір MATLAB, де проводиться їх подальшої аналіз і обробка у вигляді багатовимірних масивів за допомогою пакета Image ProcessingToolbox.

Для отримання зображення необхідно дізнатися про підключені пристрої. Для цього використовуємо функцію *webcamlist*.

```
>> webcamlist
ans =
1x1 cell array
    {'Logitech HD Webcam C270'}
```

Для створення вихідних відеооб'єктів, в функції *videoinput* вказується назва адаптера, *id* пристрою і формат відео

```
object = videoinput ('Logitech HD Webcam C270', 2, 'YUY2_640x480'),
```

де *videoinput* – функція підключення відеоадаптера;

*Logitech HD Webcam C270* – назва адаптера захоплення зображення;

2 – ID пристрою

*YUY2\_640x480* – формат відео.

За допомогою функції *preview* можна попередньо переглянути об'єкт відеопослідовності і перевірити прийнятність захоплюваного зображення.

Далі виконується запуск (*start*) і передача захоплених фреймів в робочий простір. Передача фреймів в робочий простір MATLAB здійснюється за допомогою функції

```
data = getdata (object),
```

де *getdata* – функція, що повертає число фреймів початкового відеооб'єкта *object*.

Функція *data* складається с таких параметрів

```
data = [H, W, B, F],
```

де  $H$  – висота зображення;  
 $W$  – ширина зображення;  
 $B$  – кількість шарів;  
 $F$  – число фреймів.

Data повертає в робочий простір MATLAB дані з використанням того колірного простору, яке визначається властивостями ReturnedColorSpace.

Після введення початкових даних починає роботу блок обробки зображень. Алгоритм роботи блоку представлений на рис. 4.1.

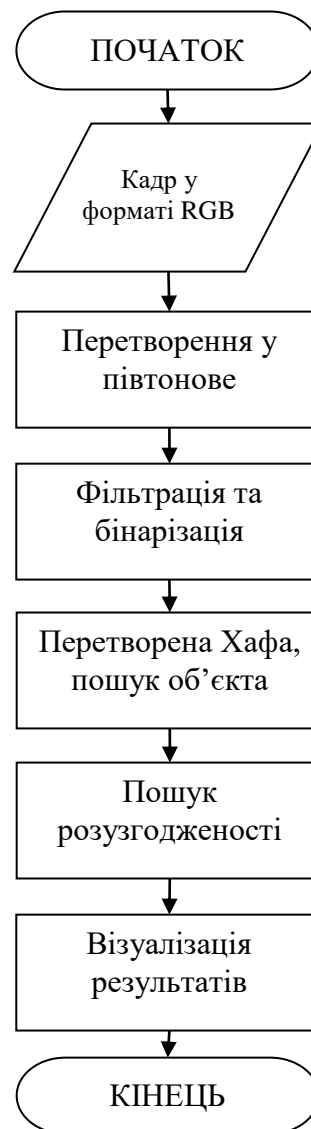


Рисунок 4.1 – Алгоритм роботи блоку обробки зображення  
Фільтрація виконана із застосуванням медіанного фільтру *medfilt1*.

Морфологічна обробка включає в себе заповнення областей та створення структурних елементів.

Заповнення порожнеч виконується за допомогою функції

$$background = imopen(gray\_image, strel('disk', 15));$$

де *gray\_image* – заповнює області і отворів на вхідному бінарному зображенні;

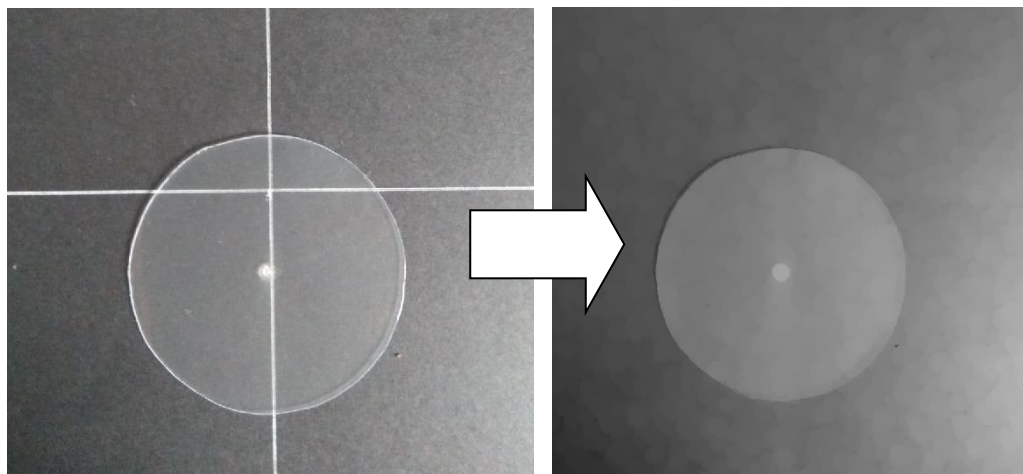
*background* – вхідне бінарне зображення;

*strel* – функція для створення структурних морфологічних елементів;

'*disk*' – тип структурного елемента.

Об'єкти, що менше розміру диска видаляються, стають фоном.

Результат роботи предсталено на рис. 4.2.



а)

б)

Рисунок 4.2 – Результат фільтрації

Вхідними даними для аналізу є бінарне зображення. Для аналізу зображень використовують функцію

$$[B,L] = bwboundaries(bw),$$

де *bwboundaries* – функція для відстеження зовнішніх кордонів об'єкта на бінарному зображенні *bw*;

*L* – матриця, що містить мітки об'єктів.

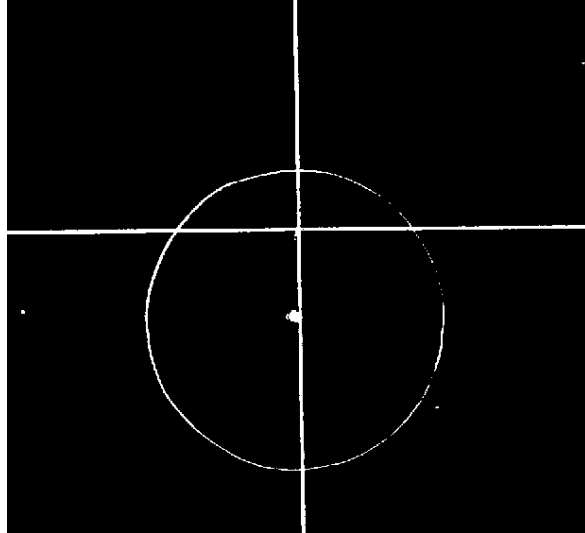


Рисунок 4.3 – Результат обробки зображення

Перетворення Хафа реалізовано функцією:

$$[centers, radii] = imfindcircles(A, radiusRange),$$

де *centers, radii* – розраховані координати центру та радіус кола;

*A* – матриця-зображення, що містить інформацію про об'єкт;

*radiusRange* – діапазон радіусів для пошука.

Розрахунок розузгодження виконується наступною послідовністю

команд:

```
binaryImage = I2 > 50; imshow(binaryImage)
sum_im=sum(binaryImage);
Y_axis=find(sum_im==max(sum_im));
sum_imy=sum(binaryImage');
X_axis=find(sum_imy==max(sum_imy));
figure,imshow(gray_image)
hold on;
h=viscircles(centers,radii)
```

```

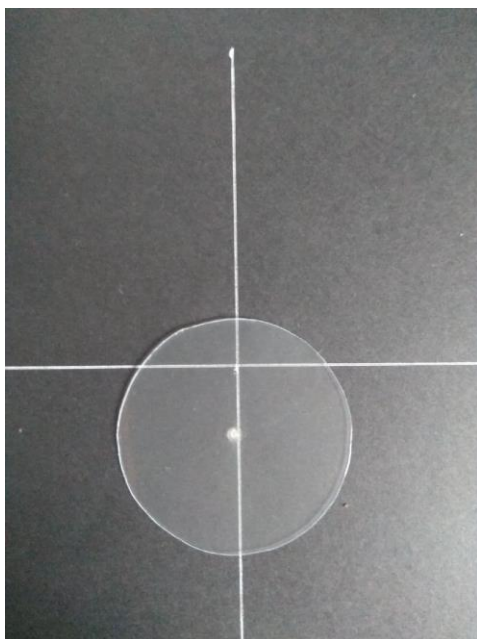
y=1:length(sum_im);
x=0*y+Y_axis;
plot(x, y, 'r')
x=0*y+X_axis;
plot(y, x, 'r')
delta_x=centers(1)-Y_axis
delta_y=centers(2)-X_axis

```

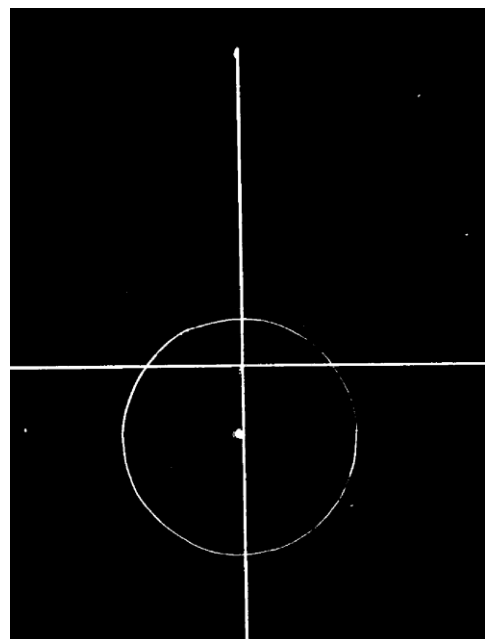
Візуалізація результатів здійснюється за допомогою функції *plot*.

#### 4.2 Еспериментальне дослідження

У якості моделі пкварцевої підкладки використаний прозорий пластиковий диск. Робоча поверхні має розмітку для орієнтації центра. Отримано 4 тестових зображення з різними позиціями заготовок відносно необхідної позиції. Результати наведено на рис. 4.4 – 4.11.



а)



б)

Рисунок 4.4 – Проміжний результат зразок 1

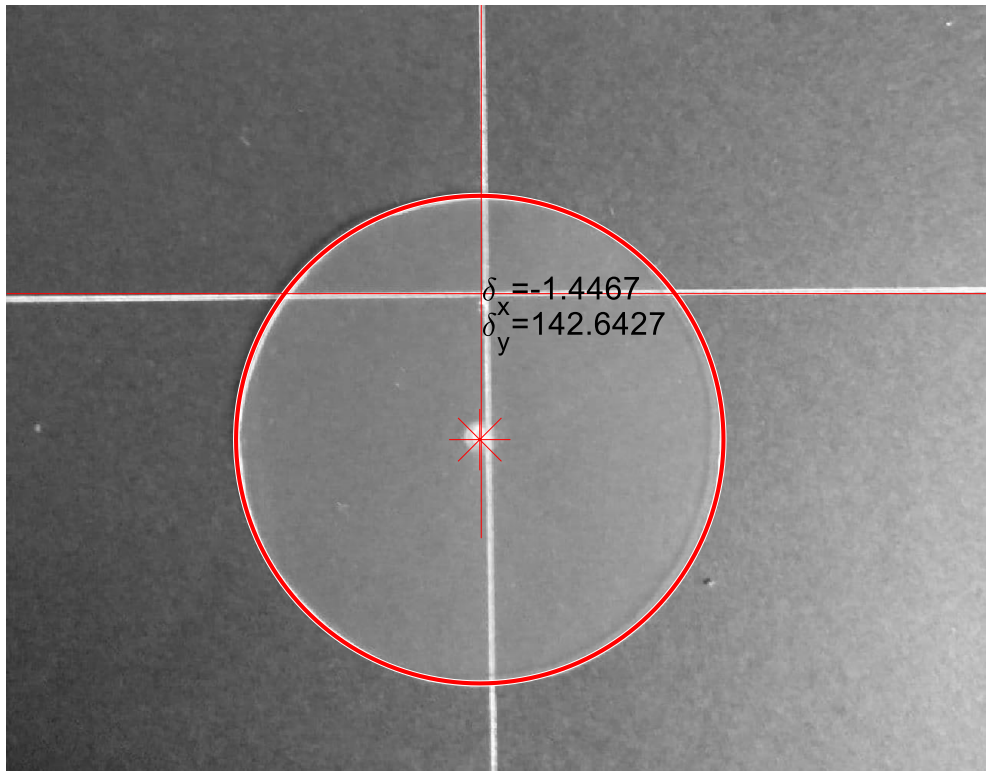
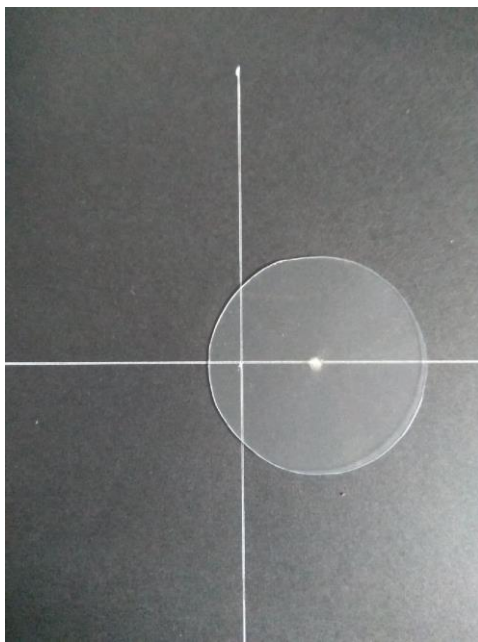
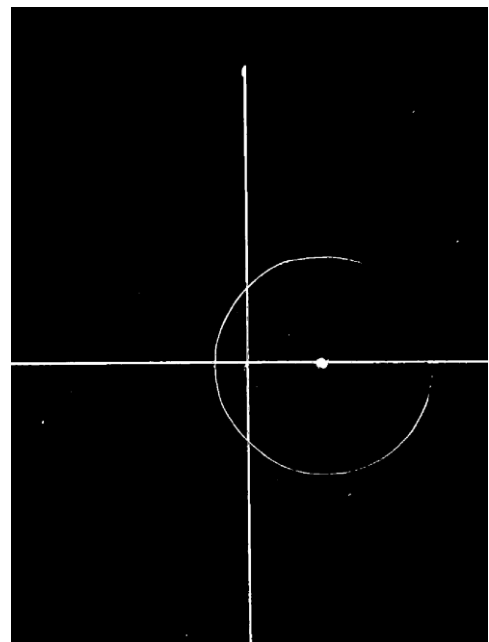


Рисунок 4.5 – Результат обчислень зразок 1



а)



б)

Рисунок 4.6 – Проміжний результат зразок 2

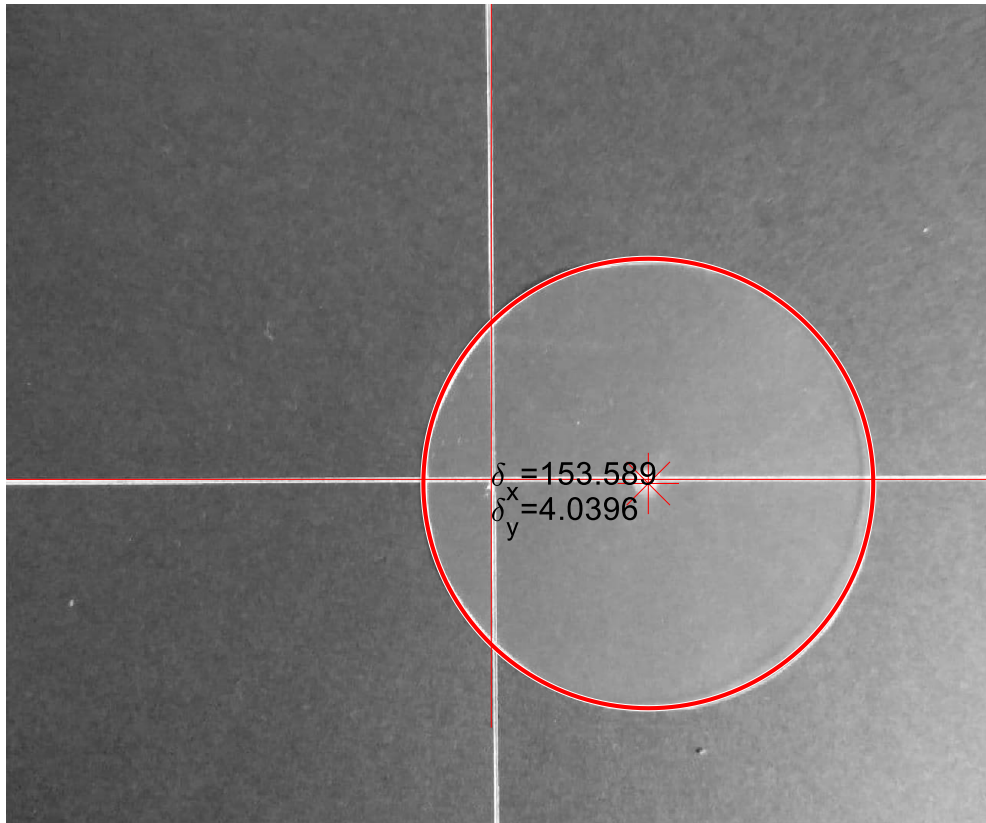
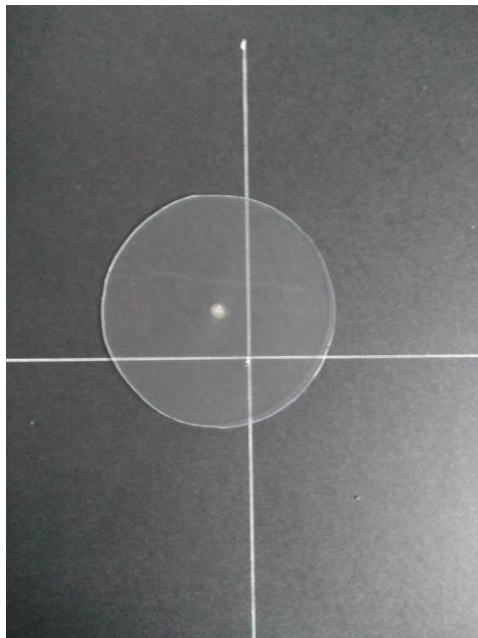
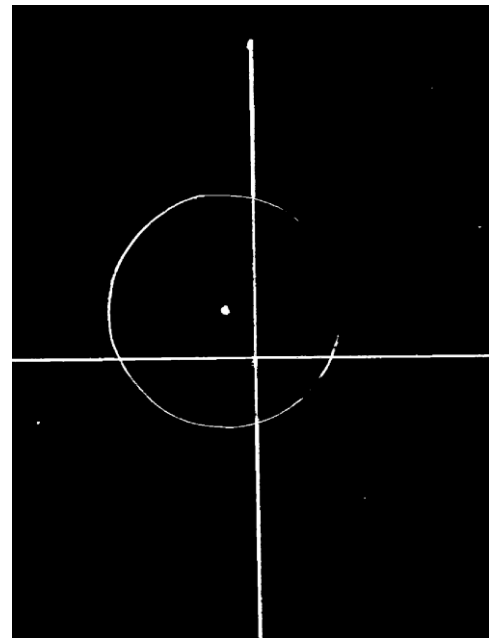


Рисунок 4.7 – Результат обчислень зразок 2



а)



б)

Рисунок 4.8 – Проміжний результат зразок 3

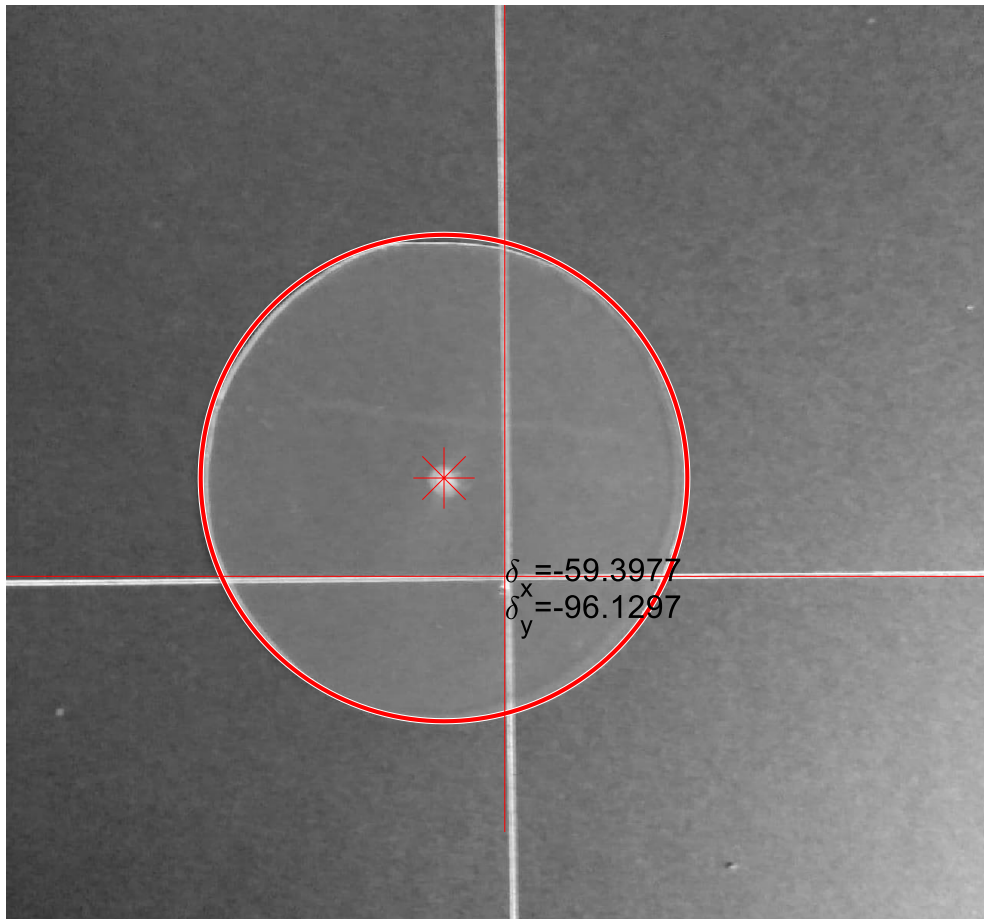
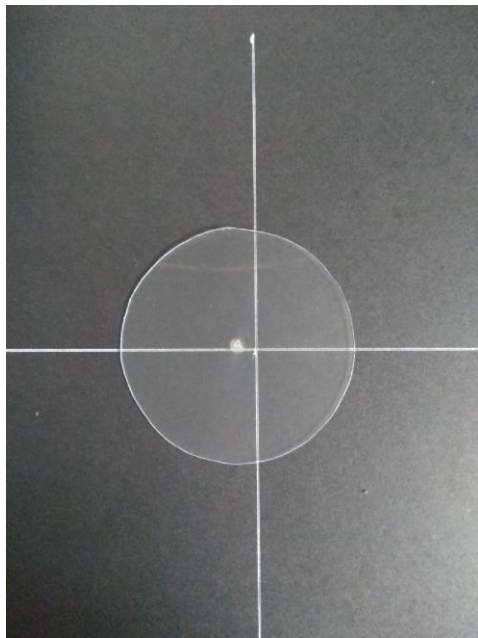
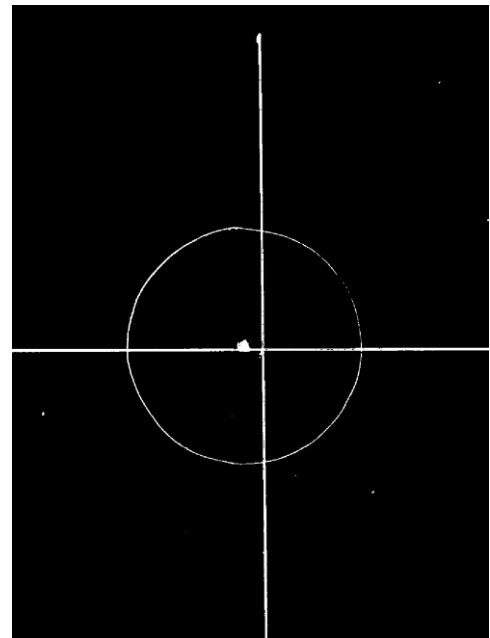


Рисунок 4.9 – Результат обчислень зразок 3



а)



б)

Рисунок 4.10 – Проміжний результат зразок 4

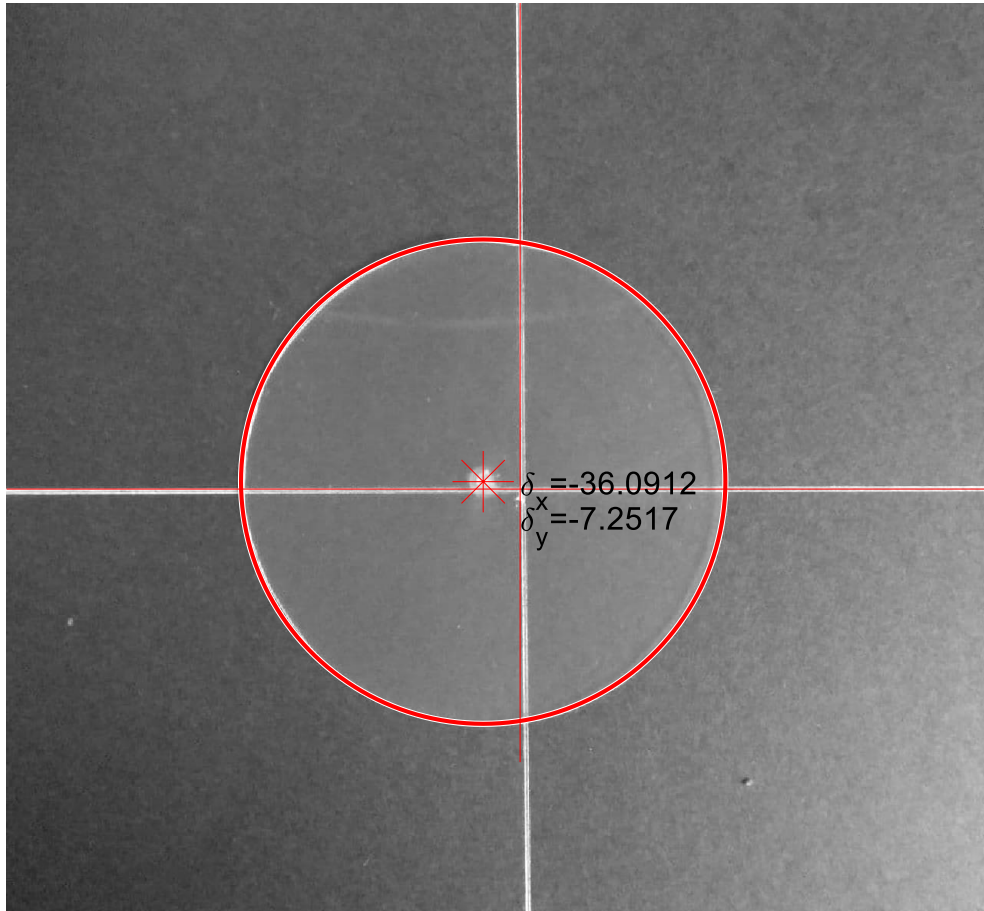


Рисунок 4.11 – Результат обчислень зразок 4

#### 4.3 Аналіз похибки

Для оцінки похибки виконано 10 послідовних знімки об'єкту в одній позиції та проведено обчислення. Результати наведено в табл. 4.1.

Розраховано координати центру об'єкта, розузгодження по двом вісям. Також розраховано середнє арифметичне та стандартне відхилення вимірювань. Коефіцієнт варіації – відносна величина, що служить для характеристики розсіяння (мінливості) ознаки. Являє собою відношення середнього квадратичного відхилення до середнього арифметичного.

Таблиця 4.1 – Результати обчислень

№ виміру	X <sub>c</sub>	Y <sub>c</sub>	Δx	Δy
1	391,273	814,262	-72,727	183,262
2	387,476	818,613	-75,524	182,613
3	387,628	809,567	-77,624	181,865
4	385,043	815,340	-76,398	181,961
5	389,152	811,404	-74,429	181,788
6	384,634	816,412	-75,425	182,086
7	389,445	813,873	-75,382	181,772
8	383,611	815,396	-74,797	181,700
9	388,354	809,772	-72,866	180,118
10	382,685	817,478	-73,168	178,535
Середнє	386,930	814,212	-74,834	181,570
Стандартне відхилення	2,66	2,95	1,50	1,26
Коефіцієнт варіації	0,69%	0,36%	-1,01%	0,69%

За умови відповідності 1 піксель = 0.2636 мм маємо відхилення  $\pm 0,34$  мм = 340 мкм. Таке значення можливо зменшити за умови удосконалення системи кріплення камері, використання більш якісної ПЗС матриці.

#### 4.4 Висновки четвертого розділу

В результаті виконання четвертого розділу магістерської атестаційної роботи були проведено реалізація програмного модулю, еспериментальне дослідження та аналіз похибки.

## 5 РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОГО ПОВІТРООБМІНУ В ЛАБОРАТОРІЇ

### 5.1 Аналіз умов праці на робочому місці

Розміри навчальної лабораторії, в якому проводилися проектувальні роботи складає  $8,3 \times 6 \times 3,1$  м.

Робоче місце являє собою стіл, який обладнаний персональним комп'ютером (потужність 550 Вт, монітор LCD 21", частота 75 Гц) і паяльником.

У приміщенні працює 3 людини. Площа приміщення  $49,8$  м<sup>2</sup>, об'єм –  $154,38$  м<sup>3</sup>. Згідно НПАОП 0.00-1.28-10 площа на одне робоче місце має становити не менше  $6$  м<sup>2</sup>, а об'єм –  $20$  м<sup>3</sup>.

Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна віднести до категорії без підвищеної небезпеки (сухе не запилене приміщення з ізолюючим підлогою).

В приміщенні використовується система живлячих провідників, трифазна, чотирипровідна з глухо заземленою нейтраллю напругою до 1000 В, тому, згідно НПАОП 40.1-1.32-01 використовується система заземлення TN-C-S типу. Додатково застосовується повторне заземлення нульового проводу з метою зниження потенціалу корпусів і напруги дотику у випадках обриву нульового проводу [12].

Робота в приміщенні проводиться сидячи і не вимагає фізичної напруги. Тому вона відноситься до категорії Ia (легкі фізичні роботи, енерговитрати до 120 ккал/ч). З метою забезпечення комфортних умов для працівників та відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 в приміщенні встановлені наступні оптимальні показники мікроклімату:

– для холодного періоду: температура повітря від 22 до 24 °С; вологість повітря від 40 до 60 %; швидкість руху повітря оптимальна 0,1 м/с;

– для теплого періоду року: температура повітря від 23 до 25 °С; вологість повітря від 40 до 60 %; швидкість руху повітря оптимальна 0,1 м/с, допустима 0,2 м/с.

Пайка металевих виводів радіоелементів при їх монтажі на друковану плату модуля свинцево-олов'яними припоями (Chemet Sn60Pb40 Кар-Т) супроводжується виділенням в атмосферу аерозолів свинцю, олова і парів розчинників.

## 5.2 Розрахунок необхідного повітрообміну

Для розрахунку необхідного повітрообміну необхідно в кожному випадку визначати кількість шкідливих речовин, що виділяються у повітря приміщення.

Пайка здійснюється свинцево-олов'яним припоєм Chemet Sn60Pb40 Кар-Т, який містить 0,39 частки обсягу свинцю ( $c$ ) і 61 % олова. Найбільш отруйні аерозолі (пари) свинцю. В процесі пайки з припоєю випаровується до  $V = 0,1\%$  свинцю, а на 1 пайку витрачається 10 мг припою. При числі пайок  $N$ , кількість виділених парів свинцю визначається як:

$$G = c \cdot V \cdot m_{np} \cdot N, \quad (5.1)$$

де  $c$  – частка обсягу свинцю в припої;

$V$  – частка виділених парів шкідливої речовини;

$m_{np}$  – маса припою на одну пайку, мг;

$N$  – кількість контактів за годину;

В приміщенні об'ємом  $V_n = 138,88 \text{ м}^3$  три людини здійснюють паяння припоєм Chemet Sn60Pb40 Кар-Т продуктивністю по 50 контактів в годину. Визначаємо кількість аерозолів свинцю, що виділяються в повітря:

$$G = 039 \cdot 0,001 \cdot 10 \cdot 50 = 0,195 \text{ мг/ч.}$$

Необхідний повітрообмін визначається за формулою:

$$L = \frac{G \cdot 1000}{x_g - x_n}, \quad (5.2)$$

де  $L$  – необхідний повітряобмін,  $m^3/год$ ;

$G$  – кількість шкідливих речовин, що виділяються у повітря приміщення,  $г/ч$ ;

$x_g$ , – гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони приміщення, згідно СНБ 3.02.03-03,  $мг/м^3$ ;

$x_n$  – максимально можлива концентрація тієї ж шкідливості в зовнішньому повітрі, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 ( приймаємо  $x_n=0$  ),  $мг/м^3$ .

$$L = \frac{0,195}{0,01 - 0} = 19,5 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначаємо кількість повітря, яке необхідно подати в робочу зону для того, щоб забезпечити необхідну кількість повітря на працюючого

$$L_1 = n \cdot L_{\text{люд}}, \quad (5.3)$$

де:  $L_{\text{люд}}$  – норма подачі припливного повітря на 1 людину (згідно СніП 2.04.05-91  $L = 60 \text{ м}^3/\text{год}$ ).

$$L_1 = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Порівнюючи норми подачі  $L_{\text{люд}}$  і,  $L$  для подальших розрахунків приймаємо найбільше значення. Знайдемо кратність повітрообміну ( $n$ ), яке

показує, скільки разів упродовж однієї години повітря повністю змінюється в приміщенні:

$$n = \frac{L}{V_n}, \quad (5.3)$$

де  $V_n$  – внутрішній об'єм приміщення,  $m^3$ .

$$n = \frac{120}{138,88} = 0,86 \text{ ч}^{-1}.$$

Таким чином, для розрахованих параметрів обрана енергозберігаюча припливно-витяжна установка Dantex DV 250E – DV1200E з продуктивністю 150 – 1200  $m^3$ /год, що забезпечить необхідну кратність повітрообміну.

Приміщення лабораторії має природне та штучне освітлення відповідно до ДБН Ст. 2.5-28-2006.

Природне світло проникає через бічні світлопроєми, зорієнтовані на північ, і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,2%.

Необхідна освітленість приміщення 200-500лк.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в лабораторії не перевищує 50 дБА .

Категорія приміщення П – Па згідно ПУЕ-2011. Лабораторія розташована в будівлі II ступеня вогнестійкості згідно з ДБН 1.1.7-2002. По пожежо- і вибухонебезпечності відноситься до категорії В відповідно до НАПБ Б. 03.002-2007 (у приміщенні лабораторії знаходяться тверді горючі матеріали).

В приміщенні знаходяться 3 робочих місця, оснащених ПЕОМ і паяльниками. При підвищенні температури окремих вузлів можливо

оплавлення ізоляції сполучних проводів, яке веде до замикання, що супроводжується в свою чергу щирій.

Пожежна безпека в лабораторії забезпечується відповідно до ГОСТ 12.1.004-91, системою запобігання пожежі, протипожежного захисту і організаційно-технічними заходами: встановлено 1 вогнегасник ВВК-1,4 (з розрахунку один на 3 ПК); приміщення лабораторії обладнано системою автоматичної пожежної сигналізації з застосуванням димових датчиків типу ДИП-1 (1 штука) згідно з ДБН Ст. 2.5-56-2010 (1 на 86 м<sup>2</sup>); навчання персоналу правилам пожежної безпеки, регулярні інструктажі з пожежної безпеки; розміщені інструкції та план евакуації персоналу у випадку пожежі.

### 5.3 Висновки п'ятого розділу

В результаті виконання п'ятого розділу магістерської атестаційної роботи був виконаний аналіз умов праці на робочому місці. Виконаний розрахунок необхідного повітрообміну. Виконаний опис безпеки життєдіяльності та охорони праці.

## ВИСНОВКИ

Атестаційна робота присвячена питанню підвищення продуктивності вхідного шлюза завантаження підкладок вакуумної технологічної лінії нанесення фоторезисту напівбезперервної дії за рахунок використання роботизованих рішень.

Метою роботи було дослідження та удосконалення методів контролю при позиціонуванні підкладок у роботизованому шлюзі завантаження з використанням оптичних систем.

Для реалізації поставленої мети проведено аналіз сучасного стану питання та сучасних технологічних рішень, аналіз та особливості технології фотолітографії та сучасних рішень її автоматизації.

Огляд методів та засобів позиціонування підкладок в автоматичній системі фотолітографії дозволив сформулювати вимоги до розробки СТЗ.

Удосконалено математичний метод оптичного позиціонування підкладок в завантажувальному шлюзі автоматичної системи фотолітографії. Запропоновано параметри об'єкту оцінювати з використанням перетворення Хафа. Таким чином, провівши фільтрацію зображення поточної позиції підкладки можна оцінити координати центру кола підкладки та розрахувати розузгодженість із робочою позицією.

Розроблені алгоритм обробки зображення, розроблено програмний модуль, що реалізує математичні методи аналізу результатів позиціонування оптичним методом контролю. Експериментальні дослідження показали працездатність методу. Недоліками розробленого методу є відсутність графічного інтерфейсу та відносно велике відхилення  $\pm 340$  мкм. Таке значення можливо зменшити за умови удосконалення системи кріплення камери, використання більш якісної ПЗС матриці.

Також проведений розрахунок освітлення приміщення, які повинні задовольняти умовам робочої зони.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Невлюдов, І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації [Текст]: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017р. – 444 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Методичні вказівки з виконання випускної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050902 “Радіоелектронні апарати” [Текст] / І.Ш. Невлюдов, С.П. Новоселов, Г.В. Пономарьова – Харків: ХНУРЕ, 2010. – 39 с.
3. Кондрашин, А. А. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств [Текст] : методическое пособие / А. А. Кондрашин, А. Н. Лямин, В. В. Слепцов. – Москва : ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 149 с.
4. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, Г. В. Пономарьова, А. О. Функендорф ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Кривий Ріг : КК НАУ, 2018. – 332 с.
5. Автоматическая установка совмещения и экспонирования для серийного производства SUSS MA300 Gen2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deal.by/p58916150-avtomaticheskaya-ustanovka-sovmesheniya.html> - 01.06.2016 г. -. Загл. с экрана.
6. Кручинин, Д. Ю. Фотолитографические технологии в производстве оптических деталей : учебное пособие / Д. Ю. Кручинин, Е. П. Фарафонтова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 51 с.
7. Инструменты для подачи, перемещения, загрузки, выгрузки, хранения, транспортировки, контроля пластин. Кассеты контейнеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://equip.eltech.com/sites/default/files/uploads/kassety\\_konteynery\\_0.pdf](http://equip.eltech.com/sites/default/files/uploads/kassety_konteynery_0.pdf) – 15.04.2018 г. – Загл. с экрана.

8. Инструменты для подачи, перемещения, загрузки, выгрузки, хранения, транспортировки, контроля пластин. Держатели пластин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://equip.eltech.com/sites/default/files/uploads/derzhatelyi\\_plastin\\_1.pdf](http://equip.eltech.com/sites/default/files/uploads/derzhatelyi_plastin_1.pdf) –

02.05.2019 г. -. Загл. с экрана.

9. Автоматическая система фотолитографии Suss ACS300 Gen2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tbs-semi.ru/equipment/nanesenie-\\_proyavlenie\\_i\\_sushka/suss\\_acs300\\_gen2/](http://www.tbs-semi.ru/equipment/nanesenie-_proyavlenie_i_sushka/suss_acs300_gen2/) –

02.03.2015 г. -. Загл. с экрана.

10. Industrial robots from KUKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots>

– 02.05.2019 г. – Загл. с экрана.

11. Невлюдов И. Ш. Визуальный мониторинг физико-химических процессов в производстве и эксплуатации электронной аппаратуры : монография / И. Ш. Невлюдов, А. А. Андрусевич, М. А. Омаров; Харьк. нац. ун-т радиоэлектрон. - Х. : Коллегиум, 2007. – 230 с.

12. Методичні вказівки до магістерської атестаційної роботи для студентів спеціальності 8.05090203 «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, ВА. Палагін, Є.А. Разумов-Фризюк, І.В. Жарікова. – Харків№ ХНУРЕ. – 2011. – 49 с.

13. 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.

14. Колобродов В.Г. Проектування цифрових когерентних оптичних спектроаналізаторів / В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик, В.І. Микитенко, М.С. Колобродов. – Київ:КПІ ім.Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2019. – 256 с.