

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

**«МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ КУТА
ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ»**

Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206,
спеціальності 153 - Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

МІ Давидюк М.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

ОС Осадчук В.С.
(прізвище та ініціали)

« 10 » ОБ 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

С Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

« 10 » ОБ 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

ОС д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » ОБ 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 153 - Мікро- та наносистемна техніка
Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

15 березня 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Давидюку Марку Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Мікроелектронний пристрій вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ»

керівник роботи Осадчук Володимир Степанович, д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11"03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 07 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Напруга живлення 5 В, точність вимірювання показника заломлення 10^{-7} ; інтерфейс послідовний RS-232 і USB; середній час напрацювання на відмову не менше 120000 год; час безвідмовної роботи не менше 70000 год.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд існуючих методів визначення кута заломлення оптичного променя. Розроблення мікроелектронного пристрою для вимірювання кута заломлення променя. Розробка математичної моделі та моделювання її параметрів вимірювача кута заломлення. Конструкторський розділ. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Вимірювальний перетворювач. Залежність відбивної здатності перетворювача для різних значень до $= 1, 3, 5$ при $N_1 = 1.34$. Залежність номера фотоприймача N_f від показника переломлення середовища. Функція перетворення для вибірових значень показника переломлення середовища: 1.34, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38. Структурна електрична схема. Схемне позначення АТМega64. Схемне позначення TSL1401. Топологія друкованої плати пристрою.

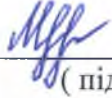
6. Консультанти розділів роботи

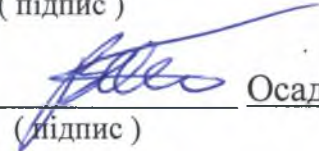
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор, професор каф. ІРТС Осадчук В.С.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 14.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-12.06.2024	

Студент  Давидюк М.І.
(підпис)

Керівник роботи  Осадчук В.С.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 681.121.4

Давидюк М. І. Мікроелектронний пристрій вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ. Бакалаврська дипломна робота – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 101 с. Українською мовою. Бібліогр.: 39 . назв; Рис.: 21.

У бакалаврській дипломній роботі розроблений оптоелектронний вимірювач кута заломлення поглинальних рідинних середовищ. Проведено огляд існуючих методів визначення показника заломлення. Також розроблена математична модель оптоелектронного вимірювача кута заломлення поглинальних середовищ. Здійснений аналіз вже існуючих аналогів та прототипів, Проводиться розробка електричної принципової схеми, трасування друкованої плати. Обраний метод конструювання друкованої плати, виконаний розрахунок теплового режиму роботи пристрою, механічної міцності друкованої плати, надійності пристрою та інші конструкторські розрахунки. Здійснено комп'ютерне схемотехнічне моделювання мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Ключові слова: мікроелектронний пристрій, кут заломлення, оптичний промінь, рідинне середовище.

ABSTRACT

Davydiuk M. I. Microelectronic device for measuring the angle of refraction of an optical beam of liquid fluids. Bachelor's thesis - Vinnytsia: VNTU, 2024. 101 p. In Ukrainian. Bibliography: 39. titles; Figures: 21.

In the bachelor's thesis, an optoelectronic refractive index meter for absorbing liquid media was developed. A review of existing methods for determining the refractive index was conducted. A mathematical model of an optoelectronic refractive index meter for absorbing media was also developed. The analysis of existing analogues and prototypes is carried out, the development of an electrical circuit diagram and PCB tracing is carried out. The method of designing the printed circuit board was chosen, the thermal mode of operation of the device, the mechanical strength of the printed circuit board, the reliability of the device and other design calculations were performed. Computer circuit modelling of a microelectronic device for measuring the angle of refraction of an optical beam of liquid media is carried out.

Keywords: microelectronic device, refractive angle, optical beam, liquid medium.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ	8
1.1 Методи визначення показника заломлення поглинаючих середовищ	8
1.2 Галузь використання оптоелектронного вимірювача кута заломлення, мета розробки	23
2 РОЗРОБЛЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ ПРОМЕНЯ.....	25
2.1 Вибір і обґрунтування аналогів вимірювача кута заломлення	25
2.2 Вибір прототипів оптоелектронного вимірювача кута заломлення	25
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЧА КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ.....	31
3.1 Розробка математичної моделі оптоелектронного вимірювача кута заломлення.....	31
4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	41
4.1 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації оптоелектронного вимірювача кута заломлення.....	41
4.2 Попередній аналіз і розробка схеми.....	43
4.3 Конструкторські розрахунки.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	77
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	77
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	81
5.3 Пожежна безпека.....	86
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	94
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	100

ВСТУП

Актуальність теми. За останні десятиліття в області оптики було досягнуто значних успіхів, і вона справедливо названа наукою XXI століття. Розвиток оптичної науки і техніки на сучасному етапі принципово створив нове покоління джерел випромінювання, оптичних матеріалів і компонентів, приймачів випромінювання, систем передачі й обробки оптичної інформації. Створив нові напрямки в оптиці: інтегральна оптика, волоконна оптика, градієнтна оптика та нелінійна оптика, мікронанооптика, оптоелектроніка та ін.

Характерною рисою розвитку сучасної оптики стає активне впровадження досягнень фундаментальної науки в практичні розробки. Яскравим прикладом є інформаційні технології, перспективи розвитку яких ґрунтуються на оптичних принципах представлення, передачі, обробки і збереження інформації [19].

Вимірювання кута заломлення для визначення показника заломлення рідини або газу є важливим параметром у таких галузях як гірничодобувна промисловість, металургійна промисловість, харчова промисловість, хімічна та інші. Отже мікропроцесорний прилад вимірювання кута заломлення має широку галузь застосувань.

У зв'язку зі швидким прогресом науки і техніки в наш час часто виникають такі проблеми, як підвищення точності вимірювань і зменшення вартості і розмірів вимірювальних приладів. Ці проблеми можна вирішити шляхом впровадження новітніх технологій і розробок у сфері вимірювальної техніки. Тому постійна модернізація засобів вимірювальної техніки є неминучою вимогою подальшого розвитку науки і техніки.

Проблема вимірювання кута заломлення в наш час є досить актуальною у різних галузях промисловості, таких як: оптика, медицина, металургія, гірничодобувна, харчова та інші.

Метою роботи є розроблення та дослідження мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ, що технологічно сумісний з мікросистемною технікою.

Об'єктом дослідження є процес перетворення енергії інформаційних сигналів в мікроелектронному пристрої вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Предмет дослідження – частотні і часові параметри інформаційних сигналів мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Для досягнення зазначеної мети в бакалаврській дипломній роботі вирішені такі задачі:

- проаналізовано сучасні досягнення;
- розроблено електричну схему пристрою;
- здійснено комп'ютерне моделювання схеми;
- побудована топологію розробленої схеми пристрою;
- виконані розрахунки надійності розробленої схеми пристрою;
- виконане комп'ютерне схемотехнічне моделювання.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні теорії комп'ютерного моделювання мікроелектронних пристроїв; рівнянь математичної фізики; теорії розрахунку нелінійних електричних кіл; основних положень теорії функції комплексної змінної.

Наукова новизна результатів роботи

Отримав подальший розвиток оптоелектронний метод побудови пристроїв вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Практичне значення результатів роботи

Нова електрична схема та конструкція мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Структура і обсяг роботи. Робота має вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел, додатки.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ ПОГЛИНАЛЬНИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ

1.1 Методи визначення показника заломлення поглинальних середовищ

Існує два основних методи визначення показника заломлення поглинаючого середовища: інтерференційний і заломлення. Методи вимірювання рефракції включають метод призми, метод граничного кута, рефрактометр типу Пуліха та рефрактометр типу Аббе.

1.1.1 Метод призми

Високоякісні гоніометри загального призначення є дорогим обладнанням, яке потребує кваліфікованого обслуговування, і коли потрібна максимальна точність і неважливо витратити багато часу, для вимірювань можна використовувати призмений метод. Для великої кількості повсякденних вимірювань, а також для деяких особливих випадків із застосуванням призмових методів (робота при високих температурах, використання малих кількостей рідини тощо) були розроблені більш прості й дешеві прилади спеціальної конструкції, але не настільки універсальні; у цьому розділі описано деякі з них.

1.1.2 Рефрактометр Hilger Opportunity

Контроль виробництва сучасних оптичних стекол вимагає вимірювання показника заломлення з точністю до кількох одиниць п'ятого символу. Оскільки точність вимірювання гоніометрів дуже висока, грані призм повинні бути ретельно та остаточно відполіровані. Завдання швидкого вимірювання показника заломлення скла з точністю $1 \cdot 10^{-5}$ в різних країнах вирішується по-різному. Для цього відома британська компанія Chance and Hilger створила спеціальний рефрактометр на основі системи призм, що відхиляють світло.

Основною частиною пристрою є V-подібний призматичний блок, що складається з двох призм 45-90-45 градусів, які ретельно відполіровані та розміщені в оптичному контакті. Прямокутна порожнина, утворена цими призмами, містить зразок, який повинен мати дві майже перпендикулярні грані. Краї зразка попередньо змочують краплею контактної рідини, показник заломлення якої дуже близький до виміряного показника заломлення зразка. Рідина заповнює нерівності на поверхні зразка та клиноподібний простір між поверхнею зразка та призмою, що виникає, коли кут заломлення зразка відхиляється від прямого кута. Тому немає необхідності полірувати зразок і точно вимірювати кут між його гранями, що значно спрощує і прискорює вимірювання. Розрахунки показують, що зменшення різниці показників заломлення контактної рідини та зразка до 0,02 забезпечує точність вимірювання показника заломлення 1-10-5 кута заломлення зразка від прямої до 0,5'.

Точні вимірювання можна проводити навіть із значно більшими допусками на кути заломлення, але лише за умови більш точного узгодження показників заломлення рідини та зразка. Навіть у граничному випадку, коли зразок відхиляється від прямокутної форми на 1° , точність 1-10 -5 може бути досягнута, якщо показник заломлення зразка та контактної рідини збігаються на кілька одиниць.

Зразок разом із призмами блоку утворюють систему призм.

Подібне обладнання використовуватиметься в США для контролю оптичного скла [19].

Рефрактометр Hilger-Chance також може вимірювати показник заломлення рідин, для чого є спеціальна кювета, яка являє собою згаданий вище блок, оснащений бічними стінками та встановлений у порожній металевій гільзі, яка з'єднана з циркуляційним термостатом. Конструкцію термостатичної сорочки, нещільно з'єднаної з кюветою, не можна вважати вдалою, тому для точного вимірювання показника заломлення рідини працівнику може знадобитися термостатувати приміщення. Перевага цього типу рефрактометра полягає в тому, що його можна використовувати з рідинами з високим показником заломлення,

показник заломлення яких виходить за межі шкали більш поширених рефрактометрів із крайнім кутом.

Сучасні рефрактометри Pulfrich оснащені V-подібними блоками призм і змінними коліматорами, які при встановленні дозволяють скористатися всіма перевагами рефрактометра Hilger-Chance.

1.1.3 Рефрактометр Джелі

Мікрорефрактометр Gree є, ймовірно, найпростішим і найдешевшим рефрактометром. Цей прилад може вимірювати показник заломлення дуже малих кількостей рідини (менше 10^{-4} моль) і може бути виготовлений у будь-якій лабораторії [21]. Спочатку ця конструкція була призначена для вимірювання показника заломлення рідин у варіанті методу, але простота та зручність використання пристрою надали йому досить широкий спектр застосувань, у мікроаналізі органічних речовин, а також у виробництві та фармацевтиці. лабораторії, точність вимірювань яких становить рівень 10^{-3} .

Мікрокрапля рідини міститься в мікрокюветі, утвореній натисканням накривного скла (товщиною 0,2 мм) на невелику скляну пластинку, один край якої нахилений під кутом 45° . Поліровані краї покривного скла з рідким покриттям створять систему з двох 45-градусних призм, описану в пункті 3. Кювету встановлюють перед невеликим отвором в непрозорому екрані, а за екраном (на відстані близько 30 см) розташована вертикальна шкала з горизонтальною щілиною і яскравим освітленням за нею. При спостереженні через мікрокювету, наповнену рідиною, зображення щілини здається рухомим уздовж масштабної шкали в залежності від співвідношення показників заломлення покривного скла N до досліджуваної рідини. Показник заломлення наноситься безпосередньо на шкалу, яка розраховується за формулою, а відхилення відбивача незначне, виправляючи його плоскопаралельною пластиною на достатньо великій відстані від шкали у разі самостійного виготовлення приладу рідку шкалу можна відкалібрувати емпірично (навіть краще).

На рефрактометрі гель добре працює під білим світлом; зображення щілини розмивається в спектрі, але використовуючи жовтий колір як еталон, не легко оцінити з точністю 10-3. Також можна використовувати оптичні фільтри.

Рефрактометр Jelli оснащений спеціальним електронагрівальним пристроєм, який може одночасно вимірювати температуру плавлення та показник заломлення в слідових кількостях, що дуже зручно для ідентифікації органічних речовин.

1.1.4 Рефрактометр типу Пульфіха

Рефрактометр Пульфіха є одним із основних приладів, який використовувався з кінця 11-го століття для вивчення та моніторингу виробництва оптичного скла в галузі хімічного застосування рефрактометрії.

Особливістю рефрактометра Pulfridge є використання джерела світла з лінійчатим спектром і вимірювальної призми з кутом заломлення 90° .

Для вимірювання показника заломлення рідини до входної (верхньої) грані призми приклеюють скляну чашку і наливають у неї досліджувану рідину. Край верхньої поверхні призми відшліфований до сферичної поверхні, так що поверхня падіння має круглу форму з радіусом, трохи меншим за внутрішній радіус чашки. Нижня частина корпусу чашки також має сферичну поверхню, яка відшліфована на сферичній поверхні призми. У цій конструкції призма та кювета ковзають вздовж входної поверхні променя та проходять над місцем з'єднання кювети, не спотворюючись клейовим шаром.

Прилад для вимірювання кута ρ складається з оглядового тубуса і мікроскопа з лінзою оглядового тубуса, щільно приєднаного до краю скла в корпусі приладу.

Взаємне розташування спектральних смуг залежить від співвідношення значень дисперсії вимірюваної речовини і скла призми. Чим більше вони відрізняються, тим більша видима відстань між смугами.

1.1.5 Рефрактометр Аббе

Цей тип рефрактометрів був створений понад сто років тому і завдяки геніальним конструктивним рішенням значно спростив техніку вимірювання та відкрив можливості широкого застосування рефрактометрів і залишається найпоширенішим на сьогодні [1].

Рефрактометр Аббе характеризується розташуванням вимірювальної призми, додатковою так званою освітлювальною призмою, використанням її для вимірювання «білого» (денного або штучного) світла і структурою шкали. Прилад має вимірювальну призму з важкого кременю з кутом заломлення приблизно 60° . Краплю вимірюваної рідини поміщають на гіпотенузну (вхідну) поверхню призми і стискають допоміжною (освітлювальною) призмою, щоб зберегти дуже тонкий шар (0,1-0,2 мм) між гіпотенузними поверхнями двох призм. Рідина. Світло потрапляє на допоміжну призму, потрапляє в рідину, заломлюється на межі з повітрям і потрапляє в світловід. Д. Дев'ять. 1 видно, що при такому способі освітлення рідини не вдається отримати промінь світла, який ковзає строго по вхідній грані вимірювальної призми. Однак, оскільки шар рідини дуже тонкий, граничні пучки, що спостерігаються в таких системах, у необхідних межах точності відповідають пучкам повного внутрішнього відбиття.

Скошений край освітлювальної призми виконаний матовим, щоб спостереженню межової лінії не заважало зображення предметів, які знаходяться близько до джерела світла і випадково потрапляють в поле зору тубуса об'єктива. Тип скла і кут освітлювальної призми не важливі.

Вимірювальна і освітлювальна призми встановлені в порожніх металевих сорочках (камерах), через які може циркулювати вода. Зовнішня поверхня камери, що контактує з вимірюваною рідиною, має антикорозійне покриття (нікель, золото). Камери шарнірно з'єднані між собою, утворюючи призматичний блок – найважливішу частину рефрактометра Аббе. Продумана конструкція призмового блоку Аббе забезпечує точні зміни та є надійною для відносно невеликих кількостей рідини (0,05 моль).

Іншою відмінною рисою рефрактометра Аббе є його використання для вимірювання білого світла. Дивлячись на повне внутрішнє відбиття під білим світлом, через дисперсію ви отримуєте розмиті райдужні спектральні смуги замість чітких кордонів між світлим і темним. Для усунення цього ефекту використовують компенсатор дисперсії, встановлений перед окуляром.

Шкала рефрактометра Аббе виражається безпосередньо через значення показника заломлення n_D . Тому ніяких розрахунків не потрібно, а весь процес вимірювання займає лише кілька хвилин. У сучасних моделях шкала проектується в поле зору труби і видна одночасно з граничною лінією повного внутрішнього відбиття.

1.1.6 Основні методи інтерферометрії

Серед інтерференційних приладів, що використовуються в хімічних лабораторіях, найбільше поширення набули інтерферометри Релея. У цих інтерферометрах, призначених для точного вимірювання невеликих відмінностей у показниках заломлення рідин і газів, використовується явище дифракції Фраунгофера, про яке йшлося вище. Особливістю інтерферометрів типу Релея є можливість реалізації системи другої інтерференційної смуги, яка служить еталоном для вимірювання зсуву основної інтерференційної смуги.

Завдяки використанню еталонних смужок зменшується вплив механічних деформацій обладнання та підвищується точність вимірювання. Іншою особливістю інтерферометрів типу Релея, пов'язаною з використанням дифракції Фраунгофера, є необхідність використання менших відстаней між щілинами, як виявляється, між кюветами з порівняльними речовинами. Тому при відстані щілини 15 мм, фокусній відстані 200 мм і довжині хвилі 600 нм ширина інтерференційної смуги становить лише 0,008 мм. Щоб забезпечити таку вузьку смугу, необхідно використовувати дуже вузький вхідний зазор.

Близькість кювети до речовини для порівняння зручна для звичайних аналітичних застосувань інтерферометра, але її не можна використовувати зі

схемою Релея, коли кювета повинна мати іншу температуру або коли температура кювети відрізняється від стандартної. речовина. Експериментальні умови не можна розташовувати поруч із досліджуваною речовиною. У цьому випадку використовується інтерферометр типу Джармана, який характеризується значно більшим розрідженням когерентного пучка і високою яскравістю інтерференційних смуг. У вентильному інтерферометрі роздвоєння потоку пучка здійснюється за допомогою ідеально паралельних пластин 1 з однорідного оптичного скла. Диференціал надлишкового ходу змінюється залежно від нахилу балки. Коли джерело світла в полі зору розширюється, з'являється серія рівномірних смуг з однаковим нахилом.

Під монохроматичним світлом однаково видно смуги низького і високого порядку. Їх ширина збільшується в міру зменшення кута між пластинами. У білому світлі можна розрізнити ахроматичні смуги і кілька максимумів першого порядку. Однак значне розрідження інтерференційного променя в інтерферометрі Заміна вимагає використання дуже товстих пластин з надзвичайно високою оптичною однорідністю та обробки з найвищою точністю, чого важко досягти на практиці. Інтерферометр Маха-Цендера досягає значного розділення інтерферуючих променів за схемою, подібною до інтерферометра Ярмена, але замінює кожен товсту плоскопаралельну пластину комбінацією напівпрозорої пластини та плоского дзеркала. У ситуаціях, коли потрібне значне видалення заважаючих променів, наприклад, дослідження однорідності більших скляних пластин, нагрітих або сильно охолоджених об'єктів, спостереження конвективних потоків повітря, кювет з порівняльними речовинами тощо, зручний інтерферометр Майкельсона.

Велике розведення інтерферуючих променів у схемі Майкельсона також має позитивні якості, але призводить до деяких труднощів проектування, оскільки пристрій стає чутливим до вібрації, механічних і температурних деформацій. Якщо кювету знімати не потрібно, інтерференційні пучки можна зробити паралельними і зблизити за допомогою додаткових дзеркал. Така схема реалізована, наприклад, в лабораторному інтерферометрі фірми Кіндер [3].

Переміщення інтерференційних смуг відбувається внаслідок проходження світла через комірки кювети, що містить речовину порівняння, і може бути виміряно різними способами:

1. Коли смуга поступово переміщується внаслідок зміни стану (концентрації, температури або тиску) однієї з речовин, можна безпосередньо розглянути смугу (монохроматичне світло), що проходить через позначку (хрестик) в окулярі.

2. Вимірювання зсуву смуги можна здійснити, змінивши нахил однієї з пластин (або допоміжної призми) за допомогою мікрометричного гвинта для повернення інтерференційної картини в нульове (початкове) положення. У цьому випадку нульову смугу ідентифікують за відсутністю кольорової рамки (при білому світлі) і відзначають її положення на шкалі мікрометра, а кількість смуг підраховують, повільно обертаючи мікрометр від початку в монохроматичному світлі до іншої частини його шкали, що відповідає положенню безбарвної смуги.

3. Поверніть інтерференційну картину у вихідне положення. Вимірювання зміщення смуги досягається спеціальними компенсаторами, які створюють різницю в траєкторії променів.

4. Можна виміряти шляхом безпосереднього зчитування зсуву інтерференційної картини на шкалі в межах поля зору пристрою.

1.1.7 Визначення показника заломлення методом граничного кута

Величина граничного кута на межі розділу двох речовин залежить тільки від показника заломлення цих речовин. Отже, якщо відомий показник заломлення однієї речовини, показник заломлення іншої речовини можна визначити, вимірявши граничний кут φ

$$n_1 = n_2 \cdot \sin \varphi, \quad (1.1)$$

Зручність цього способу полягає в тому, що потрібне вимір тільки одного кута, а досліджуваному тілу не треба надавати строго певну геометричну форму, тому що для спостереження повного внутрішнього відбиття істотно лише наявність плоскої границі роздязнула.

Визначення показника заломлення шляхом вимірювання граничних кутів, очевидно, вперше використав Волластон на початку 11 століття. З кінця XI століття, з появою зручних конструкцій спеціальних рефрактометрів, метод граничного кута отримав широке застосування і в даний час є найважливішим методом вимірювання показника заломлення в хімічних застосуваннях рефрактометрії.

Важливою частиною більшості рефрактометрів, заснованих на визначенні граничних кутів, є вимірювальна призма з оптичного скла, показник заломлення якої точно відомий. Одна грань вимірювальної призми (так звана вхідна грань) знаходиться в оптичному контакті. Вимірюваний об'єкт служить межею розділу, на якій відбувається заломлення і повне внутрішнє відбиття. Спостерігайте за заломленням або відбиттям світла на цій грані, як правило, через другу (вихідну) грань призми в світлову трубу.

Як було сказано вище, кут α між вхідною поверхнею і вихідною поверхнею називається кутом заломлення призми. Світловий промінь, що відповідає граничному куту, і граничний промінь утворюють певний кут з нормаллю початкової поверхні після заломлення на межі призма-скло-повітря. При дослідженні променя світла, що виходить із призми, близької до граничної, поле зору труби ділиться на світлу частину і темну частину, межі яких відповідають граничному променю.

Різні типи крайніх кутових рефрактометрів відрізняються вимірюванням кута заломлення призми, величиною показника заломлення, конструкцією приладу для вимірювання кутів і використанням джерелом світла. Кожен гранично-променевий рефрактометр придатний тільки для вимірювання показника заломлення в певних межах його значення і не є в цьому відношенні абсолютно універсальним приладом. Верхня межа вимірюваного показника заломлення n за-

лежить від показника заломлення скла вимірювальної призми N . З того, що показано на рисунку 1, неважко побачити, що VII.3 Метод спостереження граничного променя повинен задовольняти нерівність $n < N$, тобто вимірний показник заломлення має бути меншим за показник заломлення вимірювальної призми. . Нижня межа вимірювання n залежить від конструкції приладу (кута α , розміру призми, кутомірного приладу).

Як слідує з викладеного, у методі граничного кута вимірюється не безпосередньо кут φ , а лише кут β між граничним променем і нормаллю до вихідної грані. Розглядаючи заломлення крайніх променів на поверхні призми, неважко отримати формулу, що зв'язує кут з показником заломлення n досліджуваної речовини. Для повного внутрішнього відбиття на вхідній поверхні маємо таке співвідношення

$$\sin \varphi = \frac{n}{N}, \quad (1.2)$$

Для об'єктивної реєстрації положення межі світлотінь при вимірюванні граничних кутів запропоновано спеціальний оптико-електронний прилад, який може вимірювати показник заломлення з похибкою 10^{-6} не тільки у видимому світлі, а й у ближньому. інфрачервона область спектра. Для досягнення точної оптико-електронної реєстрації необхідно враховувати кривизну межі повного внутрішнього відбиття.

1.1.8 Типи методів граничного кута

Наведений спосіб спостереження повного внутрішнього відбиття на площині прозорої призми є основним варіантом методу крайового кута. Цей метод використовується в більшості конструкцій рефрактометрів для вимірювання показника заломлення рідин і ізотропних твердих тіл. Однак рефрактометри з крайнім кутом зі скляними призмами незручні для вимірювань при надзвичайно високих або низьких температурах. Цей тип рефрактометра також незручний

для вимірювання показника заломлення анізотропних кристалів і для роботи в невидимій області спектра.

При розгляді граничних кутів на плоских призмах виявилося неможливим побудувати великомасштабний пристрій з рівномірними шкалами показника заломлення, який був би ідеальним для підвищення точності обчислень і вимірювання градієнтів показника заломлення. Тому, перш ніж детально пояснювати техніку вимірювання рефрактометром у наступних розділах, варто розглянути деякі інші варіанти методу граничного кута, що використовується в окремих випадках.

1.1.9 Спосіб скляної півсфери

У цьому варіанті методу граничного кута світло заломлюється: не на поверхні призми, а на поверхні скляної півсфери з високим показником заломлення. Випробуваний об'єкт знаходиться в оптичному контакті з плоскою поверхнею півсфери та освітлюється пучком світла, що ковзає по поверхні. Межа між світлою і темною частинами поля зору, що спостерігається через світлову трубу, відповідає граничному світлу, заломленому в центрі півкулі. Радіальні промені від центра півкулі не заломлюються на сфері, тому прилад транспортира дозволяє безпосередньо визначити граничний кут рівняння. Показник заломлення досліджуваної речовини розраховують за найпростішою формулою, для якої необхідно знати показник заломлення складених півкуль.

Умова радіального огляду граничного променя вимагає, щоб вісь обертання світлопровода проходила точно через центр півсфери. З цим пов'язаний той факт, що необхідні спеціальні (досить складні) налаштування півсфери, що робить метод менш зручним, ніж метод призми, для точних вимірювань. Однак півкулі мають одну перевагу перед призмами, дуже істотну при вимірюванні показника заломлення анізотропних тіл. Перевагою цього є можливість змінювати положення досліджуваного об'єкта відносно падаючих на нього світлових променів шляхом обертання півсфери навколо вертикальної осі АВ.

При вимірюванні показника заломлення анізотропних кристалів необхідна певна орієнтація по відношенню до світлових променів. Тому напівсферичний метод широко використовується в різних моделях так званих кристалічних рефрактометрів, що використовуються для мінералогічних і кристалографічних досліджень.

1.1.10 Спосіб призми із циліндричною гранню

Ці роботи демонструють переваги, які можна отримати, спостерігаючи повне внутрішнє відбивання на немодифікованих циліндричних поверхнях. Пряма кутна призма, гіпотенуза якої є увігнутою циліндричною поверхнею радіуса r , контактує з рідиною p , якщо поверхня призми та рідини виставлені через площину та спостерігаються. Інший спостерігає межу повного внутрішнього відбивання, положення якої визначається формою призми і величиною граничного кута. Використовуйте букву S , щоб позначити відстань від граничної лінії повного внутрішнього відбиття на циліндричній поверхні призми до площини, що проходить через вісь O циліндра і перпендикулярна до вихідної поверхні призми, ми можемо отримати

$$\frac{S}{r} = \sin \varphi, \quad (1.3)$$

або, беручи до уваги

$$n = \frac{SN}{r} = \text{const } S. \quad (1.4)$$

Щоб досягти максимальної точності, межа огляду збільшується за допомогою системи лінз, а коліматор використовується для створення освітлення через циліндричну вхідну поверхню. У таких кюветах можна безпосередньо вивчати дифузію та інші процеси, що призводять до градієнта показника заломлення вздовж осі циліндричної поверхні.

Призми з увігнутими циліндричними поверхнями можна вставляти в стінки труб і використовувати як датчики проточного рефрактометра, не порушуючи потік рідин.

1.1.11 Спосіб плоскопаралельних пластинок

Приблизно в той самий час, коли з'явилися перші рефрактометри, Відеманн запропонував простий метод вимірювання крайніх кутів на границях за допомогою повітря, а не скла вимірювальної призми (або півсфери), як у згаданому вище пристрої. Дві прозорі плоскопаралельні пластини A1 і A2 склеєні по краях так, що між ними є тонкий шар повітря В. Занурити обидві пластини в рідину в посудині з вікнами O1 і O2. Пластини можна обертати в рідині навколо вертикальної осі, перпендикулярної до площини, і вимірюють кут повороту. Якщо спостерігати паралельний промінь світла через ємність з рідиною і обертати пластину, то на межі з шаром повітря під певним кутом повороту виникне повне внутрішнє відбивання. У цей момент у полі зору буде видно межа між темним і світлим полем, відповідна крайовим променям. Різкість межі між світлом і тінню залежить від товщини повітряного прошарку, яку підбирають дослідним шляхом, поміщаючи між краями пластин листи слюди або фольги необхідної товщини.

Коли промінь світла падає з рідини з показником заломлення n під кутом i на пластину з показником заломлення N , він заломлюється спочатку на межі з рідиною, а потім на межі з шаром повітря. Відповідно до закону заломлення світла спостерігайте за співвідношенням між пластиною та рідиною

$$n \cdot \sin i = N \cdot \sin i_1, \quad (1.5)$$

а на границі з повітряним прошарком

$$N \cdot \sin i_1 = \sin i_2, \quad (1.6)$$

звідки

$$n \cdot \sin i = \sin i_2, \quad (1.7)$$

Для граничного променя $i_2 = 90^\circ$ й $\sin i_2 = 1$, отже

$$n = \frac{1}{\sin i_{\text{ПРЕД}}}. \quad (1.8)$$

Отже, знаючи кут u , під яким відбувається повне відбивання, можна визначити показник заломлення рідини. На практиці кут повороту пластини вимірюється від одного положення повного відбиття до іншого, де нормаль до верхньої пластини складатиме той самий кут, що й падаючий промінь, але буде нахилена в протилежний бік. Цей кут повороту може бути довшим

$$n = \frac{1}{\sin \frac{\theta}{2}} = \operatorname{cosec} \frac{\theta}{2}, \quad (1.9)$$

Важливою особливістю методу Відмана є те, що показник заломлення N пластини може залишатися невідомим і розмір пластини не відіграє важливої ролі.

Повітряний проміжок між пластинами може бути вакуумованим, що дозволяє безпосередньо вимірювати абсолютний показник заломлення. Завдяки цим властивостям метод плоскопаралельних пластин полегшує абсолютні вимірювання в широкому діапазоні температур і довжин хвиль. Метод Відмана особливо корисний для визначення показника заломлення зріджених газів. Його також використовуватимуть у рефрактометрах для текстильних волокон. Згідно з вимірюваннями Відмана, потрібна відносно велика кількість досліджуваної рідини, що є недоліком цього методу.

1.1.12 Вимір малих різниць показників заломлення рідин по Гальваку

Сучасні рефрактометри зі скляними призмами вимірюють показник заломлення з точністю не більше кількох одиниць 10^{-5} . Однак точність вимірювання

невеликих відмінностей у показниках заломлення рідин, таких як розведені розчини та розчинники, можна значно підвищити, якщо використовувати варіант методу граничного кута, запропонований Galvaks.

У методі Гальвакс рідину порівняння поміщають у відсіки кювети. Перегородка кювети 1 і одна зі стінок 2 виконані з плоскопаралельних пластин і розташовані строго перпендикулярно одна одній. Інші стінки кювети зроблені з простого дзеркального скла. Кювету встановлюють на платформу гоніометра і освітлюють монохроматичним світлом, завдяки чому вона ковзає по перегородці з боку рідини з меншим показником заломлення. У цьому випадку розділення кювети з рідиною з вищою заломленням ($n > n_0$) виконує роль вимірювальної призми з кутом заломлення $\alpha = 90^\circ$. Кут виходу граничного променя вимірюють гоніометром.

Для розглянутого випадку основна формула приймає вигляд

$$n_0 = \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}, \quad (1.10)$$

Беручи до уваги, що у випадку, який нас цікавить, різниця $n - n_0$ мала й, тоді співвідношення можна перетворити так

$$n - n_0 = \sin^2 \frac{\beta}{2n_0}, \quad (1.11)$$

Точність вимірювання різниці $n - n_0$ визначити можна точністю виміру кута $n_0 \approx n$ відповідно до формули

$$\Delta n = \frac{\sin \beta \cdot \cos \beta}{n_0} \Delta \beta, \quad (1.12)$$

Якщо врахувати, що кут β неважко виміряти з точністю до $0,1'$, то легко помітити, що методом Гальвакса можна вимірювати невеликі відмінності показника заломлення ($< 0,01$) з точністю до кількох одиниць показника заломлення. Шостий знак (10-6). Однак слід пам'ятати, що для забезпечення такої точності температура повинна бути рівною в усіх частинах кювети. Крім того, зі зме-

ншенням кута умови спостереження граничного променя стають все більш несприятливими, зменшується чіткість межі та точність її візуалізації.

1.2 Галузь використання оптоелектронного вимірювача кута заломлення, мета розробки

Реальність предмета. Збереження енергетичних ресурсів є одним із стратегічних завдань моєї країни. Зі збільшенням виснаження запасів енергоносіїв, таких як природний газ і нафта, енергозбереження стало головним пріоритетом у вітчизняній практиці.

Проведення досліджень, пов'язаних з контролем якості різних рідин для будь-яких цілей і застосувань, відіграє дуже важливу роль для країни і особливо для її економіки, тому що, контролюючи якість різних рідин, масел або питної води, ми можемо контролювати якість виробництва та якість продукції, що надходить Ринок

В даний час, крім рідинних калориметрів і денситометрів, тисячі хроматографічних вимірювальних приладів (лабораторних і пересувних рідинних хроматографів) використовуються промисловими і науковими організаціями країни з метою визначення складу природних рідин і подальшого розрахунку основних фізичних властивостей. (об'ємна теплота згоряння, густина тощо).

Переважає більшість лабораторних хроматографів, що використовуються для контролю показників якості різних видів рідин, є загальновимірювальними приладами, тобто такими приладами, які не мають аналітичного завдання, визначеного ні в нормативно-технічних документах на момент виробництва, ні в найменуванні. і склад компонентів, що підлягають вимірюванню Діапазон розміру вмісту.

Крім того, в нормативно-технічній документації таких приладів не враховується характеристика похибки вимірювання вмісту інгредієнтів, яка враховує випадкову та систематичну складові похибки і в кінцевому підсумку не враховує похибку. характеристика вмісту інгредієнтів. Дозволяє правильно оцінити

похибки визначення основних фізичних властивостей природних рідин обчислювальними методами.

Тому актуальним є дослідження та нормалізація похибок вимірювання вмісту різних компонентів у хроматографічних рідинах.

Метою розробки є створення фотоелектричного густоміра рідини, який у майбутньому можна буде використовувати для вимірювання якості рідин, наявності в них домішок, прозорості тощо. Завдяки високій точності вимірювання, простій конструкції та відносній дешевизні фотоелектричного методу цей вимірювач повинен стати серйозним конкурентом на ринку вимірювачів густини рідини.

2 РОЗРОБЛЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ ПРОМЕНЯ

2.1 Вибір і обґрунтування аналогів вимірювача кута заломлення

Методи вимірювання механічних властивостей речовин були використані при створенні серії рефрактометрів. Цей тип рефрактометра має високу точність, але його конструкція складна і дуже чутливий до зовнішніх факторів. Тому механічні частини створюють проблеми, пов'язані з постійним калібруванням і швидким зносом окремих механічних частин. Рефрактометри не мають цієї проблеми. Однак для вимірювання показника заломлення поглинаючого середовища потрібен дуже чутливий фотоприймач. Такий приймач світла повинен фіксувати зміни в сотні мікрон. Оскільки така базова основа була створена лише у 2006 році, можна сказати, що нове покоління приладів незабаром вийде на світовий ринок.

Оптичні рефрактометри бувають двох типів: рефракційні та інтерферометричні. Інтерферометри мають високу точність вимірювань, але вони також надто чутливі до зовнішніх факторів і вартість досить висока.

2.2 Вибір прототипів оптоелектронного вимірювача кута заломлення

Відомо багато різноманітних приладів для вимірювання кута заломлення поглинаючих середовищ - від найпростіших приладів до більш складних, що використовують більш складні та якісні радіоелектронні компоненти.

Прототипами цієї розробки можна вважати такі прилади, як інтерферометр Релея та інтерферометр Жарміна.

Інтерферометр Замена. Основними частинами інтерферометра Джамена є дві однакові товсті плоских паралельні скляні пластини P1 і P2, посріблені з одного боку.

Звичайно ці пластинки розташовуються так, щоб між їхніми площинами був невеликий кут.

Світлові сліди в затворному інтерферометрі показані на малюнку 2. 1. Світло від джерела світла падає на пластину Р 1 злегка розбіжним пучком. Розглянемо один із променів цього пучка. При відбитті від пластини Р 1 промінь розщеплюється (відбиваючись від передньої та задньої поверхонь). Кожен з двох паралельних променів І і ІІ, що падають на пластину Р2, при відбитті від її поверхні знову розщеплюється так, що на виході приладу утворюється чотири паралельних один одному промені 1, 2, 3, 4. Між будь-якою парою балок, за винятком балок 2 і 3, існує значна різниця в ході через різну кількість проходів по товщині пластин Р 1 і Р 2 . Ця різниця в ході становить кілька сантиметрів, тому при використанні білого світла інтерференції між цими променями не спостерігається.

Інтерференція виникає тільки при накладенні променів 2 і 3, наявність променів 1 і 4 робить інтерференційну картину менш чіткою і тому усувається за допомогою діафрагми.

Давайте обчислимо різницю ходу між променями 2 і 3. Як показали розрахунки (див., наприклад, [17]), різниця ходу променів І і ІІ, відбитих від передньої та задньої поверхонь пластини Р 1, дорівнює

$$\Delta_1 = n(AB + BC) - (AH) = 2hn \cdot \cos\psi_1, \quad (2.1)$$

де n – показник заломлення, h – товщина пластини, $P1$ – кут заломлення в пластині Р1. Після відбивання від поверхні пластини Р2 промені 2 і 3 набувають додаткової різниці ходу, що дорівнює

$$\Delta_2 = 2hn \cdot \cos\psi_2, \quad (2.2)$$

де $P2$ - кут переломлення в пластинці Р2. Повна різниця ходу між променями 2 й 3 дорівнює

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 2hn \cdot (\cos\psi_1 - \cos\psi_2). \quad (2.3)$$

Вирази (1) і (2) не враховують різницю умов відбиття між передньою і задньою поверхнями плати. Це пояснюється тим, що кожен з Променів 2 і 3 утворений одним відбиттям від передньої поверхні і одним відбиттям від задньої поверхні.

Як бачимо, промінь 2 і промінь 3 паралельні один одному, тому інтерференцію можна спостерігати за допомогою телескопа, налаштованого на нескінченність, або просто настроївши очі на нескінченність. Максимальна освітленість припадає на ті точки фокальної площини оглядової труби, де сходяться промені різного шляху.

$$\Delta = m\lambda . \quad (2.4)$$

Різниця ходу

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda , \quad (2.5)$$

відповідає мінімальній освітленості.

За заданої геометрії приладу різниця ходів залежить від кутів 1 і 2, які визначаються кутом падіння променя на пластину Р 1 . При освітленні розбіжним променем можна спостерігати систему інтерференційних смуг.

Інтерферометри Джаміна можна використовувати для вимірювання невеликих змін показника заломлення. Для цього досліджувану речовину розташовують на шляху одного з променів (І або ІІ), що вносить додаткові відмінності в процес і викликає зміщення інтерференційних смуг. Вимірювання найчастіше проводять компенсаційними методами. Одночасно на шляху другого променя розміщують ретельно відкалібрований компенсатор, положення якого вибирають так, щоб інтерференційна картина поверталася у вихідне положення.

Пластини інтерферометра Заміна встановлені не строго паралельно, а під невеликим кутом одна до одної. Якби це було не так, то кути 1 і 2 були б рівні між собою для всіх кутів падіння, а поле зору труби було б рівномірно освітлене (для однієї і тієї ж ідеальної плоскої пластини) - інтерференційні смуги не були б спостерігатися. Встановіть пластини інтерферометра під малими кутами

одна до одної так, щоб ребра двогранника, який вони утворюють, були горизонтальними. Завдяки такому розташуванню пластин у полі зору трубки виникає система горизонтальних інтерференційних смуг.

Дифракція Фраунгофера на двох щілинах використовується в інтерферометрі Релея.

Спостереження інтерференційних смуг у білому світлі. У попередніх розрахунках для простоти вважалось, що світло монохроматичне. Насправді інтерферометри Релея використовують біле світло. Це призводить до двох нових явищ.

1. При використанні досить монохроматичного світла фазовий зсув на 2π або $2\pi m$ (m є цілим числом) між коливаннями в двох щілинах не змінює жодного співвідношення фаз і тому не може бути виявлений експериментально. Тому значення $k\Delta$ можна визначити лише з точністю до $2\pi m$.

При використанні білого світла інтерференційні смуги забарвлюються (через накладання інтерференційних смуг різних довжин хвиль, зміщених одна відносно одної). Винятком є так звана нульова ліва смуга, в якій різниця в коливальних процесах від двох щілин не більше ніж дорівнює нулю.

$$\Delta + d\varphi = 0. \quad (2.6)$$

Якщо Δ не залежить від довжини хвилі, то інтерференційні максимуми всіх довжин хвиль накладаються в цьому діапазоні частот. Тому, на відміну від усіх інших інтерференційних смуг, нульова смуга біла. При $\varphi = 0$ смужка розташована при $\Delta = 0$. За його переміщенням можна розрахувати різницю ходу Δ .

2. Відповідно до (4) інтерференційні смуги повинні спостерігатися при малих значеннях Δ і при як завгодно великих значеннях Δ . Цей результат є наслідком припущення про ідеальну монохроматичність світла. Реальні світлові коливання мають кінцеву довжину послідовності. При великих значеннях Δ (по довжині світлового шлейфу) інтерференційна картина не спостерігається, оскі-

льки світлові флуктуації, що надходять в точку спостереження з різних щілин, стають некогерентними.

В принципі, дифракція Фраунгофера на двох щілинах може бути отримана за допомогою простої схеми. Відстань між a_1 і a_2 має бути достатньо великою, щоб забезпечити виконання умов

$$\lambda \alpha_1 \gg d^2; \quad (2.7)$$

$$\lambda \alpha_2 \gg d^2. \quad (2.8)$$

де d – відстань між щілинами. Однак це призводить до неприпустимо великого розміру приладу, тому часто використовується додатковий об'єктив, площина огляду якого розташована у фокальній площині цього об'єктива.

Експериментальне обладнання. Інтерферометр Релея — це прилад, який вимірює різницю в показниках заломлення на основі явища дифракції світла на двох паралельних щілинах. Лампа розжарювання L за допомогою конденсора K яскраво освітлює вузьку вхідну щілину S , розташовану у фокусі лінзи O_1 . Коліматор, що складається з щілини S і лінзи об'єктива O_1 , направляє паралельний пучок світла в отвір D з двома перпендикулярними щілинами. Світло, що дифрагує на подвійній щілині, проходить через кювету L , яка складається з двох однакових скляних камер, у які вводиться досліджуваний газ (у нашій установці вуглекислий газ або повітря). Кювета займає лише верхню частину простору між лінзами O_1 і O_2 . За кюветою знаходяться дві скляні пластинки J і пластинка P , призначення яких ми опишемо пізніше.

Через окуляр O спостерігають дифракційну картину, що утворюється у фокальній площині F лінзи O_2 . Лінза O_2 і окуляр O утворюють оптичну трубу. Застосування коліматорів і світловодів забезпечує виконання умов дифракції Фраунгофера (дифракції в дальній області довжин хвиль) при меншому розмірі установки.

Інтерференційна картина (дифракційна картина на двох щілинах), що спостерігається у фокальній площині F лінзи O_2 , являє собою дві системи рівновіддалених смуг, паралельних щілинам: верхня (рухома) частина утворена світлом, що проходить через кювету, нижня — частина (рухома), утворена променями, що проходять через кювету, опускається (нерухома) променями, що проходять через жолоб. Інтерференційні смуги обох систем розділені пластиною P з межами поділу. Для спостереження двох систем смуг в окулярі використовувалася циліндрична лінза з діаметром 2,2 мм і вертикальною віссю. Друга («очна») лінза окуляра — це звичайна сферична лінза. Використовується для налаштування чіткості зображення для очей спостерігача.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЧА КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ

3.1 Розробка математичної моделі оптоелектронного вимірювача кута заломлення

Функція перетворення вимірювального перетворювача являє собою складну багатоступінчасту залежність струму фотоприймача від зовнішнього впливу.

При розгляді найпростішого перетворювача [16], до складу якого входить випромінювач, фокусуюча оптична система, чутливий елемент - світловод, що реєструє багатoelementне фото прийомний пристрій (рис.3.1), функція перетворення має вигляд

$$I_{\phi n}^N = \frac{\partial P_{\text{ш}}}{\partial \varphi}(I_{\text{ш}}) f_n \{ \varphi [R(n)] \} S_{\phi n} K_n, \quad (3.1)$$

де:

$\frac{\partial P_{\text{ш}}}{\partial \varphi}(I_{\text{ш}})$ - це є потужність оптичного випромінювання в одиничному куті,

створювана джерелом випромінювання при протіканні по ньому струму $I_{\text{ш}}$;

$f_{\phi n}$ - це є функція фотоприйомного перетворення;

$S_{\phi n}$ - це є інтегральна чутливість фотоприймача;

K_n - це є коефіцієнт втрат потужності оптичного випромінювання при $n = 0$;

φ - це кут відбиття;

$R(n)$ - це є коефіцієнт відбиття.

При проходженні по світловоду випромінювання відбувається багаторазове відбиття променя від її бічних поверхонь (рис. 3.1). Кожна крапка відбиття описується як взаємодія падаючого променя із границею світловод-рідина.

Математична модель для випадку із граничною модуляцією оптичного випромінювання в плоскій діаграмі спрямованості джерела випромінювання

може бути отримана з (3.1) шляхом конкретизації зміни відбивної спроможності при зміні показника переломлення зовнішнього середовища [27].

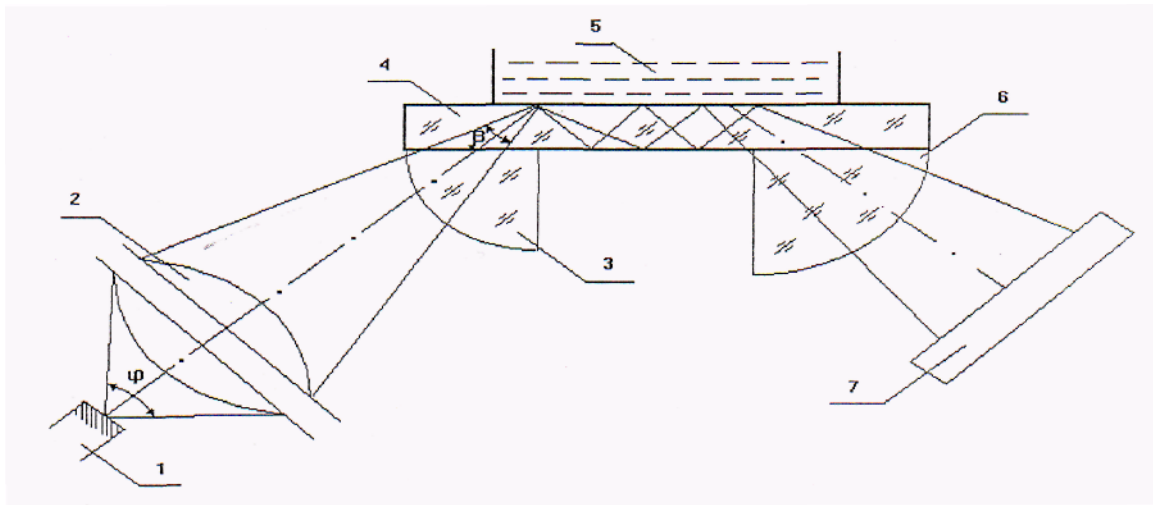


Рисунок 3.1 - Вимірювальний перетворювач

1. Джерело випромінювання.
2. Фокусуюча система.
3. Пристрій введення.
4. Плоский світловод.
5. Контрольоване середовище.
6. Пристрій виводу
7. Багатoelementний фотоприйомний пристрій.

Нехай джерело випромінювання посиляє потік випромінювання на вхідну зіницю оптичної системи. По проходженню цієї системи потік випромінювання сприймається фотоприймальним пристроєм. Будемо думати, що 1) джерело випромінювання перебуває на оптичній осі системи, і його поверхня має постійну яскравість по всім напрямкам; 2) оптична система не має похилих пучків променів; 3) область поширення променів є параксіальною; 4) показник переломлення світловода вище, ніж у контрольованого середовища n_1 ; 5) ширина діаграми спрямованості (апертурний кут) випромінювача більше перепаду критичних кутів, що забезпечують діапазон зміни n_1 .

Для визначення енергетичних характеристик вимірювального перетворювача необхідно провести аналіз по всій сукупності променів, що утворюють гомоцентричний пучок. Це означає, що при певній сумарній вхідній потужності оптичного випромінювання необхідно зробити диференціювання по тілесному куті складової енергетичної сили випромінювання джерела.

Потік випромінювання, що проходить через оптичну систему дорівнює

$$\Phi_u = \pi B S_u \sin^2 U, \quad (3.2)$$

де:

B - яскравість джерела випромінювання;

S_u - площа джерела;

U - передній амплітудний кут.

Потік випромінювання падаючий на поверхню фотоприймача з обліком визначається

$$\Phi = \frac{4}{D^2} \Phi_u S_{np}, \quad (3.3)$$

де:

S_{np} - це є площа фоточутливого елемента;

D – це є діаметр плями гомоцентричного пучка в області розташування фотоприймача.

Загальний вираз для величини потоку випромінювання, що падає на приймач із урахуванням втрат у світловоді, має такий вигляд

$$\Phi_{np} = \Phi R \tau_c, \quad (3.4)$$

де:

R - коефіцієнт відбиття;

τ_c - коефіцієнт пропущення середовища розповсюдженого випромінювання, обумовлений вираженням

$$\tau_c = \exp(-\chi L_n), \quad (3.5)$$

де:

χ - коефіцієнт екстинкції;

L_n - шлях променя у світловоді.

Коефіцієнт відбиття R визначається згідно формул Френеля використовуючи вираження $\Theta_2 = \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}$ із закону переломлення, у результаті одержимо

$$R_{\perp} = \frac{\left(n_0 \cos \Theta - \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}\right)^2}{\left(n_1 \cos \Theta + \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}\right)^2}; \quad (3.6)$$

$$R_{\parallel} = \frac{\left(n_1^2 \cos \Theta - n_0 \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}\right)^2}{\left(n_1^2 \cos \Theta + n_0 \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}\right)^2}. \quad (3.7)$$

При цьому коефіцієнт відбиття для природного світла визначається

$$R(n_1) = 0.5[R_{\perp}(n_1) + R_{\parallel}(n_1)]. \quad (3.8)$$

Перерозподіл світлової енергії між переломленим і відбитим променем відбувається при кожному відбитті від модельованої границі середовищ. Тому при багаторазовому відбитті згідно

$$R(n_1) = 0.5[R_{\perp}^k(n_1) + R_{\parallel}^k(n_1)]. \quad (3.9)$$

де k - кількість відбиттів.

Відповідно до вираження треба враховувати, що при зміні показника переломлення контрольованого середовища відбувається зміна коефіцієнта відбиття, а отже, вихідної потужності. При зміні кількості відбиттів при тому самому вихідному значенні показника переломлення середовища криві, що характеризують даний коефіцієнт, будуть переміщатися по осі показника переломлення (Рис. 3.2.), маючи однакові значення при досягненні

критичного кута для конкретного значення n_1 . Крутість кривих у районі критичного кута зростає зі збільшенням кількості відображень, що визначається. Чим більше різниця показника переломлення середовища й світловода, тим число Do більше. Так, наприклад, при діапазоні зміни $n_1 = 1.33 \div 1.37$ для світловода зі скла ЛК6, ДО8, БФ24 з показниками переломлення 1,4704; 1,5163; 1,6344 Що дорівнює відповідно 4; 5; 6.

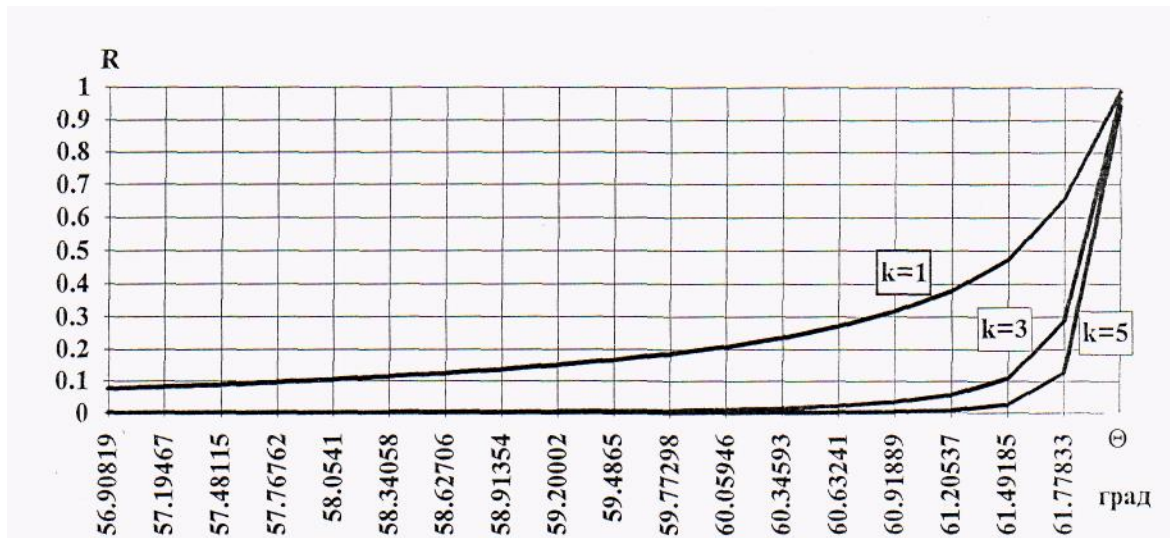


Рисунок 3.2 - Залежність відбивної здатності перетворювача для різних значень $do = 1, 3, 5$ при $N1 = 1.34$

Формула (3.9) справедлива в області НПВО до значення критичного кута. В області ПВО коефіцієнт відбиття стає рівним одиниці, а вихідна потужність $P_{\text{вих}}$ постійна й стає рівної падаючій $P_{\text{пад}}$. Таким чином, оцінюючи зміну вихідної потужності, у районі критичного кута при збільшенні кількості відбиттів дійдемо висновку, що буде збільшуватися глибина модуляції. Це дозволить з більшою високою точністю визначити величину самого критичного кута, а отже, показник переломлення контрольованого середовища [26].

Для оцінки вихідної потужності в області критичного кута скористаємося багатоеlementним світлоприймальним пристроєм, де за рахунок відбиття концентричного променя ми можемо зафіксувати просторовий розподіл освіт-

лення, тобто значення напруги або струму в кожен світлоприймальний блок [26].

Значення сигналу, що реєструється в такому приймальному пристрої, залежить від енергії оптичного випромінювання, поглиненої елементом за час накопичення

$$I = S_{\phi n} \int_0^{T_H} \Phi_{np}(t) dt, \quad (3.10)$$

де:

$S_{\phi n}$ - інтегральна чутливість елемента, А/Дж;

T_H - час нагромадження заряду.

Визначимо значення струму на виході фотоприймача згідно (3.10) з обліком (3.1-3.10)

$$I_{\phi n}(n_1, \Theta, P_{\text{вх}}) = \frac{2S_{\phi n} S_{nl}}{\pi D^2} (R_{\perp}^k + R_{\parallel}^k) \exp(-\chi L_n) \int_0^{T_H} \Phi(t) dt, \quad (3.11)$$

де:

χ - коефіцієнт екстинкції;

L_n - шлях променя у світловоді.

Тому що багатoelementний фотоприйомний пристрій має N фотоелементів, то при розрахунку повинні враховуватися тільки ті діапазони кутів випромінювання, у яких забезпечує попадання на світлочутливі вікна фотоприймачів.

Отже, з урахуванням номера фотоприймача (3.11) запишеться у вигляді

$$I_{\phi n}(n_1, \Theta, P_{\text{вх}}) = \frac{2S_{\phi n} S_{nl} T_{\kappa}}{\pi D^2} \exp(-\chi L_n) \times$$

$$\times \left[\left(\frac{n_0 \cos(\varphi + \beta_N) - \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2(\varphi + \beta_N)}}{n_0 \cos(\varphi + \beta_N) + \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2(\varphi + \beta_N)}} \right)^{2k} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{n_1^2 \cos(\varphi + \beta_N) - n_0 \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2(\varphi + \beta_N)}}{n_1^2 \cos(\varphi + \beta_N) + n_0 \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2(\varphi + \beta_N)}} \right)^{2k} \right] \times \int_0^{T_n} \hat{O}(t) dt \quad (3.12)$$

$$\beta_N = \arctg \frac{(N-1)(l-P) + \frac{1}{2}}{r}, \quad (3.13)$$

де:

β_N - кут між початком фотолінійки й центром N-го елемента;

l - довжина чутливої площадки фотоприймача;

P - зазор між чутливими елементами; m - довжина нормалі від крапки першого відбиття до фотолінійки.

T_k - температурний коефіцієнт.

Таким чином, наведені вище аналітичні вирази дозволяють розрахувати функцію перетворення плоского світловода з обліком кутової розбіжності при багаторазовому відбитті. Розрахунок по плоскій моделі діаграми спрямованості випромінювача простий, досить точний, проводився як і раніше для плоского світловода товщиною 2 мм зі скла ДО8 з показником переломлення $n_1 = 1,5163$ для кількості відбиттів рівному 5. На рис. 3.3 представлена функція перетворення первинного вимірювального перетворювача для декількох вибірових значень показника переломлення вимірюваної рідини. Нахил кривої функції в районі критичного кута є величиною постійної для всіх значень показника переломлення й прагне до значення 90° .

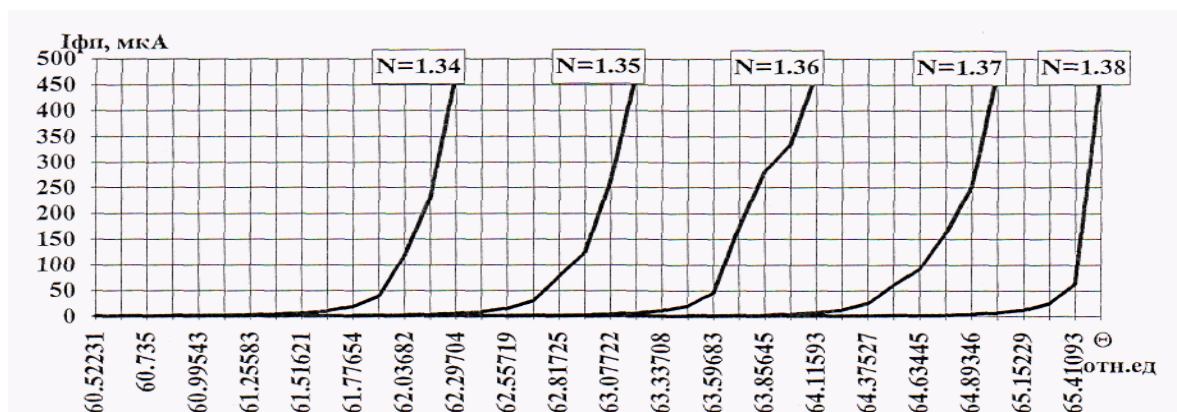


Рисунок 3.3 - Функція перетворення для вибірових значень показника переломлення середовища: 1.34, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38

Відповідно до експериментальних спостережень, а також даним джерел багатоеlementні МДП структури (метал-діелектрик-провідник) виконані на одному кристалі, мають властивість насичення, по досягненню якого значення струму більше не зростає. Виявляється, що значення заряду насичення або токи насичення для всіх фотоосередків величина постійна, тому що вони перебувають на одному кристалі. Енергія насичення або падаюча потужність $P_{\text{НАС}}$ є табличною характеристикою багатоеlementного фото-приймального пристрою. Струм пов'язаний з величиною падаючої потужності згідно

$$I_{\text{НАС}} = SP_{\text{НАС}}. \quad (3.14)$$

Таким чином, струм насичення є величиною постійної й може служити параметром порівняння при визначенні границі світлотіні, положення якої відповідає номеру першого насиченого осередку, а результатом порівняння є значення критичного кута, а отже, показник переломлення контрольованого середовища. При цьому номер фотоосередку визначається [27]

$$N = \left[0.5 + 0.5 \text{sign}(I_{\text{фн}}^N - I_{\text{нас}}) \right] = \begin{cases} 1, I_{\text{фн}} = I_N, \\ 0, I_{\text{фн}}^N < I_N, \end{cases} \quad (3.15)$$

де $I_{\text{фн}}^N$ струм N-того фотоосередку.

На рис. 3.4 представлена залежність N фотоосередку від показника переломлення контрольованого середовища. Розрахунки вироблялися для гомоцентричного пучка із плоским кутом поширення рівним 4° і кількістю відбиттів рівним 5. Даний вибір кута обґрунтований умовою збереження параксиальності променів гомоцентричного пучка. Максимальна чутливість виявляється при близькості показників переломлення контрольованого середовища й світловода. З іншого боку, для збільшення кількості відбиттів, тобто для збільшення глибини модуляції, різниця між даними показниками переломлення повинна бути більша. Тому при виборі параметрів

чутливого елемента необхідно оцінювати значення необхідної чутливості й глибини модуляції для одержання заданої точності.

Загальний аналіз отриманих розрахункових даних підтвердив залежність просторового світлопропускання плоского світловода від показника переломлення зовнішнього середовища. Результати досліджень відкривають можливість вибору параметрів світловода й діапазону виміру показника переломлення для забезпечення максимальної чутливості й лінійності характеристики пристрою.

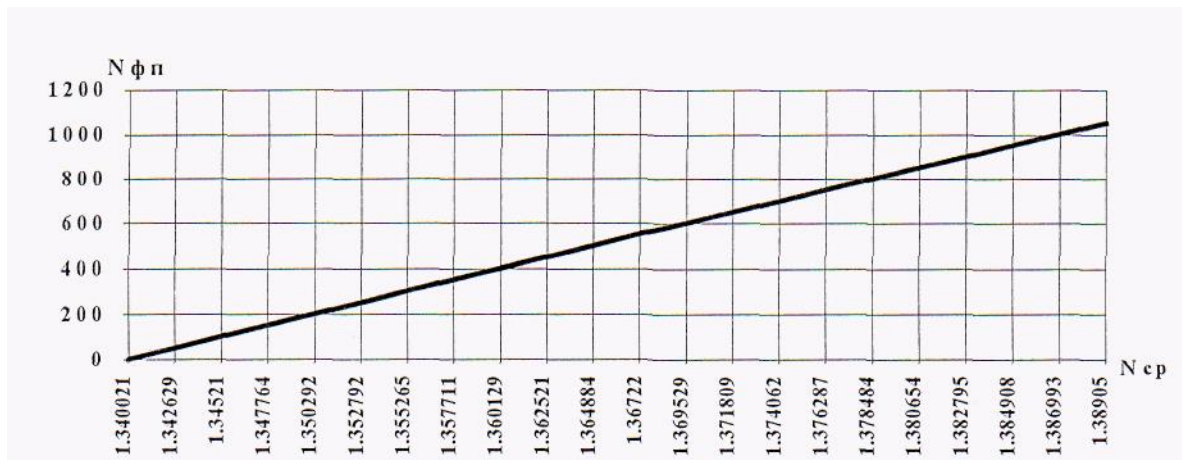
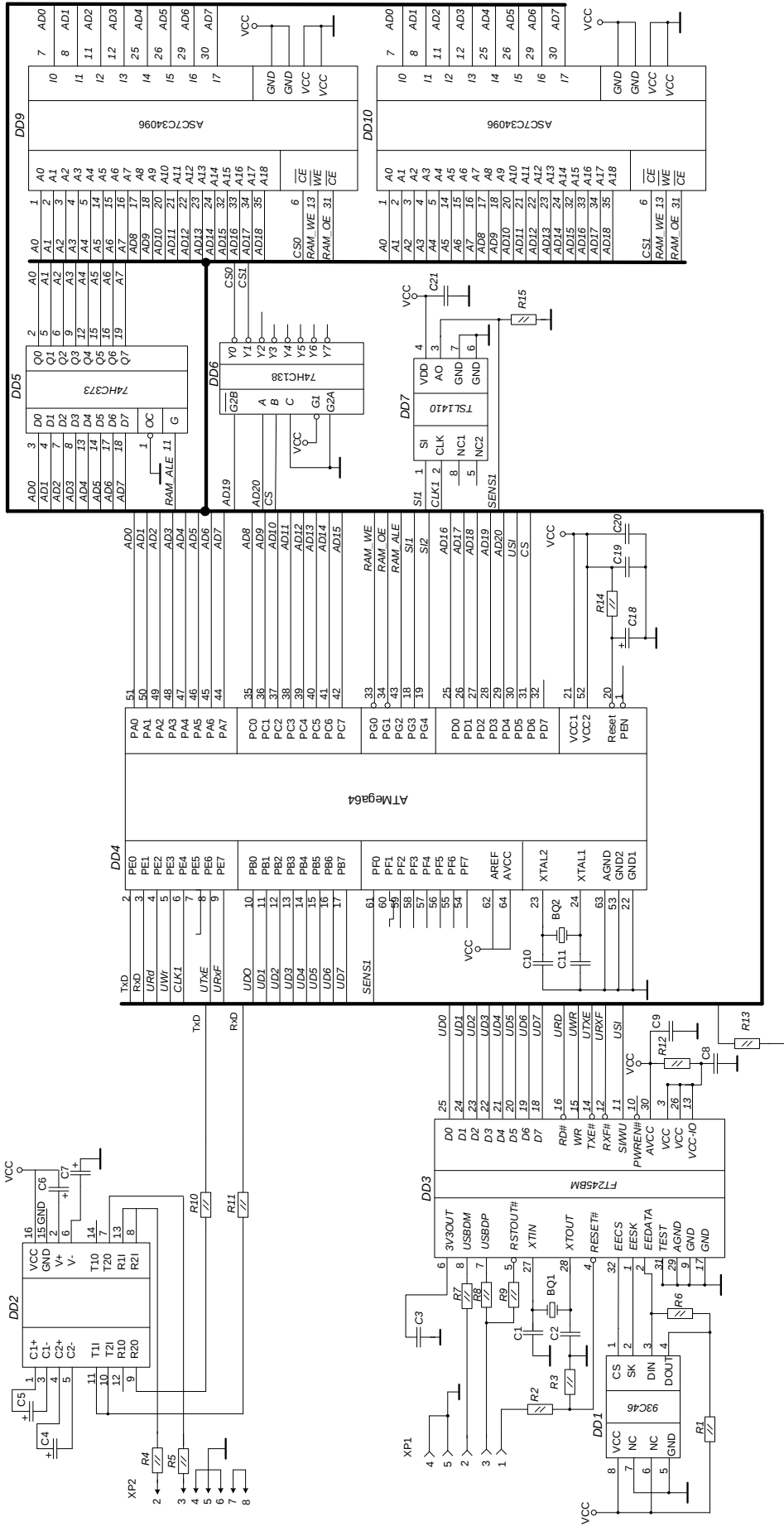


Рисунок 3.4 - Залежність номера фотоприймача N ф п від показника переломлення середовища

На рис. 3.5 подана схема електрична принципова мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Рисунок 3.5 - Схема електрична принципова пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ



4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації оптоелектронного вимірювача кута заломлення

У даній роботі представлено фотоелектричний датчик на основі рефракційного методу визначення показника заломлення за Гальваксом. Датчик призначений для підвищення точності вимірювання показника заломлення поглинаючих середовищ. Це обладнання є переносним наземним обладнанням. Цей прилад є побутовим радіоелектронним пристроєм, призначеним для роботи на відкритому повітрі в районах з помірним кліматом (температура $-35...+35^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $45...75\%$). Виникають додаткові механічні напруги і вібрації. За експлуатаційними параметрами це обладнання відноситься до категорії 1.1 - обладнання, призначене для експлуатації та оперативного зберігання в приміщеннях зі штучним кліматом і для короткочасної роботи в інших умовах, у тому числі на повітрі.

Спростимо аналіз умов експлуатації у вигляді табл. 4.1. [28]

Таблиця 4.1 - Аналіз умов експлуатації

Клас застосування	Наземна
Група застосування	Переносна (портативна)
Підгрупа застосування	Побутова
Категорія застосування	Навколишнє середовище (нестабільна температура та вологість)
Група виготовлення	Апаратура, яка працює на відкритому повітрі

Вибрані категорії обґрунтуємо згідно з [28].

Категорія використання – наземне (пристрій призначений для використання в наземних оптичних системах);

Група використання – Портативне (обладнання для роботи на відкритому повітрі – Домашнє) (обладнання призначене для використання особами без спеціальної підготовки – 1.1 (для експлуатації та оперативного зберігання в приміщеннях зі штучним кліматом та короткочасного); робота в інших умовах, включаючи повітряні роботи в закритих приміщеннях зі штучним кліматом в умовах кондиціонування повітря);

Зовнішні норми підсумовані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Норми зовнішніх дій

Вид дії	Норма
Міцність при транспортуванні	
Тривалість ударного імпульсу, мс	5-15
Пікове прискорення, g	15
Кількість ударів за хвилину	1000
Робоча температура, °C	-35...+35
Границі температури:	
Максимальна °C	+45
Мінімальна, °C	-45
Вологостійкість пристрою:	
Відносна вологість, %	90
Температура, °C	35
Стійкість до атмосферного тиску, кПа	100

Аналіз технічного стану:

Назва цього приладу – оптико-електронний прилад для визначення кута заломлення поглинаючого середовища.

Призначення - Система визначення оптичних параметрів рідин.

Комплектація - корпус, плата, ЕРУ, з'єднувальні провідники, гвинти, шайби.

Вимоги до конструкції пристрою:

Зовнішній вигляд має прямокутну форму з отворами всередині для розміщення роз'ємів живлення, вхідних і вихідних сигналів.

Зовнішній вигляд приладу повинен відповідати всім ергономічним та естетичним характеристикам, а саме: психофізіологічній, гігієнічній інформаційній виразності; Раціональність форми, цілісність композиції.

Основний корпус пристрою повинен бути виготовлений з міцного, вологостійкого матеріалу.

4.2 Попередній аналіз і формулювання плану

4.2.1 Електрична принципова схема та аналіз принципу роботи фотоелектричного рефрактометра

Основними елементами пристрою, що розробляється, є контролер керування обробкою інформації, мікросхема фотоприймача (світла) реєстрації, інтерфейс RS232 для зв'язку з ПК та пам'ять для зберігання інформації. Тимчасово зберігає результати вимірювань [29].

Принципова електрична схема представлена на рис. 3.6. Спрощена структурна схема показана на рис. 4.1.

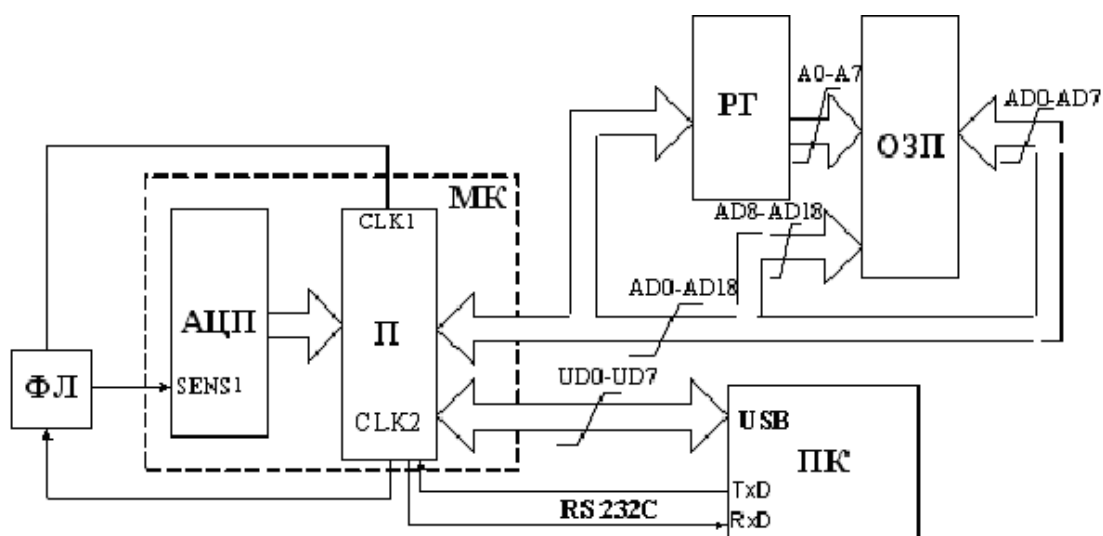


Рисунок 4.1 – Структурна електрична схема

Основним призначенням цієї системи є реєстрація та обробка зображень та обмін інформацією через послідовний інтерфейс RS-232.

Прочитайте потрібне зображення під рядком фотографії. Оцифрування зображень здійснюється за допомогою вбудованого 10-розрядного АЦП на каналах PF0 і PF1 МК.

Для можливого підключення системи до мережі зв'язку рішення повинно мати спеціальну мікросхему - адаптер послідовного каналу зв'язку. Пристрій має два інтерфейси для послідовної передачі даних: один інтерфейс RS-232.

У мікросхемі інтерфейсу RS-232 використовується мікросхема ADM 232A. Для перетворення сигналу в схему використовується адаптер - напруга живлення цієї мікросхеми +5 В. Послідовний вхід і вихід даних здійснюються через входи RxD (PD0) і TxD (PD1) відповідно. Дані, що надсилаються, і отримані дані зберігаються в спеціальних реєстрах UDR. Параметри прийому та передачі даних знаходяться в реєстрі UCR. Інформація про стан УАРП зберігається в реєстрі статусу ЄДР.

4.2.2 Аналіз елементної бази оптоелектронного вимірювача кута заломлення

Бібліотека компонентів аналізується, щоб з'ясувати, чи забезпечує вона специфічні характеристики продукту, як це продиктовано умовами експлуатації та режимами роботи, і чи необхідно окреслити будь-які нормальні конструктивні заходи для розробленої функціональності, беручи до уваги функціональність відповідності номіналів і потужностей програми, їх швидкодія, технічні вимоги до обладнання та конструкції, наявність цих типів компонентів у серійному виробництві.

На основі списку компонентів електричної схеми, наведеної в додатку, ми опишемо характеристики вибраних радіодеталей. Варто зазначити, що в процесі вибору бібліотеки компонентів першим вибором було радіо.

Компоненти мають мінімально компактні розміри, що дозволяє пристрою мати мінімально можливі розміри. Через це вітчизняних радіодеталей в апараті небагато, чи то через великі розміри комплектуючих, чи то через відсутність закордонних аналогів. Однак ці та інші тепер доступні там, де раніше цього не було.

Обираємо мікроконтролер фірми ATMEL типу ATMega64 сімейства AVR RISC для конструювання приладу, що зображений на рис. 4.2.

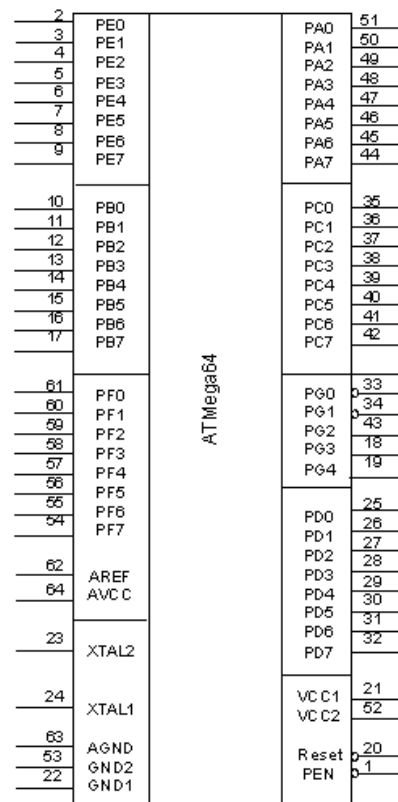


Рисунок 4.2 – Схемне позначення ATMega64

Мікроконтролери серії Atmel AVR виготовлені за високоякісною технологією KMON. Вони мають флеш-пам'ять і запам'ятовуючі пристрої EEPROM для зберігання програм і даних.

Характеризується низьким енергоспоживанням при досить високій тактовій частоті. Після встановлення мікроконтролера в апаратну частину програму та вихідні дані можна записати в пам'ять.

Серія AVR включає три серії мікроконтролерів: AT90 (класичний AVR), ATtiny (Tiny AVR) і ATMEGA (Mega AVR). Кожне сімейство містить кілька типів мікроконтролерів. Структурні характеристики (периферія, об'єм пам'яті)

мікроконтролерів серії AT90 (класичний AVR) подібні до мікроконтролерів серії Atmel AT89 та мікроконтролерів серії Intel MCS-51 [25-30].

Серед серії AVR найменшу обчислювальну потужність має мікроконтролер ATtiny, а найбільшу — мікроконтролер ATMEGA [29].

Опишемо основні параметри цього МК:

8-розрядний високопродуктивний мікроконтролер AVR, низьке енергоспоживання;

Прогресивна RISC архітектура;

- 130 високопродуктивних команд, більшість з яких виконується протягом одного такту;

- 32 8-розрядних робочих регістра загального призначення + регістри периферійного управління;

- Продуктивність, близька до 16 MIPS (на частоті 16 МГц);

- Вбудований 2-тактний множник;

енергонезалежна пам'ять для програм і даних;

- 64 Кб перепрограмованої внутрішньої флеш-пам'яті

- Забезпечує 1000 циклів стирання/запису;

- Забезпечити одночасний режим читання/запису (Read-While-Write);

- 2 КБ EEPROM;

- Забезпечує 100 000 циклів стирання/запису;

- 4 КБ вбудованої SRAM;

- До 64 КБ додаткової зовнішньої пам'яті;

- SPI інтерфейс для внутрішнього програмування системи;

інтерфейс JTAG (сумісний з IEEE 1149.1);

- Два 8-розрядних таймера/лічильника з незалежними преділителями, один з режимом порівняння;

- Два 16-розрядних таймера/лічильника з розширеною функціональністю, незалежними преділювачами та режимами захоплення та порівняння;

- Лічильник реального часу з незалежним генератором;

- 8-канальний 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач;

- 8 асиметричних каналів;
 - 7 диференціальних каналів;
 - послідовний інтерфейс SPI (master/knowн);
 - Програмований таймер захисту з автономним вбудованим генератором;
- Вимкнення живлення, режим очікування, розширений режим очікування та зменшення шуму АЦП
- Програмне налаштування тактової частоти;
 - 64-контактний корпус TQFP;
- Робоча напруга
- 4,5 – 5,5 В (АТmega64);
- робоча частота
- 0 - 16 МГц (АТmega64);
- Робоча температура робочого режиму 0-70°C.

Використовуючи інструкції, що виконуються за один машинний цикл, контролер досягає продуктивності 1 MIPS на робочій частоті 1 МГц, що дозволяє розробникам ефективно оптимізувати енергоспоживання, вибираючи найкращу продуктивність. Ядро AVR містить розширений набір інструкцій і 32 операційних реєстри загального призначення. Усі 32 реєстри підключені до ALP, що забезпечує доступ до двох незалежних реєстрів для отримання часу виконання команди за один машинний цикл. Завдяки обраній архітектурі досягається найвища швидкість коду та відповідна висока продуктивність, до 10 разів швидше, ніж у відповідних мікроконтролерів CISC.

АТmega64 містить 64 Кбайт перепрограмованої внутрішньої пам'яті FLASH програм, 2 Кбайт EEPROM, 4 Кбайт SRAM, 32 робочі реєстри, внутрішні та зовнішні переривання, перепрограмований послідовний інтерфейс програмування USART, байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс, 8 каналів, 10-бітний АЦП, сторожовий програмований таймер з внутрішнім генератором, порт SPI і чотири програмованих режими енергозбереження. У режимі очікування ЦП не працює, поки працюють SRAM, таймери лічильників, порт SPI та система переривань. У режимі вимкнення. Процесор зберігає вміст усіх

регістрів, заморожує генератор тактових сигналів і зупиняє всі інші функції кварцевого генератора, поки не прийде зовнішнє переривання або зовнішня команда скидання. У режимі очікування тактовий генератор працює, коли інші функції контролера зупинені. У режимі шумозаглушення АЦП, ЦП і всі модулі вводу/виводу, крім АЦП і асинхронних таймерів, зупиняються, щоб мінімізувати вплив.

10-розрядний модуль послідовного наближення АЦП, що входить до складу АТmega64, має такі основні параметри:

- Абсолютна похибка: $\pm 2 \text{ MZR}$;
- Інтегральна нелінійність: $+0,5 \text{ MZR}$;
- Швидкість: приблизно 15 000 зразків/с.

Входи АЦП усіх моделей оснащені 8-канальним аналоговим мультиплексором, що забезпечує користувача 8-канальними незбалансованими входами.

Як джерело опорної напруги для АЦП можна використовувати як напругу живлення мікроконтролера, так і внутрішнє або зовнішнє джерело опорної напруги.

Під час роботи АЦП може працювати в двох режимах:

- Режим одиночного перетворення, початок кожного перетворення ініціюється користувачем;
- Режим безперервного перетворення, починає безперервне перетворення після визначеного інтервалу часу.

Щоб дозволити АЦП працювати, потрібне ведення журналу. Запис 1 в біт ADEN регістра ADCSR і запис 0 вимикає його. Якщо АЦП вимкнути під час циклу перетворення, перетворення не завершиться (результати попереднього перетворення залишаться в регістрі даних АЦП).

В Atmega64 режим роботи АЦП визначається станом біта ADFR. Якщо встановлено значення «1», АЦП працює в режимі безперервного перетворення. У цьому режимі початок кожного наступного переходу розпочинатиметься автоматично після завершення поточного переходу. Якщо біт ADFR скидається

на «0», АЦП працює в режимі одиночного перетворення, і кожне перетворення ініціюється командою користувача [29].

Ініціювання кожного перетворення в режимі перетворення одиниць і початок першого перетворення в режимі безперервного перетворення ініціюється встановленням біта ADSC регістра ADCSR на «1». У одиночному та безперервному режимах перетворення цикл перетворення починається з першого наростаючого фронту тактового сигналу без встановлення біта ADSC. Якщо використовується тригер переривання, перетворення розпочнеться на першому наростаючому фронті сигналу після встановлення вибраного прапора переривання. Крім того, коли цей прапор встановлено, дільник модуля АЦП скидається. Це забезпечує фіксовану затримку між генерацією запиту на переривання та початком циклу перетворення.

Тривалість циклу становить 13 циклів при використанні асиметричних входів і 13 або 14 циклів при використанні диференціальних входів; вхідний сигнал дискретизується і зберігається протягом 1,5 і 2,5 циклів відповідно. Після 13 (14) циклів перетворення завершено, біт ADSC апаратно скидається на «0» (режим перетворення одиниць), і результат перетворення зберігається в регістрі АЦП. Одночасно встановлюється прапор переривання ADIF регістра ADCSR, що генерує запит на переривання. Як і прапори інших переривань, прапор ADIF скидається апаратно, коли підпрограма обробки переривань запускається з АЦП, або шляхом програмного запису в журнал. 1. Переривання завершується встановленням біта ADIF регістра ADCSR на «1» із встановленим прапором I регістра SREG.

Якщо АЦП працює в режимі безперервного перетворення, нове перетворення розпочнеться одразу після запису результату. У режимі одиночного перетворення нове перетворення може бути розпочато відразу після біта ADSC (до збереження поточного результату перетворення), і фактично цикл перетворення почнеться не раніше одного разу після закінчення поточного перетворення [18].

Для мінімізації електромагнітних перешкод, викликаних ядром процесора, всі розглянуті мікроконтролери мають додатковий «сплячий» режим ADC

Noise Reduction. У цьому режимі з усіх периферійних пристроїв працюють тільки АЦП і сторожовий таймер. Режим очікування можна використовувати з тією ж метою (але з меншим ефектом). Щоб використовувати АЦП у кожному зазначеному режимі, ви повинні переконатися, що АЦП увімкнено і не перетворює, потім переведіть АЦП у режим одиночного перетворення та ввімкніть переривання АЦП, а потім переведіть мікроконтролер у режим зменшення шуму АЦП.

Цикл перетворення почнеться відразу після зупинки процесора.

Коли перетворення буде завершено, АЦП згенерує переривання, в результаті чого мікроконтролер перейде в робочий режим і почне виконання підпрограми обробки переривань.

Як фотометр (ФЛ) використовувалася лінійна чутлива матриця TSL1401 (рисунок 4.3) виробництва Texas Instruments.

TSL1401 підходить для різноманітних застосувань, включаючи сканування зображень, читання символів і кодів, оптичне розпізнавання коду, вибір країв і позиціонування, оптичне лінійне і кутове кодування [30].

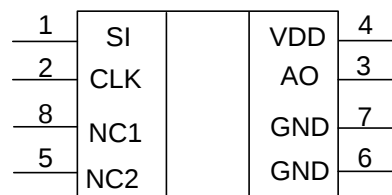


Рисунок 4.3 –Схемне позначення TSL1401

Опишемо технічні можливості та особливості цього ПЛ.

Базова організація 128*1.

Ступінь чутливості становить 400 точок на дюйм.

Висока лінійність і монотонність з використанням 256 півтонів (8 біт).

Затримка зображення становить лише 0,5%.

Діапазон робочих температур на природному повітрі 0-70°C.

Діапазон температур зберігання -25-85 °C.

Максимальна довжина хвилі джерела світла становить 1000 нм.

Максимальний час інтеграції становить 100 мс.

Діапазон вхідного цифрового струму -20-20 мА.

Напруга живлення 5В.

Датчик складається з 128 фотодіодів, розташованих в одновимірній матриці. Розміри пікселя становлять 63,5 мкм (висота) x 55 мкм (ширина), міжцентрова відстань 63,5 мкм і міжпіксельна відстань 8,5 мкм. Внутрішня схема керування спрощує роботу, вимагаючи лише сигналу на послідовному вході (SI) і тактового генератора. Світлова енергія, що падає на фотодіод, створює фотострум, який об'єднується активним інтегруючим контуром.

Під час інтегрування конденсатор вибірки (зразок) підключається до виходу інтегратора через аналоговий перемикач. Кількість накопиченого (накопиченого) заряду на кожному пікселі прямо пропорційна інтенсивності світла та обернено пропорційна часу інтегрування [30].

Вихід інтегратора та скидання керуються 128-розрядним регістром зсуву та логічною схемою скидання. Період виведення (ініціалізується логікою 1 на вході послідовності).

Коли сигнал на послідовному вході синхронізується через регістр зсуву, заряд, накопичений на конденсаторі вибірки, з'єднується послідовно з вихідним підсилювачем через зарядовий зв'язок, виробляючи напругу на аналоговому виході АО. Період скидання інтегратора закінчується на 18-му циклі після синхронізації послідовного вхідного сигналу. Потім починається наступний період інтеграції.

Ще одним важливим компонентом є модуль пам'яті. З усієї номенклатури мікросхем пам'яті була обрана мікросхема AS7C34096 [30].

Мікросхема має наступні технічні характеристики:

Розмір даних 512 КБ;

Напруга живлення - 5В;

Кількість циклів перезапису (мінімум) – 100 000;

Максимальний час доступу становить 70 нс.

Вибирали його з урахуванням технічних характеристик, які нас влаштували, а також якісних габаритних характеристик і вартості мікросхеми.

У мікросхемах декодера і регістра використовуються мікросхеми 74НС373 і 74НС1383 відповідно, які не тільки відповідають навантажувальним і швидкісним характеристикам, але і мають високу надійність.

Як зазначалося в попередньому розділі, мікросхема інтерфейсу RS-232 використовує мікросхему ADM 232A, а мікросхема інтерфейсу USB – мікросхему FT245BM [30].

Мікросхема AT93C46 використовується як зовнішня незалежна пам'ять. При використанні в поєднанні з інтерфейсом USB вона використовується для зберігання ідентифікатора виробника (VID), персонального ідентифікатора (PID), серійного номера продукту та інших даних через EECS, EESK і EEDATA. канали. Це необхідно, якщо до комп'ютера по USB одночасно підключені кілька пристроїв з мікросхемою FT232BM. Серійний номер особливо важливий, тому що програмні драйвери покладаються на його унікальність, щоб асоціювати той чи інший COM-порт з конкретним пристроєм [29-30]. Без P2P до комп'ютера можна підключити лише один пристрій, який утворює віртуальний COM-порт.

Роз'єми DRB-9F і CN-USB_Type_B використовуються для підключення пристрою до ПК через послідовний інтерфейс RS-232 і USB.

Роз'єм PWL-4 використовується для підключення джерела живлення 5В.

Найвищими електричними параметрами володіють тверді танталові конденсатори поверхневого монтажу. При однакових геометричних розмірах танталові конденсатори мають більшу ємність, менший розподіл параметрів, меншу і передбачувану залежність ємності від температури, частоти та часу. Герметичність корпусу забезпечує захист від вологи [29-30]. Електричні характеристики наведені в таблиці 4.3.

Резистор являє собою металеву плівку і його характеристики наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Електричні характеристики танталових конденсаторів

Діапазон ємностей	0,1 мкФ...100 мкФ (ряд Е6)
Відхилення ємності	+/- 10%, +/- 20%
Номінальне значення напруги	4В; 6,3В; 10В; 16В; 20В; 25В; 50В
Діапазон температур	-55...+125 ⁰ С
Тангенс кута діелектричних втрат	0,06...0,08
Струм витоку	0,4...4мкА

Таблиця 4.4 – Електричні параметри металоплівкових чип-резисторів

Точність	5%	5%	5%	5%
Розмір	0603	0805	1206	0805
Номінальна потужність	0,1 Вт	0,125 Вт	0,25 Вт	0,125 Вт
Напруга робоча	50В	150В	200В	150В
Напруга максимальна	100В	300В	400В	300В
Діапазон температур	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С
Діапазон опорів	1 Ом...10 МОм ряд Е24		10 Ом...1 МОм ряд Е96	

Тому ці компоненти відповідають заданим вимогам і оптимально забезпечують роботу нашого обладнання. У таблиці 4.5 наведені конструктивні та робочі характеристики цих компонентів.

Площа кріплення компонентів, розташованих на друкованій платі, розраховується наступним чином.

Якщо компонент має круглий поперечний переріз (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то використовуйте наступну формулу для обчислення площі

$$S = d^2 [\text{мм}^2], \quad (4.1)$$

де d – це є діаметр компонента.

Коли елемент розміщений на друкованій платі горизонтально, тоді площа встановлення

$$S = a \cdot b, \quad (4.2)$$

де a, b – відповідно ширина й довжина установки.

Таблиця 4.5 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва і тип елементу	К-ть	Конструктивні параметри і надійність				
		Площа установки, мм ²	Діаметр виводів, мм	Надійність 10 ⁻⁶ 1/год	Діапазон температур, °C	Маса, г
Резистори						
0805	14	6,4	-	0,01	-55...+125	0,4
Конденсатори						
K53-66	7	9,6	-	0,01	-10...+85	0,2
K50-35	4	36	0,8	0,01	-55...+125	1,2
Кварцові резонатори						
SF-4000K	2	10	0,7	0,1	-40...+85	0,15
Мікросхеми						
ATMEGA64	1	264	0,75	0,1	0...+70	1,8
FT245BM	1	81	0,4	0,1	-20...+70	1,6
74HC138	1	165	0,5	0,1	-10...+70	1,3
74HC373	1	188	0,5	0,1		1,2
AS7C34096	2	264	0,45	0,1	0...+40	1,7
ADM232A	1	138	-	0,1	-10...+70	1,3
TSL1401	2	86	0,38	0,1	0...+70	1,1
93C46	1	86	0,38		-10...+70	1,1
Роз'єми						
DRB-9F	1	287	-	0,01	-45...+125	8
CN-USB_Type_B	1	126	-	0,01	-45...+125	4
PWL-4	1	140	-	0,01	10...+70	4

Згідно з даними табл. 4.5 оптимальна площа плати наближено 14000 (100X140) мм².

4.3 Конструкторські розрахунки

4.3.1.1 Розробка топології та компоновання плати

Топологію друкованої плати та її компоновання розроблено за допомогою прикладного графічного пакету системи автоматизованого проектування ORCAD.

Роздруковані топологія і складальні креслення представлені в графічній частині роботи

4.3.1.2 Технологія виготовлення друкованих плат

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна розділити на: субтрактивний метод, адитивний метод і напівадитивний метод.

Субтрактивний процес - отримання провідного візерунка передбачає вибіркове видалення провідних ділянок фольги методами травлення.

Адитивні процеси включають вибіркове осадження провідних матеріалів на основу друкованої плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого електропровідного покриття з подальшим його видаленням з місць, де є прогалини.

Відповідно до ГОСТ 2375-86 [27-30] конструкція друкованих плат враховує такі способи виготовлення:

Хімічний - для двосторонніх друкованих плат;

Позитивна комбінація - для використання на двосторонніх друкованих платах з металізованими монтажними отворами.

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються методом комбінування позитивної плівки, який передбачає експонування малюнка друкованих елементів зі світлочутливої позитивної плівки. Технологічний процес виготовлення друкованих плат за цим методом дуже розвинений, а технологічне обладнання добре оснащене.

Комбінований метод — це поєднання хімічних і електрохімічних методів. Вихідним матеріалом є діелектрик, фольгований з обох сторін, тому електропровідний малюнок виходить травленням міді, а металізація отворів досягається безгальванічним мідненням і подальшим електрохімічним осадженням шару міді. Пайка клем ERE виконується шляхом заповнення припоєм отворів у платі. Комбінований спосіб складається з наступних основних операцій: вирізування заготовки та хіміко-механічна обробка поверхні, отримання захисного малюнка, нанесення захисної лакофарбової плівки, свердління та зенкерування, безгальванічного міднення та зняття лакофарбової плівки, гальванопластика міді в два прийоми. .

Цей спосіб характеризується високою трудомісткістю та вимагає великої кількості ручних операцій під час процесу [29]. Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає хімічне знежирення в розчині тринатрійфосфату. Температура розчину 40-60°C, час обробки 2-5 хвилин.

Друковані плати виготовляються за такою технологічною схемою:

- Виготовляти фольгоподібні склопластикові заготовки шляхом нарізки листів дисковою фрезою діаметром $d=100\text{мм}$ і товщиною 3мм. Швидкість різання 100-120 мм/с;
- Підготовка поверхні до нанесення фоторезисту. Механічно та хімічно очистити поверхню мідної фольги, очистити мідною абразивною тканиною, промити проточною водою, обробити 5-7% розчином HCl протягом 30 секунд і промити;
- Розпиліть фоторезист на поверхню фольги шляхом центрифугування та висушування. Швидкість центрифуги 80-100об/хв, температура сушіння 35-40°C;
- Витримка друкованого зображення здійснюється в копіювальній рамі протягом 8-10 хвилин;
- Захисне позитивне зображення друкованої плати проявляється в теплій воді ($t=40-50^\circ\text{C}$) в ультразвуковій коливальній ванні;
- Дублення для захисту малюнка — хімічне дублення в 3% розчині хромового ангідриду;

- Протравити (видалити) мідь з незахищених ділянок фольги в травильній установці КТ-38 протягом 15-18 хвилин, обробити пластину водним розчином FeCl_3 і потім промити холодною водою;
- Нанести лак і просушити 6 годин при $20-30^\circ\text{C}$;
- буріння;
- Для зенкерування використовувати свердло діаметром 1,25 мм;
- Поверхнева активація розчином хлориду олова;
- Використовуйте 40% розчин мідного купоросу для безгальванічного міднення протягом 20 хвилин;
- Використовуйте ацетон для видалення захисної фарби;
- сухий;
- Нанести сплав ROSE шляхом занурення у ванну з температурою $t=95^\circ\text{C}$.

4.3.1.3 Вибір матеріалів друкованої плати

У нас такі вимоги до матеріалів:

- а) Висока технологічність;
- б) Високі електрофізичні властивості;
- в) здатний працювати в умовах вакууму;
- д) Забезпечити високу адгезію;
- д) Мінімальна механічна деформація.

Таблиця 4.6 - Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр друкованої плати	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність, кг/м^3	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий опір, $\text{Ом}\cdot\text{м}$	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон температур, $^\circ\text{C}$	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт розширення, 10^{-6}K^{-1}	22	22	8...9

Найчастіше при виготовленні друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс марок:

- а) ГФ - фрустрований гетинакс;
- б) СФ - фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС - склотекстоліт травлений фольгою;
- г) СФПН - термостійкий фольгований склотекстоліт;
- д) STF – термостійке скловолокно.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу та вибирається на основі підкладки компонента та навантаження.

Велика частина деталей пристрою знаходиться на друкованій платі,

Дошка піддається механічним навантаженням, тому слід вибирати скловолокно товщиною 2 мм. Граничне відхилення товщини цієї скловолоконної плити становить 0,2 мм.

Тому скловолокно має найкращі властивості. Тому в якості матеріалу для друкованих плат ми вибрали склотекстолітову фольгу двосторонню марки СФ-2-35-1,5 ГОСТ 10316-78, товщина фольги якої становить 35 мікрон, тому товщина фольгованого матеріалу становить 2 мм. Для виготовлення двосторонніх і односторонніх друкованих плат. Матеріал являє собою шаруватий пресований пластик на основі склотканини, просоченої термореактивною смолою і обшитої з двох сторін мідною фольгою.

Для утеплення корпусу використовується пластик ТУ 812.362 СМЗ.

4.3.1.4 Вибір типу друкованої плати фотоелектричного рефрактометра

Плити випускаються односторонні, двосторонні (з шаровими з'єднаннями і без) і багатошарові (міжшарове послідовне з'єднання, міжшарове попарне з'єднання, з наскрізними отворами).

Характеристики однієї панелі:

- а) встановити радіодеталі безпосередньо на поверхню матеріалу;
- б) можна використовувати додаткові перемички (до 5%);

с) Низька вартість і рівні щільності від першого до другого.

Особливості другої панелі:

- а) Високі обмінні властивості;
- б) Підвищити міцність з'єднання;
- в) Вартість вища.

Прилад має чотири мікросхеми. Тому для зручності відстеження ми виберемо подвійні панелі - це дозволяє уникнути непотрібних перемичок і спрощує електронне відстеження в пакеті ORCAD Layout.

4.3.1.5 Вибір рівня точності друкованої плати

Для даного виробу, враховуючи, що координатна сітка ГОСТ 10317-82 має крок 1,25 мм і складне відстеження, оптимальним варіантом є вибір третього рівня точності друкованої плати □

Цей клас характеризується такими елементами дизайну:

- а) Ширина провідника в ширшому місці 0,45 мм;
- б) Ширина провідника у вузькому місці 0,25 мм;
- в) Відстань між двома провідниками 0,25 мм;
- г) Зовнішня гарантійна стрічка 0,1 мм;
- д) Внутрішня гарантійна стрічка 0,05 мм.

У широких місцях ширина провідника встановлюється наступним класом - для третього класу це буде другий клас.

4.3.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Розраховуємо діаметр контактних площадок залежно від діаметрів отворів по формулі

$$D_{КП} = d_{ОТВ} + \Delta d_{ОТВ} + 2 \cdot e + \Delta t_B + \Delta t_{TP} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{HB}^2} \quad (4.3)$$

де $d_{ОТВ}$ - це є діаметр отвору;

$\Delta d_{ОТВ}$ - це є верхній допуск на діаметр отвору;

ϵ - це є ширина гарантійного пояса;

Δt_b - це є верхній допуск на ширину провідника;

Δt_{tp} - це є допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d - це є позиційний допуск розміщення отворів;

T_D - це є позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

Δt_{nb} - це є нижній допуск на ширину провідника.

Для двосторонньої плати третього класу значення параметрів наступні

$$\Delta d_{отв} = 0 \text{ мм}; \epsilon = 0,1 \text{ мм}; \Delta t_b = 0,1 \text{ мм}; \Delta t_{tp} = 0;$$

$$T_d = 0,08 \text{ мм}; T_D = 0,15 \text{ мм}; \Delta t_{nb} = 0,1 \text{ мм}.$$

Визначимо загальний допуск

$$\Delta D_{кл} = 2 \cdot 0,1 + 0,1 + \sqrt{0,08^2 + 0,154^2 + 0,1^2} \approx 0,5 (\text{мм}). \quad (4.4)$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою

$$d = d_b + (0,2..0,4). \quad (4.5)$$

$d_{вив}$ – це є діаметри виводів радіоелементів.

У даному пристрої діаметри виводів елементів 0,7; 0,8 мм (згідно таблиці 4.4).

Виконаємо оптимізацію діаметрів отворів

$$d_1 = 0,7 + 0,3 = 1,0 (\text{мм}); \quad (4.6)$$

$$d_2 = 0,8 + 0,2 = 1,0 (\text{мм}). \quad (4.7)$$

Маємо один із діаметрів отвору:

$$d_1 = 1,0 \text{ мм}.$$

Обчислюємо діаметр контактних площадок:

$$D_1 = 1.0 + 0.5 = 1.5 (\text{мм}). \quad (4.8)$$

У даному пункті були розраховані діаметри контактних площадок що рівні 1,5 мм.

4.3.3 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників здійснений для інформаційних провідників.

Для інформаційних провідників

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (4.9)$$

де $j_{\text{доп}}$ – це є допустима густина струму, для випадку двосторонньої плати, що виготовлена комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$,

t – це є товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$,

$I_{\max}$ - максимальний постійний струм, що протікає крізь провідник, $I_{\max} = 0,16 \text{ А}$.

Обчислюємо

$$B_{\min} = \frac{0.16}{48 \cdot 0.035} = 0.095 (\text{мм}) = 95 (\text{мкм}). \quad (4.10)$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}}}, \quad (4.11)$$

де ρ - це є питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$,

$I_{\max}$ – це є струм, який проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,16 \text{ А}$,

$l_{\max}$ – це є максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,145 \text{ м}$,

$U_{\text{доп}}$ – це є допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення

$U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$),

t – це є товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,16 \cdot 0,0175 \cdot 0,145}{0,25 \cdot 0,035} = 0,046(\text{мм}) = 46(\text{мкм}). \quad (4.12)$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для третього класу точності.

4.3.4 Аналіз електромагнітної сумісності компонентів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості ланцюга живлення високочастотних з'єднань між компонентами стає все більш важливим. При цьому необхідно не тільки визначити параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність тощо), а й виміряти їх взаємовплив (паразитну ємність, взаємну індуктивність тощо). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованої плати залежать від різноманітних факторів, які певною мірою впливають на зміну розрахункових значень: режиму роботи схеми, матеріалу захисного покриття, технології виготовлення тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно, а тому недоцільно на етапі проектування друкованої плати. Тут потрібні приблизні розрахунки з достатньою точністю, перевірені та уточнені після виготовлення та дослідження перших друкованих плат [30]

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності обладнання в умовах перехресної інтерференції ліній зв'язку та впливу зовнішніх електромагнітних полів [29, 30].

1. Діелектрична проникність середовища між провідниками, які розташовані на зовнішній поверхні друкованої плати, що покрита лаком, дорівнює

$$\varepsilon_R = 0.5(\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\text{л}}), \quad (4.13)$$

де $\varepsilon_{II}=6$ – це є діелектрична проникність стеклотекстоліту;

$\varepsilon_{II}=4$ – це є діелектрична проникність лаку УР-231;

$$\varepsilon_R = 0.5(6 + 4) = 5. \quad (4.14)$$

2. Взаємна ємність та взаємна індуктивність провідників, що розташовані на одній поверхні плати

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)}, \quad (4.15)$$

де $W=3,5 \cdot 10^{-5}$ – це є товщина провідного шару міді, м;

$b=2,5 \cdot 10^{-4}$ - це є ширина провідників для третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 9,72 \text{ (пФ)}. \quad (4.16)$$

Між двома друкованими провідниками паразитна взаємоіндукція M , нГн, визначена по формулі

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right), \quad (4.17)$$

де S – це є відстань між провідниками, $S = 0,05$ см;

l_2 – це є довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 1$ см;

t_1, t_2 – це є ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,025$ см.

Маємо

$$M = 2 \cdot 1 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 1}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 4,57, \text{ (нГн)}. \quad (4.18)$$

Із розрахунків паразитної ємності та індуктивності слідує, що їх параметри перебувають у межах норми і не потрібно додаткових засобів по їх зменшенню.

4.3.5 Розрахунок плати на вібростійкість

Частота власних коливань обчислена по формулі

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab, \quad (4.19)$$

де a, b – це є довжина і ширина плати: $a = 100$ мм, $b = 80$ мм;

D – це циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (4.20)$$

де E – це є модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту із друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

h - це є товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν - це є коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M - це є маса плати з радіoeлементами,

ρ - це є густина текстоліту, $\rho = 1,98$ г/см³

$M_{\text{ел}}$ – це є сумарна маса елементів (див. табл. 4.4)

$$M = \rho \cdot a \cdot b \cdot h + M_{\text{ел}} = 1,98 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 0,2 + 43,1 = 74,78(\text{г}); \quad (4.21)$$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot 2}{12(1 - 0,22^2)} (1 - 0,22^2) = 21,33; \quad (4.22)$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,1^2} \left(1 + \frac{0,1^2}{0,055^2}\right) \sqrt{\frac{9,45}{0,074}} 0,055 \cdot 0,1 = 609,31 \text{ Гц}. \quad (4.24)$$

$$f \neq f_p$$

$$80 \text{ Гц} \neq 609,31 \text{ Гц.}$$

Отже, частоти власних коливань і резонансна не співпадають, а відношення розмірів плати задовольняє вимогам вібростійкості. Коефіцієнт динамічності обчислений по формулі

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (4.25)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – це є залежність коефіцієнта від коливань. Якщо обидва краї закріплені, тоді $K(x) = K(y) = 1,3$;

η - це є коефіцієнт розстроювання:

$$\eta = f/f_p = 80/630 = 0,131;$$

ε - це є показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

λ - це є декремент затухання $\lambda = (2 \dots 10) \cdot 10^{-2}$.

Маємо

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,131^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,131^2}{(1 - 0,131^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,131^2}} = 1,33. \quad (4.26)$$

Вібровміщення визначається за формулою

$$S_B = \xi_0 * K_d, \quad (4.27)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 (f_p)^2}, \quad (4.28)$$

де a_0 – це є віброприскорення (за технічним завданням, $a_0 = 2g = 19,8 \frac{m}{c^2}$),

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 709^2} = 1,351 \cdot 10^{-6} \text{ мм,}$$

$$S_B = 9,976 \cdot 10^{-7} \cdot 1,023 = 1,393 \cdot 10^{-6} (\text{м});$$

віброприскорення

$$a_B = a_0 \cdot K_d = 19,8 \cdot 1,023 = 20,414 (\text{м/с}^2).$$

Визначаємо прогин плати

$$\delta_{\text{доп}} = S_B - \xi_0 = 1,02 \cdot 10^{-6} - 9,976 \cdot 10^{-7} = 4,192 \cdot 10^{-8} (\text{мм}),$$

$$\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{доп}} \cdot h^2 = 4,192 \cdot 10^{-8} \cdot 0,02^2 = 1,677 \cdot 10^{-11} (\text{мм}).$$

З розрахунку видно, що прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення, і можна сказати, що вібраційне навантаження не вплине на роботу обладнання.

4.3.6 Розрахунок ефектів удару

Цей розрахунок робиться для перевірки міцності при транспортуванні (упаковці).

Прилад повинен витримувати ударні імпульси тривалістю 5-10 мс і пікові прискорення до 5g. Як і у випадку з розрахунком впливу вібрації, вплив удару також розраховується для друкованої плати. Враховуючи, що максимальний удар створюється прямокутним імпульсом, необхідно перевірити умови ударостійкості цього імпульсу [30].

Умовна частота ударного імпульсу визначається за формулою

$$\omega = \pi / \tau, \quad (4.29)$$

де ω - це є тривалість ударного імпульсу τ мс.

$$\omega = 314 \text{ с}^{-1}$$

Коефіцієнт передачі при ударі

$$K_y = 2 \sin(\pi / 2V), \quad (4.30)$$

де V - це є коефіцієнт розстроювання, $V = \omega / 2\pi f = 0,08$

$$K_y = 0,67$$

Розраховуємо ударне прискорення

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (4.31)$$

де H_y - це є амплітуда прискорення ударного імпульсу. $H_y = 49$ мс.

$$a_y = 0,03$$

Визначаємо максимальне відносне переміщення

$$Z_{\max} = H_y / 2\pi f_0 \sin(\pi/2V), \quad (4.32)$$

Для друкованої плати повинна виконуватись умова: $Z_{\max} < 0,003b$

$$Z_{\max} = 3,68 \cdot 10^{-5} < 3,75 \cdot 10^{-4}$$

Аналізуючи отримані дані, ми дійшли висновку, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краю плати) та її товщина забезпечують найменшу частоту автоколивань, вібрацію при ударі та мінімальне прискорення удару. Цей вибір також був зроблений тому, що вібрація виникає лише під час транспортування обладнання.

4.3.7 Тепловий розрахунок приладу

Під час виробництва, зберігання та експлуатації обладнання піддається впливу широкого діапазону температур. Сам прилад є джерелом тепла, так як мікросхема має ККД 50...60%, тому у вигляді тепла виділяється велика кількість енергії. Якщо ця енергія не розсіюється, температура пристрою підвищується, а інтенсивність відмови зростає.

Визначимо тепловий стан і підберемо систему охолодження за методикою [9]. Вихідні дані для розрахунку наступні:

- а) Внутрішні розміри пристрою: $0,1 \times 0,08 \times 0,02$ м;
 б) Внутрішній об'єм приладу $V = 1,6 \cdot 10^{-4}$ м;
 с) Споживана потужність:

$$P = P_{\text{рез}} + P_{\text{мік}} = 16 \cdot 0,125 + 0,02 \cdot 3 + 2,4 + 0,25 + 0,125 + 0,5 + 0,5 + 1,375 \cdot 2 \approx 8,585 (\text{Вт});$$

де $P_{\text{рез}}$ - розсіювана потужність резистора, $R_{\text{мік}}$ - мікросхема.

- г) коефіцієнт заповнення КЗАП = 0,2;
 д) максимальна температура навколишнього середовища (вибирається виходячи з найнижчої температури серед максимально допустимих температур усіх елементів) $T_{\text{мах}} = +850\text{C} = 358\text{K}$;
 д) максимально допустимий перегрів повітря всередині обладнання (максимальна температура повітря $T_{\text{пов}} = 350\text{C} = 308\text{K}$)

$$\theta_{\text{в.дон}} = 358 - 308 = 50 (\text{K}).$$

Коефіцієнт форми пристрою визначаємо по формулі

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}}, \quad (4.33)$$

де H – це є висота блоку, м;

V – це є внутрішній об'єм пристрою, м^3 ;

$$K_0 = \frac{0,02}{\sqrt[3]{1,6 \cdot 10^{-4}}} = 0,368.$$

Площу поверхні відведення тепла визначаємо по формулі

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{\text{ЗАП}} \cdot \sqrt{K_0} \right), \quad (4.34)$$

отримаємо

$$S_3 = \sqrt[3]{(1,6 \cdot 10^{-4})^2} \cdot \left(\frac{2}{0,079} + 4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{0,079} \right) = 0,03(\text{м}^2).$$

Визначаємо питомий тепловий потік нагрітої зони

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (4.35)$$

де Φ – це є потужність розсіювання, що складає 40% від споживаної потужності

$$\Phi = 0,4 \cdot 5,585 = 3,434(\text{Вт});$$

$$q_3 = \frac{5,2}{0,03} = 172,273(\text{Вт} / \text{м}^2).$$

Перегрівання для пристрою з природною конвекцією

$$M[\theta_B] = 35K.$$

Порівнюємо значення $\theta_{\text{в.дон}} = 50K$ і отримане значення

$$\theta_{\text{в.дон}} > M[\theta_B],$$

а тому забезпечено умови нормального теплового режиму, та природної конвекції достатньо для цього.

4.3.8 Розрахунок надійності при раптових відмовах

Надійність є одним з основних параметрів виробу. Після розрахунку можна зробити висновок про надійність обраного рішення та конструкції виробу. Надійність пристрою залежить від надійності і кількості використовуваних компонентів, кількості з'єднань між компонентами, способу кріплення компонентів і типу їх з'єднання, а також від зовнішніх факторів, теплових і електричних навантажень на компоненти. пристрій.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показника надійності виробу на основі відомих характеристик надійності та умов експлуатації складових частин. Вихідним показником для розрахунків надійності є інтенсивність відмов радіодеталей за нормальних умов.

Використаємо методику розрахунку експлуатаційної надійності з використанням математичних моделей згідно з [30].

Взагалі кажучи, математична модель має форму

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (4.36)$$

де λ_e – це є експлуатаційна інтенсивність відмов, с^{-1} ;

λ_0 – це є інтенсивність відмов при нормальних умовах і номінального електричного навантаження, с^{-1} ;

K_i – це є складові коефіцієнти математичної моделі.

Сумарна інтенсивність відмов для електронної апаратури

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{ОБСЛ} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (4.37)$$

де K_{AM} – це є коефіцієнт, що залежить від амортизації електронної апаратури; за відсутності системи амортизації у пристрої (як у нашому випадку) $K_{AM} = 1$;

$K_{ОБСЛ}$ – це є коефіцієнт, що залежить від якості технічного обслуговування радіоелектронної апаратури; для побутових виробів $K_{ОБСЛ} = 1$;

λ_{ei} – це є експлуатаційна інтенсивність i -го типу радіоелектронної апаратури;

n – це є кількість типів радіоелектронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, тому використовуємо в лабораторних умовах, а тоді коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$ [30]. Для кожного з елементів конструкції запишемо математичні моделі та обчислимо значення інтенсивності відмов.

Для кварцу

$$\lambda_E = \lambda_H \cdot K_e, \quad (4.38)$$

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для конденсаторів керамічних

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (4.39)$$

де K_P – це є коефіцієнт навантаження, що визначається з таблиці 4.6;

K_C – це є коефіцієнт, який залежить від ємності конденсатора.

Оскільки на конденсаторі максимальна напруга падає тоді, коли вона рівна напрузі живлення, то відношення U/U_H

$$\frac{U}{U_H} = \frac{5}{10} = 0,5,$$

тому $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,9$ (в середньому), тоді матимемо

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,0014 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (4.40)$$

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для постійних недротяних вуглецевих резисторів

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (4.41)$$

де K_P – це є коефіцієнт навантаження, який визначається по табличних даних [29]; $K_P = 0,57$;

K_R – це є коефіцієнт, який залежить від опору резистора, визначається по табличних даних [29], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором $1 \dots 100$ кОм). Маємо

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для роз'ємів

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (4.42)$$

маємо

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

$$\lambda_{E2} = 0,0013 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,0013 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$$

Результати обчислень занесемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елементи	Експлуатаційна Інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтен- сивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Кварц. резонатори	0,1000	2	0,1000
Мікросхеми	0,1	10	1
Конденсатори	0,0100	22	0,22
Резистори	0,0040	30	0,12
Роз'єми	0,0113	3	0,0339
Пайка	0,0100	353	3,53
Плата	0,5000	2	1
Провід	0,1500	11	1,65
Корпус	0,0500	1	0,05

Сумарна інтенсивність відмов

$$\sum \lambda = (0,1+1+0,22+0,12+0,0339+3,53+1+1,65+0,05) \cdot 10^{-6} = 7,704 \cdot 10^{-6} \text{ (год)}$$

Надійність пристрою напрацюванням на відмову, яке обчислюється по формулі

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \quad (4.43)$$

Підставимо дані

$$T = \frac{1}{13,67 \cdot 10^{-6}} = 129804 [\text{год}].$$

Середній час напрацювання на відмову складає $T = 129804$ год.

4.3.9 Аналіз електромагнітної сумісності компонентів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості рішень питання високочастотних зв'язків між компонентами стає все більш актуальним. При цьому необхідно визначити не тільки параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність і т. д.), але і те, наскільки вони впливають один на одного (паразитна ємність, взаємна індуктивність і т. д.). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованої схеми залежать від ряду факторів, які більшою чи меншою мірою впливають на зміну розрахункових значень: режим роботи схеми, матеріал, з якого виготовлена схема, захисне покриття, технологія виготовлення тощо. Сукупний розгляд усіх цих факторів є досить складним і тому недоцільним на етапі проектування друкованих плат. Тут потрібні приблизні розрахунки з достатньою точністю, які перевіряються та уточнюються після виробництва та перевірки перших друкованих плат.

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності обладнання в умовах перехресних перешкод від ліній зв'язку та впливу зовнішніх електромагнітних полів [30].

Діелектрична проникність середовища між провідниками, які розташовані на зовнішній поверхні друкованої плати, що покрита лаком, дорівнюють

$$\varepsilon_R = 0.5(\varepsilon_{II} + \varepsilon_{II}), \quad (4.44)$$

де ε_{II} - це є діелектрична проникність склотекстоліту;

ε_{II} - це є діелектрична проникність лаку Е-4100.

$$\varepsilon_R = 0.5(6 + 4) = 5.$$

2. Визначаємо взаємні індуктивність та ємність провідників, що розташовані на одній поверхні ДП.

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg \frac{2 \cdot \delta}{W + b}}, \quad (4.45)$$

де $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ - це є відстань між провідниками, м;

$W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ - це є товщина провідного шару, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ - це є ширина провідників, м.

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}} = 0,194 \text{ (пФ)}.$$

$$M = 2 \cdot l \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{\delta + l} \right), \quad (4.46)$$

де $l = 0,325$ - це є довжина області зв'язку провідників, м.

$$M = 2 \cdot 0,325 \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 0,325}{5 \cdot 10^{-4} + 0,325} \right) = 0,069 \text{ (мГн)}.$$

3. Опір ізоляції між провідниками розраховуємо активної та пасивної ліній зв'язку для провідників, що розташовані на одній поверхні плати

$$R_u = \frac{\rho_{\square} \cdot \delta}{l}, \quad (4.47)$$

де $\rho_{\square} = 5 \cdot 10^{10}$ - це є питомий поверхневий опір основи плати, Ом.

$$R_u = \frac{5 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0,325} = 0,769 \cdot 10^9 \text{ Ом.}$$

Для провідників визначаємо взаємні індуктивність та ємність, що розташовані на протилежних сторонах друкованої плати.

$$C = 0,075 \cdot \varepsilon_r \cdot l \cdot \ln \frac{b}{h} \cdot \left[1 + \frac{h}{b} \cdot \left(1 + \lg \frac{2 \cdot b}{h} \right) \right], \quad (4.48)$$

де $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ - це є товщина зазору між провідниками, м.

$$C = 0,075 \cdot \varepsilon_r \cdot l \cdot \ln \frac{b}{h} \cdot \left[1 + \frac{h}{b} \cdot \left(1 + \lg \frac{2 \cdot b}{h} \right) \right] = 0,056 \text{ (пФ).}$$

$$M = 2 \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{h}, \quad (4.49)$$

$$M = 2 \cdot 0,325 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,325}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 0,13 \text{ (мГн).}$$

Між провідниками визначаємо опір ізоляції, що розташовані на протилежних сторонах друкованої плати

$$R_H = \frac{\rho_v \cdot h}{F}, \quad (4.50)$$

де $\rho_v = 5 \cdot 10^9$ - це є питомий об'ємний опір склотекстоліту, Ом·м;

$F = 5,3125 \cdot 10^{-6}$ - це є площа проекції одного провідника на інший, м².

$$R_H = \frac{5 \cdot 10^9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{5,3125 \cdot 10^{-6}} = 1,412 \cdot 10^{12} \text{ Ом.}$$

Порівнюючи з допустимими [30] розраховані індуктивності, ємності та опори, робимо висновок, що дія завади не призведе до погіршення працездатності схеми.

Топологія друкованої плати мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ показана на рис. 4.1.

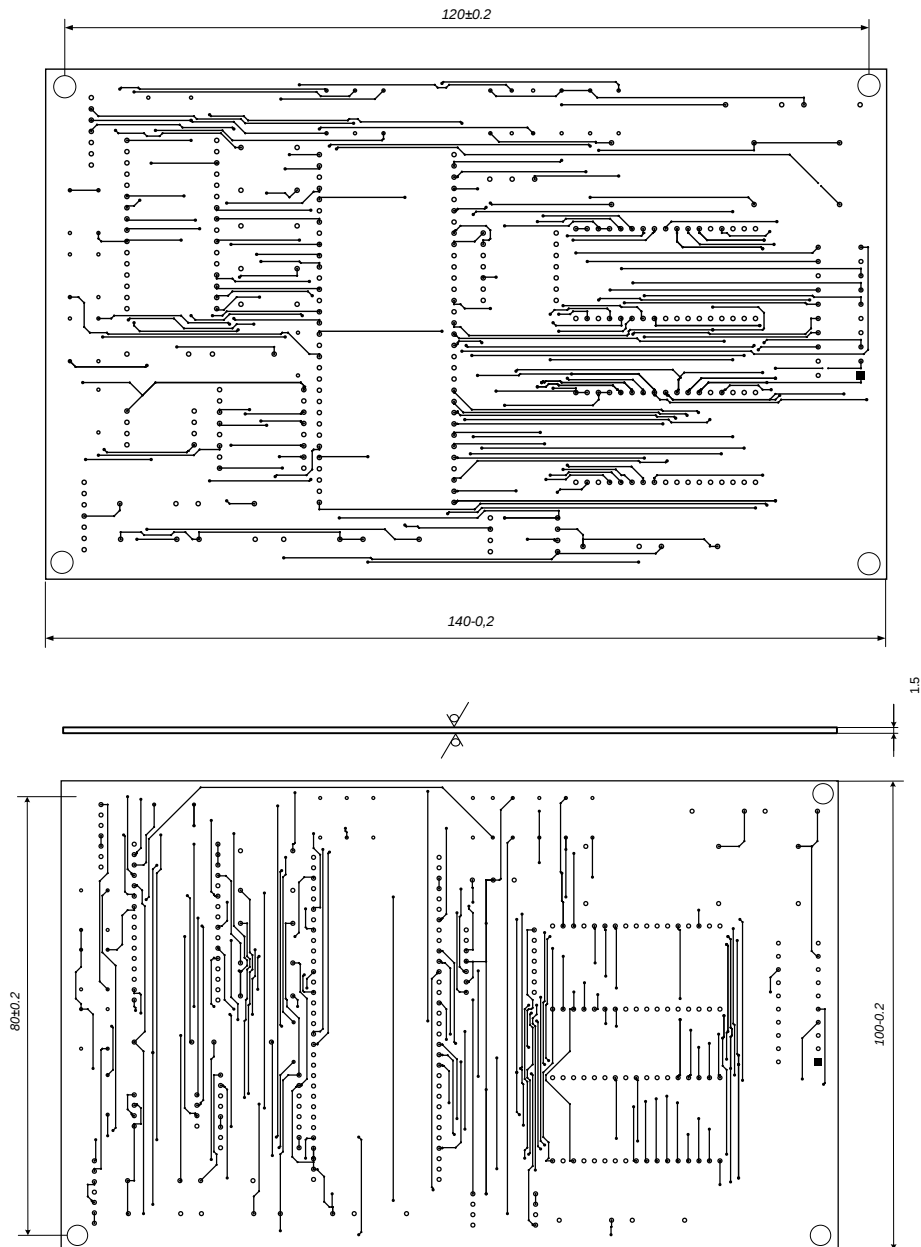


Рисунок 4.1 – Топологія друкованої плати пристрою мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ: вигляд згори (а) і вигляд знизу (б)

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Система забезпечення безпеки та охорони праці в Україні підпорядковується ряду законів і нормативних актів, які встановлюють обов'язки роботодавців щодо створення безпечних умов праці для своїх працівників. Ці закони передбачають необхідність забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту, проведення інструктажів та навчання з питань безпеки праці, а також вжиття заходів для запобігання потенційним небезпекам на робочому місці. Контроль за виконанням цих вимог здійснюють відповідні державні органи, такі як інспекція праці та інші. Важливо зазначити, що ефективність цієї системи може залежати від різних факторів, таких як культура безпеки на роботі, фінансові можливості підприємств і рівень освіти працівників.

Під час проектування мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ на працівника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; пряма і відбита блискість; підвищення яскравість; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Вимоги безпеки до робочого місця проектанта включають ряд аспектів, які мають на меті забезпечити безпеку та здоров'я працівника під час виконання його професійних обов'язків. Основні вимоги можуть включати:

Організація робочого місця: Робоче місце має бути організоване таким чином, щоб забезпечити комфорт та безпеку працівника. Це може включати належне розташування обладнання та меблів, достатнє освітлення, вентиляцію і температурний режим.

Безпечне обладнання та інструменти: Проектант повинен мати доступ до безпечного та належно підтриманого обладнання та інструментів. Вони повинні бути перевірені на відповідність стандартам безпеки та регулярно підтримуватися.

Інструктаж і навчання з питань безпеки: Проектант повинен бути підготовлений інструктажем та навчанням з питань безпеки щодо правильного використання обладнання, заходів запобігання травм та інших потенційних ризиків на робочому місці.

Організація протипожежного захисту: Робоче місце проектанта повинно бути обладнане необхідними засобами протипожежного захисту, включаючи вогнегасники та інші протипожежні засоби, а також проведення відповідних навчальних заходів щодо дій у випадку пожежі.

Заходи з охорони здоров'я: Робоче місце має бути організоване таким чином, щоб зменшити ризик виникнення стресу, перевтоми та інших проблем здоров'я, наприклад, за допомогою регулярних перерв у роботі та можливості фізичної рекреації.

Вимоги щодо робочого середовища: Робоче середовище повинно відповідати вимогам щодо якості повітря, звуку та інших факторів, що можуть впливати на здоров'я працівника.

Загальний принцип полягає в тому, щоб забезпечити проектанту безпечне та здорове робоче середовище, що сприяє ефективності його роботи та загальному благополуччю.

Робоче місце і взаємне розташування усіх її елементів має відповідати антропометричним, фізичним і неординарним психологічним вимогам [31]. Важливе значення має також характеру роботи. Зокрема, з організацією робочого місця проектувальника мають бути дотримані такі основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні руху, і переміщення;
- необхідне природне, і штучне висвітлення до виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму, який не перевищує допустимого значення;
- достатня вентиляція робочого місця;

Головними елементами робочого місця є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організується відповідно до вимог [31].

При проектуванні необхідно врахувати можливість різного розміщення документів, наприклад, їх розташування збоку від комп'ютера, між монітором і клавіатурою тощо. Крім того, у випадках, коли якість зображення на екрані комп'ютера низька, наприклад, відзначається помітне миготіння, рекомендується збільшити відстань від очей до екрана (приблизно 700 мм), щоб уникнути негативного впливу на зір. Ця відстань може бути більшою, ніж відстань від очей до документа (300–450 мм). У загальному випадку, при високій якості зображення на екрані комп'ютера, рекомендується рівна відстань від очей користувача до екрана, документа і клавіатури.

Велике значення надається характеристикам робочого крісла [32]. При проектуванні крісла виходять з того, що при будь-якому робочому положенні дослідника його поза повинна бути фізіологічно правильно обгрунтованою, тобто положення частин тіла повинно бути оптимальним. Для задоволення вимог фізіології, що впливають з аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна відповідати таким основним вимогам:

- допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечити ві-

льне переміщення корпусу і кінцівок тіла один щодо одного;

- допускати регулювання висоти в залежності від росту працюючої людини (в межах від 400 до 550 мм);
- мати злегка увігнуту поверхню, мати невеликий нахил, тому поверхню сидіння рекомендується робити м'якою, передній край закругленим, а кут нахилу спинки робочого крісла - регульованим.

Приміщення, де здійснювалася робота за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповишене, з нормальною температурою повітря, ізолюваними підлогами і малим числом заземлених приладів) [33].

На робочому місці має бути забезпечена безпека з усіх аспектів, включаючи обладнання. У нашому випадку, лише корпус системного блоку комп'ютера виготовлений із металу. Крім того, цей корпус має робочу ізоляцію та елемент для заземлення, а також провід з заземлюючим жиллом, який підключений до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування, включаючи апаратуру, кабелі та розподільні пристрої, відповідає усім стандартам і може працювати навіть при аварійних ситуаціях, таких як коротке замикання, перенапруга або перевантаження.

Для забезпечення безпеки були прийняті такі технічні заходи:

- Струмопровідні частини недоступні працівникам завдяки схованій проводці та спеціальним ринвам для кабелів.
- Струмопровідні частини ізолювані за допомогою ізоляції, опір якої не менше 1 кОм/В, і регулярно перевіряються та обслуговуються для забезпечення безпеки.
- Напруга в електромережі становить 220 В із заземленою нейтраллю.

У разі аварійних ситуацій працівник має:

- Негайно вимкнути електричне живлення та повідомити про це свого керівника або електрика.

- Надати долікарську допомогу, якщо людина отримала ураження електричним струмом.
- Викликати технічну службу у разі будь-яких відхилень у роботі обладнання або програмного забезпечення.
- Припинити роботу з ПК у разі будь-яких ознак негативного впливу на здоров'я, таких як різке погіршення зору або головний біль.
- У разі загоряння обладнання вимкнути його та повідомити про це керівника та пожежну службу, а також вжити заходів для його ліквідації за допомогою вогнегасника.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Робота, яка виконується проектувальником, згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [34]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.2.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [35]).

Таблиця 5.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення відповідних нормативам параметрів мікроклімату у приміщенні передбачено наступне: система опалення, система кондиціонування та регулярне вологе прибирання.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочому місці та в робочій зоні в різні періоди робочої зміни: на початку, в середині та в кінці. Ці вимірювання здійснюються не рідше, ніж двічі на рік, включаючи теплий та

холодний періоди, у межах поточного санітарного контролю. Також проводяться вимірювання при введенні в експлуатацію нового технічного обладнання, внесенні змін до конструкції діючого обладнання, створенні нових робочих місць та інших випадках.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Сучасна техніка використовує різні речовини, які можуть випускатися у повітря та представляти загрозу для здоров'я людей. Для визначення рівня небезпечності цих речовин проводяться дослідження їх впливу на організм людини, а також встановлюються безпечні для здоров'я концентрації та дози, які можуть потрапляти в організм різними шляхами.

Для забезпечення здорових та безпечних умов праці необхідно мати нормативні вимоги щодо шкідливих речовин, надійні методи визначення їх концентрацій у повітрі, а також сучасне технічне та організаційне забезпечення для їх видалення.

У приміщенні, де ведеться робота, можуть бути шкідливі речовини у повітрі, такі як пил та озон, які є результатом роботи офісної техніки.

Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

Таблиця 5.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл. 5.2.3).

Таблиця 5.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи, так і технічні засоби. Організаційні методи включають раціональну організацію робіт з урахуванням пори року і доби, а також чергування між роботою та відпочинком. Технічні засоби включають в себе вентиляцію, кондиціювання повітря та опалювальну систему.

5.2.3 Виробниче освітлення

Серед зовнішніх факторів, які впливають на організм людини під час праці, освітлення відіграє ключову роль. Це пояснюється тим, що близько 90% інформації про навколишнє середовище людина отримує за допомогою зору. Під час виконання будь-яких робіт очі стають втомленими, переважно через напруженість процесів, пов'язаних з зоровим сприйняттям. Такі процеси включають адаптацію, акомодацию та конвергенцію.

Світло впливає не лише на функціонування органів зору, але і на роботу всього організму. Погане освітлення може призводити до швидкої втоми, зменшення продуктивності праці, збільшення ризику помилок та нещасних випадків.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 5.2.4 (відповідно ДБН В.2.5-28-2018 [36]):

Таблиця 5.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення належного освітлення виконано такі заходи:

Регулярно проводиться очищення скла від бруду не рідше двох разів на рік.

Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, яке створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

5.2.4 Виробничий шум

Для робочих місць в приміщеннях з комп'ютерами характерна присутність різних типів шумів, включаючи механічні (спричинені коливанням деталей машин та їх рухами), аеродинамічні (виникають у газах або рідині внаслідок пружних конструкцій) та шуми від електричних машин.

Деякі комп'ютери можуть бути потенційними джерелами різноманітних звукових коливань, як у слуховому, так і ультразвуковому діапазонах. Зазвичай

рівні акустичного випромінювання, що йдуть від комп'ютерів, охоплюють частотний діапазон від 6,3 до 40 кГц.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [37]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 5.2.5.

Таблиця 5.2.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення прийнятних рівнів шуму рекомендується використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановлювати пластикові вікна з високою звукоізоляцією.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Під час проектування мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ існує ризик виникнення підвищеного рівня електромагнітного поля. Негативний вплив на організм людини мають електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, які походять від телевізійних і радіомовних станцій, пристроїв стільникового зв'язку, апаратів високочастотного нагрівання та навіть побутової техніки. Електромагнітні поля можуть викликати термічні та морфологічні зміни в організмі людини, що призводить до функціональних відхилень.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 5.2.6.

Таблиця 5.2.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчать середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

Для зменшення впливу цих видів випромінювання рекомендується використовувати монітори з низьким рівнем випромінювання, такі як MPR-II, TCO-92, TCO-99, TCO-03, а також дотримувати регламентовані режими роботи та відпочинку.

5.3 Пожежна безпека

Головною метою пожежної безпеки об'єкта є запобігання виникненню пожежі на рівні, визначеному чинними нормами, а в разі її виникнення – обмеження її поширення, вчасне виявлення та гасіння, а також захист людей і майна.

У приміщенні, де проводилось проектування, використовуються виключно негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому його класифікують як категорію "Д" за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки. Щодо вогнестійкості, приміщення відносять до другої категорії. Робоча зона проектувальника віднесена до класу вибухонебезпечності В-ІІа, оскільки концентрація пилу і волокон, що є вибухонебезпечними, може утворюватися тільки внаслідок аварії або несправності.

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система попередження пожежі представляє собою комплекс організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на усунення умов, що можуть спричинити виникнення пожежі.

У дослідженому приміщенні працює відповідальна особа за пожежну безпеку. Меблі та обладнання розміщені таким чином, щоб забезпечити вільний евакуаційний прохід до дверей виходу. Евакуаційні шляхи та виходи підтримуються постійно вільними.

Документи, папір та інші горючі матеріали зберігаються на відстані не менше 1 м від електрощитів, електрозборок і електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення. Засоби протипожежного захисту, такі як пожежні крани, пожежна сигналізація та первинні засоби пожежегасіння, утримуються в справному стані.

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні включають несправну електропроводку (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів) та використання електропобутових приладів (електрочайники, обігрівачі) або попадання вологи на працююче електрообладнання.

Для запобігання виникненню пожежі проводяться такі заходи, як щорічні протипожежні інструктажі та заняття з особами, відповідальними за пожежну безпеку; підтримання засобів протипожежного захисту в справному стані; своєчасне повідомлення про несправності пожежної техніки, систем протипожежного захисту та водопостачання.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту включає в себе ряд організаційних та технічних заходів, які спрямовані на запобігання впливу небезпечних факторів пожежі на людей та обмеження матеріальних збитків.

У приміщенні для обмеження розповсюдження пожежі встановлено переносний вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-5, який відповідає встановленим

нормам. Можливості для засобів первинного пожежегасіння та відключення електросхем устаткування залишаються доступними.

З метою дотримання протипожежного захисту заборонено:

- влаштовувати тимчасові електромережі та використовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках;
- прокладати електричні проводи безпосередньо по горючій основі;
- експлуатувати світильники без ковпаків (розсіювачів);
- використовувати саморобні подовжувачі, які не відповідають вимогам Правил улаштування електроустановок;
- прикріплювати одяг або інші предмети до вимикачів та розеток;
- обгортати електролампи та світильники;
- залишати без нагляду увімкнені в електромережу кондиціонери, комп'ютери, лічильники та друкарські машинки;
- користуватися побутовими електрокип'ятильниками та чайниками поза спеціально відведеними для цього приміщеннями;
- захищати доступ до засобів пожежегасіння та використовувати їх не за призначенням;
- зберігати документи, матеріали та інвентар у шафах інженерних комунікацій;
- палити поза відведеними для цього місцями;
- проводити зварювальні та інші вогневі роботи без відповідного дозволу;
- використовувати легкозаймисті рідини.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі розроблений мікроелектронний пристрій вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ.

Було здійснено порівняльну характеристику пристрою, який розробляється з існуючими прототипами та аналогами, зазначені їх переваги та недоліки.

На основі мікроконтролера типу ATmega163 запропоновані оптична та електрична принципова схема пристрою.

На основі електричної принципової схеми здійснено трасування та визначені розміри плати пристрою 100×80 мм.

Як матеріал для друкованої плати був обраний склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-2, що має товщину фольги 35 мкм, а товщина матеріалу з фольгою 2 мм.

Були зроблені розрахунки електромагнітної міцності плат, проведений розрахунок механічної міцності друкованої плати на удар і на вібрацію, а також виконаний розрахунок на надійність і проведені теплові розрахунки.

Таким чином, частота власної вібрації не збігається з резонансною частотою, а пропорція розміру пластини відповідає антивібраційним вимогам.

Час безвідмовної роботи становить 73125 годин. У результаті розрахунків було виявлено, що пристрій задовольняє всі техніко-технологічні характеристики та може бути введений у експлуатацію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wikimedia Foundation. (2022, March 9). Ray Transfer Matrix Analysis. Wikipedia. Retrieved April 11, 2022, from https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_transfer_matrix_analysis
2. Ray tracing (physics) - Wikipedia. (2022). Retrieved 20 May 2022, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(physics))
3. Contributors to Wikimedia projects. (2004, 12 березня). Resonator - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Resonator>
4. Siegman A.E. // Proc. IEEE. – 1965. – V.53. – P. 277
5. Wikimedia Foundation. (2021, May 20). Трасування променів. Wikipedia. Retrieved May 5, 2022, from https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96%D0%B2
6. Трасування променів (фізика). (2022). Retrieved 5 May 2022, from [https://wikiukuk.top/wiki/Ray_tracing_\(physics\)](https://wikiukuk.top/wiki/Ray_tracing_(physics))
7. Graham R and Haken H 1970 Laserlight — first example of a secondorder phase transition far away from thermal equilibrium Z. Phys. 237 31–46
8. Brambilla M, Battipede F, Lugiato L A, Penna V, Prati F, Tamm C and Weiss C O 1991 Transverse laser patterns I. phase singularity crystals Phys. Rev. A 43 5090–113
9. Krasnoshchekov, Ye & Yaparov, Vladimir & Taranenko, Victor. (2020). Generation of rotating multi-vortex laser beams. Journal of Optics. 22. 125501. DOI:10.1088/2040-8986/abc317.
10. Krasnoshchekov, Ye & Yaparov, Vladimir & Taranenko, Victor. (2020). Generation of rotating multi-vortex laser beams. Journal of Optics. 22. 125501. DOI: 10.1088/2040-8986/abc317.
11. Panchuk A.V., Machulyanskiy O.V., Hetmanchuk V.V. The impact of the refractive index of the analyte on the parameters of a gold based sensor element. XXIII

International Young Scientists Conference on Applied Physics (ICAP) (м. Київ, 18 травня 2023 р.). Київ, Україна. URL: <https://icap.knu.ua/index.php/contents>

12. Amouzadeh Tabrizi M., Acedo P. An electrochemical immunosensor for the determination of procalcitonin using the gold-graphene interdigitated electrode Biosensors. 2022. No 10. P. 768–771.

13. Novotny V., Jiri B. Voltammetric Determination of Aclonifen at a Silver Amalgam Electrode in Drinking and River Water. Ecological Chemistry and Engineering. 2017. No. 2. P. 246–254.

14. Roboz J. A history of ion current detectors for mass spectrometry. The Encyclopedia of Mass Spectrometry. 2016. P. 183–188.

15. Liu J., Ouyang Z. Mass spectrometry imaging for biomedical applications. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2013. No. 17. P. 645–650.

16. Javaid M., Haleem A., Singh R. P. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. Sensors International. 2021. No.2. P. 100–110.

17. Mohseni-Dargah M., Falahati Z., Dabirmanesh B. Machine learning in surface plasmon resonance for environmental monitoring. Artificial Intelligence and Data Science in Environmental Sensing. 2022. P. 269–298.

18. Homola J., Yee S. S., Gauglitz G. Surface plasmon resonance sensors: review. Sensors and Actuators B: Chemical. 1999, No. 1–2. P. 3-15.

19. Szunerits S., Spadavecchia J., Boukherroub R. Surface plasmon resonance: signal amplification using colloidal gold nanoparticles for enhanced sensitivity. Reviews in Analytical Chemistry. 2014. No. 33. P. 153-164.

20. John C. Lindon. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry : in 3 Vol. / George E. Tranter, David W. Koppenaal. Academic Press, 2017. Vol. 2 P. 360-36.

21. Yesudasu V., Himansu P., Rahul P. Recent Progress in Surface Plasmon Resonance Based Sensors: A Comprehensive Review. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021004266>

22. 12. Chen X., Gao Z., Li Z. A High-Sensitivity Sensor Based on Insulator-MetalInsulator Structure. Photonics. 2023. No. 5, P. 502.

23. Rakhshani, M.R.; Mansouri-Birjandi, M.A.J.S. High sensitivity plasmonic refractive index sensing and its application for human blood group identification. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2017. No. 249. P. 168-176.
24. Saha N., Brunetti G., Kumar A. та ін. Highly Sensitive Refractive Index Sensor Based on Polymer Bragg Grating: A Case Study on Extracellular Vesicles Detection. *Biosensors*. 2022. No. 6. 415p.
25. Machulianskyi O. Specific Electric Polarizability of Copper Nanoparticles in the Optical Range of the Spectrum. *Microsystems, Electronics and Acoustics*. 2018. P. 1-9.
26. Babych B. B., Machulianskyi O. V., та Yakimenko Y. I. Modeling of metal-dielectric nanocomposite coatings with ferromagnetic inclusions for electromagnetic protection of electronic devices. *Visnyk of Kherson National Technical University*, 2018. P. 104-108.
27. Machulianskyi O. V. Optical characteristics of nanodimensional particles of chrome. *Herald Of Khmelnytskyi National University*. 2018. Vol. 257. P. 203-207.
28. Anjum N. M., Mumtaz F., Ashraf M. A. Design and analysis of Gold-nanowires based multi-channel SPR sensor. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666950123000494>
29. Gold nanowire assisted highly sensitive hollow fiber temperature sensor. URL: https://www.researchgate.net/publication/364048948_Gold_Nanowire_assisted_Highly_sensitive_Hollow_Fiber_Temperature_Sensor/citations
30. Kosuda K. M., Bingham J. M., Wustholz K. L. та ін. Nanostructures and Surface Enhanced Raman Spectroscopy. *Comprehensive Nanoscience and Technology*. 2011. P. 263–301.
31. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИИУЦ», 2016. 21

32. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

33. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php.

34. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

35. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

36. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

37. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

38. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

39. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

Додаток А
(обов'язковий)

4

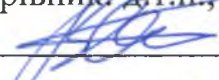
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206
спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Давидюк М.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС


Осадчук В.С.
(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

4

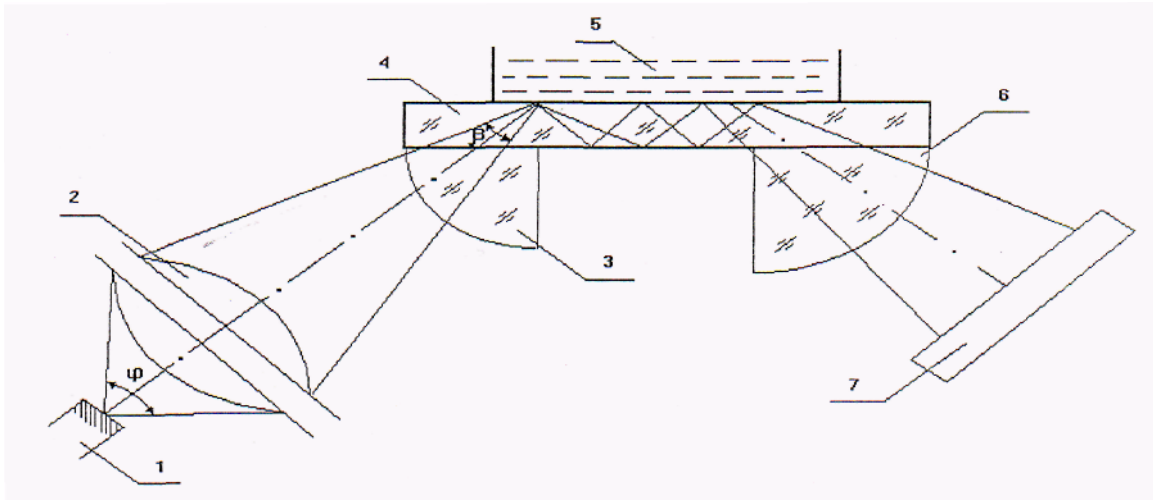


Рисунок 1 - Вимірювальний перетворювач

1. Джерело випромінювання.
2. Фокусуюча система.
3. Пристрій введення.
4. Плоский світловод.
5. Контрольоване середовище.
6. Пристрій виводу
7. Багатоелементний фотоприйомний пристрій.

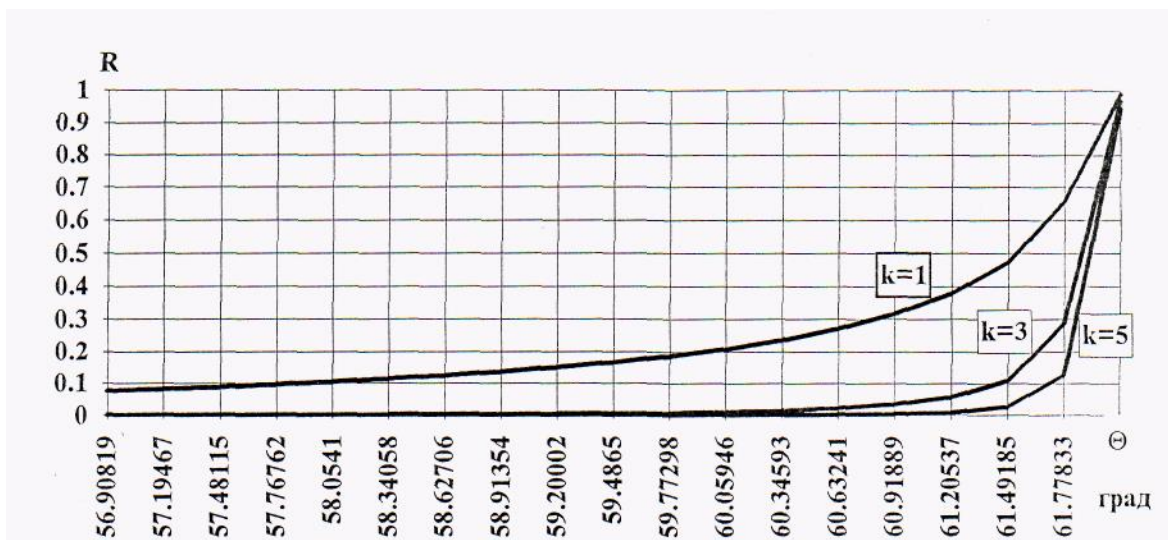


Рисунок 2 - Залежність відбивної здатності перетворювача для різних значень $k = 1, 3, 5$ при $N_1 = 1.34$

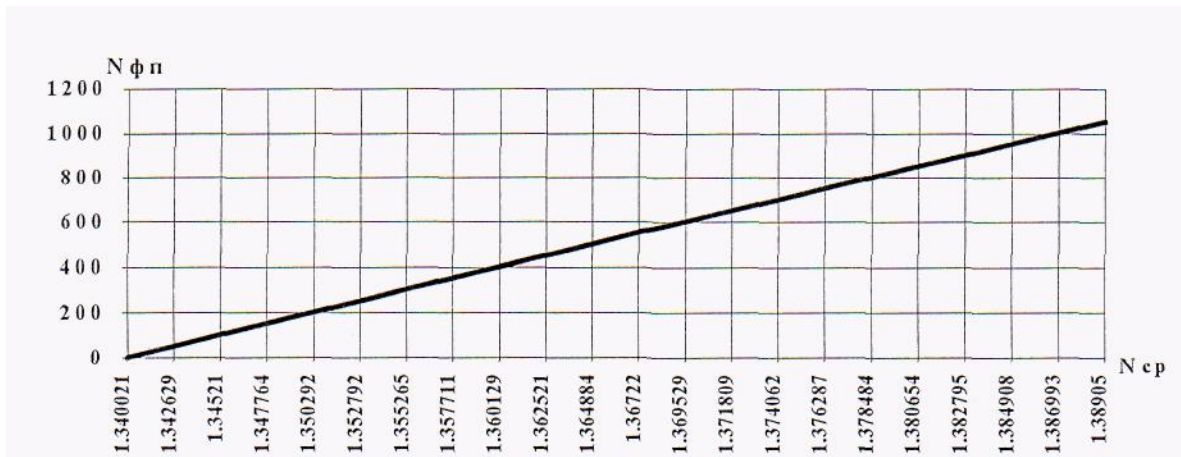


Рисунок 3 - Залежність номера фотоприймача $N_{фп}$ від показника переломлення середовища

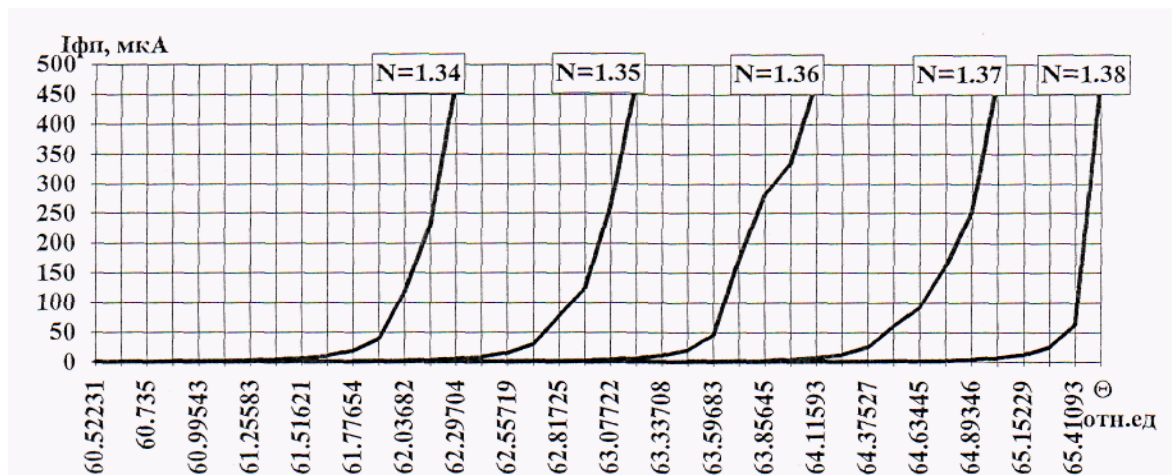


Рисунок 4 - Функція перетворення для вибірових значень показника переломлення середовища: 1.34, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38

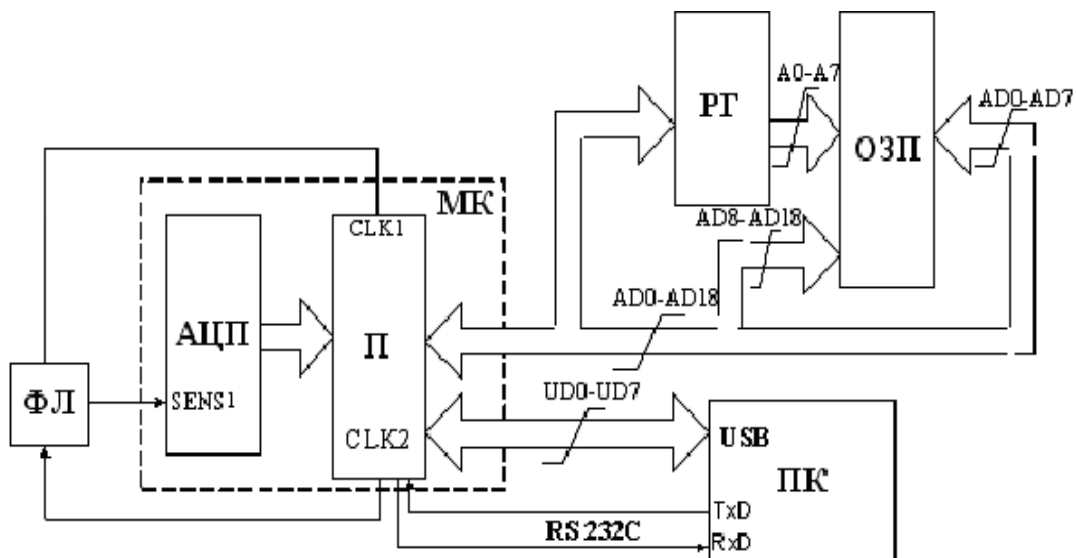


Рисунок 5 – Структурна електрична схема

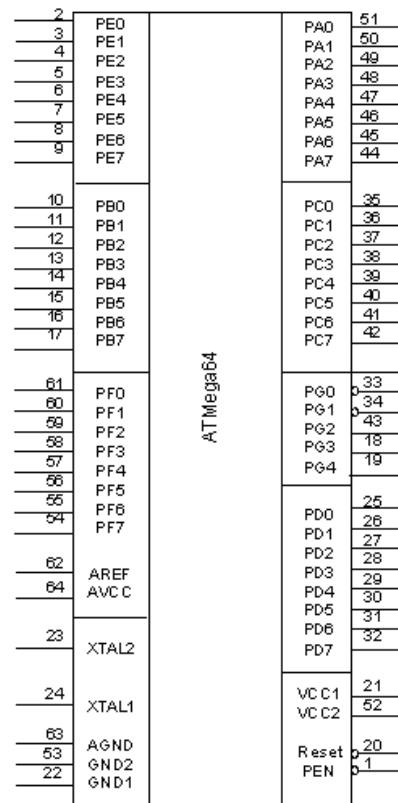


Рисунок 6 – Схемне позначення ATmega64

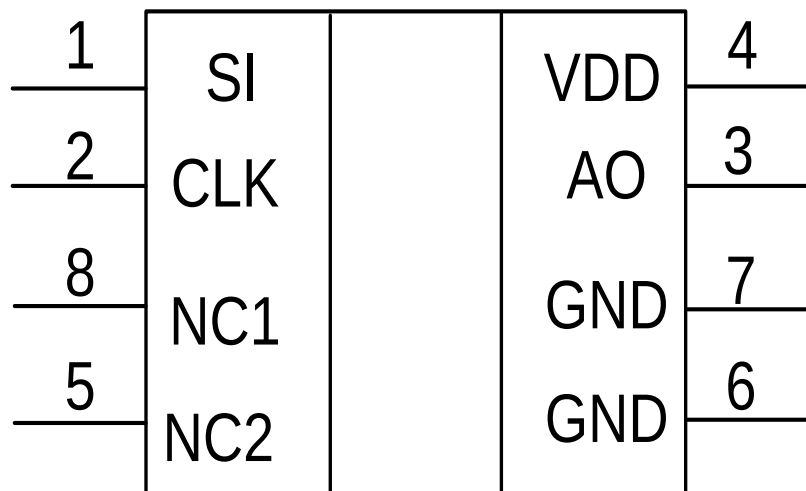


Рисунок 7 – Схемне позначення TSL1401

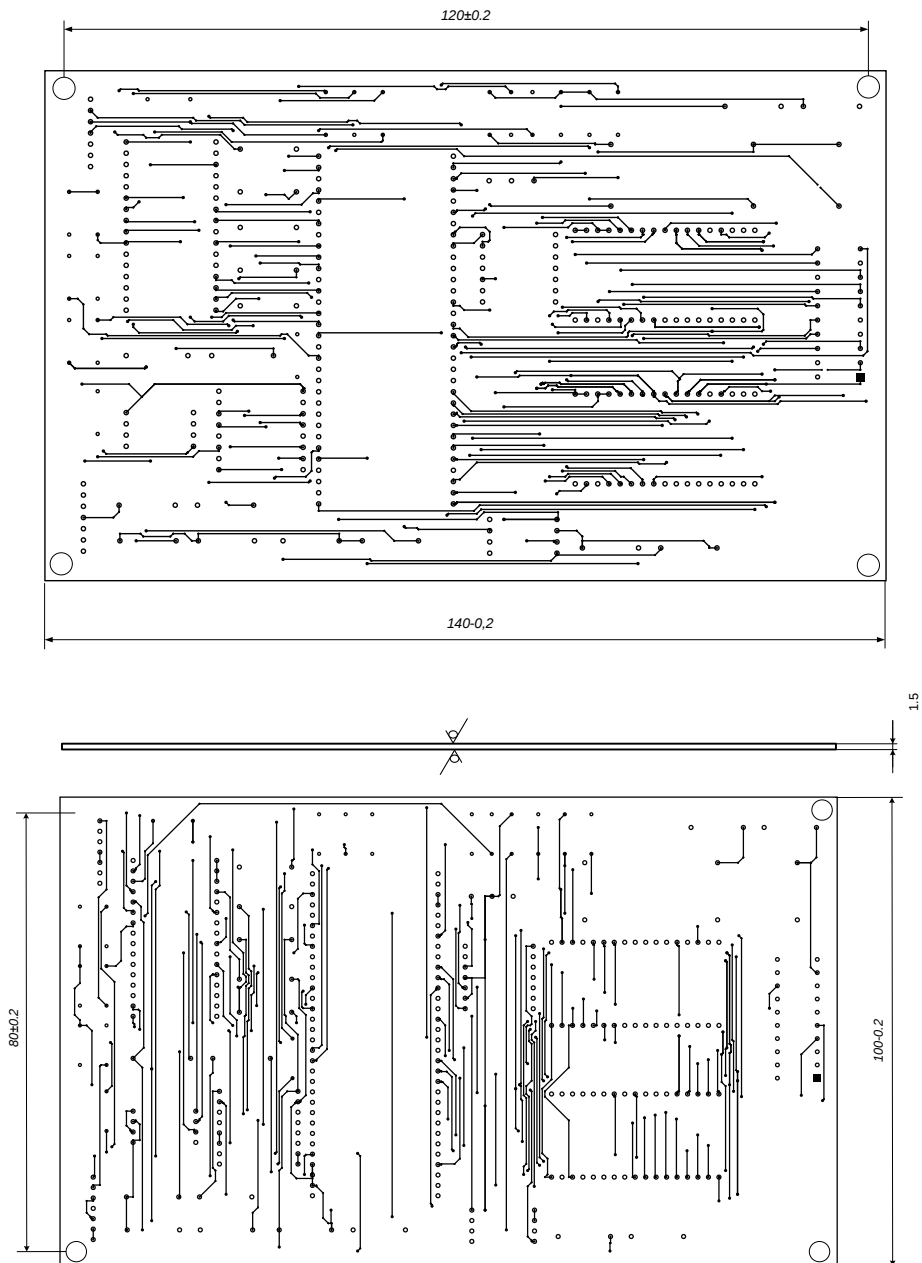


Рисунок 8 – Топологія друкованої плати пристрою мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ: вигляд згори (а) і вигляд знизу (б)

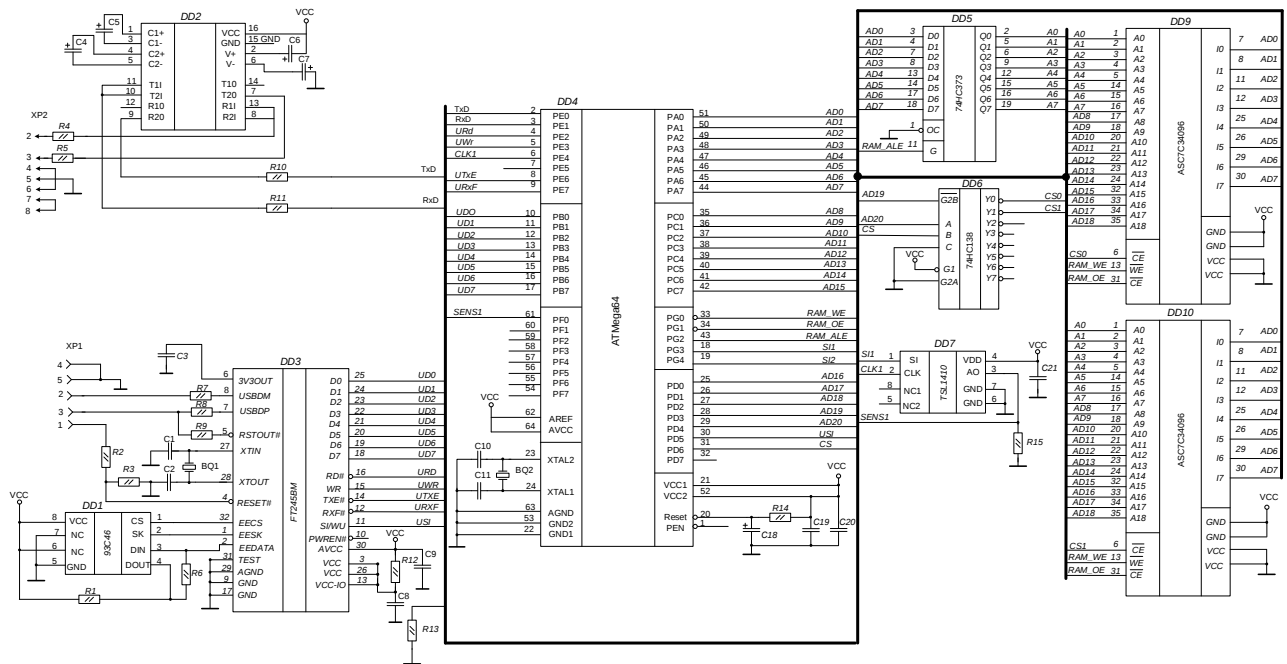


Рисунок 9 – Схема електрична принципова мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ

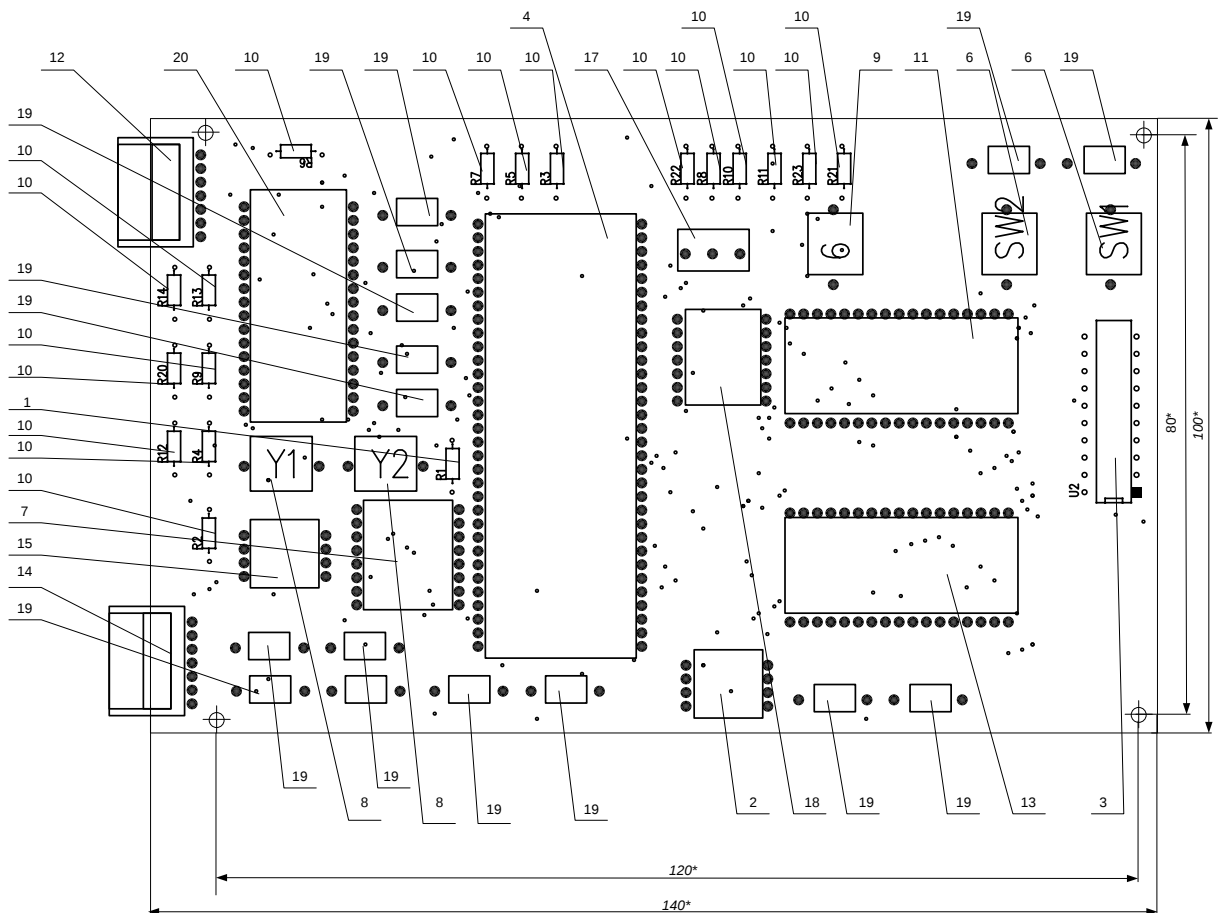


Рисунок 10 – Встановлення елементів на друкованій платі мікроелектронного пристрою вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ КУТА
ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Мікроелектронний пристрій вимірювання кута заломлення оптичного променя рідинних середовищ»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 73,4% Схожість 26,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

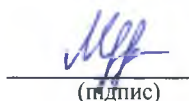
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Марк ДАВИДЮК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)