

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Защепкіна Н.М.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

**на тему: «Вдосконалення методів та алгоритмів цифрової обробки  
зображень в оптико-електронних системах»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПН-71мп  
Набока Віталій Анатолійович \_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доцент,  
Маркіна О.М. \_\_\_\_\_

Консультант з стартап проекту:

Кандидат економічних наук, доцент,  
Бояринова К.О. \_\_\_\_\_

Рецензент:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

Приладобудівний факультет  
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем  
Рівень вищої освіти – перший (магістерський)  
Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

**"ЗАТВЕРДЖУЮ"**

В.о. завідувача кафедри

Защепкіна Н.М.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію**

**Набоці Віталію Анатолійовичу**

1. **Тема дисертації** «Вдосконалення методів та алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних системах»
2. **Термін звітування за перший рік навчання** "01" травня 2018 р.
3. **Об'єкт дослідження:** процес цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах.
4. **Предмет дослідження:** оптико-електронна вимірвальна система.
5. **Перелік питань, які мають бути досліджені**
  - 5.1 Теоретичні дослідження:
    - 5.1. Аналітично-експериментальний розділ.
      - 5.1.1. Виконати аналітичний огляд методів цифрової обробки зображень. Визначити їх недоліки, переваги. Розробити порівняльну таблицю методів цифрової обробки зображень. Проаналізувати матеріально-технічне забезпечення при використанні кожного з методів обробки зображення.
      - 5.1.2. Розробити структурну схему оптико-електронної вимірвальної системи.
      - 5.1.3. Виконати аналітичне дослідження з описом технічних характеристик складових вузлів оптико-електронної вимірвальної системи.
      - 5.1.4. Побудувати лабораторний макет оптико-електронної вимірвальної системи для вдосконалення й апробації методик вдосконалення. Виконати опис налаштування оптико-електронної вимірвальної системи.
      - 5.1.5. Визначити чинники, що дозволять підвищити точність цифрової обробки зображень в оптико-електронних системах.
      - 5.1.6. Розробити методики й алгоритми вдосконалення цифрової обробки зображень оптико-електронною системою, що спроектовано.
      - 5.1.7. Провести дослідження за розробленими методиками обробки

цифрових зображень.

#### **6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу**

- 5.1. Результати порівняльного аналізу методів цифрової обробки зображень. (1 слайд);
- 5.2. Структурна схема оптико-електронної вимірювальної системи (1 слайд);
- 5.3. Результати аналітичного дослідження з описом технічних характеристик складових вузлів оптико-електронної вимірювальної системи (3 слайд);
- 5.4. Результати дослідження чинників впливу на роздільну здатність зображень об'єкту (1 слайд);
- 5.5. Методики й алгоритми вдосконалення цифрової обробки зображень оптико-електронною системою, що спроектовано (1 слайд);
- 5.6. Результати дослідження за розробленими методиками обробки цифрових зображень (1 слайд).

#### **6. Орієнтовний перелік публікацій:**

- 6.1. Три тези доповіді на міжнародних конференціях в Україні або за кордоном.
- 6.2 Патент України на корисну модель
- 6.3 Співавторство у двох статтях в фахових виданнях України чи за кордоном.

#### **7. Педагогічна практика**

- 7.1 Ознайомитися з робочим навчальним планом 2017/18 н.р. зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.
- 7.2. Провести практичні заняття з дисципліни «Сучасні інформаційно-вимірювальні системи», «Обчислювальна техніка та основи програмування».

#### **8. Консультанти розділів дисертації**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ розробки стартап проекту	кандидат економічних наук, доцент Бояринова К.О.		

**8. Дата видачі завдання**

"12" вересня 2017 р.

**Студент**

\_\_\_\_\_

В.А. Набока

**Науковий керівник дисертації**

\_\_\_\_\_

О.М. Маркіна

## Календарний план

№ п/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
11	Вступ, аналіз методів вимірювання	10.11.2017	
22	Аналіз засобів вимірювання	10.12.2017	
33	Оформлення першого розділу	20.12.2017	
44	Обґрунтування та формалізація параметру оцінки вимірювань	25.12.2017	
55	Побудова лабораторного макету	14.01.2018	
66	Виконання теоретичних досліджень	15.04.2018	
77	Розробка методики виконання експериментів і виконання експериментальних досліджень	25.06.2018	
88	Виконання розділу стартап-проектів	10.09.2018	
99	Оформлення пояснювальної записки	14.10.2018	
110	Подача дисертації на попередній захист	20.11.2018	

Студент

\_\_\_\_\_

/В.А. Набока/

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

/ О.М. Маркіна/

## Анотація

В даній магістерській дисертації було досліджено вплив різного типу освітлення на точність геометричних розмірів зображення, отриманого за допомогою оптико-електронної системи, а також, перевірено вплив цифрових фільтрів на геометричні розміри.

Проаналізовано принцип роботи певних джерел світла та цифрових фільтрів. Розроблено оптико-електронну схему відповідно до поставленого завдання, проведено огляд ключових вузлів цієї системи.

В експериментальній частині було проведено відповідні дослідження з використанням різного типу освітлення (галогенне, світлодіодне, люмінесцентне та лампа розжарювання), та перевірено вплив цифрових фільтрів на результат в різних програмних пакетах. В роботі розглянуто такі питання: вплив освітлення на точність зображення, вплив цифрових фільтрів на точність геометричних розмірів об'єкту дослідження.

Дана магістерська дисертація містить 38 таблиць, 45 рисунків, 53 літературних джерел та складається з 113 сторінок.

### Аннотация

В данной магистерской диссертации было исследовано влияние разного типа освещения на точность геометрических размеров изображения, полученного с помощью оптико-электронной системы, а также проверено влияние цифровых фильтров на геометрические размеры.

Проанализированы принцип работы определенных источников света и цифровых фильтров. Разработано оптико-электронную схему в соответствии с поставленной задачей, проведен обзор ключевых узлов этой системы.

В экспериментальной части были проведены соответствующие исследования с использованием различного типа освещения (галогенная, светодиодная, люминесцентное и лампа накаливания), и проверено влияние цифровых фильтров на результат в различных программных пакетах. В работе рассмотрены следующие вопросы: влияние освещения на точность изображения, влияние цифровых фильтров на точность геометрических размеров объекта исследования.

Данная магистерская диссертация содержит 38 таблиц, 45 рисунков, 53 литературных источника и состоит из 113 страниц.

## Abstract

In this master's thesis, the influence of different types of illumination on the accuracy of the geometric dimensions of the image obtained using an optical-electronic system was investigated, and the influence of digital filters on the geometric dimensions was also verified.

Analyzed the principle of operation of certain light sources and digital filters. An optoelectronic circuit was developed in accordance with the task, a review of the key components of this system was conducted.

In the experimental part, relevant studies were carried out using various types of lighting (halogen, LED, fluorescent and incandescent lamps), and the effect of digital filters on the result was checked in various software packages. The paper addresses the following issues: the effect of lighting on image accuracy, the effect of digital filters on the accuracy of the geometric dimensions of the object of study.

This master thesis contains 38 tables, 45 figures, 53 literary sources and consists of 113 pages.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	10
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	14
1.1 ПЗЗ матриця та основні принципи підвищення якості зображення .....	14
1.2 Поліпшення візуальної якості зображення шляхом по елементного перетворення.....	16
1.3 Лінійне контрастування зображення.....	19
1.4 Соляризація зображення.....	21
1.5 Зональне контрастування зображення .....	22
1.6 Метод сегментації зображення .....	24
1.7 Розрахунок порогу під час порогової сегментації .....	25
1.8 Сегментація шляхом нарощування областей .....	25
1.9 Сегментація шляхом виділення кордонів .....	26
1.10 Поліпшення якості зображення з мікроскопа за допомогою .....	27
технології HDRI в інтерактивному режимі .....	27
1.11 Аналітичне дослідження з описом технічних характеристик складових вузлів оптико-електронної вимірювальної системи .....	31
РОЗДІЛ 2. НАЛАШТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ .....	36
2.1 Аналіз ключових вузлів та налаштування оптико-електронної системи .....	36
2.2 Вибір типу освітлення та їх аналіз .....	38
2.2.1 Світлодіодне освітлення.....	38
2.2.2 Світлодіоди типу SMD .....	39
2.2.3 Світлодіоди типу COB.....	40
2.2.4 Переваги світлодіодів .....	41
2.2.5 Люмінесцентне освітлення.....	41
2.2.6 Галогенні лампи .....	43
2.2.7 Висновки до вибору освітлювальної системи.....	48
2.3 Налаштування оптичного мікроскопу .....	49
2.4 Вибір програмного забезпечення .....	52
2.4.1 Накладення псевдокольору.....	53
2.4.2 Вікно тривимірного зображення даних за допомогою пакету OpenGL .....	54
2.4.3 Інструмент відстаней .....	55



2.4.4 Витяг профілю .....	56
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	57
3.1 Перевірка впливу освітлення різного типу безпосередньо на результат .....	57
3.1.1 Тип освітлення – галогенні лампи.....	57
3.1.2 Тип освітлювальних ламп – люмінесцентний.....	60
3.1.3 Тип освітлення – лампа розжарювання .....	64
3.1.4 Тип освітлення – світлодіодне .....	68
3.1.5 Висновки до підрозділу .....	72
3.2 Перевірка якості обробки зображення різним програмних забезпеченням.....	79
3.2.1 Налаштування ОЕВС .....	80
3.2.2 Проведення експерименту .....	81
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ».....	85
4.1 Опис ідеї проекту .....	85
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	87
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	88
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	94
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап проекту .....	96
4.6 Висновки до стартап проекту .....	99
ВИСНОВКИ.....	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	102
ДОДАТКИ.....	108
ДОДАТОК А.....	109
ДОДАТОК Б .....	110
ДОДАТОК В.....	111
ДОДАТОК Д.....	112

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ОЕВС – оптико-електронна вимірювальна система

ПК – портативний комп'ютер

ПЗЗ (CCD) – пристрій із зарядовим зв'язком ( charge-coupled device)

КМОП (CMOS) - комплементарний металооксидний напівпровідник  
(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)

LED - Light-emitting diode

СРТЗ - системи розпізнавання технічного зору

HDR - High Dynamic Range

USB - Universal Serial Bus

SMD - Surface Mount Device

COB - chip-on-board

DIP – dual in-line package

ККД – Коефіцієнт корисної дії

## ВСТУП

Актуальність теми. Оптико-електронні системи сьогодні знаходять досить широке застосування в різних областях науки та техніки. Вони постійно піддаються вдосконаленню елементної бази, шляхом вдосконалення та розвитком оптико-електронних технологій (нанотехнологій та мікротехнологій), створюються нові матричні приймачі випромінювання, які в свою чергу реалізують режим візуалізації зображення, який є аналогом до принципу роботи зорового апарату людини.

Обробку зображення здійснюють з різними цілями, такі як: зміна якості зображення, покращення зображення шляхом надання йому нових властивостей, аналізування цифрової інформації (для скорочення потоку інформації, наприклад). В цілому, використання цифрової обробки зображення покращує сприйняття зображення оператором та призводить до покращення якості зображення, що відображається на результаті вимірювання обробленого зображення. На сьогодні існує досить велика класифікація методів щодо цифрової обробки зображень, але ні одна з них не містить повноцінної інструкції до застосування їх в певних цілях [1].

Розробляються нові інтегровані конструкції, де матричний приймач випромінювання поєднано з різними системами по обробці цифрових зображень. В свою чергу, це дозволяє рухатися в напрямку розв'язання важливих практичних задач, а також, виокремити корисний оптичний сигнал та перешкоди на їх фоні. Але, у багатьох сучасних роботах не враховано ряд поставлених проблем, що стосуються зі збільшення кількості інформації, яку оптико-електронні системи повинні обробляти в реальному часі, з власними характеристиками та певними особливостями просторової вибірки високого розділення тощо [2]. Сучасні інформаційні системи передають, обробляють та зберігають зображення виключно у цифровій формі подання, хоча первинні зображення в цілому існують лише у вигляді безперервних двовимірних полів по розподілу кольору та яскравості. Саме тому операції щодо перетворення первинних зображень у цифрову форму сигналів є

ключовою операцією, коли необхідно використовувати саме операції над цифровим зображенням [3].

Двовимірний характер подання зображення значно краще відображається на фоні одновимірних сигналів. Такий спосіб надає ключові додаткові можливості, які певною мірою дозволяють оптимізувати цифровий потік. Це можливо за рахунок зменшення кількості цифрових даних, якими визначають зображення. Саме тому було розглянуто питання відносно найбільш доцільного рівня квантування та можливість застосування різних типів растрів зображення [4].

Актуальною задачею є вдосконалення методів та алгоритмів цифрової обробки зображення, а також, дослідження ключових факторів, які мають відповідний вплив на нього.

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є вдосконалення методів та алгоритмів цифрової обробки зображення, а також, дослідження ключових факторів, які мають відповідний вплив на нього.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- виконати аналітичний огляд методів цифрової обробки зображень. Визначити їх недоліки, переваги. Розробити порівняльну таблицю методів цифрової обробки зображень. Проаналізувати матеріально-технічне забезпечення при використанні кожного з методів обробки зображення;
- розробити структурну схему оптико-електронної вимірювальної системи;
- виконати аналітичне дослідження з описом технічних характеристик складових вузлів оптико-електронної вимірювальної системи;
- побудувати лабораторний макет оптико-електронної вимірювальної системи для вдосконалення й апробації методик вдосконалення. Виконати опис налаштування оптико-електронної вимірювальної системи;
- дослідити вихідний сигнал ПЗЗ матриці;

- визначити чинники, що дозволять підвищити точність цифрової обробки зображень в оптико-електронних системах;
- розробити методики й алгоритми вдосконалення цифрової обробки зображень оптико-електронною системою, що спроектовано;
- провести дослідження за розробленими методиками обробки цифрових зображень.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процес цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є оптико-електронна система. Основні напрямки дослідження:

- дослідження вихідного сигналу, що формується в результаті отримання зображення елементами ПЗЗ матриці (пікселами). На сьогодні існує досить мало матеріалу, в якому описується про формування сигналу ПЗЗ матриці, в тому числі і поведінці сигналу в разі зчитування інформації з частини пікселя;
- зменшення шумів, що формуються в результаті отримання зображення;
- дослідження та вдосконалення методів покращення зображення в оптико-електронних системах.

Наукова новизна магістерської дисертації полягає у створенні універсального комплексу програмних забезпечень цифрової фільтрації зображень та проведенні експериментальних досліджень на зображенні еталонного топологічного елемента – штриха ГОСТ 15114-78 для надання рекомендацій, яке забезпечення необхідно застосовувати для різних зображень об'єктів.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 ПЗЗ матриця та основні принципи підвищення якості зображення

Основними принципами підвищення якості зображення є калібрування СРТЗ (системи розпізнавання технічного зору) і вхідних до них оптико-електронних датчиків, зниження аберацій оптичної системи, корекція спотворень, викликаних багатоелементними приймачами випромінювання.

Калібрування систем технічного зору, як правило, засновано на аналізі зображення спеціального каліброваного об'єкта з відомими геометричними і колірними характеристиками. Такий підхід не завжди забезпечує високу точність калібрування внаслідок похибок самого об'єкта і не дозволяє коригувати спотворення в автоматичному режимі, що є обов'язковою умовою для багатьох областей застосування СРТЗ [5].

Розробка принципів підвищення якості зображення шляхом калібрування СРТЗ по зображенню робочої сцени без використання калібрувального об'єкта дозволить створювати адаптивні пристрої, що підвищують якість зображення і розширюють функціональні можливості автоматичних і автоматизованих систем. Зниження аберацій оптичної системи базується на двох різних принципах – введенні коригувальних лінз (найбільш поширене) і цифровій обробці всього кадру отриманого зображення (не має широкого поширення внаслідок значної обчислювальної складності).

Введення коригувальних лінз призводить до ускладнення самої конструкції оптичної системи, збільшення її маси і габаритів, до посилення аберацій, на які не спрямована корекція. Подібний принцип не може бути застосований для малогабаритних оптичних систем, використовуваних, наприклад, при ендоскопії, в мобільних роботів і відеопристроях прихованого спостереження.

ССD-матриця це інтегральна мікросхема, котра складається із світлочутливих фотодіодів. Така мікросхема побудована на основі кремнію з

використанням технології ПЗЗ приладів з зарядним зв'язком. Матриця повинна відповідати певним вимогам, а саме, повинн відповідати встановленим параметрам, які необхідні для роботи камери. Пристрій повинен забезпечувати хорошу світлочутливість, високий рівень заповнення пікселів та низьку кількість шумів. Світлочутливість матриці визначає можливість її роботи в умовах слабкого зовнішнього освітлення. З точки зору фізики це виглядає зовсім банально: чим менше світлової енергії досить для отримання зображення матрицею, тим вище її світлочутливість[6].

Складається ПЗЗ матриця з полікремнію, який відокремлено від кремнієвої підкладки, при подачі напруги до якої, через полікремніві затвори набувають змін електричні потенціали. Надалі комбінування напруг на електродах виробляє потенційну яму, де накопичуються електрони. Чим сильніший світловий потік під час експозиції, тим швидше накопичується необхідна кількість електронів в потенційній ямі. По завершенню експонування зміни напруги створюють в кожному пікселі розподіл потенціалів, це призводить до перетікання заряду в відповідному напрямку до елементів матриці.

Технологія побудови ПЗЗ елементу. Підкладка із кремнію р-типу оснащується каналами з напівпровідника n-типу. Після процедури подачі на такий електрод електричного потенціалу, у відповідній збідненій зоні під каналом n-типу виникає потенційна яма, призначення якої є зберігання. Зчитування фотострумів ПЗЗ елементів відбувається з застосування послідовних регістрів зсуву, що перетворюють рядок зарядів до серіюї імпульсів на виході. Здатний проникати в кремній фотон, призводить до генерації електрона, який в свою чергу притягується потенційною ямою. Над цими каналами виробляються електроди з полікристалічного кремнію. Велика кількість фотонів (яскраве світло) забезпечує високий заряд ями. Потім необхідно визначити значення цього заряду, званого фотострумом, та відповідно збільшити його значення. Така процедура являє собою аналоговий сигнал, який надходить на підсилювач [7].

## 1.2 Поліпшення візуальної якості зображення шляхом по елементного перетворення

Переважає кількість інформаційних систем використовує принцип уявлення оброблених сигналів у вигляді зображення, яке потім виводиться на екран монітору для візуалізації. Таку процедуру саме так і називають, візуалізація. За допомогою цифрової обробки зображенню надають певні якості задля покращеному сприйняттю його людиною.

Часто буває доцільним підкреслити, посилити певні риси, переваги, нюанси зображення з метою поліпшення його суб'єктивного сприйняття. Суб'єктивність сприйняття сильно ускладнює застосування формалізованого підходу в досягненні таких цілей. Тому при обробці цифрового зображень для візуалізації набули поширення методи та алгоритми, в яких часто відсутні критичні математичні критерії оптимальності. Їх замінюють якісні уявлення про доцільність та переваги тієї чи іншої обробки, що спрямовані на суб'єктивні оцінки результатів [8].

За точністю первинних сигналів та лінійністю заміни певних характеристик зображення не завжди оцінюють точність його відображення (також це стосується і якості зображення). Наприклад, зображення, що отримано із застосуванням неякісного освітлення, або ж це освітлення погано спрямоване буде характеризуватися зниженою контрастністю, блідним забарвленням та нечіткими лініями.

Зображення, що було отримано з використанням інфрачервоного перетворювача, за певних умов власного відтворення сигналів, має відносно невелику кількість градацій по яскравості, тим самим це не дозволяє виділити малоконтрастні деталі зображення. Часто необхідно певним чином підсилити деякі особливості робочої сцени зображення задля поліпшення суб'єктивного його сприйняття. Тому це пояснює такий факт, що застосування певних методів чи алгоритмів обробки зображень та їх параметрів часто базується на власному досвіді спостерігача.



До основних процедур, які застосовуються для цифрової обробки зображень виділяють 2 групи:

- кореляційна обробка зображень;
- по елементна обробка зображень.

Кореляційна обробка зображень базується на взаємодії елементів зображення або певних його фрагментів. Такі зв'язки називають кореляційними. Щоб отримати відповідний результат перетворення для кожної точки цифрового зображення використовують процедуру отримання інформації про характеристики певної множини точок зображення, які перебувають навколо робочої точки цього зображення.

Щодо другої групи, то результатом по елементної обробки будь-якої точки зображення залежить лише від числового значення відліку параметрів первинного зображення у точці обробки. Серед ключових переваг такої процедури слід віднести простоту реалізації, що в свою чергу призводить до покращення візуальної якості зображення. Таку обробку зображень використовуються як ключовий етап цифрової обробки зображення.

Значна кількість процедур та алгоритмів обробки зображення для отримання певного результату в будь-якій точці робочої сцени зображення перетворює вхідні дані з певної множини точок готового зображення. Існує така група операцій, які здійснюють по елементну обробку зображень. Результатом такої операції в будь-якій точці залежить лише від параметрів вхідного зображення в цій точці робочої сцени зображення. Слід зазначити, що така процедура призводить до покращення візуальної якості зображення. Одним з важливих етапів обробки зображення є використання по елементної обробки саме як фінальний етап такої процедури. Це доцільно проводити в роботі з комбінуванням цифрових фільтрів.

В цілому, основний принцип роботи по елементної обробки можна записати в наступному вигляді. Наприклад,  $x(i, j) = x_{i,j}$ ,  $y(i, j) = y_{i,j}$  - це значення яскравості обробленого зображення в певній заданій точці робочої

сцени. Це значення має декартові координати  $i$  (рядом) і  $j$  (стовпчик). По елементна обробка визначає залежність між яскравостями в кожній точці робочої сцени зображення.

$$y_{i,j} = f_{i,j}(x_{i,j}), \quad (1.1)$$

Таким чином, це дозволяє по відомому значенню вихідного сигналу знайти значення обробленого зображення. Таку обробку можна проводити в будь-якому напрямку, однак в білості випадків використовується саме однорідна по елементна обробка даних (рис. 1.1). Тоді, індекси  $j$  та  $i$  взагалі можуть бути відсутні. Така залежність між характеристиками яскравості обробленого та вхідного зображень має певне описання для допомогою функції:

$$y = f(x), \quad (1.2)$$

Встановлена залежність між параметрами яскравості обробленого та вхідного зображень визначається функцією (рис. 1.2). Ця залежність є однаковою для будь-якої точки зображення.

Процедури, які використовує метод по елементної обробки зображень, поділяють на:

- процедури пов'язані з бінаризацією зображень;
- процедури з заміною константу (чи яскравості) зображення.

Контраст – це такий параметр, який дорівнює відношенню максимальної яскравості зображення до мінімальної яскравості цього ж зображення.

Контрастність – це параметр, який визначає зміну яскравості відносно середньої встановленої яскравості та дорівнює відношенню контрасту до їх суми, і таке значення подають у відсотках [9].

### 1.3 Лінійне контрастування зображення

Основною задачею методу контрастування є покращення лінії узгодження динамічного діапазону цифрового зображення та екрану, де саме проводиться візуалізація. Наприклад, для цифрового відображення кожного з відліків зображення допускається 1 біт пам'яті пристрою, з яким працюємо, то вихідний або вхідний сигнали приймають лише одну значення 0 .. 255. Тому в якості робочого діапазону і використовують такий діапазон (0 .. 255); значення 0 відповідає за рівень чорного, а 255 відповідно білого кольору.

Приведемо приклад. Максимальна та мінімальна яскравості зображення запишемо як  $X_{max}$  та  $X_{min}$  відповідно. Коли один із параметрів (або обидва) відрізняються від значень мінімум чи максимуму, то в такому випадку картинка виглядає досить ненасиченою. В якості прикладу наведемо зображення, де відповідно встановимо параметри мінімум та максимум яскравості ( $X_{min} = 180, X_{max} = 24$ ) [10].



Рис. 1.1 Нечітке зображення з встановленими параметрами яскравості

Основний спосіб лінійного контрастування полягає в лінійному по елементному перетворенні типу:

$$y = a \cdot x + b, \quad (1.3)$$

Параметри цього рівняння  $a$  та  $b$  можуть бути визначені відповідними числовими значеннями максимальної та мінімальної яскравості ( $X_{max}$  та  $X_{min}$  відповідно). Можна відобразити у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} y_{min} = a \cdot x_{min} + b, \\ y_{max} = a \cdot x_{min} + b. \end{cases} \quad (1.4)$$

Відповідно параметрів перетворення  $a$  та  $b$  можна змінити рівняння до наступного вигляду:

$$y = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} (y_{max} - y_{min}) + y_{min}, \quad (1.5)$$

В результаті, можна переконатися в дії фільтру на вхідне зображення. Задамо наступні параметри  $X_{min} = 0, X_{max} = 255$ .



Рис. 1.2 Приклад лінійного контрастування ( $X_{min} = 0, X_{max} = 255$ )

За результатами порівняння зображень (рис. 1.1 та рис. 1.2) можна зробити висновок, що візуалізація обробленого зображення значно покращилася. Це пов'язано з тим, що після встановлення граничних значень яскравості, ми використовуємо весь динамічний діапазон екрану монітору, який відсутній у попереднього вхідного зображення.



Рис. 1.3 Порівняння двох зображень (справа з використанням повного діапазону)

#### 1.4 Соляризація зображення

Метод соляризація відрізняється від методу лінійного контрастування тим, що його задано нелінійним рівнянням. Назва даного методу походить від лат. слова *solarium* (*sol* – сонце). Результатом дії цього методу обробки є висвітлення необхідної частини зображення, яке має такі рівні яскравості, які залежать саме до середини динамічного діапазону екрану.

Цей метод обробки має наступний вигляд:

$$y = k \cdot x \cdot (x_{max} - x), \quad (1.6)$$

де  $x_{max}$  є максимальним числовим значення сигналу (вихідного), а коефіцієнт  $k$  дозволяє повністю керувати динамічним діапазоном перетворення вихідного зображення [11]. Така функція описання роботи методу являє собою квадратичну параболу (графі такої параболи при коефіцієнті  $k = 1$  наведено на рис. 1.4). Наприклад,  $y_{max} = x_{min}$ , тобто динамічні діапазони зображення повністю співпадають, тоді коефіцієнт  $k$  в такому випадку можна розрахувати за формулою:

$$k = \frac{4}{x_{max}}, \quad (1.7)$$

Як було вже описано в розділі 1.3, метод лінійного контрастування також є одним з рішень по нормалізації динамічного діапазону.

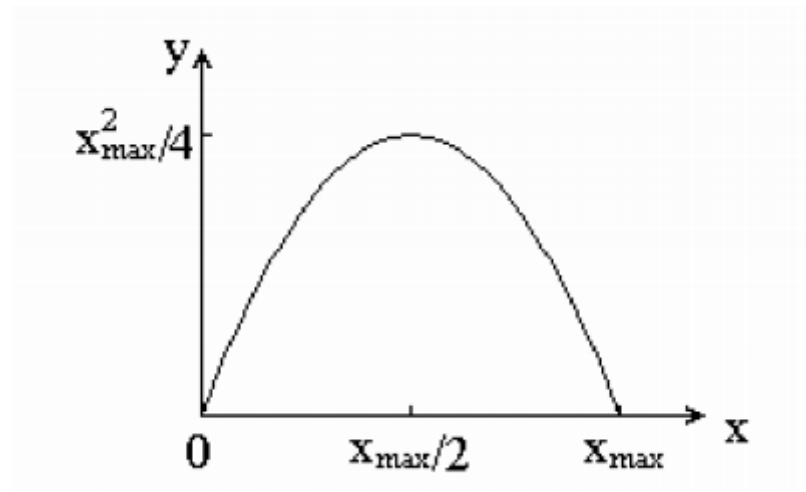


Рис. 1.4 Графік квадратичної параболи з коефіцієнтом ( $k = 1$ )

В результаті застосування методу соляризація ділянки зображення з рівнем близьким до білого (або повністю білим рівнем) набувають протилежного значення, тобто, чорного рівня. А якщо на вході середній рівень яскравості має рівень сірого, то такі ділянки набувають білого рівня яскравості [12].

### 1.5 Зональне контрастування зображення

Даний тип контрастування здійснює перетворення яскравостей лише певної частини динамічного діапазону. Таким чином використання цього методу обробки зображення в деяких випадках дозволяє визначити та виділити деякі властивості вихідного зображення.

Препарування є класом по елементного перетворення цифрового зображення. Більшість таких класів має власні назви. Ці класи

використовують встановлені амплітудні характеристики, до часто застосованих слід віднести наступні:

- зріз по яскравості;
- зональне лінійне контрастування;
- бінаризація;
- інверсійне контрастування [13-14].

Перетворення з певною пороговою характеристикою називають бінаризацією. За допомогою такого перетворення, зображення, яке містить всі рівні яскравості, набуває вигляду, що містить лише 2 рівні яскравості. Даний метод використовують тільки тоді, коли метою перетворення зображення є виділення певних контурів об'єктів зображення, наприклад, для визначення фізичного розміру відокремлених об'єктів.

Основною проблемою даного методу обробки є те, що необхідно визначити порогове значення  $x$  (має дорівнювати 0), і тоді в порівнянні з ним можна визначити яскравість вихідного зображення в кожній його точці. Найкращим підходом до визначення цього порогового значення є застосування в даному випадку математичного підходу теорії ймовірності, випадкових полів та процесів для опису зображення. За такої умови отримання найбільш доцільного порогу бінарного квантування є простим завданням. Не виключено роботу з зображення, яке є у на півтоновому вигляді, але вони практично не відрізняються від бінарних зображень, тому доцільно застосувати перед операцією зонального контрастування лінійне контрастування. До таких типів зображення слід віднести різного роду тексти, креслення, зображення відбитка пальця, штрихові малюнки тощо.

Ймовірність опису розподілу яскравості вихідного зображення містить в собі 2 виділених максимумів. Тому пороговим значення зонального бінарного квантування слід обирати середніх між цими значеннями максимумів. В результаті перетворення вихідного напівтонового зображення бінарним препаратом вирішує 2 завдання. Першим з яких є досягнення покращеної візуалізації зображення у порівнянні з первинним зображення.

Також, після проведення операції зображення буде займати менше пам'яті, так як бінарний код для запису всіх точок вихідного зображення потребує мінімум пам'яті, а саме 1 біт, тоді як для збереження на півтонового зображення використовується 8 біт.

Бувають випадки, коли зображення покращують шляхом застосування контрастування із використанням характеристики перетворення пілкоподібного вигляду. Тоді, різні діапазони яскравості зображення одночасно перетворюються лінійним контрастуванням, але необхідно мати на увазі той факт, що перетворення такого типу може супроводжуватися хибним виявленням контурів [15].

### 1.6 Метод сегментації зображення

Перейдемо до одного з найбільш поширених методів для вилічення фрагментів зображення, таким методом є сегментація. Метод сегментації носить риси статистичного та детермінованого підходів. В загальному, під сегментацією розуміють процес перетворення кольорових або на півтонових зображень в таке зображення, яке має зменшене число кольорів або тонів, ніж в першочерговому зображенні.

Якщо більше детальноше, то під сегментацією розуміють перетворення напівтонування в бінарне зображення (бінарне зображення включає в себе лише 2 рівня яскравості: максимальний (255) та мінімальний (0)). Тут об'єкт та фон мають розділення, тому можна визначили кількість об'єктів на робочій сцені зображення, їх місце розташування та характеристики (сюди відносять і координати розташування і поворот виділеної осі відносно координатних осей), а також, геометричні характеристики (периметр, мінімальній та максимальний розмір, площа тощо).

Отже, метою методу сегментації є виділення певних областей робочої сцени зображення, такі області належать до певного класу. Часто метод сегментації використовують для знаходження областей, які порівняно



близькі або повністю співпадають по кольору або тону. Також досить частим використанням сегментації є спосіб виділення таких областей, які є однорідними за кластерами. Сьогодні використовують 3 основні способи сегментації:

- сегментація шляхом нарощування;
- порогова сегментація зображення;
- сегментація шляхом виділення кордонів [16].

### 1.7 Розрахунок порогу під час порогової сегментації

Сутність порогової сегментації полягає в поєднанні досить близьких за відповідними характеристиками областей робочої сцени зображення до певного числа сегментів. Наприклад, коли яскравість перевищує встановлений поріг, то відповідну область зображення відносять до одного сегменту, коли нижче порогу – то до наступного сегменту.

Приведемо найкращий наочний випадок, коли необхідне розбиття на 2 сегменти (тобто бінаризація). В даному випадку порогова сегментація виконується на основі поєднання заданих порогів. Існує і спосіб вибору кордонів, тобто пороги вибираються як кордон мод на гістограмі зображення. На прикладі бінаризації пів тонування можна розглядати цей спосіб, як такий, що містить 2 моди. Такий випадок є типовим для вирішення проблеми по виділенню різних площ покритих льодом чи снігом на фоні лісу, наприклад, за результатами дистанційних експериментів [17-18].

### 1.8 Сегментація шляхом нарощування областей

Спосіб сегментації зображення шляхом нарощування області робочої сцени зображення полягає у виділенні однорідних областей. В якості прикладу розглянемо сегментації зображення шляхом нарощування областей робочої сцени зображення з застосуванням критерію однорідності по

величині вектору яскравості. В такому випадку схема алгоритму даного методу вбачає в собі вибір початкового пікселя та розгляд суміжних з ним пікселів для дослідження відстані між ними, тобто перевірки близькості їх один від одного, наприклад, по евклідовій відстані. Коли значення яскравості якого-небудь суміжного пікселя с початковим виявляється досить близьким, то вони зараховуються до однієї області. Саме таким чином відбувається формування всіх областей в результаті проведення такого методу обробки зображення [19].

Останнім етапом є перевірка областей на однорідність. Коли остання виділена область не є однорідною з суміжною, то ця область розбивається на 2 ділянки. Таким чином алгоритм повторюється до поки, коли остання область буде повністю однорідною з суміжною з нею. Також можлива реалізація іншого алгоритму, який застосовує метод формування областей шляхів зрощення окремих пікселів, а в глобальному випадку і всіх областей [20].

### 1.9 Сегментація шляхом виділення кордонів

Даний метод сегментації зображення полягає у виділенні кордонів шляхом використання оператора градієнта. Для того, щоб встановили факт виявлення межі, використовують процедуру поділу по порогу. Всі пікселі, що ідентифіковано як граничні, поєднуються в замкнуті криві, які оточують відповідні області зображення.

У цьому методі, як і попередньо розглянутих методах сегментації, важливим є критерій однорідності відповідної області, по характеристиці якого і можна обчислити значення оператора градієнту. Безпосередньо методи сегментації шляхом виділення границь об'єктів зображення застосовують до початкового зображення відомих градієнтних фільтрів (наприклад, фільтр Лапласа, Роберста чи Собела). Задачею побудови кордонів сегментів зображення градієнту має за собою основу самостійного

завдання, що є досить складним завданням та може бути вирішено тільки в найпростіших випадках. Прикладом такого випадку є виділення локалізованих максимумів градієнту всіх стовпців та рядків вихідного зображення. Щодо кордонів простої форми, то сюди слід віднести процедуру виконання апроксимації першочергового зображення градієнту будь-якою параметричною функцією [21].

#### 1.10 Поліпшення якості зображення з мікроскопа за допомогою технології HDRI в інтерактивному режимі

В основі ідеї цього методу покладено інтерактивність, тобто, автоматична та швидка реакція на зміни в сцені. Для розрахунку покращення вихідного зображення необхідно досить багато часу, адже, потрібно постійно виводити на монітор оновлене зображення.

Для реалізації поставлено мети відбувається постійне відстежування змін в спостережуваній робочій сцені зображення. При виявленні наявності змін на екран монітору буде виведено зображення без поліпшень. У випадку коли сцена є статичною протягом достатнього часу, ми маємо покращене зображення. В результаті таких дій зображення на екрані завжди підтримується в необхідному актуальному стані з мінімальним часом, затраченим на зміну сцени.

Щодо стратегії виводу зображення. Щоразу, коли програма перебуває в одному зі станів «synthesis», «motion» чи «display», у процесі ми постійно аналізуємо зображення з камери, та на підставі спостережень робимо висновок про зміну сцени робочої зони зображення і переходимо в той чи інший стан. Такі зміни зазвичай викликані не тільки рухом об'єкту (у випадку коли оператор рухає зразок дослідження), але і зміною положення фокусування, зміною освітлення сцени чи зміною ступеня збільшення мікроскопу [22].

Коли сцена незмінна протягом часу, перехід здійснюється за допомогою стрілок, спрямованих вниз. У випадку, коли у сцені зображення фіксуються зміни, перехід відбувається по пунктирним вказівникам, направлених догори. Поки відбувається фіксація зміни в сцені, наша програма перебуває в стані «motion» (рух, дія), та на екран монітора виводиться зображення, що отримане з камери (надалі LDR-зображення). Після того, як сцена перестає змінюватися, програма переходить до стану «synthesis». У цьому стані спочатку будується HDR зображення (на схемі це блок з назвою «HDR»), а потім зображення підготовлюється до виводу на монітор (блок «tone-mapping»). Відповідно для побудови HDR зображення застосовується декілька зображень з камери, виконаних з різною експозицією. У процесі синтезування HDR-зображення ми також спостерігаємо за сценою на наявність певних змін, протягом цього часу на моніторі з'являється останнім вхідне з камери LDR-зображення. Як тільки в сцені були визначені зміни, ми позбавляємося від інших зображень як від неактуальних для нас та програма знову переходить до стану «motion».

У випадку, коли в процесі синтезу HDR-зображення не було визначено змін в робочій сцені, виконуємо «tone-mapping» і отримуємо готове для виведення ТМ зображення (зазначимо, що в такому випадку «tone-mapping» виконується досить швидко). Після цього відбувається перехід до стану «display», де на екран монітору відображається ТМ зображення. У цьому процесі виведення ми в фоновому режимі аналізуємо сцену на наявність нових змін. Якщо певні зміни були зафіксовані, позбавляємося від отриманого ТМ-зображення як від неактуального та повторюємо процедуру переходу до стану «motion». Для того, щоб згладити ефект постійної зміни яскравості зображення, що виводиться при зміні стану до «display» і з нього в «motion», ми застосовували невелику затримку часу, в перебігу якої зображення змінюється з LDR в ТМ і навпаки за допомогою використання лінійного усереднення по часу. Цей досить простий прийом дозволяє зробити

будь-які перепади по яскравості між TM і LDR зображеннями приємними на око спостерігача [23-24].

Детектор руху. Такий алгоритм дії повинен вміти зафіксувати рух в двох різних ситуаціях. По-перше, для двох станів «display» та «motion», йому необхідно компонувати для порівняння зображення, зроблені з однією експозицією. По-друге, для стану «synthesis» в процесі побудови HDR зображення, йому потрібно порівнювати робочі сцени зображення, виконані з встановленням різних експозицій. Розглянемо ці 2 випадки більш детально.

- випадок порівняно різних експозицій (в цьому випадку для порівняння ми застосовуємо декілька додаткових кроків. Першочергово зображення приводяться до одного масштабу яскравості, для чого значення їх пікселів просто поділяться на числове значення експозиції. Тоді отримуємо готові зображення, які можна вважати експозиційними картами випромінювання сцени;
- другий випадок - випадок однакових експозицій (в цьому випадку ми виконуємо нескладне попиксельне порівняння всіх зображень з певною заданою точністю, що встановлено за замовчуванням до початку експерименту).

Експерименти. Запропонований метод обробки зображення був реалізований і протестований на дійсній системі. В цій системі застосовувалася камера Prosilica GC1380C, встановлена на мікроскоп MZ6. Даний метод було реалізовано на мові C++ в середовищі Microsoft Visual Studio 2007 з використанням бібліотеки для попередньої обробки зображень Intel IPP 6.0. В процесі тестування досліджувався час роботи певних ділянок програми. Вимірювання були усереднені на тривалому (в кілька хвилин) і зазначеному відрізку часу. Протягом всього часу програма повторювала серію переходів між станами, тому робочій сцені періодично забезпечувалися зміни. Наприклад, за рахунок руху об'єкта дослідження, що спостерігається.

Таблиця 1.1 - Показники швидкості роботи методу

Величина	Стан	Значення
Швидкість оновлення	motion	13,2 fps
Затримка на покращення	synthesis	2,6 с
Час реакції на зміну сцени	synthesis, display	450 мс, 75 мс
Швидкість оновлення для інтерактивної версії		0,38 fps

У таблиці 1.1 наведено відповідні показники швидкості роботи цього методу. В першій колонці таблиці зазначена виміряна величина, в другій – відповідний стан програми, для якого проводився вимір, щодо третьої колонки, то тут записано отримане значення. Для експерименту був використаний комп'ютер з процесором Intel Pentium 4 2.8GHz, розмір зображень становив  $1280 \times 1024$  пікселів (максимально можливий для цієї системи), глибина кольору 24 біта на піксель, зображення кольорові. Для формування HDR зображення застосовувалось попад п'ять знімків з експозиціями в 8, 16, 32, 64 і 128 мілісекунд. Експозиція знімків в режимах «motion» та «display» становила 32 мілісекунди.

У першому рядку зазначена швидкість оновлення зображення на екрані монітору (в кадрах в секунду, fps (frame per second)) для динамічної зміни робочої сцени, тобто, для стану «motion». Щодо другого випадку, то тут вказано час (в секундах), необхідний для отримання HDR зображення і формування ТМ-зображення (для стану «synthesis»). У останніх двох рядках наводиться час (в мілісекундах), необхідний програмі для виявлення певних змін в сцені, значення даних для станів «synthesis» і «display» відповідно. Та в останньому рядку вказується швидкість оновлення зображення на екрані монітору (в кадрах в секунду) для аналогічної неінтерактивної системи. Така система буде отримана, якщо зафіксувати програму в стані «synthesis» та не застосовувати детектор рухів. Отже, в такому випадку з максимально

можливою швидкістю обробки сигналів будуть будуватися HDR-зображення і виводитися на екрані монітору ТМ-зображення.

Плюси методу: метод реалізовано та протестовано на реальній робочій системі, за результатами тестування визначена його висока продуктивність та можливість успішного використання для поставлених цілей.

Мінуси методу: тривала затримка процесу формування готового зображення [23-25, 26].

1.11 Аналітичне дослідження з описом технічних характеристик складових вузлів оптико-електронної вимірювальної системи

Оптико-електронні системи (ОЕС) можуть значно спростити кількість інформації, яку необхідно обробити при збереженій якості зображення, а також, такі системи дозволяють повністю автоматизувати вимірювання, і тим самим, це призводить до збільшення точності.

Серед ключових переваг ОЕС слід віднести наступні:

- стійкість до різних завад (наприклад, електромагнітних);
- термічну стабільність;
- підвищену чутливість;
- переваги над традиційними приладами у вигляді різноманітності геометричних розмірів та форм;
- можливість дистанційного керування;
- використання ПВП (первинних вимірювальних перетворювачів).

Серед основних задач перед даною системою стоїть завдання по збереженню якості досить складного зображення (за формою, спектром тощо), яке перебуває на складному фоні. Однією з важливих задач при розробці ОЕС є вибір певних ознак, що певним чином відрізняються клас об'єктів (сигналів, зображень). Вибір мінімальної кількості таких ознак є таким важливим завданням, тому що саме вони забезпечують вказані показники якості системи. Тим самим, важливо не ускладнювати будову самої оптико-електронної системи, це може призвести до зниження

надійності та збільшення ціни на підтримку її. Сьогодні можна зустріти наступну систему класифікації ОЕС [27]:

5

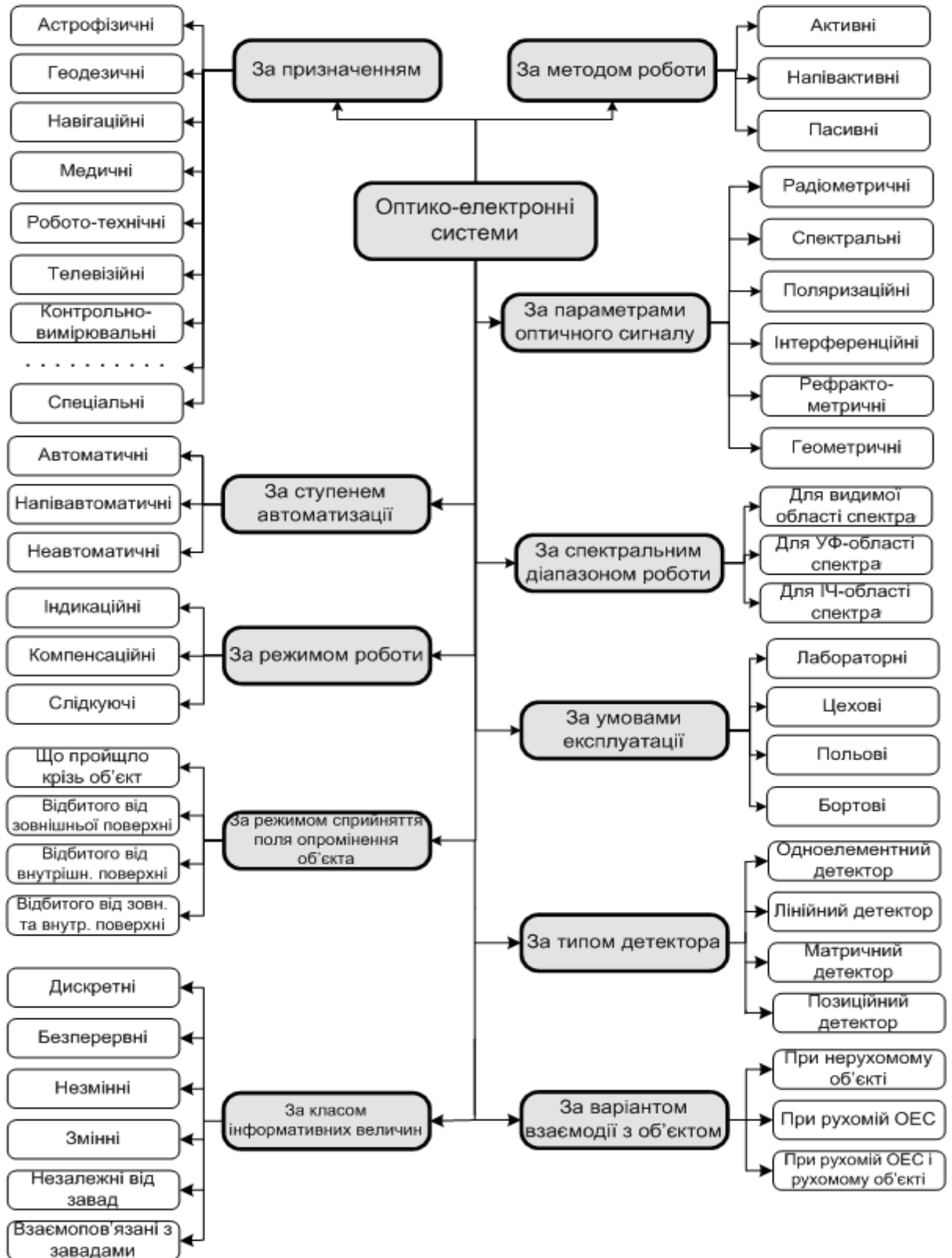


Рис. 1.5 Класифікація комп'ютеризованих оптико-електронних систем



Структура майже всіх ОЕС наведена на рисунку 1.6 [28].

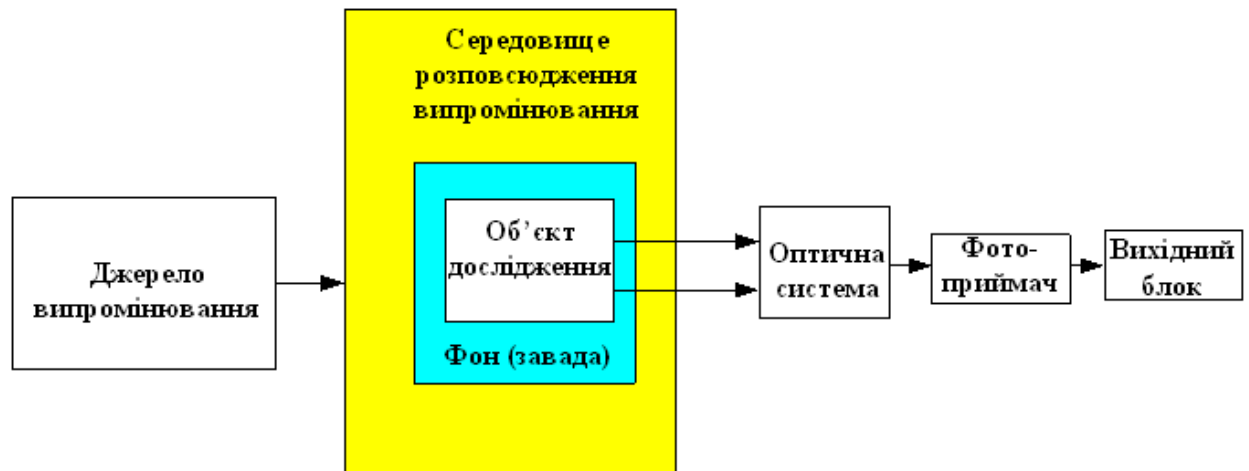


Рис. 1.6 Основна блок-схема переважної кількості оптико-електронних систем

Різниця між оптико-електронними системами може бути лише за встановленням додаткових комплектуючих (модулів). Сюди відносять додаткові освітлювальні системи, світлодіоди, об'єктиви, модулі обробки інформації тощо. Щодо основної структури оптико-електронної системи, то сюди відносять: оптичну систему, джерело освітлення та вихідний блок-модуль. Джерела випромінювання бувають різного типу походження та світіння, про них більш докладніше можна дізнатися з експериментального розділу.

Основна увага в цій структурній схемі приділяється вибору оптичної системи, тобто, мікроскопу. Вони бувають різних типів та мають власні технічні характеристики та ключові відмінності, які певним чином впливають на результат.

Серед основних типів всіх мікроскопів є: цифровий мікроскоп, оптичний мікроскоп, стереомікроскоп та електронний мікроскоп [29-31].

Оптичний мікроскоп за своєю будовою є складальним, де використовується відповідний набір лінз, що в свою чергу збільшують зображення. Зображення, яке формується зі збільшенням за допомогою оптичних лінз проектується через дзеркало на окуляр. В якості

освітлювальної системи використовують відповідний тип освітлення, а напрям та силу світлового потоку регулюють дзеркальцем, яке входить до освітлювальної системи мікроскопу. Таке дзеркальце фіксується під об'єктом дослідження, тобто, під предметним столиком мікроскопу. Це один із основних часто використовуваних мікроскопів, від є відносно простим у виготовленні та використанні, так як його структура є простою. Такі мікроскопи поділяють за кількістю окулярів (монокулярні чи бінокулярні), використання яких залежить від способу перегляду. На рисунку 1.7 представлено загальний вигляд оптичного мікроскопу з зазначенням основних складових його моделі [32].



Рис. 1.7 Загальний вигляд оптичного монокулярного мікроскопу

Щодо цифрової мікроскопів, то в них зображення формується завдяки системі з наявністю вбудованої відеокамери з використанням КМОП сенсору або ж на основі ПЗЗ-матриці. Такий тип мікроскопу не має окуляру, щоб

спостерігати безпосередньо оком, так як зображення автоматично виводиться на екран монітору. Ці мікроскопи поділяються на ТБ та USB мікроскопи (в залежності від способу виведення зображення) [33].

На сьогодні залишається незрозумілим питання, чому більшість закладів чи спеціалізованих лабораторій використовує саме оптичний мікроскоп, так як цифровий інколи має краще збільшення зображення та коштує приблизно так само. Зазвичай, вони мають USB тип підключення, а їх вигляд схожий на всім відому веб-камеру. Ще одним вагомим плюсом цифрового мікроскопу є те, що за допомогою нього можна отримувати не тільки фото, а й переглядати відео (інтерактивний режим) у висновків якості. Це також дозволяє швидко зберегти, обробити чи передати фото/відео досліджуваного об'єкта.

Основні напрями застосування мікроскопів:

- тестування та дослідження дрібних деталей чи предметів;
- перевірка стану друкованих плат чи елементів цієї плати;
- спеціалізоване дослідження тканин та інші напрямки в медицині (аналіз шкіряного покриву тощо);
- контроль якості продукції та ін..

Така технологія обробки чи зберігання цифрових зображень вирішує проблему швидкого порівняння чи документування зображень. Можна зберегти зображення досліджуваного об'єкту, а потім порівняти з необхідних зображенням. Отже, в результаті таких операції, можна легко контролювати якість об'єкту дослідження, а також, проводити інші додаткові тести [34].

Основний діапазон збільшення цифрового мікроскопу 40 .. 1600 крат.

Пояснимо будову оптичної системи біологічного мікроскопу. Основні елементи оптичної системи такого мікроскопу це: окуляр(и), розташовані на револьверній голівці об'єктиви та можлива наявність призмового блоку. Така оптична система і формує зображення об'єкта дослідження. Саме тому необхідно звертати особливу увагу на якість оптичної системи, адже, саме

вона має найбільший вплив на зображення, яке формує ця система. Слід зауважити, що ми отримуємо перевернуте зображення [35].

Основними характеристиками біологічного мікроскопу є:

- діаметр окуляру;
- збільшення окуляру;
- збільшення об'єктиву(-ів);
- числова апертура об'єктиву(-ів) [36].

## РОЗДІЛ 2. НАЛАШТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ

### 2.1 Аналіз ключових вузлів та налаштування оптико-електронної системи

Першим етапом перед налаштування оптико-електронної системи, необхідно в обов'язковому порядку проаналізувати які є готові рішення, ознайомитися з їх будовою та технічним рішенням. Вибір вузлів оптико-електронної системи відіграє важливу роль, що в кінцевому випадку может вплинути на результат. Важливо правильно підібрати кожен в вузлів цієї системи, тобто, таким чином, щоб результат був максимально точним. Під вибором вузлів ОЕС розуміємо аналіз всіх складових готової системи. Сюди слід віднести розгляд роботи того чи іншого вузла, принцип дії та вибір оптимального рішення.

Після вибору ключових вузлів оптико-електронної системи, необхідно в першу чергу налаштувати її. Схему ОЕС та її основні частини представлено на рисунку 2.1.

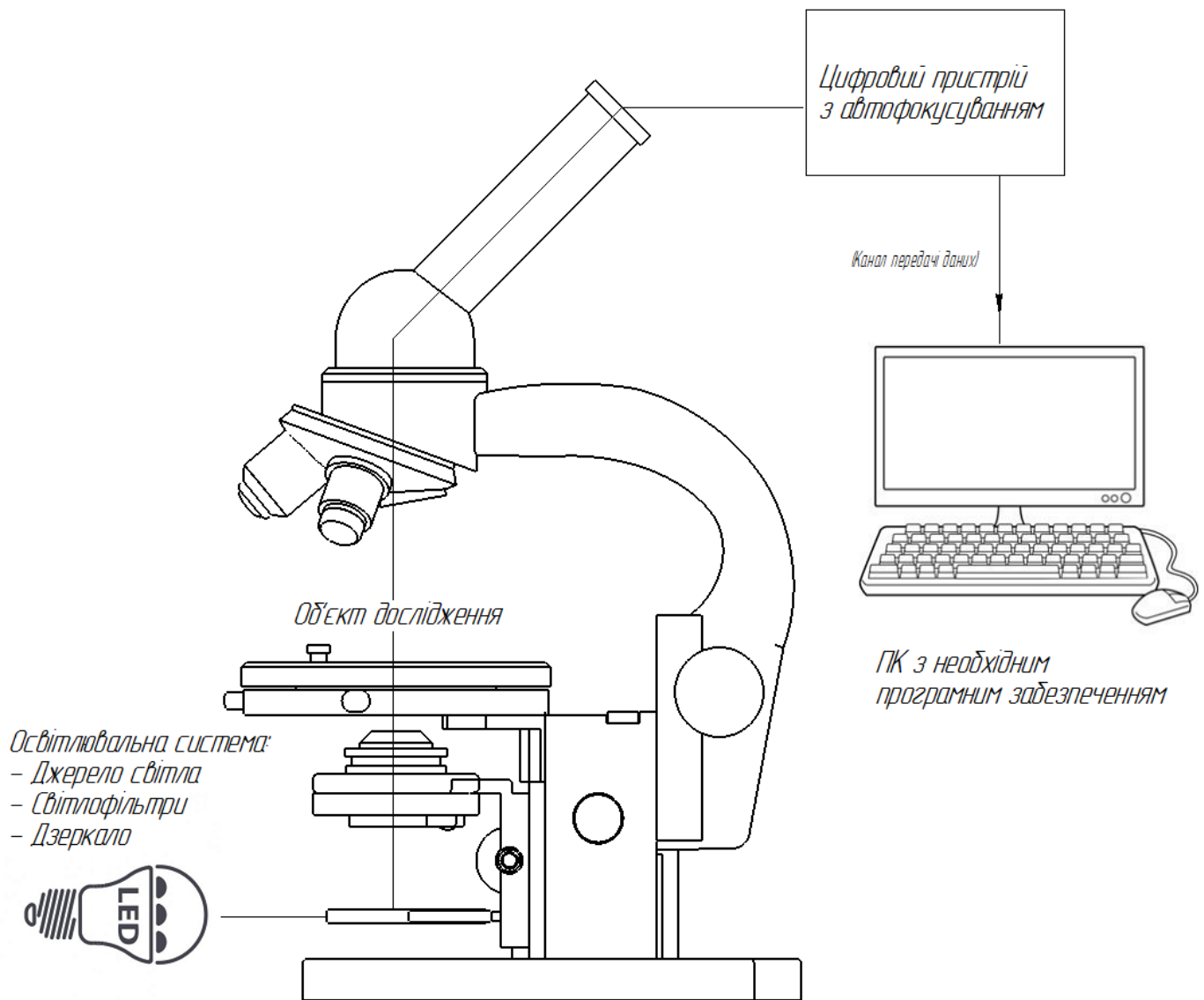


Рис. 2.1 Схеми оптико-електронної системи

Ми не маємо можливості використовувати дорогу оптичну чи цифрову систем, необхідну саме для дослідження зображень в області мікрометрії, тому, в якості підручної оптичної системи виберемо мікроскоп МБР-1, який застосовується для досліджень в медичних, біологічних та інших лабораторіях. Але ми поспробуємо застосувати його саме для наших цілей, та перевіримо, наскільки доцільним є застосування його в роботі з зображенням.

Першочергово розглянемо які є типи освітлення, а також розберемо їх принцип дії, плюси та мінуси.

## 2.2 Вибір типу освітлення та їх аналіз

### 2.2.1 Світлодіодне освітлення

Світлодіоди досить затребувані в різних напрямках, від відсвічування малих об'єктів до освітлення вулиць тощо. За будовою світлодіод містить напівпровідник, що перетворює електричний струм у світловий потік. Такий напівпровідник має кристал (основний компонент), який складається з різною кількістю шарів n та p типів, тобто, електронного та діркового типу провідності.

Такий тип провідності передбачає рух електрону із одного атому до іншого, де знаходиться вільне місце. Тим самим, на місце першого атому переходить наступний електрон и так далі. Представлений метод діє за наявності зв'язків між атомами, тобто, ковалентних зв'язків, а переміщення у них немає. В свою чергу переміщення мають позитивні заряді, які називаються дірками (умовно). І саме при такому переході дірки та електрону і відбувається формування світла (переміщується саме дірка). За структурою світлодіод нагадує випрямляючий діод (як і в першому випадку має 2 виходи: катод та анод). Тому варто дотримуватися необхідної полярності при відключенні до напруги самого світлодіоду. В загальному випадку, середня величина струму, необхідна для роботи світлодіоду, має значення 20 міліамперів. Але можна в будь-якому випадку зменшити це значення, хоча тоді, очевидно, зменшиться яскравість світлодіоду та відбудуться зміну у кольорі. Основні кольори світлодіоду: зелений, жовтий, червоний та синій. Приведемо приклад, коли в структурі світлодіоду міститься нітрид галію, в такому випадку ми маємо світіння синього кольору. Одним з критеріїв поділу світлодіодів є колір їх світіння [37].

Основні характеристики світлодіодів:

- колір світіння;
- енергоефективність;
- екологічність та безпека;
- надійність (довгий термін служби).

Щодо енергоефективності, то світлодіоди за рахунок однакової світловіддачі відрізняються за потужність від інших ламп, тим що вона може бути меншою. Відрізняють наступні класи світлодіодів: SMD, Spider LED, COB, DIP, Filament. Серед всіх представників найбільш поширеним є тип SMD [38].

### 2.2.2 Світлодіоди типу SMD

Даний тип світлодіоду є приладом, який встановлено на певну поверхню, також його можна монтувати методом наскрізного монтажу. Різниця такого типу світлодіоду від інших його типів полягає в тому, що його розміри значно менші, ніж у представників інших типів, а також, і будова конструкцій, на які їх встановлюють. Таким способом застосування має оптимальний тепловідвід, що дозволяє оптимально використати світлодіод в різного виду виконання.



Рис. 2.2 Зовнішній вигляд світлодіоду SMD типу

Цей тип світлодіоду відносять до категорії освітлювальних, в той час будова його є досить складною. Кристал фіксується на металевій підкладці, яка в свою чергу фіксується безпосередньо до корпусу (його контактів). Вище кристалу знаходиться лінза, яка виконує роль розсіювання світла. Складність такої конструкції полягає в невеликих розмірах та розміщенні

одночасно 2-3 світлодіоди на одній підкладці. Серед представників над яскравих світлодіодів SMD типу є SMD 3528 [39].

### 2.2.3 Світлодіоди типу COB

Ще одним досить популярним у застосування є COB тип світлодіоду. Різниця між попереднім типом полягає у тому, що встановлення кристалу відбувається відразу на монтажну плату. Серед ключових особливостей такого типу відключення слід надати увагу таким особливостям, як відносно малі габарити конструкції, захист від окислення та зниження вартості всієї інсталяції.

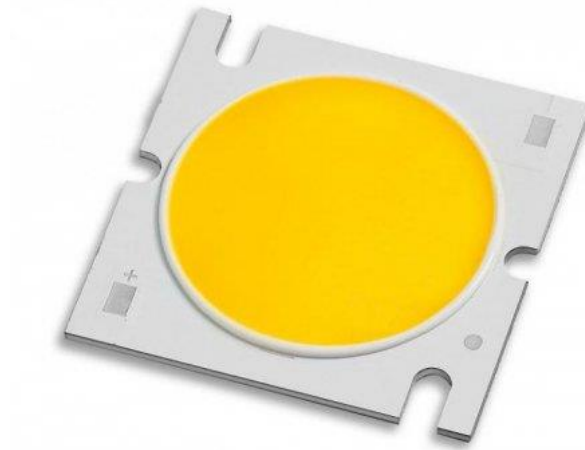


Рис. 2.2 Зовнішній вигляд світлодіоду COB типу

У деяких випадках застосування такого типу світлодіодів може мати певні труднощі у роботі з ним, сюди належить виробництво досить складного освітлювального обладнання. Пояснюється це тим, що такий тип світлодіодів не є оптимальним для застосування з встановленою кривою сили світла. В даній моделі кут розсіювання світла становить 40 .. 120 градусів. Одна підкладка зі світло діодами може містити в собі не більше 9 світлодіодів цього типу. В якості покривання використовують люмінофор, що і призводить до підвищеної яскравості, а також, світловий потік в



світлодіодах COB типу вищий, ніж у SMD. Якщо ж розглядати ці 2 типи світлодіодів за критерієм сили світлового потоку, то COB пристрій має перевагу над SMD [39].

#### 2.2.4 Переваги світлодіодів

Підсумовуючи опис типів світлодіодів слід зазначити основні переваги кожного з типів, адже, це дозволить краще підібрати відповідний тип пристрою для роботи в різних напрямках.

Серед ключових переваг представників SMD світлодіодів слід відзначити світловіддачу, високу яскравість (SMD світлодіодів одні з найяскравих), невеликі розміри моделі. Як було сказано у підрозділі 2.2.2, найпоширенішим є тип світлодіодів SMD 3528. Це рішення використовують для створення світлодіодних стрічок.

Серед ключових переваг представників COB світлодіодів можна віднести швидке розсіювання світла, яке відбувається завдяки розміщенню кристалу на поверхні, тип самим забезпечуючи хорошу якість відведення тепла. Ще однією важливою відмінністю є висока яскравість (навіть більше, ніж у представників SMD типу) [40].

#### 2.2.5 Люмінесцентне освітлення

Люмінесцентні лампи мають відносні подібності з будовою галогенних ламп та ламп розжарювання, вона складається з електродів та герметичної колби. Ця колба містить в собі інертний газ та до 30 мг ртуті.

Внутрішній шар покрито люмінофором, що змінює випромінювання ультрафіолету у видиме для людини світло. 2 електроди встановлено на торцях колби. Електрод складається з вольфрамової нитки, а до неї припаяно ніжки, які проводять струм. Під час проходження електричного струму відбувається нагрівання електроду і таким чином створюється

ультрафіолетове випромінювання. Проходячи через стінки з люмінофором, таке ультрафіолетове світіння перетворюється у світловий потік, який є видимим людині.



Рис. 2.3 Зовнішній вигляд люмінесцентної лампи

Перелік основних характеристик для люмінесцентних ламп:

- номінальна напруга: 127 або 220 В;
- світлова віддача 104 Лм;
- потужність 15 .. 80 Вт;
- ресурс роботи до 40000 годин;
- ККД 20-40% (в залежності від потужності лампи).

Серед основних типів таких ламп слід виділити лінійні і компактні. Перший тип люмінесцентних ламп застосовують для освітлення різного роду будівель, майданчиків чи виробничих приміщень, так як вони відзначаються підвищеною світловіддачею та високою потужністю. Не менш важливим у освітленні такого масштабу об'єктів відіграє і економія споживання електроенергії, а такий тип ламп здатний економити приблизно 30% електроенергії.

Щодо другого типу люмінесцентних ламп, то їх застосовують виключно для загального призначення, тобто, для підсвічування менших об'єктів, а їх конструкція має форму вигнутою колби [41].

Ознайомившись з будовою за призначенням ламп розглянемо їх переваги та недоліки.

Серед основних переваг виділяють:

- хороша світловіддача та якість освітлення;
- тривалий термін роботи;
- висока енергозбережність;
- великий асортимент ламп для спеціально призначення.

Не можливо оминати і недоліки. До недоліків люмінесцентних ламп слід віднести наступні:

- шкідливий вплив при тривалій роботі;
- нестійкі до перепаду напруг;
- відсутність можливості регулювання інтенсивності світіння;
- зниження ККД при низькій температурах;
- підвищена вартість.

В мікроскопії використання люмінесцентних ламп не є виключенням, хоча основний напрям застосування цих ламп пов'язаний з освітлення великих приміщень, стадіонів тощо.

#### 2.2.6 Галогенні лампи

Галогенні лампи досить часто порівнюють з лампами розжарювання, це і не дивно, тому що вони досить схожі з ними по принципу дії та структурі. Основною відмінністю є газ-наповнювач (це можуть бути різні гази, наприклад, фтор, бром, йод чи хлор, а також їх комбінація). Саме завдяки цим газам і є можливим позбавлення потемніння колби, але викликане дією випаровування вольфраму (атомів вольфраму), зменшення потоку світла.

Такі лампи випромінюють тепло, так як під час проходження по вольфрамовій спіралі електричного струму, вона розжарюється та виробляє

світлові і теплову енергію. Під час розжарювання відбувається випаровування вольфрамових атомів, і таким чином з'являється осад чорного кольору усередині колби. Зі збільшення тиску такий процес сповільнюється. Збільшення температури нагріву спіралі підвищує випромінювання світла, але це призводить до швидкого випаровування вольфраму.



Рис. 2.4 Зовнішній вигляд галогенної лампи

На рисунку 2.4 приведено зовнішній вигляд галогенної лампи, її колба складається з тугоплавкого кварцового скла. Це скло є стійким до дії хімічних сполук та високих температур. Малі габарити цього скла забезпечують хорошу міцність для того, щоб створити більший тиск у колбі, тим самим підвищити світловий потік. Саме тому галогенні лампи відносно аналогів є зменшеними, для збільшення тиску в колбі (завдяки таким діям є можливим використання таких інертних газів, як ксенон чи криптон).

Такі дії призводять до збільшення температури розжарювання спіралі, а світлова віддача збільшується в 2 рази (світлова віддача може досягати 15-30 Лм/Вт). Термін роботи галогенних ламп в декілька разів більше, ніж у аналогів лампи розжарювання. Відносно тонової характеристики, галогенні лампи відносять до джерел з теплою тональністю, хоча їх спектр випромінювання знаходиться поряд з білим світлом. Тому відбувається хороша передача кольорів предметів інтер'єру чи об'єктів дослідження.


Сьогодні вже існують галогенні лампи з відображенням інфрачервоного випромінювання, вони мають підвищену світлову віддачу. Це можна пояснити таким фізичним процесом. Деяка частина енергії перетворюється до невидимого освітлення (інфрачервоне випромінювання понад 60% всієї енергії), а завдяки покриттю лампи перетворюється в попередній стан видимого світла. Завдяки спеціальній структурі покриття колби, це стає можливим, адже пропускається лише видиме світло, а інфрачервоне знову поглинається на спіралі (часткове поглинання).

Серед одних переваг галогенних ламп виділяються підвищену світловіддачу, але недоліком є зсув спектру до синьої області. Порівнявши лампу розжарювання та галогенну лампу ми маємо підвищену світловіддачу у другого варіанту, порівняно кращу стабільність роботи та, звичайно, довгий термін роботи. В порівнянні із звичайними лампами розжарювання галогенові мають світлову віддачу 13-25 лм/Вт, високий ресурс служби і кращу стабільність світлового потоку [42].


Проаналізувавши інформацію стосовно типів освітлення, можна зробити висновки, що результат експерименту може відрізнятись, використовуючи різні лампи. Це буде доведено в експериментальній частині. В цілому, приведемо порівняльну таблицю переваг та недоліків кожного типу освітлення, це дозволить орієнтуватися при виборі типу ламп для конкретного завдання. Звісно, в якості покращення результату, рекомендується використовувати коригувальні світлофільтри.

Приведемо підсумки по виборі освітлювальної системи, наведемо переваги та недоліки розглянутих типів освітлювальних систем та введемо загальні висновки по підрозділу (порівняльна характеристика освітлень різних типів наведено у таблиці 2.1)

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця різних типів освітлювальних ламп

<p style="text-align: center;">Галогенна лампа</p>	<div style="text-align: center;">  <p>Рис. 2.5 – Зовнішній вигляд галогенної лампи</p> </div>	<p>Переваги галогенної лампи виглядають таким чином:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- збільшення світлового потоку;</li> <li>- світловий потік можна регулювати;</li> <li>- поліпшення механічної міцності та термостійкості завдяки виконанню лампочки кварцу;</li> <li>- відносно висока тривалість роботи (більш ніж у два рази більше лампи розжарювання).</li> </ul> <p>Недоліків галогенних ламп є декілька:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- не можна доторкатися до галогенної лампи під час роботи, це значно скорочує час роботи лампи;</li> <li>- нагрівання колби до високої температури.</li> </ul>
--	--	--

## Продовження таблиці 2.1

<p>Світлодіодна лампа</p>	 <p>Рис. 2.6 – Зовнішній вигляд світлодіодної лампи</p>	<p>Переваги світлодіодних ламп:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Висока вихідна потужність світла (макс. 150 Лм/Вт);</li> <li>- Тривалий термін служби (30000-100000 годин);</li> <li>- Стійкість до удару та вібрації;</li> <li>- Якісна передача кольору (спектр від теплого білого до холодного білого); Людським оком не помітно блимання чи мерехтіння.</li> </ul> <p>Щодо недоліків:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Світловий потік, який зазначено на упаковці, не завжди відповідає фактичному виходу. З часом знижується, наприклад, 15-37% зазначено на упаковці, 20% фактичного виходу з часом;</li> <li>- Герметичний корпус та підвищена вологість є критичними чинниками для роботи світлодіодної лампи.</li> </ul>
-------------------------------	---	---

## Продовження таблиці 2.1

<p>Люмінесцентна лампа</p>	 <p>Рис. 2.7 – Зовнішній вигляд люмінесцентної лампи</p>	<p>Основними перевагами люмінесцентних ламп у порівнянні з лампами розжарювання є наступні:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Зниження енергоспоживання в кілька разів;</li> <li>- Продовжений пермін роботи.</li> </ul> <p>Недоліки використання люмінесцентних ламп:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вартість значно вище, ніж сама лампа розжарювання;</li> <li>- Вразливість до коливання потужності;</li> <li>- Низька якість передачі кольорів</li> </ul>
--------------------------------	---	---

### 2.2.7 Висновки до вибору освітлювальної системи

Характерною особливістю енергозберігаючої лампи є різна колірна температура, яка визначає колір лампи: 2700 К - теплий білий (найближчий до світла звичайної лампи розжарювання), 4200 К - денне світло, 6400 К - холодне біле світло. За допомогою цієї особливості можна вибрати енергозберігаючу лампу певної колірної температури відповідно до поставленої задачі. Як експеримент ми застосовуємо чотири типи освітлення та перевіряємо вплив кожного освітлення на результат. Енергозберігаюча лампа запалюється миттєво без миготіння, дає рівне світло, тому її можна використовувати без захисного корпусу.



### 2.3 Налаштування оптичного мікроскопу

Розглянемо оптичний мікроскоп, який будемо використовувати. Ознайомимося з принципами налаштування мікроскопу МБР-1.

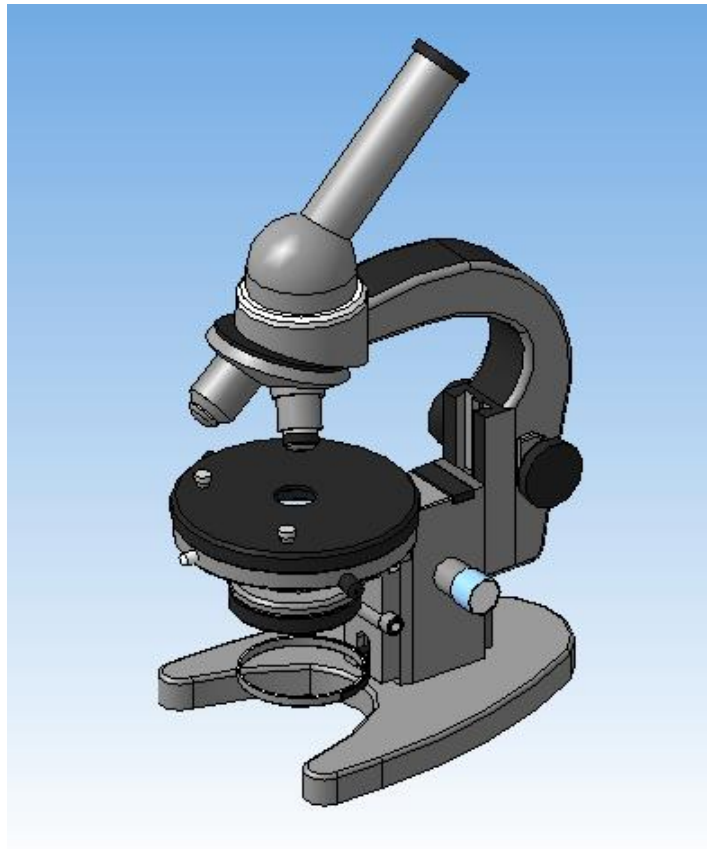


Рис. 2.8 Зовнішній вигляд мікроскопу МБР-1

Оптична схема цього мікроскопу складається з двох основних частин: освітлювальна та спостережна. До освітлювальної системи відносять конденсор з ірисовою апертурною діафрагмою, дзеркало та додаткові зйомці світлофільтри. Щодо спостережної системи, вона складається з таких частин: окуляр, призма та безпосередньо сам об'єктив. Детально проводити опис конструкції не має в собі підґрунтя, тому перейдемо до методу роботи та налаштування мікроскопу.

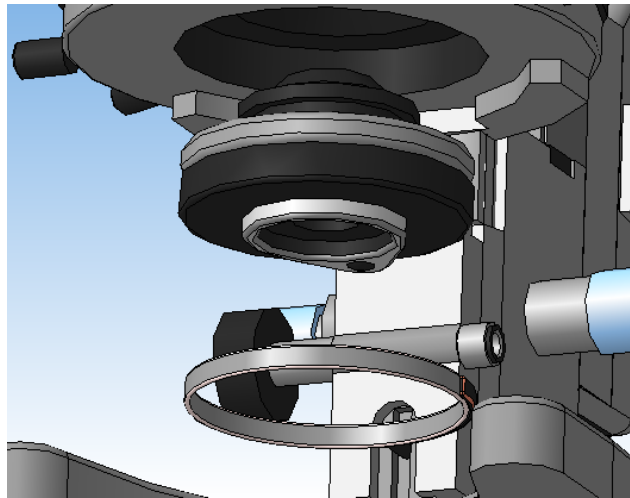


Рис. 2.9 Освітлювальна система мікроскопу

Якість зображення, яке отримуємо в мікроскопі, в більшості випадків залежить саме від освітлення, тому, щоб отримати більш якісне зображення необхідно провести налаштування освітлення. Це є досить важливою підготовчою операцією. В якості джерела світла ми будемо використовувати різні типи освітлення (галогенне, люмінесцентне, світлодіодне та лампи розжарювання), але методика налаштування мікроскопу для роботи зі штучним освітлення однакова для всіх типів освітлення.

Перший крок полягає в тому, щоб підняти конденсор шляхом обертання рукоятки і закрити ірисову діафрагму. Дзеркало мікроскопу потрібно повернути до плоскої поверхні освітлення та встановити його під кутом  $45^\circ$  до осі конденсатора. Направимо світло в центр дзеркала і повернемо рукоятку, щоб закрити конденсор діафрагми, який є апертурною діафрагмою мікроскопу. Шляхом зміщення патрону лампи необхідно визначити найкращу різкість зображення ниток (знаходяться на поверхні пелюстою закритої діафрагми конденсора). Якщо подивитися збоку освітлювача, то таке зображення буде добре видно.

До револьверу вставляють об'єктиви, розташування їх по кратності збільшення у порядку зростання. Наступне налаштування необхідно виконати таким способом.

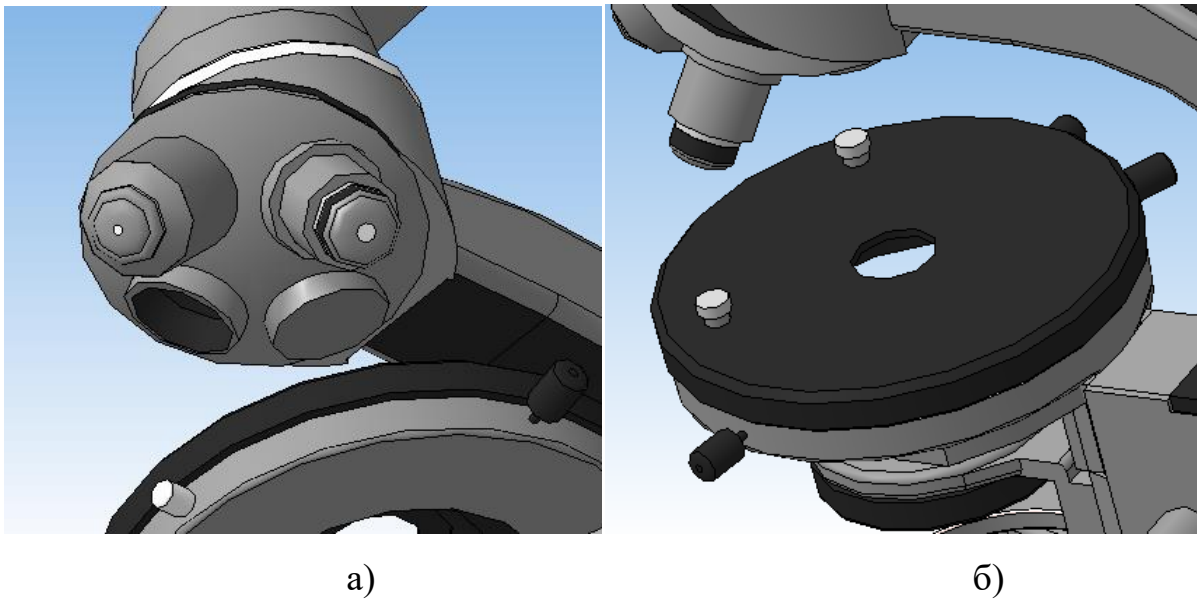


Рис. 2.10 Зовнішній вигляд мікроскопу: а) револьвер; б) предметний столик

На предметний столик фіксують об'єкт дослідження за допомогою клем. Спочатку іде підключення об'єктиву  $8\times 0,2$  або  $9\times 0,2$ . До тубусу мікроскопу встановлюється окуляр  $\times 7$ . Наступним кроком необхідно відкрити апертурну та польову діафрагми. Відбувається фокусування об'єкту дослідження шляхом повороту рукоятки мікроскопу. Закриваємо апертурну та польову діафрагми та спостерігаючи в окуляр мікроскопу опускаємо конденсор до тих пір, доки не з'явиться зображення діафрагми освітлювача. Потім необхідно нахилами дзеркала встановити в центр поля зору зображення польової діафрагми освітлювача та відкрити її [43].

Після того як обрали ділянку об'єкту дослідження, намічену для більш докладного вивчення, необхідно встановити її в центр поля зору за допомогою центрувальних гвинтів предметного столика. Якщо це буде виконано недостатньо акуратно, ділянка може не потрапити в поле зору більш сильного об'єктива.

Далі слід повернути револьвер і включити в хід променів об'єктив  $40\times 0,65$ . Потім потрібно виправити фокусування мікроскопа на різкість зображення. Так як всі об'єктиви узгоджені між собою, то для виправлення фокусування необхідно небагато повернути рукоятку мікрометричного

фокусування. Піднявши конденсор до упору, треба закрити польову діафрагму освітлювача і, спостерігаючи в окуляр, привести зображення польової діафрагми в центр поля зору мікроскопа шляхом невеликих нахилів дзеркала освітлювальної системи. Польову діафрагму потрібно відкрити настільки, щоб діаметр її зображення дорівнював діаметру поля зору мікроскопа, потім встановити найбільш вигідний розмір розкриття апертурними діафрагми.

Зображення апертурними діафрагми в об'єктиві мікроскопа (поблизу останньої лінзи об'єктива) можна спостерігати, якщо вийняти окуляр з тубуса мікроскопа і дивитися в тубус на останню лінзу об'єктива. Спочатку апертурну діафрагму слід закрити до межі, потім, спостерігаючи в вихідне вічко об'єктива, поступово відкривати апертурну діафрагму до тих пір, поки її зображення не покриє всі отвори вихідної зіниці. Зазвичай рекомендується встановлювати такий розмір апертурними діафрагми, при якому діаметр її зображення дорівнює  $2/3$  діаметра вихідної зіниці об'єктива мікроскопа. При занадто відкритими апертурними діафрагми контрастність зображення зазвичай знижується. Не можна регулювати яскравість зображення звуженням апертурними діафрагмами або опусканням конденсора, так як при цьому знижується роздільна здатність мікроскопа. Для зменшення яскравості зображення в відкидну рамку під конденсором встановлюється світлофільтр денного світла [44, 45].

#### 2.4 Вибір програмного забезпечення

Перейдемо до програмного забезпечення. Для того, щоб правильно організувати процедуру обробки(фільтрації) зображення, необхідно правильно підібрати програмне забезпечення для операційної системи. Серед відомих програмних пакетів є такі: MatScope, Axio Vision, ZEN, Gwyddion та ін.. Ми обрали для нашого завдання програму Gwyddion, так як вона досить проста та зручна у використанні, а також, можна відразу обробити зображення та безпосередньо вивести зображення з цифрової камери.

Gwyddion це модульна програма аналізу даних СЗМ. В першу чергу вона призначена для аналізу полів висот, отриманих різними техніками скануючої зондової мікроскопії (АСМ, МСМ, СТМ, СБОМ), але в загальному випадку її можна використовувати для аналізу будь-яких полів висот або (монохромних) зображень, наприклад для аналізу даних профілометрії або карт товщини, побудованих спектрофотометрією. Gwyddion є вільним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, випущеним під ліцензією GNU General Public License (GNU GPL). Основною ідеєю при розробці Gwyddion було створити модульну програму для аналізу двовимірних даних, яку можна легко розширювати окремими модулями без перепрограмування ядра.

Серед основних необхідних функцій, які нам необхідні для роботи, є: накладення псевдокольору, вікно тривимірного відображення даних за допомогою OpenGL та інструмент відстаней [46].

#### 2.4.1 Накладення псевдокольору

Накладення фальшивих кольорів - основний метод візуалізації двовимірних даних. Використовуваний колірний градієнт (також званий палітрою) може бути обраний за допомогою клацання правою кнопкою миші на ту частину вікна даних, де відображається карта фальшивих кольорів. Меню швидкого вибору пропонує список бажаних градієнтів фальшивих кольорів. Крім того, воно дозволяє викликати повний список градієнтів за допомогою пункту меню «Додатково», яким надається перевага. Додатковий контроль над тим, як значення відображаються на шкалу кольору можливий за допомогою інструменту «Колірний діапазон».

## 2.4.2 Вікно тривимірного зображення даних за допомогою пакету OpenGL

Тривимірне відображення OpenGL для поточного вікна даних можна викликати кнопкою із зображенням куба в ряду кнопок «Вид головного вікна». Ця можливість є опціональною, тобто вона може бути відключена в процесі побудови. також можливий варіант, коли Gwyddion може відображати тривимірні дані, а ваша система це не підтримує.

Вікно тривимірного виду може існувати в двох варіантах: з основними і з розширеними елементами управління. Воно буде працювати тільки з основними елементами управління, цей варіант показаний на наступному малюнку. Можна переключити вікно до розширеного виду (і назад) за допомогою кнопки розширення в верхньому правому куті. Натискання на вигляд за допомогою правої кнопки миші викликає вікно швидкого вибору градієнта фальшивих кольорів / матеріалу OpenGL. Основне вікно тривимірного перегляду містить праворуч елементи інтерактивного управління. За замовчуванням перетягування виду мишею обертає його по горизонталі і вертикалі.

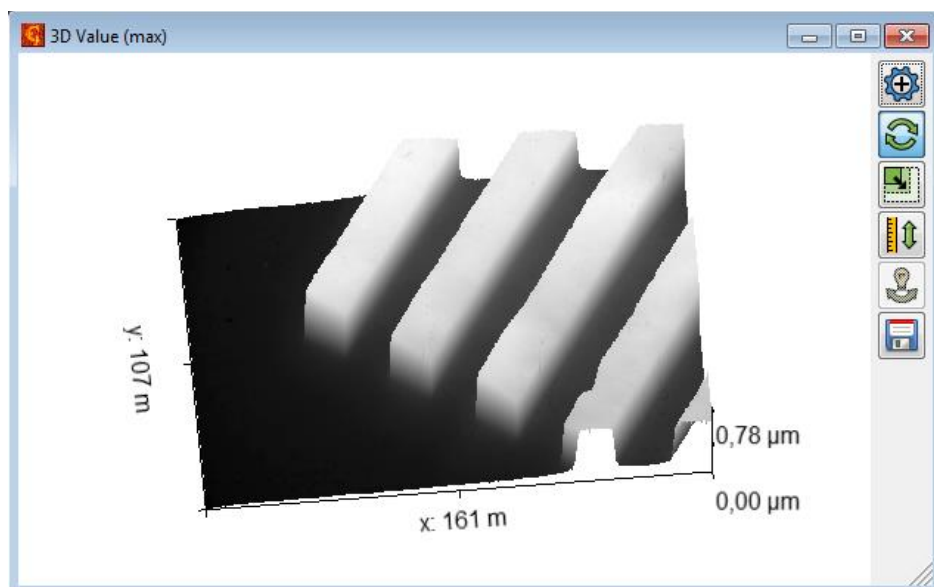


Рис. 2.11 Вікно тривимірного перегляду даних за допомогою OpenGL з основними елементами управління.

Серед представлених елементів управління є досить важливий пункт «Поворот джерела світла (L)». Цей елемент управління буде доступний якщо в режимі візуалізації є джерело світла, тобто в режимі освітлення і накладення іншого каналу (накладення). Перетягування виду мишею змінює положення джерела світла подібно повороту в нормальному режимі повороту. вертикальне переміщення змінює кут  $\theta$  між напрямком світла і горизонтальною площиною. Положення джерела світла показується використовуючи «колесо» навколо поверхні [46].

Це досить зручно, якщо необхідно дослідити зображення в інтерактивному режимі. Зручність полягає в тому, що не потрібно повертати об'єкт дослідження чи змінювати напрям джерела освітлення (тим більш, що інколи це неможливо).

### 2.4.3 Інструмент відстаней

Відстані і різниці значень можна вимірювати за допомогою інструменту відстань. Він показує горизонтальне ( $\Delta x$ ), вертикальне ( $\Delta y$ ) відстані і загальна відстань по площині ( $R$ ); азимут  $\varphi$  (вимірюється так само, як нахил  $\varphi$ ) і різницю значень кінцевих точок  $\Delta z$  для набору ліній обраних для поточних даних. Відстані можна скопіювати в буфер обміну або зберегти в текстовий файл за допомогою кнопок під списком.

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1530	-0,1529	45,0	0,2163	249,9
2	0,1530	-0,1529	45,0	0,2163	92,0
3	0,1551	-0,1529	44,6	0,2178	-157,7
4	-0,0021	0,0021	-135,0	0,0030	-0,1

Рис. 2.12 Інструмент вимірювання відстаней з обраними лініями

#### 2.4.4 Витяг профілю

Завдяки інструменту по вилученню профілю можна отримати профілі по поверхнях ліній, намальованих на зображенні за допомогою миші (відображення відбувається в інтерактивному режимі). В цілому, профілі бувають різної «товщини», це означає що в напрямку поперек ліній профілю більше сусідніх точок буде використовуватися для розрахунку профілю. Це є досить корисним в тих випадках, коли необхідно зменшити кількість шуму під час вимірювання об'єктів. Результатом відображення цієї процедури є графік. Графіків может бути декілька, їх можна як накладати один на одний, так і відобразити в різних вікнах перегляду.

Наприклад, якщо на зображенні міри штрихової вибрати відстані та вилучити профілі, можна отримати наступні графіки.

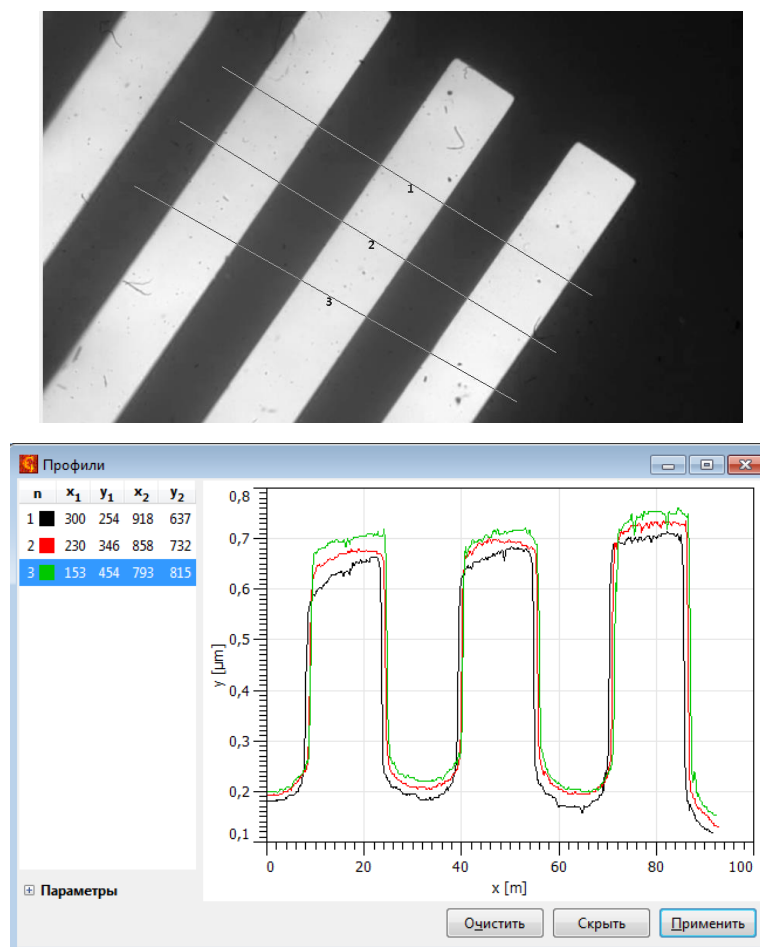


Рис. 2.13 Інструмент вилучення профілів з трьома вказаними відрізками та розкритим налаштуванням



## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Перевірка впливу освітлення різного типу безпосередньо на результат

Теоретично освітлення різного типу має свій вплив на отримане зображення. Це може відобразитися в вигляді світіння на краях чи в певній мірі зменшення цього ефекту. В якості експерименту ми проведемо ряд досліджень, а саме, перевіримо, наскільки покращується (погіршується) зображення, використовуючи освітлення різних типів. Проаналізувавши інформацію по типам освітлення, а також виявлені переваги та недоліки при їх використанні, проведемо дослідження за допомогою програмного забезпечення Gwyddion v. 2.51.

#### 3.1.1 Тип освітлення – галогенні лампи

Виберемо зображення, яке отримано з відповідним освітлення. Загрузимо його до програми Gwyddion v. 2.51 задавши відповідний фізичний розмір, а саме: 1100,67x 1467,56 мм.

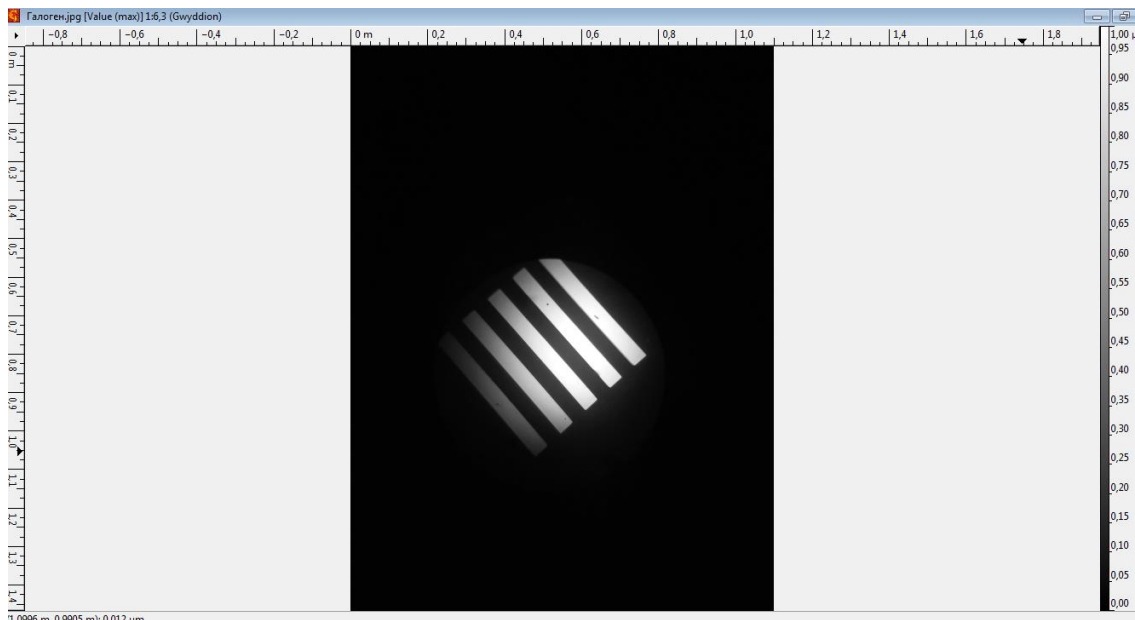


Рис. 3.1 Галогенне освітлення (необроблене зображення)

В якості об'єкту дослідження вибрано штрихову міру № 5, елемент № 1 за ГОСТ 11415-78, з якого визначаємо дійсний розмір штриха за таблицею, що становить 160 мкм, або 0,00016 м.

Помноживши це значення на збільшення мікроскопу (об'єктив x32, окуляр x8) отримаємо значення 0,04096 м.

Проведемо аналіз отриманих експериментально результатів. Для початку виберемо об'єкт (штрих) для визначення його ширини. При збільшенні зображення в програмі Gwyddion v. 2.51 немає можливості змістити вікно перегляду зображення в центр монітору, тому для підвищення точності результату виберемо лінію довжиною в 5 штрихів. Таку операцію можливо зробити тільки за умови проведення вимірювань на еталонному зразку, у якого всі штрихи мають однаковий геометричний розмір, а саме ширину.

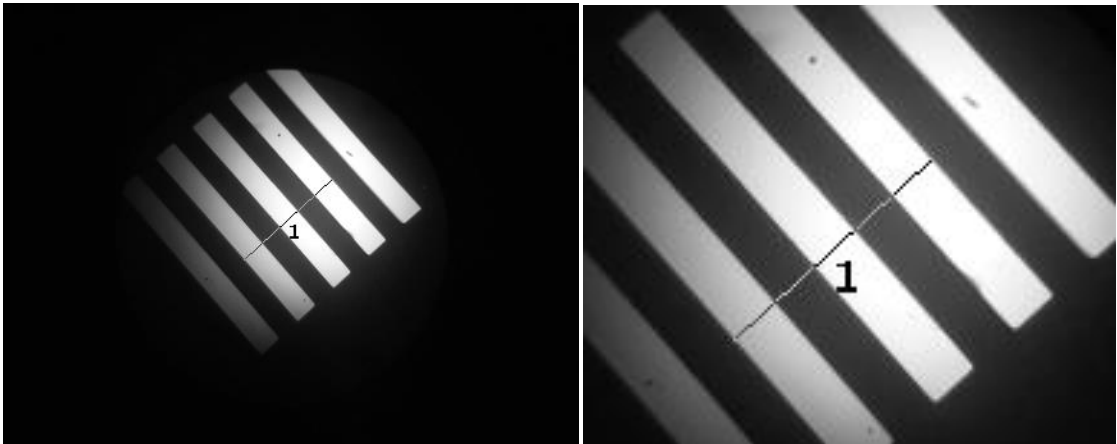


Рис. 3.2 Зображення поля міри: а)отримане експериментально; б)збільшене

В такому випадку отриманий результат необхідно поділити на кількість штрихів, тобто, на 5.

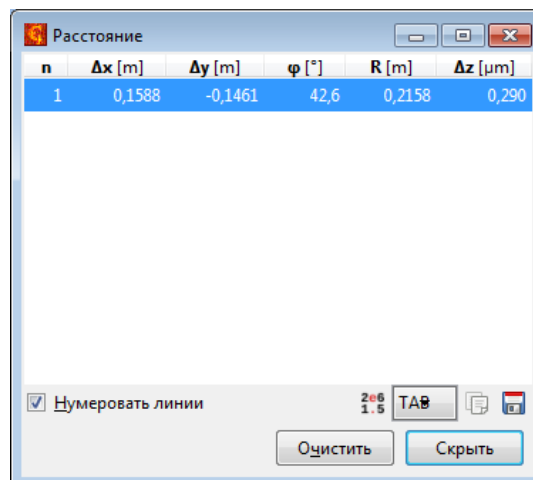


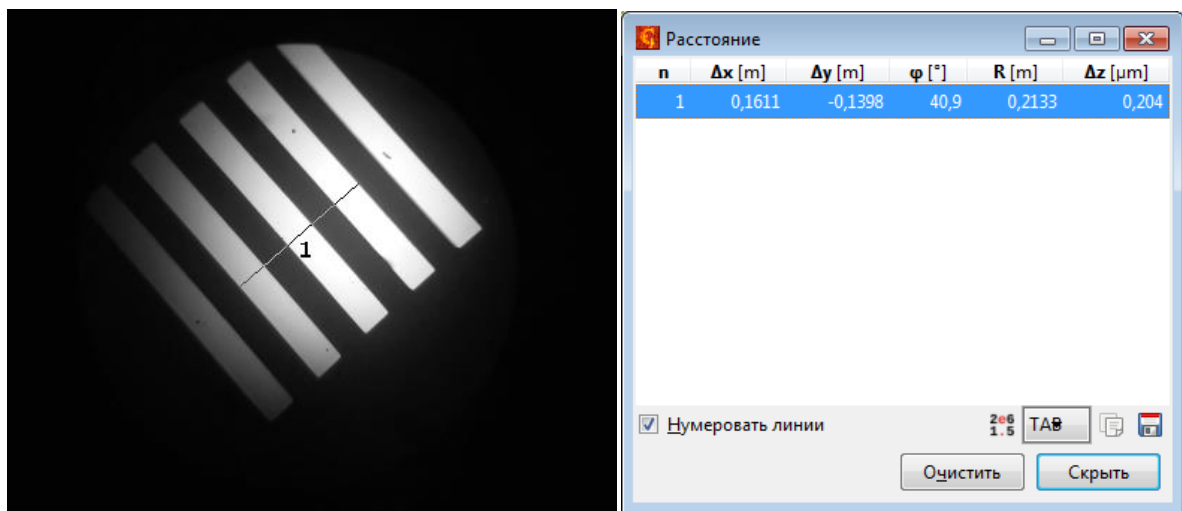
Рис. 3.3 Результат вимірювання розміру штрихів

З таблиці на рисунку 3.3 розмір ширини 5ти штрихів становить 0,2158м. Розділивши це значення на 5 отримаємо результат: 0,04316 м. Це значення є результатом збільшення реального розміру штриха міри відповідно до збільшення мікроскопу.

Визначимо, наскільки відрізняється результат вимірювання від реального розміру штриха міри. Ширина штриха міри №5 поля №1 відповідно до ГОСТ 11415-78 становить 160 мкм, або 0,04096 м з урахуванням збільшення мікроскопу. Тоді, абсолютна похибка вимірювання становить:

$$0,04316 - 0,04096 = 0,0022 \text{ (м)} \quad (3.1)$$

Розглянемо аналіз результатів проведених експериментальних досліджень щодо обробки зображення у різних програмних продуктах проведення цифрової фільтрації відповідно до наукової роботи [47]. В якості фільтру зображення виберемо основний тип «Сделать резким», а встановлений оптимальний розмір 7 пікселів.

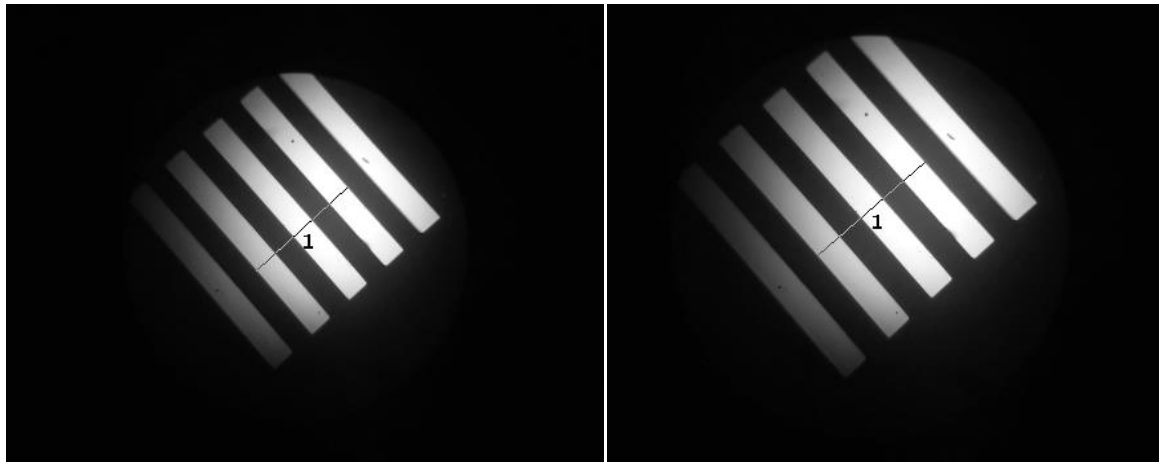


а)

б)

Рис. 3.4 Зображення об'єкту а) оброблене зображення; б) результат вимірювання

На рисунку 3.4(б) представлено результат вимірювання в вигляді таблиці. Поле № 4 (R[m]) вказує на довжину відрізка, тобто, на ширину 5ти штрихів.



а)

б)

Рис. 3.5 Порівняння двох зображень: а) необробленого з застосуванням фільтру; б) обробленого з застосуванням фільтру

Видимих змін майже не видно, хоча при збільшенні зображення можна побачити різницю між світінням по краях штрихів. Результат експерименту показав наступні зміни. Ми отримали розмір 0,2133 м. Поділивши на ширину п'яти штрихів, отримуємо значення 0,04266 м. Тобто, це розмір ширини штриха міри. Порівнявши значення, які було отримано під час експерименту (0,04316 для необробленого зображення, та 0,04266 для обробленого), робимо наступні висновки:

- Оброблене зображення має менший ефект «світіння на краях», що приводить до зменшення розміру об'єкту (в даному випадку штрихів міри). Абсолютна похибка становить: 0,0005 м. Якщо виключити збільшення мікроскопу, то похибка становить приблизно 2 мкм.

### 3.1.2 Тип освітлювальних ламп – люмінесцентний

Основними перевагами люмінесцентних ламп є:

- Висока якість (розподіл світлового потоку) світла і світловіддача;

- Високі енергозберігаючі показники .

Другий пункт не має ніякого впливу на якість отриманого зображення, тому перевіримо наскільки відрізняється чи не відрізняється вплив першого пункту на результат вимірювання геометричних розмірів від галогенного типу освітлення. В якості програмного забезпечення використовуємо Gwyddion v. 2.51.

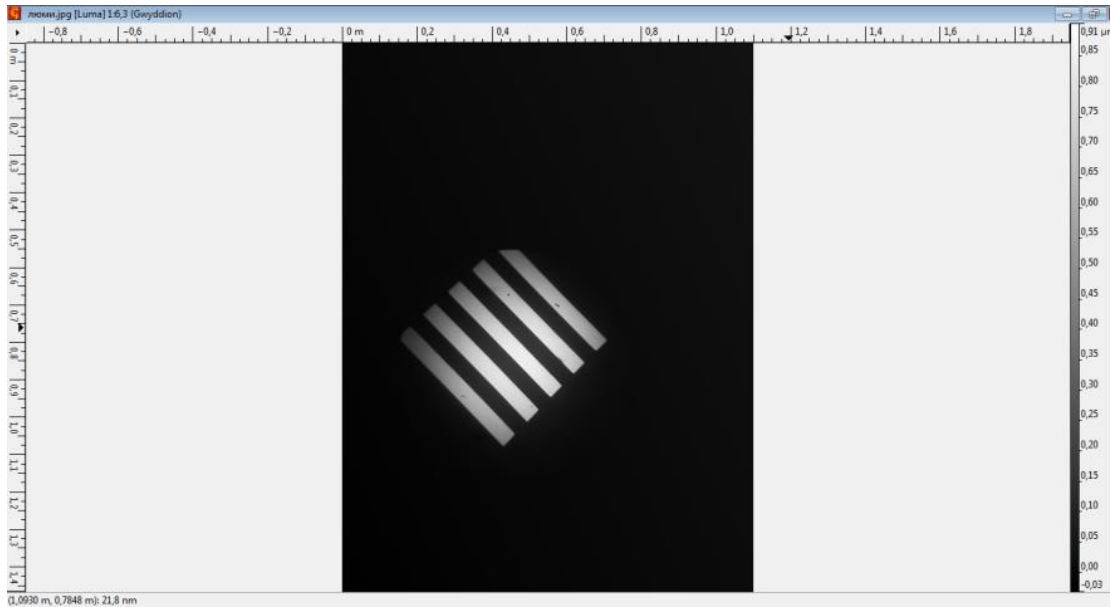
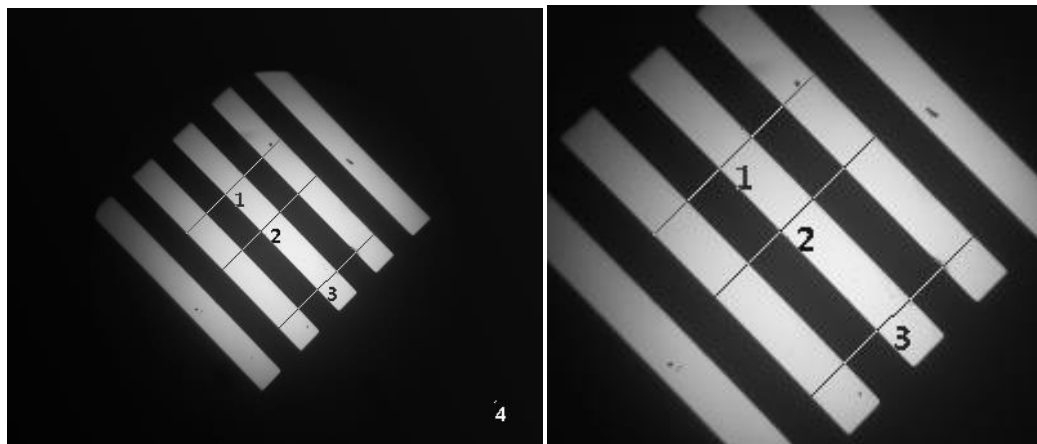
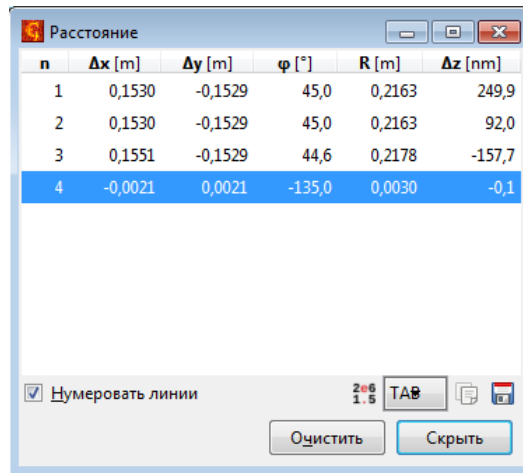


Рис. 3.6 Зображення з використання люмінесцентного освітлення

Проведемо таку ж саму послідовність дій, як і в випадку с галогенним освітленням. Виберемо будь-який штрих для визначення дійсного розміру.





n	Δx [m]	Δy [m]	φ [°]	R [m]	Δz [nm]
1	0,1530	-0,1529	45,0	0,2163	249,9
2	0,1530	-0,1529	45,0	0,2163	92,0
3	0,1551	-0,1529	44,6	0,2178	-157,7
4	-0,0021	0,0021	-135,0	0,0030	-0,1

Рис. 3.7 Результат вимірювання зображення

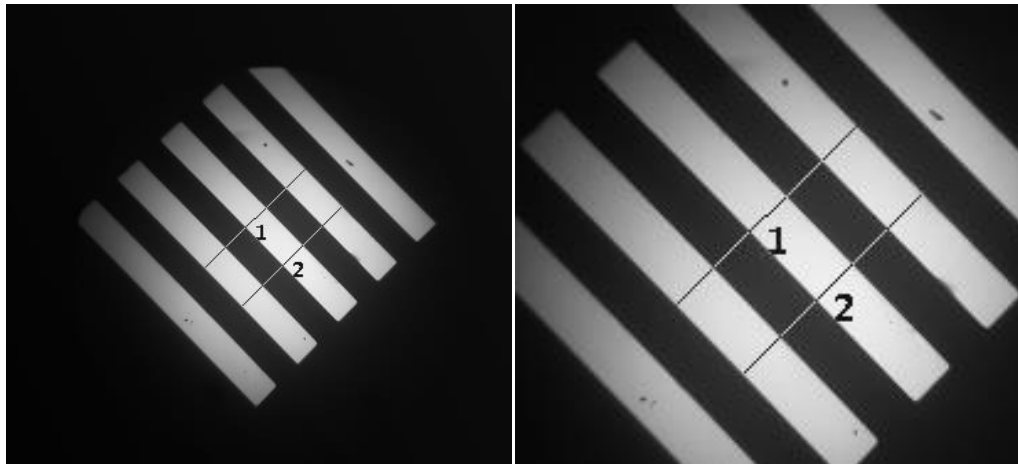
На рисунку 3.7 вказано числові значення. Перенесемо їх до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2163	0,04326
2	0,2163	0,04326
3	0,2178	0,04356

Порівнявши отриманий результат та результат з використанням галогенного типу освітлення, можна зробити висновок, що зміни розміру штрихів мінімальні. У випадку з люмінесцентним типом освітлення маємо значення 0,04326 м, а з використання галогенних ламп – 0,04316. Абсолютна похибка становить: 0,0001 м, або 0,39 мкм (без збільшення мікроскопу). Ми не можемо робити висновок про доцільність того чи іншого освітлення, адже, числове значення відносно невелике, а з врахування оптичної системи яку ми використовуємо, ним можна нехтувати.

Наступним кроком є перевірка зображення, яке піддавалося фільтрації. В якості типового фільтру виберемо фільтр «Сделать резким», розмір різкості 7 пікселів, як і в попередньому випадку з галогенним освітленням. Порівняємо звичайне та оброблене зображення при люмінесцентному освітленні.



n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1551	-0,1529	44,6	0,2178	197,8
2	0,1551	-0,1551	45,0	0,2193	-3,0
3	0,0021	0,0042	-63,4	0,0047	-0,0

Нумеровать линии
 
 206  
1 5
 
TAB
Очистить
Скрыть

Рис. 3.8 Результат вимірювання зображення

Отримані результати занесемо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2178	0,04356
2	0,2193	0,04386

Експеримент показав, що в випадку з люмінесцентним освітленням фільтрування зображення по типу «Сделать резким» дало зміни в напрямку збільшення розміру. Без обробки зображення ширина штриха становила 0,04326 м, а після обробки цей розмір має наступні значення: 0,04356 та 0,04386 м.. Тобто, різниці між двома зображеннями становить -0,0003 м. Це в свою чергу, призвело до збільшення ширини штриха, і тим самим, до

збільшення похибки вимірювання, адже, реальний розмір штриху становить 0,04096 м. Абсолютна похибка вимірювання становить 0,0029 м, або 11 мкм (без збільшення мікроскопу). Візуально відмінності між двома варіантами, обробленим та необробленим, не видно, як і в випадку з галогенним типом освітлення.

Ми бачимо чітке зображення без різких засвічень, хоча сприйняття невеликого засвічення нижче центру зображення відштовхує погляд. Можна зробити висновок, що при застосуванні люмінесцентного типу освітлення, такий тип фільтру використовувати недоцільно (за умови використання програмного забезпечення Gwyddion v. 2.51).

### 3.1.3 Тип освітлення – лампа розжарювання

Виберемо зображення, яке отримано з використанням ламп розжарювання. Загрузимо його до програми Gwyddion v. 2.51 задавши відповідний фізичний розмір, а саме: 1100,67x 1467,56 мм. При збільшенні зображення в програмі Gwyddion v. 2.51 немає можливості змістити вікно перегляду зображення в центр монітору, тому для підвищення точності результату виберемо лінію довжиною в 5 штрихів.

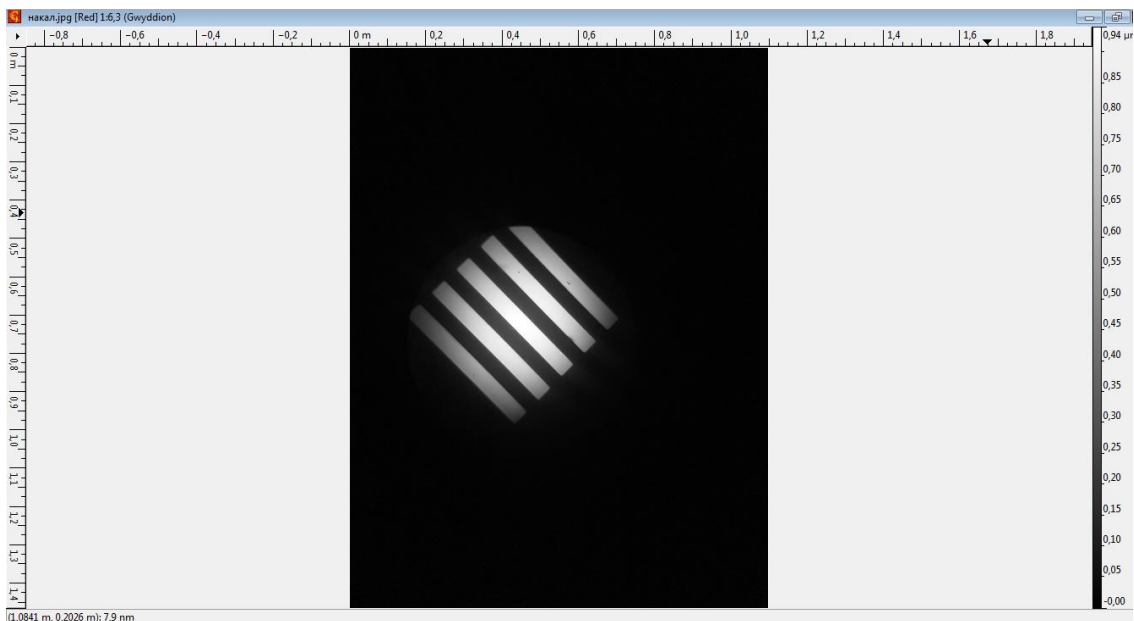
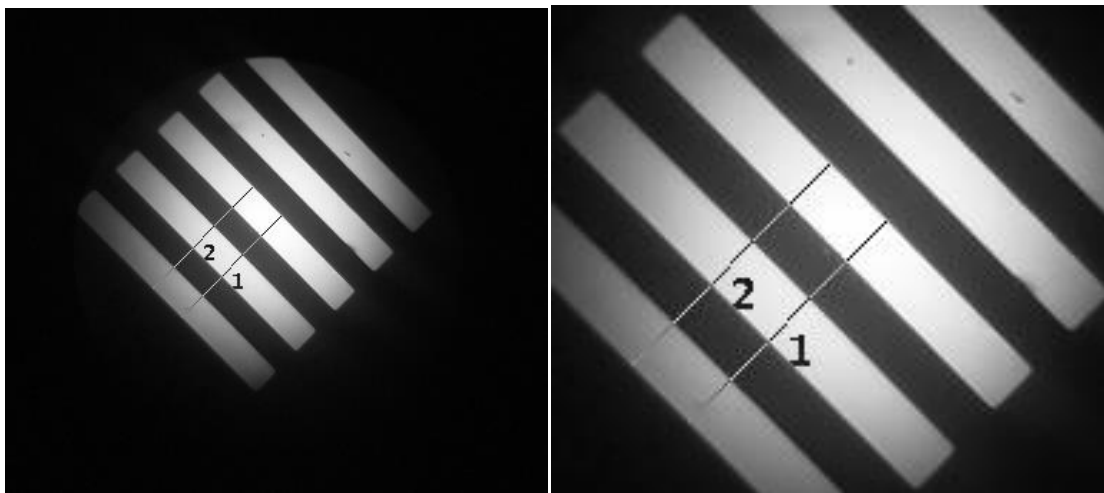


Рис. 3.9 Освітлення за допомогою лампи розжарювання



Отримавши результат слід зазначити, що зображення візуально відображається від двох попередніх (люмінесцентного та галогенного). Ця відмінність полягає в підвищеній контрастності, що сильно «ріже» око. Також, можна бачити розсіювання світла, що визначається в «подовженні» штрихів.

Проведемо таку ж саму послідовність дій при проведенні експериментальних досліджень, як і в випадку с люмінесцентним освітленням. Для підвищення точності результату виберемо лінію довжиною в 5 штрихів.



а)

б)

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1528	-0,1550	45,4	0,2176	484,0
2	0,1528	-0,1550	45,4	0,2176	555,6

Нумеровать линии  2e8  
1.5 TAB

Очистить    Скрыть

в)

Рис. 3.10 Результат вимірювання: а) необроблене зображення; б) збільшене зображення; в) результат вимірювання

Наступним кроком є аналіз зображення яке піддавалося фільтрації. В якості типового фільтру вибираємо фільтр «Сделать резким», а встановлений розмір різкості 7 пікселів, як і в попередньому випадку з люмінесцентним освітленням.

В деяких випадках певні фільтри потребують великої кількості оперативної пам'яті, в результаті застосування їх до зображень великої роздільної здатності, тому доцільність застосування чорно-білого зображення в програмі Gwyddion v. 2.51 вважається доцільним, адже, для фільтрації кольорового зображення необхідно в рази більше об'єму пам'яті.

Порівняємо звичайне і оброблене зображення, що наведено на рис. 3.11.

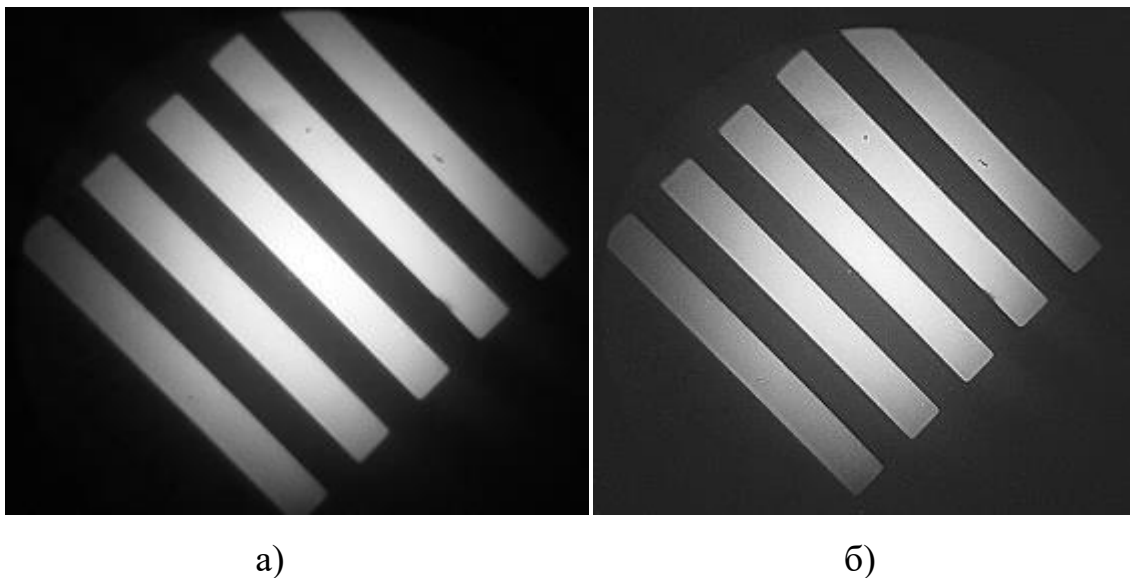


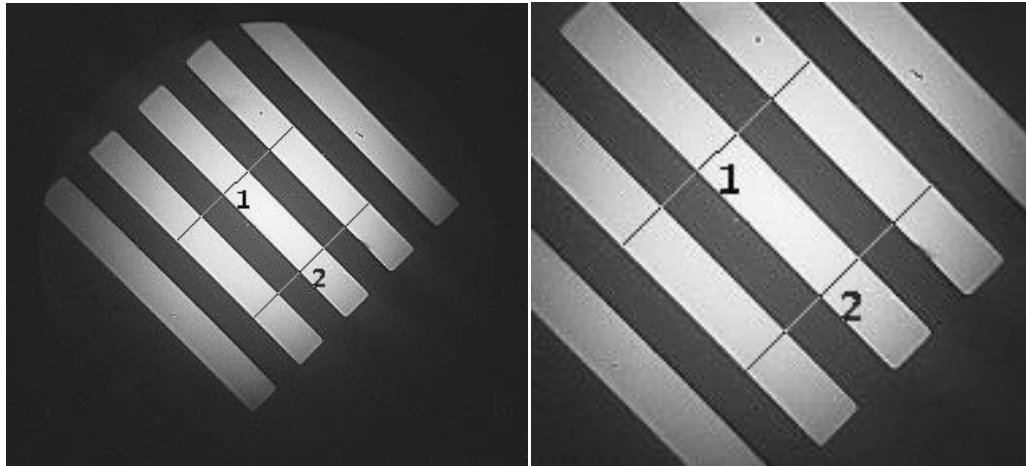
Рис. 3.11 Порівняння двох зображень: а) необробленого та б) обробленого

В результаті порівняння двох зображень (рис. 3.11) можна зробити наступні висновки:

- На першому зображенні розсіювання видно чіткіше. По центру зображення є засвічення білого штрихів, а також, можна спостерігати розсіювання на краях штрихів;
- Оброблене зображення краще сприймається людським оком. Ефект світіння країв, у порівнянні з необробленим зображенням,

має менше значення (результат в вигляді числового значення представлено на рис. 3.12).

Перевіримо на скільки відрізняється результат вимірювання ширини штрихів між обробленим та необробленим зображеннями. Для цього виберемо відрізок довжиною в 5 штрихів на обробленому зображенні.



а)

б)

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,1550	-0,1527	44,6	0,2176	-0,089
2	0,1506	-0,1505	45,0	0,2129	0,632

Расстояние

Нумеровать линии

206 1.5 TAB

Очистить Скрыть

Рис. 3.12 Результат вимірювання: а) оброблене зображення; б) збільшене зображення

Проведемо підсумки. В результаті дослідження реального розміру зображення, яке отримано з використанням лампи розжарювання, ми отримали приблизно однакові значення ширини штриха (результати наведено в таблиці 3.3).

Таблиця 3.3 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2176	0,04352
2	0,2129	0,04258

В першому випадку (необроблене зображення) ширина штриха становила 0,04352 м. Щодо обробленого зображення, то ми отримали аналогічний результат вимірювання 0,04352 м. Виключаючи відсутність функції центрування зображення в програмному забезпеченні у необхідному масштабуванні, робимо висновок, що при використанні лампи розжарювання в якості освітлення, використання фільтру «Сделать резким» не впливає на результат.

#### 3.1.4 Тип освітлення – світлодіодне

Останній на черзі тип освітлення – світлодіодний, а саме, світлодіоди SMD типу. Цей тип світлодіоду представляє собою прилад, інстальований на яку-небудь поверхню, що є досить зручним рішенням. Використання світлодіодів типу SMD у багатьох випадках дозволяє розширити варіативність виконання освітлювальних конструкцій. SMD-світлодіоди відносяться до категорії освітлювальних, характеризуються досить складною структурою. Так, сам світлодіод складається з металевої підкладки, на якій фіксується кристал, що припаюється безпосередньо до контактів корпусу підкладки. У числі найбільш значущих переваг SMD світлодіодів - висока яскравість та світловіддача. У поєднанні з невеликими розмірами ці рішення мають істотні переваги перед альтернативними моделями виробів. В числі найпоширеніших на сучасному ринку — тип світлодіода 3528. Дані вироби широко застосовуються при випуску світлодіодних стрічок, які ми і використали для освітлення об'єкту дослідження.

Виберемо зображення, яке отримано при світлодіодному освітленні. Зазначимо, що в усіх 4х випадках використовуємо поле №1 штрихової міри. Загрузимо його до програми Gwyddion v. 2.51.

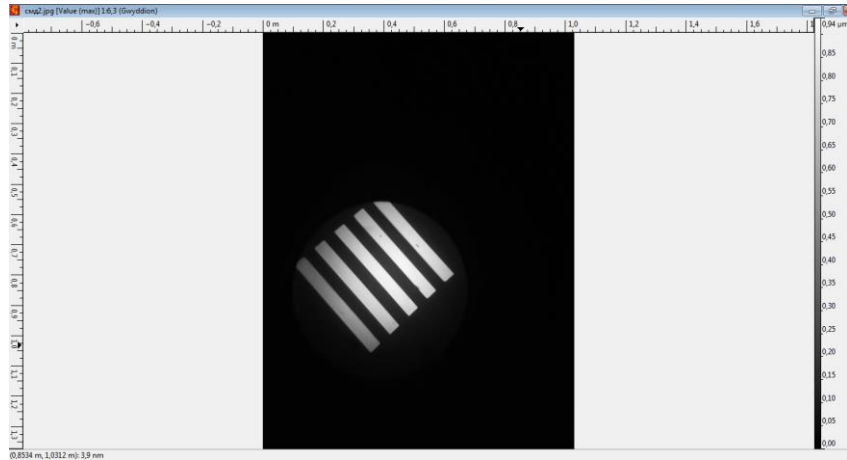
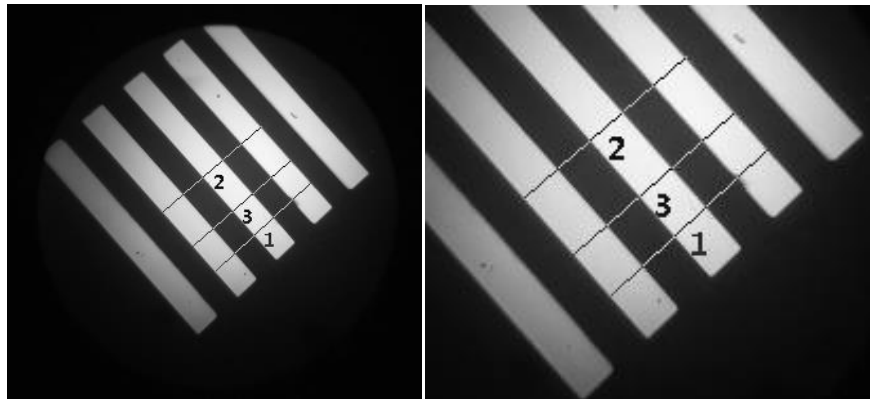


Рис. 3.13 Світлодіодне освітлення (необроблене зображення)

Виберемо будь-який штрих для визначення дійсного розміру та проведемо аналіз результатів вимірювання дійсного розміру штриха.



а)

б)

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1514	-0,1409	43,0	0,2068	-66,7
2	0,1576	-0,1368	41,0	0,2087	-458,8
3	0,1555	-0,1368	41,3	0,2071	129,4

Нумеровать линии  
 2:0 1:5 TAB  
 Очистить Скрыть

в)

Рис. 3.14 Зображення елементів міри: а) підготовка до вимірювання; б) збільшене зображення; в) результат вимірювання

Перенесемо отримані числові значення результату вимірювання до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2068	0,04136
2	0,2087	0,04174
3	0,2071	0,04142

Першого результату достатньо, щоб зрозуміти, що з використанням світлодіодного освітлення результат помітно відрізняється від інших (порівняння наведено у таблиці 3.6). При цьому, фізичний розмір зображення та його збільшення в усіх 4-х випадках співпадає. Однак, ми все одно провели 40 вимірювань, для забезпечення ймовірності результату вимірювання у 95 %. На нашу думку, це пов'язано саме з тим, що світлодіодне світіння має певні особливості. Основою LED білого кольору світіння є структура InGaN (виготовлення багат шарових гетероепітаксійних структур InGaN / GaN з множинними квантовими ямами (МКЯ) на основі InGaN для оптичних випромінювачів зі значенням внутрішнього квантового виходу близького одиниці), випромінююча на довжині хвилі 470 нм (синій колір) і нанесений зверху на неї люмінофор (спеціальний склад), що випромінює в широкому діапазоні видимого спектру і має максимум в його жовтій частини. Людське око комбінацію такого роду сприймає як білий колір.

Щоб переконатися, чи має вплив на результат застосування фільтрації в випадку зі світлодіодним типом освітлення, проведено такий же експеримент, що і в попередніх випадках з різним освітленням. В якості типового фільтру виберемо фільтр «Сделать резким», а встановлений розмір різкості 7 пікселів, як і в попередньому випадку з галогенним освітленням. Порівняємо звичайне та оброблене зображення.

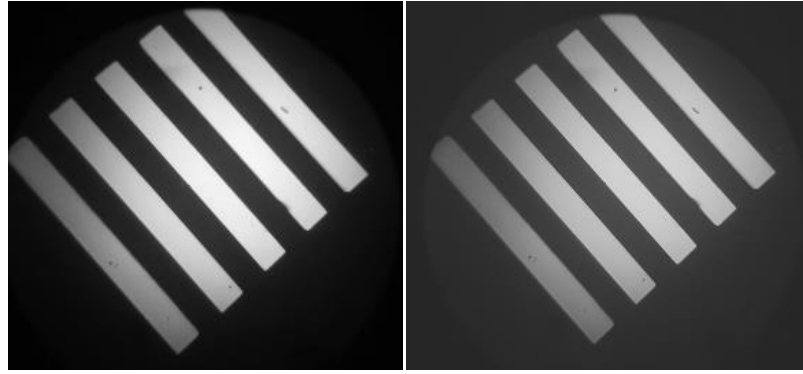
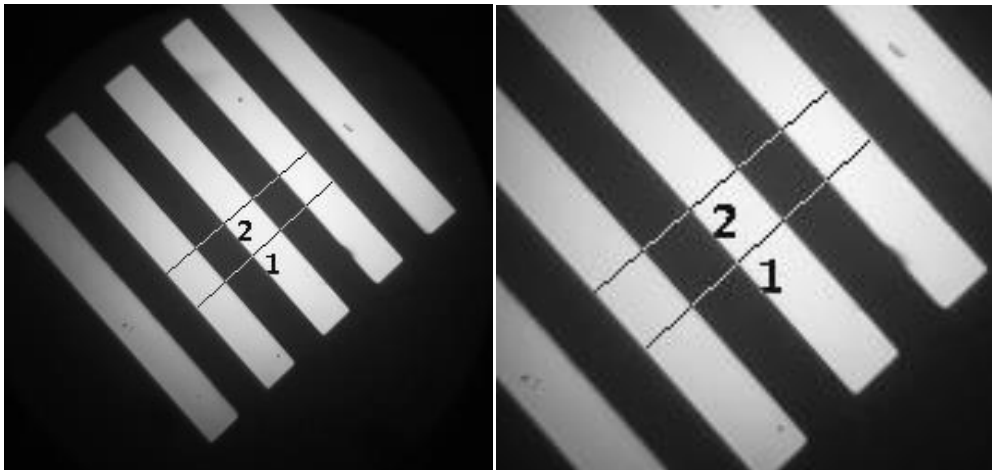


Рис. 3.15 Порівняння двох зображень (зліва необроблене)

Можна спостерігати, що оброблене зображення набуло характерного сіруватого відтінку та помітно зменшилось світіння в центрі зображення. Результат має свої відмінності від попередніх 3-х, хоча у випадку з лампою розжарювання є певна ідентичність. Визначимо довжину відрізка (ширину штриха) на обробленому зображенні. Результат представлено на рисунку 3.16.



n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1514	-0,1409	43,0	0,2068	400,0
2	0,1555	-0,1347	40,9	0,2058	90,2

Нумеровать линии  
 206 1.5 TAB   
 Очистить Скрыть

Рис. 3.16 Результат вимірювання обробленого зображення

Таблиця 3.5 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2068	0,04136
2	0,2058	0,04116

Фільтрування зображення по типу «Сделать резким» не дало значних змін, тому даний фільтр не доцільно використовувати в таких випадках. Результат практичного не відрізнявся, а максимальне відхилення було в 0,0001 м.

### 3.1.5 Висновки до підрозділу

Даний експеримент було проведено для того, щоб переконатися, впливає (якщо впливає, то яким чином) чи не впливає освітлення різного типу на якість зображення та зміну розмірів об'єктів чи ні. Результати виявились не однозначні, у випадку з галогенним та люмінесцентним освітленням ситуація була наступною. Безпосередньо без обробки зображення результат був практично однаковий (ми отримали такі числові результати: 0,04316 м для галогенного типу освітлення та 0,04326 м для люмінесцентного), але коли зображення «пропустили» через фільтр типу «Сделать резким», то ситуація змінилася. В першому випадку значення стало меншим на 0,0023 м, а в випадку з люмінесцентним освітленням результат навпаки збільшився на 0,0030 м.

При порівнянні галогенного та люмінесцентного типів освітлення можна зробити наступні висновки. Використання галогенного освітлення може певною мірою «засвічувати» зображення, в той час як обробка зображення виправила цю ситуацію, тим самим, зменшилося розсіювання по краях штрихів (першочерговий результат становив 0,04316 м, тоді як оброблене зображення мало числове значення 0,04266 м). Використання люмінесцентного типу освітлення значно краще відобразилося на



першочерговому результату, зображення було чітким та не засвіченим (результат вимірювання 0,04326 м), але після фільтрації зображення результат змінився в протилежну сторону (результат після оброблення зображення становить 0,04386 м), ширина штрихів під час вимірювання була більшою. Для наочності приведено зображення результатів вимірювання

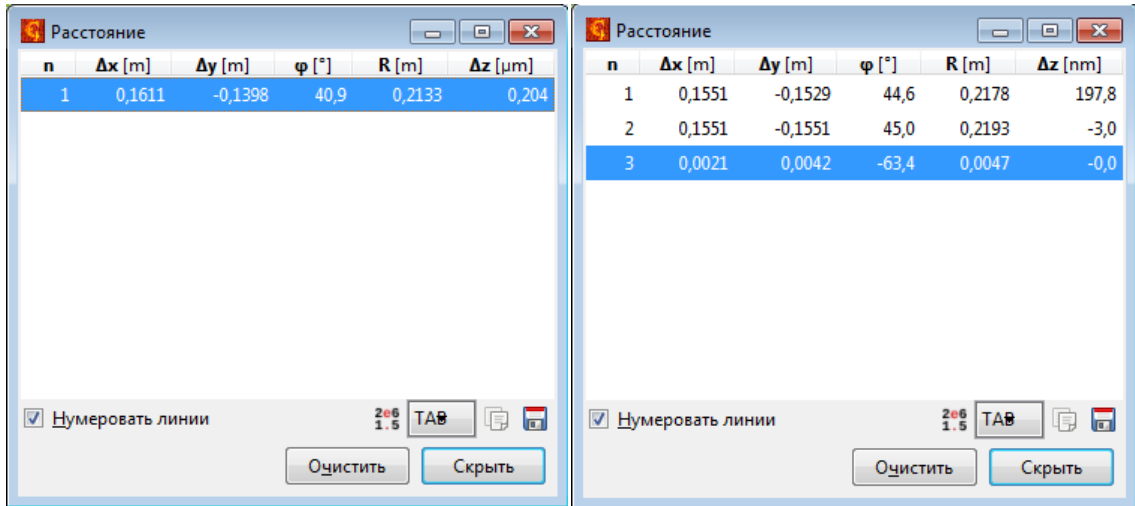


Рис. 3.17 Порівняння результатів з використанням різного типу освітлення

На рисунку 3.17 представлено порівняння двох результатів (зліва галогенний тип освітлення, справа – люмінесцентний). Занесемо їх до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Порівняльна таблиця результатів вимірювання

№	Необроблене зображення		Оброблене зображення	
	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2133	0,04266	0,2178	0,04356
2	0,2133	0,04266	0,2193	0,04386

Ми бачимо різницю в застосуванні одного і того ж фільтру, але різного типу освітлення: зліва галогенного, справа – люмінесцентного.

Інша ситуація відбувається при використанні в якості освітлювача об'єкта лампи розжарювання. Обробку зображення проводили в чорно-білих кольорах. Це пояснюється тим, що в такому виконанні кількість оперативної пам'яті, яка в великій кількості необхідна для обробки зображення, використано значно менше, ніж при обробці зображення з повною кольоровою гамою. Навіть при такому налаштуванні програма потребує досить багато часу для проведення операції обробки зображення (мін. 5 с).

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1528	-0,1550	45,4	0,2176	484,0
2	0,1528	-0,1550	45,4	0,2176	555,6

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [μm]
1	0,1550	-0,1527	44,6	0,2176	-0,089
2	0,1506	-0,1505	45,0	0,2129	0,632

Рис. 3.18 Результати вимірювання зображення з використанням лампи розжарювання (зліва необроблене зображення)

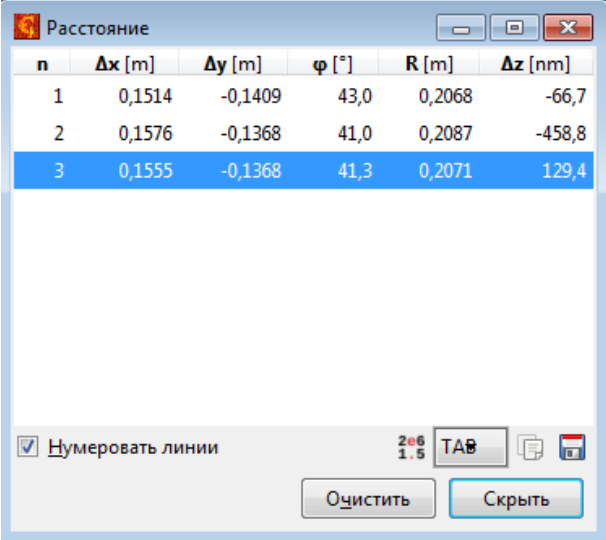
На рисунку 3.18 представлено порівняння результатів вимірювання при застосування ламп розжарювання. Перенесемо отримані числові значення до таблиці 7.

Таблиця 3.7 - Порівняльна таблиця результатів вимірювання

№	Необроблене зображення		Оброблене зображення	
	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2176	0,04352	0,2178	0,04352
2	0,2176	0,04352	0,2129	0,04258

З таблиці 3.7 ми бачимо, що результат однаковий (крім другої лінії на обробленому зображенні, скоріше за все трапився збій при обробці даних) і при необробленому зображенні, і при обробленому. Тому в цьому випадку використання фільтрації по типу «Сделать резким» не дає ніякого результату, використовувати його немає сенсу. Якщо ж порівняти результат вимірювання з попередніми (галогенна та люмінесцентна лампа), то числові значення відрізняються: 0,04352 м, 0,04266 м та 0,04356 м. Можна зробити висновок про доцільність використання галогенного типу освітлення серед представлених 3х (лампа розжарювання, галогенна лампа та люмінесцентна лампа відповідно), тому що в такому випадку похибка вимірювання є мінімальною: 0,0017 м, або 6,64 мкм (без збільшення мікроскопу).

Останнє дослідження було проведено з використанням світлодіодного освітлення SMD типу. Результат помітно відрізнився від інших. Для початку на рисунку 3.19 наведемо результат вимірювання з використанням світлодіодного освітлення.



n	Δx [m]	Δy [m]	φ [°]	R [m]	Δz [nm]
1	0,1514	-0,1409	43,0	0,2068	-66,7
2	0,1576	-0,1368	41,0	0,2087	-458,8
3	0,1555	-0,1368	41,3	0,2071	129,4

Below the table, there is a checkbox labeled 'Нумеровать линии' (Number lines) which is checked. To the right, there are labels '2e6' and '1.5', a 'TAB' button, and a file icon. At the bottom, there are two buttons: 'Очистить' (Clear) and 'Скрыть' (Hide).

Рис. 3.19 Результат вимірювання (світлодіодне освітлення, необроблене зображення)

На рисунку 3.19 представлено результат вимірювання ширини штрихів міри. Занесемо отримані дані до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Результат вимірювання

№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2068	0,04136
2	0,2087	0,04174
3	0,2071	0,04142

Якщо порівняти ці результати з трьома попередніми (галогенний тип: 0,04266 м, люмінесцентний тип: 0,04356 м, лампа розжарювання: 0,04352 м) вимірюваннями, то різниця буде майже на порядок більше (0,005..0,01 м). Таке зображення можна без попередньої обробки піддавати фільтрації. Як і в випадку з використанням лампи розжарювання, результат після обробки зображення не змінився.

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1514	-0,1409	43,0	0,2068	-66,7
2	0,1576	-0,1368	41,0	0,2087	-458,8
3	0,1555	-0,1368	41,3	0,2071	129,4

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [nm]
1	0,1514	-0,1409	43,0	0,2068	400,0
2	0,1555	-0,1347	40,9	0,2058	90,2

Рис. 3.20 Порівняння зображень при світлодіодному освітленні (зліва необроблене зображення)

Таблиця 3.9 - Порівняльна таблиця результатів вимірювання

№	Необроблене зображення		Оброблене зображення	
	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
1	0,2068	0,04136	0,2068	0,04136
2	0,2087	0,04174	0,2058	0,04116

Експеримент показав, що використання різного типу освітлення має певний вплив на результат вимірювання. З використанням таких типів освітлення, як галогенного, люмінесцентного, світлодіодного та лампою розжарювання ми отримали різні результати (порівняння всіх результатів наведено у таблиці 3.10).

Таблиця 3.10 - Загальна порівняльна таблиця результатів вимірювання

		Необроблене зображення		Оброблене зображення	
Галогенний	№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
	1	0,2158	0,04316	0,2133	0,04266
	2	0,2162	0,04324	0,2133	0,04266
Люмінесцентний	№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
	1	0,2163	0,04326	0,2178	0,04356
	2	0,2178	0,04356	0,2193	0,04386
Лампа розжар.	№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
	1	0,2176	0,04352	0,2176	0,04352
	2	0,2176	0,04352	0,2129	0,04258
Світлодіодний	№	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м	Довжина відрізка 5 штрихів, м	Ширина відрізка, м
	1	0,2068	0,04136	0,2068	0,04136
	2	0,2087	0,04174	0,2058	0,04116

Таблиця 3.11 – Узагальнююча таблиця похибок вимірювання

	№	Необроблене зображення		Оброблене зображення	
		Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %
Галогенний	1	0,0022	5,09	0,0017	3,98
	2	0,00228	5,27	0,0017	3,98
	№	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %
Люмінесцентний	1	0,0023	5,31	0,0026	5,96
	2	0,0026	5,96	0,0029	6,61
	№	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %
Лампа розжар.	1	0,00256	5,88	0,00256	5,88
	2	0,00256	5,88	0,00162	3,8
	№	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %
Світлодіодний	1	0,0004	0,96	0,0004	0,96
	2	0,00078	1,86	0,0002	0,48
	№	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %

Отже, в результаті проведених досліджень ми приходимо до висновку, що використання світлодіодного типу освітлення підвищує точність вимірювання геометричного розміру. З таблиці 3.11 видно, що із світлодіодним освітленням абсолютна та відносна похибки найменші

(абсолютна похибка 0,0002..0,00078 м, відносна 0,48..1,86 %). В результаті експерименту з використанням світлодіодного типу освітлення ми отримали значення 0,04116 м, при цьому, реальний розмір ширини штриха міри становить 0,04096 м (в перерахунку зі збільшенням 256). Отже, можна зробити висновок, що використання світлодіодів, в якості штучної системи освітлення, найкращим чином впливає на результат.

### 3.2 Перевірка якості обробки зображення різним програмним забезпеченням

Ми використали штрихову міру з відомими технічними характеристиками за ГОСТ 15114-78. За номером елементу міри, в якому можна розрізнити напрям штрихів всіх чотирьох груп (табл. 2 в додатку до ГОСТу 15114-78), необхідно визначити ширину штриха  $p$ . Кутову відстань  $\varphi$

Між серединами сусідніх темних (світлих) штрихів кожного елементу міри в кутових секундах необхідно розрахувати за формулою

$$\varphi = \frac{2p}{f'_K}, \quad (3.2)$$

де  $p$  – ширина штриха, мм;

$f'_K$  - фокусна відстань об'єктива коліматора, мм.

Зниження аберації оптичної системи також є методом підвищення якості отриманого зображення. Базується цей метод на двох різних принципах – введенні коригувальних лінз (найбільш поширено) і цифровій обробці всього кадру отриманого зображення (не має широкого поширення внаслідок значної обчислювальної складності). Введення коригувальних лінз призводить до ускладнення конструкції оптичної системи, збільшення її маси і габаритів, до посилення аберацій, на які не спрямована корекція. Подібний принцип не може бути застосований для малогабаритних оптичних систем.

### 3.2.1 Налаштування ОЕВС

Основним етапом підготовки перед налаштуванням ОЕВС є вибір оптичного пристрою та системи цифрової обробки зображення та їх розрахунок.

Для цього обрано оптичний мікроскоп, цифровий пристрій для отримання зображення та відповідне програмне забезпечення. Першочергово отримано перший результат вимірювання мікрометричних геометричних розмірів (ГР) за еталоном (ГОСТ 11415-78), а саме було обрано міру №5, поле №1, що дало в результаті ГР 165,4 мкм. Однак, система потребувала вдосконалення через те, що попередня точність вимірювання становила  $1,5 \pm 0,2$  мкм. Ці вимірювання було проведено з використання світлодіодного освітлення з використанням відповідного спектру. А саме, лампи LED білого кольору світіння з структурою InGaN, що випромінює на довжині хвилі 470 нм (синій Ф отримати максимум спектральної характеристики в його жовтій частині [47, 48]).

Коли було проведено всі можливі вдосконалення з ОЕВС стосовно освітлення й усунення аберацій оптичного мікроскопу, було прийнято рішення провести коректування і фільтрування зображення, що отримано за допомогою ОЕВС. Виявилось, що методів та алгоритмів обробки зображення існує велике розмаїття, тому проведено дослідження цифрової фільтрації в різних програмах та визначено найкраще за показником якості.

Так як ми не мали можливості застосувати ультрасучасний оптичний мікроскоп, використовували в ОЕВС біологічний мікроскоп МБР-1 ЛОМО. В якості об'єкту дослідження використовували еталонну штрихову міру, тому даний мікроскоп задовольняє всі вимоги експериментальних досліджень, а саме вимірювання геометричних розмірів штрихів міри в мікрометричному діапазоні.

Об'єктив «ОМ-2» має найбільше поле зору, тому використовуємо для попереднього огляду об'єкту дослідження та вибору необхідної ділянки.



Після того, як вибрали необхідну ділянку дослідження, вибираємо наступний об'єкт «Ахромат МЩ» для більш точного дослідження. Виставляємо центр поля зору за допомогою центрувальних гвинтів. Необхідно виконати операцію максимально точно, адже, необхідна ділянка може не попасти в поле зору саме цього об'єктиву. Наступним етапом буде налаштування фокусування мікроскопу на чіткість зображення [48-52].

Ми працюємо зі штриховою мірою, тому використаємо спочатку алгоритм із застосуванням просторової фільтрації. Перевагою фільтра є менший ефект розфокусування при достатній ефективності. Даний метод доречно застосовувати для обробки зображень при необхідності суттєвого зменшення рівня імпульсного шуму і при недопустимому розфокуванні. Найбільш ефективним є його використання разом з пороговою обробкою при необхідності видалення із зображення дрібних деталей, наприклад перед виявленням більших об'єктів [49].

Робота з готовим зображенням є наступним етапом. За допомогою програмного забезпечення отримуємо розмір штриха міри та порівнюємо його з табличним. Використання різних програмних пакетів для обробки зображення дозволяє отримати ідеально можливий результат (в межах нашої ОЕВС) та визначити похибку обчислення контуру штриха. Це важливо, в першу чергу, при роботі з мікрометричними розмірами (перевірка реального розміру, діагностика мікропошкоджень, дослідження нових елементів). Сьогодні це є досить популярна тема для дослідження, адже, люди постійно прагнуть до чогось нового, ефективного та простого в користуванні.

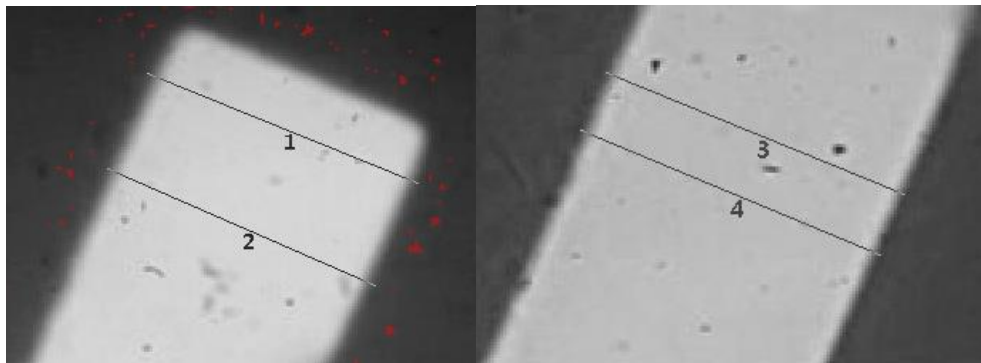
### 3.2.2 Проведення експерименту

Основою нашого дослідження є порівняння результатів оброблених зображень в різних програмних середовищах. Фільтрування зображення елементу міри проводилося в трьох програмах: Adobe Photoshop CS5; Gwyddion v. 2.51; XnView.

В якості об'єкту дослідження вибрано штрихову міру № 5, а елемент цієї

міри під номером 1 за ГОСТ 11415-78. Першочергову обробку зображення, отриманого за допомогою ОЕВС з використанням світлодіодного освітлення, було виконано в програмному пакеті Gwyddion v. 2.51. Використали один з простих фільтрів по збільшенню різкості зображення з одними параметрами для всіх програмних середовищ.

Після того, як отримали оброблене зображення, ми провели дослідження двох зображень: обробленого та необробленого. Потім провели вимірювання реального розміру штриха міри.



а)

б)

Рис. 3.21 Елемент міри №5, поле № 1 штрихів міри (ГОСТ 11415-78):

а) без обробки; б) обробка зображення у Gwyddion v. 2.51

Щоб дізнатися дійсний розмір штриха скористаємося ГОСТом 15114-78. З таблиці 2 вибираємо міру № 5, поле міри № 1. Вказана ширина штриха становить 160 мкм, або 0,02592 м.

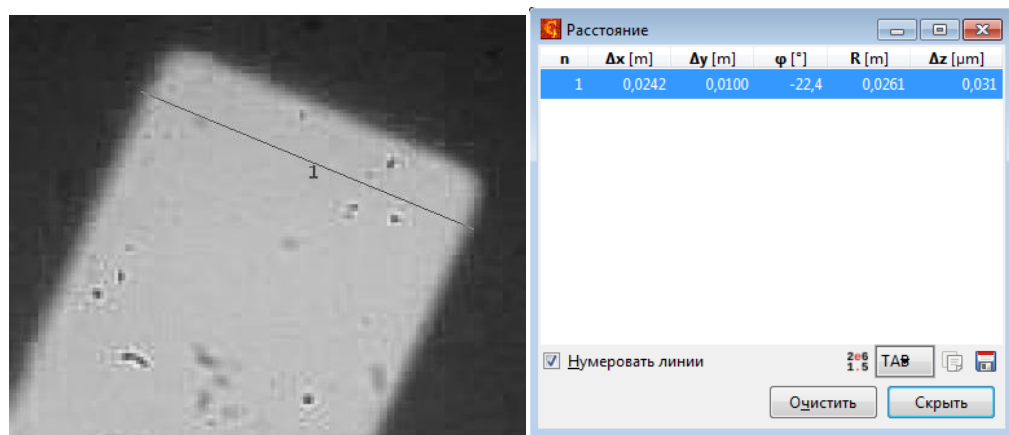
На рис. 3.21 зазначено два вимірювання (під № 1 - без обробки).

n	$\Delta x$ [m]	$\Delta y$ [m]	$\varphi$ [°]	R [m]	$\Delta z$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,0247	0,0102	-22,4	0,0268	-4,26
2	0,0242	0,0101	-22,6	0,0262	-2,55

Нумеровать линии      2e6 1.5      TAB        
 Очистить      Скрыть

Рис. 3.22 Результати вимірювання

В якості другого програмного забезпечення, застосовано Adobe Photoshop CS5. Зображення, що отримано під час експерименту та результат його вимірювання наведено на рисунку 3. Серед основних відмінностей у програмному забезпеченні слід відзначити вибір кількості пікселів та збільшення різкості в відсотковому відношенні. В першому випадку було використано розмір величиною 7 пікселів (тобто 17,5% всієї шкали з максимумом в 40 пікселів), а у випадку з Adobe Photoshop CS5 вказали 18 %.



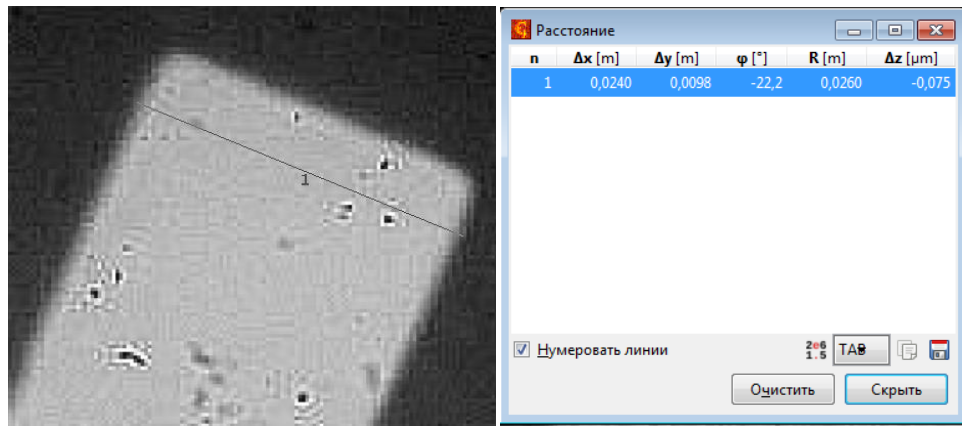
а)

б)

Рис. 3.23 Елемент міри №5, поле № 1 штрихів міри (ГОСТ 11415-78):

а) без обробки; б) оброблене зображення

Останньою програмою в нашому експерименті є XnView з останнім оновленням. Принципових відмінностей від параметризації в програмі Adobe Photoshop CS5 немає, але є своя відмінність в кількості пікселів на шкалу 100%. Зображення експерименту та результату вимірювання представлено на рисунку 3.24.



а)

б)

Рис. 3.24 Елемент міри №5, поле № 1 штрихів міри (ГОСТ 11415-78):

а) без обробки; б) оброблене зображення

Обробка результатів вимірювання має наступні етапи: перерахунок дійсного розміру елемента міри в одиниці вимірювання СІ (м), обчислення похибки вимірювання, порівняння результатів.

Табличне значення зі збільшенням  $\times 162$ :

$$160 \times 10^{-6} \times 162 = 0,02592 \text{ м} \quad (3.3)$$

Занесемо отримані експериментальні дані до таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Результати вимірювання геометричних розмірів штриха мри № 5, поле № 1 (ГОСТ 11415-78)

Назва програми	Результат вимірювання, м	Абсолютна похибка, м	Відносна похибка, %
Gwyddion	0,0262	-0,00028	1,08
XnView	0,0260	-0,00008	0,30
Adobe Photoshop CS5	0,0261	-0,00018	0,6944

За результатами дослідження можемо зробити висновки, що застосовуючи фільтрацію зображення, але в різних програмних пакетах, можна отримати різний результат, що видно з результатів таблиці 1. Еталонний результат має значення 0,02592 м.

Отже, робимо висновок, що вибір програмного пакету відіграє одну з

ключових ролей в отриманні точного результату вимірювання мікрометричних розмірів об'єктів. Використання одного фільтру в різних програмах по різному вплинуло на результат. Збільшилася точність, відповідно отримуємо меншу похибку вимірювання.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ»

### 4.1 Опис ідеї проекту

В попередніх розділах були розглянуті методи та алгоритми цифрової обробки зображень. Проведено аналітичний огляд методів цифрової обробки зображень. Визначено їх недоліки, переваги та розроблено порівняльну таблицю методів цифрової обробки зображень. Проаналізовано матеріально-технічне забезпечення при використанні кожного з методів обробки зображення. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту.

Ідея проекту полягає у вдосконаленні все відомих алгоритмів цифрової обробки зображень, що наведено в таблиці 4.1.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Покращення алгоритму цифрової обробки зображень	Застосування при вимірюванні та мікрометричних розмірів об'єктів	Підвищена точність перевірки геометричних розмірів готового об'єкту
		Зручний інтерфейс
		Пришвидшення отримання результату вимірювання.

Отже, пропонується новий спосіб цифрової обробки зображень, який полягає в застосування розробленої оптико-електронної системи, яка побудована з застосування відповідних світлофільтрів та з використання

відповідного типу освітлення а також необхідного програмного забезпечення. Відрізняється від інших підвищеною точністю перевірки геометричних розмірів зображення та пришвидшеним отриманням результату.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	sameProject	TanersBUIDS	Тест-о-прог			
1.	Вартість програмного забезпечення	36000	39000	42000	38000	-	+	
2.	Надійність...	3 роки	1 рік	1 рік	2 роки	-		+
3.	Визнана марка	Не існує	Не існує	Не існує	Не існує	-	+	
4.	Затрати на виробництво	Низькі	Середні	Високі	Середні	+	-	-
5.	Торгова марка	немає	немає	є	немає	-	+	-

Порівнявши свій проект з проектами конкурентів було визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Серед ключових переваг над проектами конкурентів слід відзначити надійність та зменшені затрати на виробництво.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Вдосконалення алгоритму цифрової обробки зображень	Застосування нових алгоритмів обробки цифрового зображення	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Доступно
		Вдосконалення готових алгоритмів шляхом їх компонування	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Застосування нових алгоритмів обробки цифрового зображення				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект полягає в розробці нових алгоритмів для конкретних цілей, а саме, під різний тип освітлення та різні програмні пакети. Суть полягає в застосуванні цих алгоритмів до практично будь-якого програмного забезпечення. В наявності вже розроблена мова програмування та є у вільному доступі.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє передбачити можливі проблеми з виходом на ринок, пошуком ключових клієнтів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.1 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	47000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростаюча
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Не виявлено
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Формування єдиної системи показників якості продукції, методи її випробування та контролю; уніфікація вимірювань і позначень
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Так як ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт робимо висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.2 - Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару



Підвищення точності вимірювання цифрового зображення	Фірми, які займаються контролем якості деталей чи виробів; промислові підприємства	Відмінності полягають в застосування різного програмного забезпечення та відповідних стандартів	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Легке налаштування</li> <li>- Можливість адаптації до різних програмних пакетів</li> </ul>
--	--	---	---

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту, які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно мати комп'ютер з покращеними характеристиками, а також працювати з такими програмами повинні кваліфіковані фахівці, для того, щоб підключити цифровий фільтр до програмного пакету. Також, бажано за певних виявлених помилок своєчасно відправляти логи (звіт) по роботі алгоритму (таблиця 4.6).

Таблиця 4.3 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Наявність конкурентів	Втрата клієнтів; втрата прибутку	Дослідження продукту конкурента та вдосконалення системи в цілому; можливе зниження вартості продукту
2.	Венчурна компанія	Венчурні проекти не потребують оформлення звітних паперів: ризик є ризик. В результаті відсутні докази створення інтелектуальних активів і виникнення прав на них	-
3.	Внутрішні конфлікти	Можлива наявність конфліктів за відсутністю нормального регулювання відносин і розподілу інтелектуальних прав	Перегляд політики формування обов'язків між працівниками

4.	Технічні проблеми	Можливі збої в роботі з програмним забезпеченням	Перегляд програмного коду та налагодження системи
5.			

В таблиці 4.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.4 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться програмне забезпечення	Необхідно проводити тренінги по освоєнню нових бібліотек чи систем
2.	Економічні	Підтримка інноваційного виробництва	Підвищення/зниження ціни на продукт
3.	Політико-правові	Можуть вплинути на куплю/продажу товару	Зміна прав власності

В таблиці 4.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 4.5 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Рівень конкурентної боротьби	Національний	Взяття за базис один з наших алгоритмів та його доопрацювання
За галузевою ознакою	Міжгалузєва	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту в певних галузях
За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення продукту разом зі зменшенням вартості на нього

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому. Ми виявили основні фактори загроз, а також можливі реакції на них. Ознайомилися з певними можливостями, які допомагають вийти з цієї ситуації. Ступеневий аналіз

конкуренції на ринку показав, що є певний ряд загроз зі сторони конкурентів, але вихід з цієї ситуації також є.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.6 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку присутні 3 конкуренти, які надають аналогічні послуги	Серед потенційних можуть виступати лише іноземні фірми	Постачальниками є власне наша фірма	Фірми, які займаються контролем якості деталей чи виробів; промислові підприємства	Аналогів товарів подібного напрямку немає
Висновки	Аналізування конкурентного ринку та вдосконалення нашого продукту	На даний момент потенційних конкурентів немає	-	Відносно низька вартість та покращена якість товару	Розробка нових напрямків застосування для вилучення можливих випадків появи товарів-аналогів

Проаналізувавши таблицю 4.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.7 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
-------	-------------------------------	---

1	Постійне вдосконалення вже розроблених алгоритмів	Наявність логів (звітів) по завершенню процедури дозволяє відразу ж виявити можливі помилки/збої та усунути їх
2	Впровадження нової технології комбінування алгоритмів	Це нова система, яка покращує алгоритм цифрової фільтрації
3	Висока якість	Тестування алгоритмів на робочих системах
4	Технічна підтримка	Можливість зворотного зв'язку дозволяє своєчасно вирішувати можливі проблеми
5.	Ціна	Відносно низька вартість на товар, що є привабливою пропозицією

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 4.8 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Hope Dimension»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Hope Dimension							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Наявність патентів	11	+							
2	Велика кількість постачальників	8				+				
3	Висока якість	19	+							
4	Технічна підтримка	15		+						
5.	Ціна	16							+	

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.9 - SWOT- аналіз стартап проекту

<p><b>Сильні сторони:</b>          За рахунок хорошої технічної підтримки ми забезпечуємо високу надійність та закріплюємо свої позиції на ринку.          Завдяки високій якості продукту з'являються нові клієнти</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b>          Необхідність в наявності більш кращої системи для роботи з алгоритмом (велика кількість ОЗП та хороша частота процесору)</p>
---	---

<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збільшення продаж;</li> <li>2. Отримання державних замовлень на отримання послуг;</li> <li>3. Розширення ринку за рахунок іноземних замовників;</li> <li>4. Зменшення податкового тиску, отримання тендерів на послуги.</li> </ol>	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку.</li> <li>2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм.</li> <li>3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу;</li> <li>4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку;</li> <li>5. Зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень.</li> </ol>
---	---

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проекту, а також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.10 - Альтернативи ринкового впровадження стартап проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	2 роки
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	0,5 року
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	-

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.11 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Промислові компанії	Пояснюється готовністю організації піти на додаткові витрати, що пов'язані з впровадженням нових алгоритмів	Залежить від темпу розвитку економіки	Низька	Середні перешкоди
	Фірми, які займаються контролем якості мікрооб'єктів			Низька	Середні перешкоди
Які цільові групи обрано: Фірми, які займаються контролем якості мікрооб'єктів Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із фірмами, які займаються контролем якості мікрооб'єктів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для розрахунку концентрації пилу та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.12 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційовани й маркетинг	Висока якість продукту, наявність технічної підтримки	Стратегія диференціації

В таблиці 4.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку. До сильних сторін відносимо підвищену якість товару, наявність технічної підтримки, відносно низьку вартість на товар.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.13 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні, конкуренти на ринку з'явилися у 2012му році	Передбачається розвиток ринку шляхом заохочення до наших товарів	Цього не буде, адже, ми застосуємо абсолютно нову технологію компонування алгоритмів	Позбавлення конкуренції

В таблиці 4.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка

визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.14 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в якісному алгоритмі для обробки зображення, направленому в вузькоспеціалізованому колі відносно типу освітлення на програмного забезпечення	Комплексна перевірка алгоритму на високоякісній системі	Постійне вдосконалення алгоритмів обробки. Технічна підтримка та оновлення



Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Таблиця 4.16 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Алгоритм для цифрової обробки зображення. Сюди слід віднести спрощене подання алгоритму, підвищену швидкість розрахунків та постійне вдосконалення шляхом зниження кількості похибок		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін обслуговування	Нм	Е
	3. Унікальність виконання	Нм	Тх
	4. Вартість обслуговування	Нм	Вр
	Якість: відповідність потреб клієнтів		
Пакування: програмне забезпечення в електронному вигляді.			
Марка: Норе Dimension			
III. Товар із підкріпленням	До продажу споживачу надається базовий варіант програмного пакету для разового тестування		
	Після продажу споживач завдяки технічній підтримці отримує постійне оновлення алгоритму під затребувані цілі		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування коду (отримання сертифікату про інтелектуальну власність)			

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.17 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	38000-42000 грн.	38000-45000 грн.	Загальний прибуток фірми	34000-38000 грн.

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замітники, а також середній рівень доходів споживачів (загальний прибуток залежить від організації ринкового процесу фірми). За отриманими даними встановлена верхня та нижня межа на наш товар.

Таблиця 4.18 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Покупка товару один раз з діючою ліцензією на встановлений термін, продовження ліцензії після її закінчення шляхом оновлення програмного пакету	Відправлення пакету покупцю з відповідними інструкціями по застосуванню та налаштуванню	Канал збуту нульового рівня (виробник, який безпосередньо продає товар)	Мережа інтернет

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через мережу інтернет.

Таблиця 4.19 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук вирішення конкретних проблем, пов'язаних з використанням необхідного програмного забезпечення та типу освітлення цифрової системи	Мережа інтернет	Спеціалізовані сайти; технічні канали	Повідомити про наявність нового рішення більш вузьких проблем та наявність постійного оновлення	Необхідність в якійсь та кількість оцінці об'єктів цифрового зображення? Ми маємо рішення вашого завдання

Результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому

буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

#### 4.6 Висновки до стартап проекту

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що у даного проекту на даний момент є хороша можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. На ринку вже є присутні аналоги продукту, але бар'єр входження на ринок не є високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Вдосконалити систему комбінування алгоритмів;
- Організувати рекламну компанію;
- Перед продажем надавати тестові варіанти програмного забезпечення для того, щоб клієнт переконався в працездатності нашого товару;
- Працювати над покращенням продукту, постійно оновлюючи його.

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт. На сьогодні застосування нашого товару в інших напрямках не є виключенням, тому ми постійно працюємо над вдосконаленням системи та розширенням функціоналу.

## ВИСНОВКИ

В цій магістерській дисертації було розглянуто питання щодо доцільності використання різних типів освітлення та цифрових фільтрів для отримання найбільш точного результату при вимірюванні геометричного розміру об'єкту дослідження.

В першому розділі було проведено аналіз вже існуючих методів та алгоритмів цифрової обробки зображень та їх вплив на геометричний розмір об'єкту вимірювання. Також, проведено аналітичний огляд систем аналогів, які можна використовувати в таких цілях. В другому розділі було розглянуто оптико-електронну систему, визначення її основних вузлів та проаналізовані доцільність їх використання. В якості основних вузлів ОЕС виступають: оптична система, система освітлення, цифровий пристрій та програмне забезпечення. Проведено аналіз різних типів освітлення, визначення їх переваг та недоліків, а також, доцільність їх використання. Після цього було проведено налаштування оптико-електронної системи: налаштування оптичної системи, підготовка цифрового пристрою та встановлення програмного забезпечення.

В експериментальному розділі було проведено ряд досліджень, які стосуються перевірки впливу типу освітлення та застосуванні цифрових фільтрів та результат отримання геометричного розміру об'єкту дослідження. В результаті експерименту було виявлено, що світлодіодний тип освітлення найкращий чином впливає на результат, а саме, в порівнянні з іншими типами освітлення (галогенний, люмінесцентний тощо) відносна похибка зменшилася в 5 разів, а значення абсолютної похибки було мінімальним. Також, було перевірено застосування цифрових однакових цифрових фільтрів в різних програмних пакетах, та виявлено, що результат у всіх випадках відрізнявся. Найбільш точний результат було виявлено при використанні фільтру «Сделать резким» в програмі XpView (0.3% відносна похибка), а найгірший при використанні програмного пакету Gwyddion.

Отже, робимо висновок, що вибір програмного пакету відіграє одну з ключових ролей в отриманні точного результату вимірювання мікрометричних розмірів об'єктів. Використання одного фільтру в різних програмах по різному вплинуло на результат. Збільшилася точність, відповідно отримуємо меншу похибку вимірювання. Така ж ситуація виникає з використанням типу освітлення. В результаті експерименту зі світлодіодними лампами ми отримали значення 0,04116 м, при цьому, реальний розмір ширини штриха міри становить 0,04096 м (в перерахунку зі збільшенням 256). Отже, можна зробити висновок, що використання світлодіодів, в якості штучної системи освітлення, найкращим чином впливає на результат.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Колобородов В.Г. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптикоелектронних приладах / В.Г. Колобородов, К.В. Харитоненко // Вісник НТУУ “КПІ”. – К. : НТУУ “КПІ”, 2010. – Вип. 40. – С. 23–31.
2. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – С. 327- 350.
3. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2006. – 716 с.
4. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М. : Вильямс, 2004. – 928 с.
5. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Севастополь: Изд. СевГТУ, 1999. – 398 с.
6. Michael Ashikhmin, “A tone mapping algorithm for high contrast images,” in *Rendering Techniques 2002 (Proceedings of the Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering)*, June 2002.
7. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман, В. С. Киричук и др. – Новосибирск : НГТУ, 2002. – 352 с.
8. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
9. Deera Kundur. *Multiresolution Digital Watermarking: Algorithms and Implications for Multimedia*. 1999.
10. Грибунин В. Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
11. Kodak Truesense color filter improves on standard Bayer pattern // *Laser Focus World*.- Jan2010.
12. Пономаренко С. Пиксел и вектор. Принципы цифровой графики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.

13. Willard S. Boyle Nobel Lecture: CCD—An extension of man’s view (<http://dx.doi.org/10.1103/RevModPhys.82.2305>) (англ.) // Rev. Mod. Phys.. — 2010. — В. 3. — Т. 82. — С. 2305—2306.
14. Хорошко В.О., Азаров О.Д., Шелест М.Є., Яремчук Ю.Є. Основи комп’ютерної стеганографії: Навчальний посібник для студентів і аспірантів. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 143 с.
15. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 480 с.
16. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман, В. С. Киричук и др. – Новосибирск : НГТУ, 2002. – 352 с.
17. Резуненко А.А., Клименко К.С. Метод целочисленного арифметического кодирования видеоданных // Інформаційно-керуючі системи, Харків, УДАЗТ. – 2004. – № 2 (46). – С. 13–16.
18. Ватолин Д. Методы сжатия данных / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М. : Диалог-Мифи, 2002. – 384 с.
19. Методичні вказівки до виконання лабораторних, розрахунковографічної та самостійної робіт з дисципліни «Цифрова обробка зображень» (для студентів 5 курсу денної та заочної форм навчання спеціальності 7.08010105 – Геоінформаційні системи та технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : І. С. Творошенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 75 с.
20. Титов Д. В., Ширабакина Т. А. Модуль цифровой коррекции дисторсии изображения // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 2. С. 74—78.
21. R.C. Gonzalez, R.E. Woods. Digital Image Processing. – Prentice-Hall, Inc., 2002. – P. 793.
22. Merrill R.B. US Patent 5965875. Color separation in an active pixel cell imaging array using a triple-well structure. 1999.

23. Karol Myszkowski, Rafal Mantiuk, and Grzegorz Krawczyk, High Dynamic Range Video, Synthesis Digital Library of Engineering and Computer Science. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, USA, 2008
24. What is HDR? High dynamic range TVs and phones explained [Електрон. ресурс] : What is HDR? – 2018 – Режим доступу: <https://www.trustedreviews.com/opinion/hdr-tv-high-dynamic-television-explained-2927035>
25. Erik Reinhard, Greg Ward, Sumanta Pattanaik, and Paul Debevec, High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display and Image-Based Lighting, Morgan Kaufmann Publishers, Dec. 2005.
26. Michael Ashikhmin, “A tone mapping algorithm for high contrast images,” in Rendering Techniques 2002 (Proceedings of the Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering), June 2002.
27. Електронні системи [Електрон. ресурс] : оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку – Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskyj\\_elektronni\\_systemy/13\\_src/13\\_image003.gif](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskyj_elektronni_systemy/13_src/13_image003.gif)
28. Електронні системи [Електрон. ресурс] : оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку – Режим доступу: [http://posibnyky.vntu.edu.ua/e\\_s/13\\_src/13\\_image001.png](http://posibnyky.vntu.edu.ua/e_s/13_src/13_image001.png)
29. Сучасні мікроскопи [Електрон. ресурс] : Оптичний мікроскоп та цифрова мікроскопія – Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/articles-and-video/microscopes/>
30. Види мікроскопів [Електрон. ресурс] : Конструктивні особливості мікроскопа – Режим доступу: [https://chemtest.com.ua/ua/vidi\\_mikroskopov](https://chemtest.com.ua/ua/vidi_mikroskopov)
31. Будова мікроскопа [Електрон. ресурс] : Оптична система мікроскопа – Режим доступу: <https://opticalmarket.com.ua/ua/budova-mikroskopa.html>



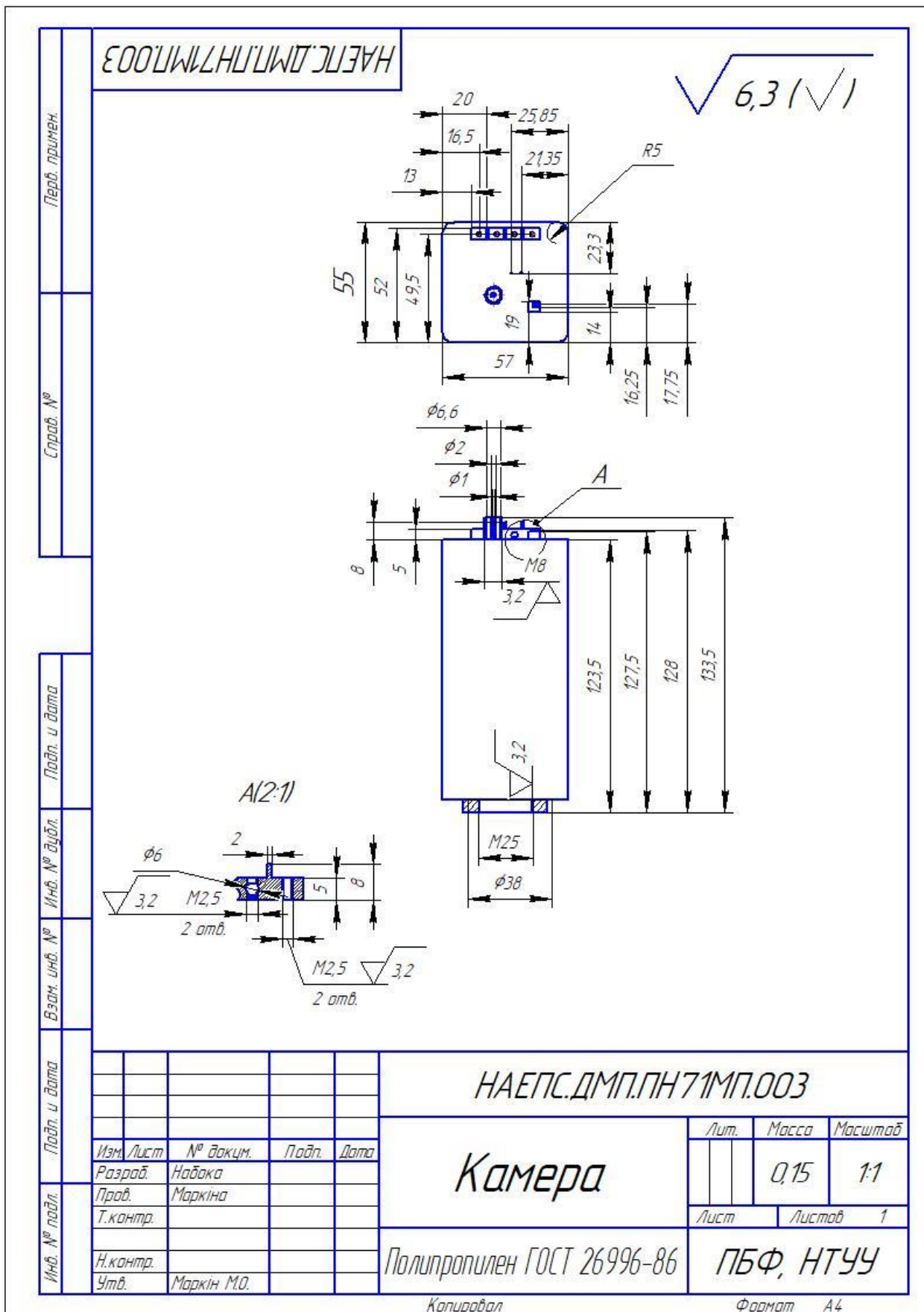
- 32.Правила роботи з світловим мікроскопом [Електрон. ресурс] : Схема будови світлового мікроскопа – Режим доступу: <https://studfiles.net/html/2706/1281/htmlPYNs61zo2.3OЕК/imgj9MjcN.jpg>
- 33.Микроскоп: строение и особенности применения [Електрон. ресурс] : Микроскоп: особенности эксплуатации – Режим доступу: <https://www.systopt.com.ua/ru/mykroskop-stroenye-y-osobennosty-prymenenyua/>
- 34.Сучасні мікроскопи [Електрон. ресурс] : Цифрова мікроскопія: принцип будови та особливості цифрового мікроскопу – Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/articles-and-video/microscopes/>
- 35.Будова мікроскопа [Електрон. ресурс] : Оптична система біологічного мікроскопу – Режим доступу: <https://opticalmarket.com.ua/ua/budova-mikroskopa.html>
- 36.Основные характеристики биологического микроскопа [Електрон. ресурс] : Биологический микроскоп – Режим доступу: [https://studopedia.su/4\\_28251\\_osnovnie-harakteristiki-mikroskopa.html](https://studopedia.su/4_28251_osnovnie-harakteristiki-mikroskopa.html)
- 37.Види і типи світлодіодів: класифікація, характеристики, призначення [Електрон. ресурс] : Що являють собою світлодіоди – Режим доступу: <https://goo.gl/6LKFKM>
- 38.Види і типи світлодіодів: класифікація, характеристики, призначення [Електрон. ресурс] : Класифікація та тип виконання світлодіодів: специфіка їх використання – Режим доступу: <https://goo.gl/6LKFKM>
- 39.Характеристика світлодіодів: споживання струму, напруга, потужність і світловіддача [Електрон. ресурс] : Характеристика СОВ світлодіодів – Режим доступу: <http://homediz.pp.ua/xarakteristiki-svitlodiodiv-spozhiwannya-strumu.html>
- 40.Преваги та недоліки світлодіодного освітлення [Електрон. ресурс] : Недоліки світлодіодного освітлення; Преваги світлодіодного освітлення – Режим доступу: [https://altaris.kh.ua/ua/publications\\_3](https://altaris.kh.ua/ua/publications_3)

41. Люмінесцентні лампи – технічні характеристики, переваги та недоліки [Електронний ресурс] : Технічні характеристики люмінесцентних ламп – Режим доступу: <https://goo.gl/isJYaY>
42. Металогалогенні лампи [Електронний ресурс] : Компактні (енергозберігаючі) галогенні лампи - Режим доступу: <https://goo.gl/mUXA1C>
43. Микроскопы биологические рабочие МБР-1 и МБР-1А Инструкция к пользованию [Електронний ресурс] : Настройка для работы с искусственным освещением - Режим доступу: <http://www.laboratorium.dp.ua/item/15/manual>
44. Методика настройки оптического микроскопа [Електронний ресурс] : Настройка для работы с искусственным освещением - Режим доступу: <http://www.laboratorium.dp.ua/item/15/manual>
45. Устройство микроскопа и правила работы с ним [Електронний ресурс]: Правила работы с микроскопом - Режим доступу: [http://e-lib.gasu.ru/eposobia/papina/malprak1/R\\_1\\_1.html](http://e-lib.gasu.ru/eposobia/papina/malprak1/R_1_1.html)
46. Руководство пользователя Gwyddion [Електронний ресурс]: Инструменты: наложение псевдоцвета, редактор цветовых градиентов - Режим доступу: <http://gwyddion.net/download/user-guide/gwyddion-user-guide-ru.pdf>
47. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій / І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 6 с.
48. Усе про світлодіоди [Електронний ресурс] : Усе про світлодіоди: історія відкриття, будова, технологія виготовлення, параметри, термін служби та ін. URL: [http://elektrotovary.te.ua/index.php?route=information/news&news\\_id=6](http://elektrotovary.te.ua/index.php?route=information/news&news_id=6)
49. Микроскопы биологические рабочие МБР-1 и МБР-1А

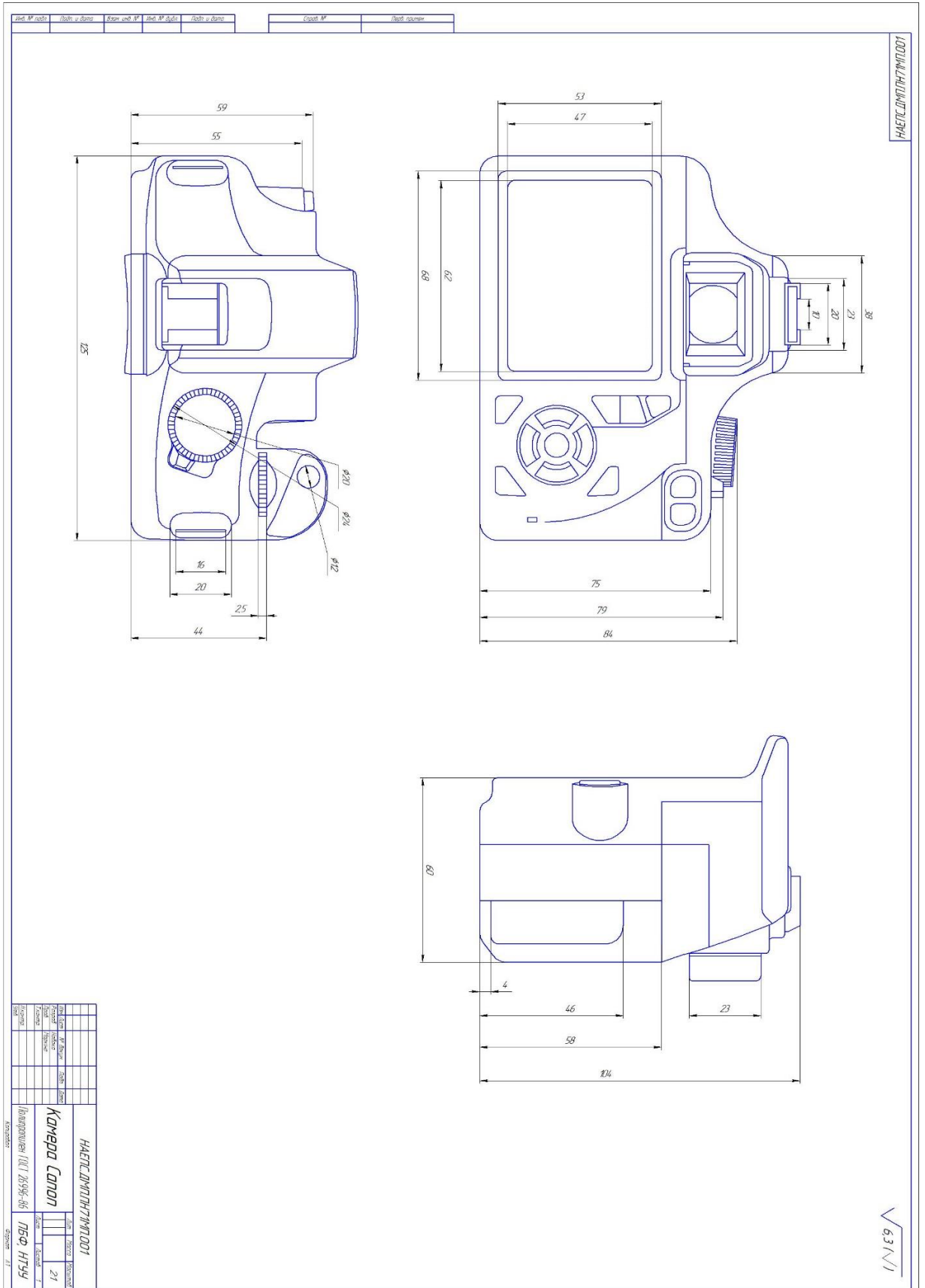
- Инструкция к пользованию [Электронный ресурс] : v. Методика работы. URL: <http://www.laboratorium.dp.ua/item/15/manual>
- 50.Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – С. 327- 350.
- 51.Маркіна О. М. Вплив поверхні об'єкта на вимірювання геометричних розмірів цифровою оптичною мікроскопією [Текст] / О. М. Маркіна, О. І. Сингаївська, В. П. Маслов, Н. В. Качур // Восточноевропейский журн. передовых технологий. – 2014. том 6/5 (72). – С. 59-64.
- 52.Маркіна О. М. Вимірювання лінійних розмірів за допомогою телевізійних інформаційно-вимірювальних систем [Текст] / О. М. Маркіна, В. А. Порєв, Ю. А. Агінський // Восточно-европейский журн. передовых технологий. – 2013. – №2/10 (62). – С. 59-62.
- 53.Olga M. Markina, Maksym O. Markin, Maryna V. Filippova, Damian Harasim, Kanat Mussabekov, Azamat Annabayev, "The peculiarity of the construction of an optical-electronic system for measurement of geometrical parameters of objects in the micrometer range", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104456B (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2280987

## ДОДАТКИ

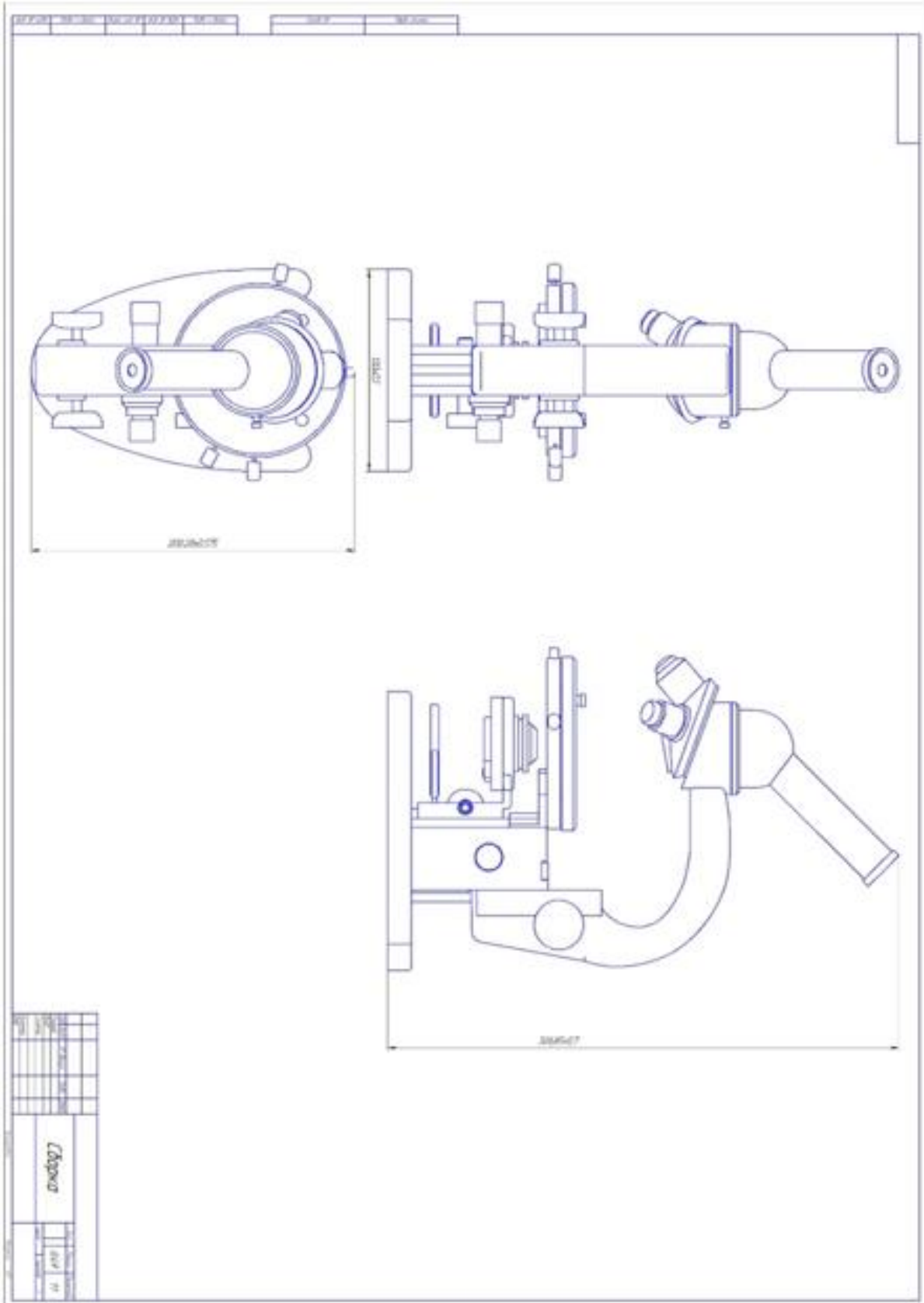
Додаток А



Додаток Б









Додаток Д

