

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

Приладобудівний факультет

Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Защепкіна Н.М.

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного
вимірювального засобу»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПН-71мп
Дубягін Богдан Вікторович _____

Керівник:

д.т.н., проф. Защепкіна Н.М. _____

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

к.е.н., доцент Бояринова К.О. _____

Рецензент:

д.т.н., проф. Бурау Н.І. _____

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

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Факультет приладобудівний
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем
Освітній ступінь “магістр”
Галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування
Спеціалізація 151 - «Інформаційно-вимірювальні системи та технології
екологічного моніторингу»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
В.о. завідувача кафедри
_____ Защепкіна Н.М.

_____” _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ
МАГІСТРАНТА ДУБЯГІНА БОГДАНА ВІКТОРОВИЧА

1. Тема дисертації «Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу», затверджена наказом по університету від “5” листопада 2018 р. № 4078-с
2. Термін здачі оформленої дисертації “30” листопада 2018 р.
3. Об’єкт дослідження – розробка автоматизованої системи керування оптико-механічною частиною спектроенергетичного вимірювального засобу.
4. Предмет дослідження – засоби позиціювання структурних елементів фотометричного обладнання.
5. Перелік питань, які мають бути досліджені.
 - 5.1 Теоретичні дослідження:
 - 5.1.1. Виконати аналітичний огляд літературних джерел і патентних матеріалів по темі дослідження.
 - 5.1.2. Аналіз основних типів крокових двигунів (уні- та біполярних) придатних до застосування в оптико-механічній частині спектроенергетичного вимірювального засобу.) та кінематичних засобів точного позиціювання елементів оптичних систем на їх основі.
 - 5.1.3 Провести порівняльний аналіз драйверів сучасних КД.
 - 5.1.4 Виконати дослідження факторів, які визначають кутове переміщення деталей оптичних систем із застосуванням КД та кінематичних елементів приводу.
 - 5.2 Експериментальні дослідження:

5.2.1 Провести аналіз режимів роботи КД та приводів на їх основі в системах позиціонування елементів оптичних систем залежно від умов роботи оптичного приладу.

5.2.2. Аналіз шляхів автоматизації спектральних вимірювань із застосуванням крокових двигунів (КД) системи керування диспергуючими елементами в оптико-механічній частині спектроенергетичного вимірювального засобу.

5.2.3 Розробити математичну модель та алгоритм роботи макетної установки.

5.2.4. Розробити алгоритм керування КД та оптико-механічною системою позиціонування диспергуючих елементів спектроенергетичного вимірювального засобу.

6. Перелік публікацій:

6.1 Опублікувати 1 статтю в науковому журналі.

6.2 Підготувати 1 доповідь із друком тез конференції.

7. Перелік ілюстративного матеріалу (8 арк.):

7.1 Таблиці порівняльного аналізу характеристик систем позиціонування елементів оптичних систем на базі КД.

7.2 Функціональна схема макетної установки.

7.6 Алгоритм та програма керування КД з описом ключових режимів роботи.

8. Педагогічна практика

8.1 Прийняти участь в обговоренні 2-х курсових робіт з дисципліни «Інформаційно-вимірювальні системи на ПЗЗ».

8.2. Провести під контролем викладача лабораторне заняття з дисципліни «Інформаційно-вимірювальні системи на ПЗЗ».

Дата видачі

“ 3 ” вересня 2018 р.

Науковий керівник

_____Защепкіна Н. М.

Прийняв до виконання

_____Дубягін Б.В.

9. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 5. Стартап проект «Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу»	Бояринова К.О., кандидат економічних наук, доцент		

10. Дата видачі завдання 6 вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд та аналіз наукових праць по темі досліджень	до 15.09.2018 р.	
2	Провести аналіз основних типів крокових двигунів (уні- та біполярних) придатних до застосування в оптико-механічній частині спектроенергетичного вимірювального засобу.	До 01.10.2018 р.	
3	Виконати порівняльний аналіз драйверів сучасних КД	до 15.10.2018 р.	
4	Дослідження факторів, які визначають кутове переміщення деталей оптичних систем із застосуванням КД	до 01.11.2018 р.	
5	Провести аналіз режимів роботи КД та приводів на їх основі в системах позиціонування елементів оптичних систем залежно від умов роботи оптичного приладу.	До 15.11.2018 р.	
6	Розробка математичної моделі та алгоритму роботи макетної установки	до 01.12.2018 р.	
7	Розробка алгоритму керування КД та оптико-механічною системою позиціонування диспергуючих елементів спектроенергетичного вимірювального засобу.	До 05.12.2018 р.	
8	Аналіз шляхів автоматизації спектральних вимірювань із застосуванням крокових двигунів (КД) системи керування диспергуючими елементами в оптико-механічній частині спектроенергетичного вимірювального засобу	до 10.12.2018 р.	
9	Оформлення магістерської дисертації і графічного матеріалу	До 12.12.2018 р.	

Дата видачі

“ ___ ” вересня 2018 р.

Науковий керівник

_____ Защепкіна Н. М.

Прийняв до виконання

_____ Дубягін Б.В.

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Як відомо, роль спектрального приладу полягає в тому, щоб складне, поліхроматичне випромінювання оптичного діапазону, падаюче на його вхідний отвір, розкласти і зафіксувати положення окремих спектральних ліній, виміряти інтенсивність тої чи іншої ділянки спектру, в тій чи іншій спектральній лінії. Це дозволяє визначати елементний склад речовини.

Стандартні рішення для автоматизації спектральних вимірювань, що використовуються переважною більшістю виробників, являють собою моноблочні прилади одноцільового призначення (спектрофотометри, спектрофлуориметри та ін.). Зв'язок таких приладів із зовнішнім комп'ютером здійснюється за стандартними інтерфейсам. При цьому прийнятно - керуючі функції зазвичай виконуються вбудованим в прилад мікро контролером.

Але існує велика кількість спектрометричного обладнання що в базовій комплектації не дозволяє виконувати автоматичний аналіз зразків, та потребує сторонніх засобів та програмного забезпечення. Тому вдосконалення оптико-механічних системи таких спектроенергетичних вимірювальних засобів з метою їх автоматизації завжди буде доцільним.

Об'єктом дослідження є розробка автоматизованої системи керування оптико-механічною частиною спектроенергетичного вимірювального засобу.

Предметом дослідження є засоби позиціювання структурних елементів фотометричного обладнання.

Мета роботи вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу.

Методи дослідження. Дана робота присвячена вдосконаленню методів розрахунку та моделювання алгоритмів керування кінематичними елементами спектроенергетичного вимірювального засобу.

Наукова новизна роботи полягає в розробці та апробації вибраних програмних та апаратних засобів призначених для комплексної автоматизації спектроенергетичного вимірювального засобу.

Практична цінність роботи полягає в впровадженні вищезазначених методів та засобів і пропонується у вигляді промислового зразка вимірювального засобу, що може використовуватися у багатьох сферах промисловості

Апробація роботи. Результати роботи висвітлені в наступних статтях що пройшли апробацію та знаходяться на стадії публікації:

- Защепкіна Н. М., Дубягін Б.В., Перспективи застосування графічних пакетів LabVIEW, LabVIEW/DSC для конструювання приладів /Н.М. Защепкіна, Б.В. Дубягін // XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи» – 15-16 травня 2018 р. – №2 (104).

- Дубягін Б.В., Жилияков Д.В. Удосконалення підходів до застосування автоматизованих спектроенергетичних засобів в ближній інфрачервоній області спектру/Б.В. Дубягін, Д.В. Жилияков// Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні та прикладні аспекти розвитку науки», м. Київ, 11-12 грудня 2018 року. [Прийнято до редакції (received) 10.12.2018].

- Дубягин Б.В., Ковтун В.С. Улучшение динамических характеристик прибора для измерения хлороводорода /Б.В. Дубягин, В.С. Ковтун // IX науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування» – 17-18 травня 2016 р.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, 28 рисунків, 31 таблиць, списку використаних джерел із 84 позицій та 1 додатку. Загальний обсяг роботи – 120 сторінки, з яких основна частина викладена на 94 сторінках.

Ключові слова: вдосконалення методу, кроковий двигун, оптико-механічній, оптична система, макетна установка, спектроенергетичний вимірювальний засіб, диспергуючі елементи.

РЕФЕРАТ

Актуальность темы. Как известно, роль спектрального прибора заключается в том, чтобы сложное, полихроматическое излучения оптического диапазона, падающий на его входное отверстие, разложить и зафиксировать положение отдельных спектральных линий, измерить интенсивность той или иной области спектра, в той или иной спектральной линии. Это позволяет определять элементный состав вещества.

Стандартные решения для автоматизации спектральных измерений, используемых большинством производителей, представляют собой моноблочные приборы одноцелевого назначения (спектрофотометры, спектрофлуориметры и др.). Связь таких приборов с внешним компьютером осуществляется по стандартным интерфейсам. При этом приемо - управляющие функции обычно выполняются встроенным в прибор микроконтроллером.

Но существует большое количество спектрометрического оборудования что в базовой комплектации не позволяет выполнять автоматический анализ образцов, и требует сторонних средств и программного обеспечения. Поэтому совершенствование оптико-механических системы таких спектроэнергетичных измерительных средств с целью их автоматизации всегда будет целесообразным.

Объектом исследования является разработка автоматизированной системы управления оптико-механической частью спектроэнергетичного измерительного средства.

Предметом исследования являются средства позиционирования структурных элементов фотометрического оборудования.

Цель работы совершенствование оптико-механической системы спектроэнергетичного измерительного средства.

Методы исследования. Данная работа посвящена совершенствованию методов расчета и моделирования алгоритмов управления кинематичными элементами спектроэнергетичного измерительного средства.

Научная новизна работы заключается в разработке и апробации выбранных программных и аппаратных средств предназначенных для комплексной автоматизации спектроэнергетического измерительного средства.

Практическая ценность работы заключается в внедрения вышеупомянутых методов и средств и предлагается в виде промышленного образца измерительного средства, которое может использоваться во многих сферах промышленности

Апробация работы. Результаты работы освещены в следующих статьях прошедшие апробацию и находятся на стадии публикации:

- Зацепкина Н. М., Дубягин Б.В., Перспективы применения графических пакетов LabVIEW, LabVIEW/DSC для конструирования приборов /Н.М. Зацепкина, Б.В. Дубягин // XVII Международная научно-техническая конференция «Приборостроение: состояние и перспективы» - 15-16 мая 2018 - №2 (104).

- Дубягин Б.В., Жилияков Д.В. Совершенствование подходов к применений автоматизированных спектроэнергетических средств в ближней инфракрасной области спектра /Б.В. Дубягин, Д.В. Жилияков// Международная научно-практическая «Теоретические и прикладные аспекты развития науки», г. Киев, 11-12 декабря, 2018 года. [Принято в редакцию (received) 10.12.2018].

- Дубягин Б.В., Ковтун В.С. Улучшение динамических характеристик прибора для измерения хлороводорода /Б.В. Дубягин, В.С. Ковтун // IX науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування» – 17-18 травня 2016 р.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, 28 рисунков, 31 таблиц, список использованных источников из 84 позиций и 1 приложения. Общий объем работы - 120 страницы, из которых основная часть изложена на 94 страницах.

Ключевые слова: совершенствование метода, шаговый двигатель, оптико-механической, оптическая система, макетная установка, спектроэнергетичний измерительное средство, диспергирующие элементы.

ABSTRACT

Actuality of theme. As is known, the role of the spectral device is that complex, polychromatic radiation of the optical range falling to its entrance hole, decompose and fix the position of individual spectral lines, measure the intensity of a given region of the spectrum, in one or another spectral line. This allows you to determine the elemental composition of matter.

Standard solutions for the automation of spectral measurements used by the overwhelming majority of manufacturers are monoblock devices of the one-purpose purpose (spectrophotometers, spectrofluorimeters, etc.). The connection of such devices with an external computer is carried out according to standard interfaces. In this case, the reception and control functions are usually performed by the microcontroller built into the device.

But there is a large number of spectrometric equipment that does not allow the automatic analysis of samples in the basic setup, but requires third-party tools and software. Therefore, improvement of the opto-mechanical systems of such spectrometric measuring instruments in order to automate them will always be expedient.

The object of the research is the development of an automated control system of the opto-mechanical part of the spectroenergetic measuring instrument.

The subject of the study is the means of positioning the structural elements of photometric equipment.

The purpose of the improvement of the opto-mechanical system of the spectro-energy measuring instrument.

Research methods. This work is devoted to the improvement of the methods of calculation and simulation of kinematics control algorithms by the elements of the spectroenergetic measuring instrument.

The scientific novelty of the work is to develop and approbate selected software and hardware for the complex automation of the spectroenergetic measuring instrument.

The practical value of the work is the introduction of the above-mentioned methods and tools and is offered in the form of an industrial sample of a measuring instrument that can be used in many fields of industry and state bodies of metrological control.

Test work. The results of the work are highlighted in the following articles that have been tested and are in the stage of publication:

- Zashpekina N. M., Dubyagin BV, Prospects for LabVIEW, LabVIEW / DSC Graphic Packets for Designing Devices / HM. Zashpekin, B.V. Dubyagin // XVII International Scientific and Technical Conference "Instrumentation: State and Prospects" - May 15-16, 2018 - No. 2 (104).

- Dubyagin BV, Zhilyakov D.V. Improvement of Approaches to the Application of Automated Spectroenergetics in the Near Infrared Spectrum Area / BV. Dubyagin, D.V. Zhilyakov // International scientific and practical conference "Theoretical and Applied Aspects of Science Development", Kyiv, December 11-12, 2018. [Accepted for editing (received) 12.10.2018].

- Dubyagin B.V., Kovtun V.C. Improvement of the dynamic characteristics of the hydrogen chloride measurement device /B.V. Dubyagin, VS Kovtun // IX scientific-practical conference of students and post-graduate students "A View to the Future of Instrumentation" - May 17-18, 2016

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, five sections, conclusions, 28 figures, 31 tables, a list of sources used from 84 positions and 1 application. The total volume of work - 120 pages, of which the main part is set out on 94 pages.

Keywords: improvement of the method, step motor, optical-mechanical, optical system, model installation, spectroenergetic measuring instrument, dispersing elements.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БД - блок діаграма віртуального приладу

ВП - віртуальний прилад, створений в середовищі розробки LabVIEW

ВПП - віртуальний підприлад

ІД - інфрачервоний діапазон

ЛП - лицьова панель віртуального приладу

ПК - персональний комп'ютер

ПЗС - прилад із зарядним зв'язком

ПЗ - програмне забезпечення

МОР - мастильно охолоджуючі рідини

ЕРП - електронно-реєструючий пристрій

DAQ - платформа National Instruments з вбудованими 12 найбільш використовуваними приладами

G - візуальна мова програмування

LabVIEW - середовище розробки і платформа для виконання програм, створених на графічній мові програмування американської компанії National Instruments (США)

PLC - програмовані логічні контролери (programmable logical controllers - PLC)

RS232 - фізичний рівень асинхронного (UART) інтерфейсу (Recommended Standard 232).

SCADA - (supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних) - програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки

UART - Універсальний асинхронний приймач (УАПП, Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, UART) - вузол обчислювальних пристроїв, призначений для організації зв'язку з іншими цифровими пристроями.

ЗМІСТ

ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	17
1.1. Методологія спектральних вимірювань	17
1.2. Основні типи спектроенергетичних вимірювальних засобів та особливості їх конструкційних схем.	19
1.3. Інструментальне забезпечення спектрально-аналітичних досліджень.....	28
1.4. Автоматизація спектральних досліджень.....	30
1.5. Аналітичний огляд існуючих спектроенергетичних вимірювальних засобів із автоматизованою оптико-механічною системою.....	32
1.6. Комп'ютерні технології автоматизації вимірювань.....	41
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	43
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ В СИСТЕМІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ.....	44
2.1. Особливості сучасних типів крокових двигунів.....	44
2.1.1. Управління позиціонуванням без зворотного зв'язку	45
2.1.2. Генерація крокових імпульсів і реакція двигуна	46
2.2. Принцип роботи крокового двигуна	48
2.3. Основні характеристики роботи крокових двигунів в повнокроковому режимі роботи з імпульсним приводом.....	52
2.3.1. Одно кроковий режим.....	52
2.3. Імпульсний привід	53

2.3.3. Переваги крокового двигуна:	55
ВИСНОСКИ ДО РОЗДІЛУ	56
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ВУЗЛІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ МОНОХРОМАТОРА МДР-23	57
3.1. Автоматизована система керування оптико-механічною частиною спектроенергетичного вимірювального засобу на базі монохроматора МДР 23.	57
3.1.1. Особливості дифракційних спектроенергетичних вимірювальних засобів.	57
3.1.2. Конструктивні особливості монохроматора МДР 23.....	61
3.2. Розробка схеми керування кроковим двигуном в системі позиціонування оптико-механічних компонентів монохроматору МДР-23 69	
3.2.1. Загальна структурна схема експерименту.....	69
3.2.2. Вибір апаратних і програмних засобів	71
3.3. Розробка алгоритму керування оптико-механічними компонентами монохроматора МДР-23.....	80
3.4. Розрахунок похибки установки довжин хвиль автоматизованого монохроматора МДР-23.....	86
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	88
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ»	89
4.1. Опис ідеї проекту	89
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	92
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	94
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	100
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	102
4.6. Висновки	104

ВИСНОВКИ.....	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
Додаток А.....	112

ВСТУП

Спектральні прилади в усьому їх різноманітті є потужним засобом дослідження структури і складу різних речовин, в якому б агрегатному стані воно не знаходилося. Як відомо, роль спектрального приладу полягає в тому, щоб складне, поліхроматичне випромінювання оптичного діапазону, падаюче на його вхідний отвір, розкласти і зафіксувати положення окремих спектральних ліній, виміряти інтенсивність тої чи іншої ділянки спектру, в тій чи іншій спектральній лінії. Це дозволяє визначати елементний склад речовини.

Стандартні рішення для автоматизації спектральних вимірювань, що використовуються переважною більшістю виробників, являють собою моноблочні прилади одноцільового призначення (спектрофотометри, спектрофлуориметри та ін.). Зв'язок таких приладів із зовнішнім комп'ютером здійснюється за стандартними інтерфейсам. При цьому прийнятно - керуючі функції зазвичай виконуються вбудованим в прилад мікро контролером. Обмін інформацією з зовнішнім комп'ютером здійснюється за допомогою спеціальних кодових таблиць, що є, як правило, ноу-хау фірми виробника.

Такий підхід до побудови спектральних приладів не може в повній мірі задовольняти потреби митного контролю, так як гарантовано достовірний контроль істотно підвищує трудовитрати на проведення контролю.

Така апаратура не допускає не тільки дооснащення додатковими пристроями, що працюють в єдиному програмному полі з основними, а й ніяких методичних удосконалень режимів вимірювання, навіть якщо оптичні вузли апаратури це дозволяють. Післягарантійне обслуговування апаратури і заміна морально застарілих електронних пристроїв (які, як відомо, старіють в кілька разів швидше оптичного тракту) пов'язані з високими матеріальними витратами, часом переважаючими вартість самої апаратури.

Стандартні пакети програмного забезпечення, що поставляються з апаратурою, як правило, представляють продукт з закритим для користувача доступом, також не допускає ніяких методичних удосконалень. А файли даних в цих пакетах формуються у власному, індивідуальному для кожної фірми, форматі. Створення електронних баз даних на основі таких файлів - тривала і копітка процедура, що вимагає кілька проміжних стадій переформатування[1, 2].

Один з можливих шляхів вирішення даного завдання полягає в доопрацюванні спектральних приладів під відкриті стандарти комп'ютерних рішень автоматизації, які дозволять створити необхідну віддалену комунікацію.

Метою магістерської роботи є розробка автоматизованої оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу, із застосуванням крокових двигунів (КД) в системі позиціонування довжин хвиль та керування диспергуючими елементами.

Для виконання поставленої мети потрібно:

- зробити аналіз літературних джерел пов'язаних із оглядом конструктивних особливостей крокових двигунів та схем їх застосування в спектроенергетичних вимірювальних засобах;

- визначити предмет, об'єкт дослідження;

- провести аналіз шляхів автоматизації спектральних вимірювань із застосуванням крокових двигунів (КД) в системі керування диспергуючими елементами в оптико-механічній системі позиціонування довжин хвиль.

- розробити математичну модель та алгоритм роботи макетної установки.

- розробити програму керування КД та оптико-механічною системою позиціонування диспергуючих елементів спектроенергетичного вимірювального засобу.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1. Методологія спектральних вимірювань

Спектральні прилади в усьому їх різноманітті є потужним засобом дослідження структури і складу речовини в якому б агрегатному стані воно не знаходилося. Як відомо, роль спектрального приладу полягає в тому, щоб складне, поліхроматичне випромінювання оптичного діапазону, падаюче на його вхідний отвір, розкласти і зафіксувати положення окремих спектральних ліній, виміряти інтенсивність тої чи іншої ділянки спектру, в тій чи іншій спектральній лінії.

Для дослідження складу матеріалів розрізняють наступні види спектрального аналізу:

- емісійний,
- абсорбційний,
- комбінаційний;
- люмінесцентний.

Емісійний аналіз складу речовини - це аналіз речовини по спектру його випромінювання. При емісійному аналізі досліджувана речовина (проба) вводиться в електричну дугу або іскру, в якій пари проби нагріті до температури в кілька тисяч градусів, випромінюють лінійчатий спектр, що випускається атомами цієї речовини.

В атомах речовини електрони не завжди обертаються навколо атомного ядра по одній і тій же орбіті: при певних умовах вони перескакують з однієї орбіти на іншу. А так як повна енергія на віддалених орбітах більше, ніж на ближніх, то при переході електрона з дальньої орбіти на ближчу до ядра відбувається випромінювання світла (кванта)[3].

Енергія випромінювання чисельно дорівнює різниці енергії електрона на обох орбітах. Чим більше ця різниця, тим вище частота або, що те ж саме, тим коротше довжина світлової хвилі.

Якщо однаковий перехід електронів відбувається одночасно в багатьох атомах речовини, то що випромінюєме цими атомами світло формується в приладі в вигляді однієї спектральної лінії. Кожен атом має свій набір орбіт, на якому можуть перебувати електрони, тому кожен атом має свій власний лінійчатим спектром, однаковим для всіх атомів одного і того ж речовини. Таким чином, кожен хімічний елемент має свій спектр, що дає можливість по положенню ліній в спектрі невідомої речовини визначити які атоми входять до складу цієї речовини.

Інтенсивність реєстрованих спектральних лінії пропорційна числу випромінюючих атомів. Це дає можливість за інтенсивністю ліній визначити процентний вміст окремих елементів, що входять до складу досліджуваного речовини, використовуючи для порівняння зразки з відомим вмістом цих елементів[4].

Крім того, оскільки положення спектральної лінії в спектрі, її довжина хвилі залежить від різниці енергетичних рівнів колишньої (дальньої) і нової (ближньої) орбіт електрона, то по набору спектральних ліній можна судить про рівні енергії і внутрішньої будову атома.

Абсорбційний аналіз – це коли досліджувана речовина в звичайних лабораторних умовах не випромінює, але здатне пропускати світло вдаються до адсорбційного аналізу - дослідження складу і будови речовини з його спектру поглинання. Яскравий пучок світла від джерела із суцільним спектром пропускають через досліджувану речовину. При цьому частина світлової енергії пучка буде поглинена електронами, атомами, іонами або молекулами речовини. В результаті цього в суцільному спектрі відбудуться характерні зміни, з'являться темні лінії і смуги поглинання. Положення ліній поглинання в спектрі таке ж, як і ліній випромінювання цієї речовини (якщо вони були отримані), так як кожен атом поглинає вибірково той же спектр

частот, який здатний випускати сам. Отже, за матеріальним становищем, будовою і інтенсивності лінії поглинання можна дізнатися про склад і будову досліджуваного речовини.

Часткове поглинання світла відбувається також і при відображенні його від поверхні різних тіл. Аналіз світла, відбитого деякими порошками, дає можливість судити про їх склад. Аналіз по відбитому світлі не отримав ще особливого назви і його вважається різновидом абсорбційного.

Взаємодія світлового випромінювання з матерією не обмежується явищами поглинання і відображення. Якщо атом або молекула поглинають тільки частину падаючої на них світлової енергії, то в деяких випадках спостерігається нове фізичне явище. Воно характеризується тим, що при розсіянні світла відбувається зміна довжини світлової хвилі, чого не було при поглинанні і відображенні, коли змінювалася тільки інтенсивність світла, по різному для різних довжин хвиль. За величиною зміни довжини світлової хвилі можна судити про склад і будову розсіяє речовини. Такий вид аналізу називається комбінаційною.

У перших спектральних приладах спектр спостерігався безпосередньо оком, пізніше з'явилися спектрографи - прилади дозволяють знімати спектр на фотопластинку, після відкриття фотоефекту з'явився новий метод реєстрації спектра – фотоелектричний[5].

1.2. Основні типи спектроенергетичних вимірювальних засобів та особливості їх конструкційних схем.

Основою схеми спектральних приладів цієї групи є диспергируючий елемент (дифракційні ґрати, ешелет, інтерферометр, інтерферометр Фабрі - Перо, призма), що володіє кутовою дисперсією $\Delta j / \Delta \lambda$.

Оптична схема таких засобів містить наступні елементи: 1 - коліматор з вхідною щілиною Щ і об'єктивом O_1 , фокусна відстань якого f_1 ; 2 - диспергируючий елемент, що володіє кутовою дисперсією; 3 -

фокусується система (камера) з об'єктивом O_2 , що створює в фокальній площині Φ зображення вхідної щілини в випромінюванні різних довжин хвиль з лінійною дисперсією[6].

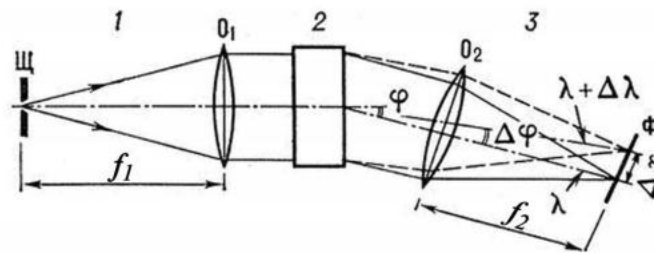


Рисунок 1.1 – Оптична схема спектрального приладу з просторовим розділенням довжин хвиль за допомогою кутової дисперсії

Якщо в площині Φ встановлена одна вихідна щілина, то прилад називається монохроматором, якщо кілька - поліхроматор, якщо фоточутливий шар (або очей) - спектрографом (або спектроскопом).

Диспергуючий елемент 2 дозволяє розгорнути в фокальній площині Φ зображення вхідної щілини Σ в випромінюванні різних довжин хвиль. Об'єктивами O_1 і O_2 зазвичай служать сферичні або параболічні дзеркала, їх фокусні відстані не залежить від f_1 (на відміну від лінзових систем). Одноканальні схеми мають у фокальній площині Φ одну вихідну щілину і називаються монохроматорами. Сканування по λ здійснюється, як правило, поворотом диспергуючого елемента або допоміжного дзеркала. У найпростіших монохроматорах замість решіток і призм застосовуються циркулярно-клинові світлофільтри з безперервною перебудовою вузької смуги пропускання або набори вузькосмугових світлофільтрів, що дають ряд дискретних відліків для різних λ [7].

На основі монохроматорів будуються однопроменеві і двопроменеві спектрометри. Для однопроменевих спектральних приладів, (рис. 1.2) характерно послідовне з'єднання функціональних елементів.

У разі вимірювання спектрів пропускання або відбиття зазвичай використовується вбудоване джерело суцільного спектра випромінювання;

для вимірювання спектрів зовнішніх випромінювачів передбачаються відповідні освітлювачі. Двопроменеві схеми характерні для спектрофотометрів. Розглянемо типові прилади групи 1.

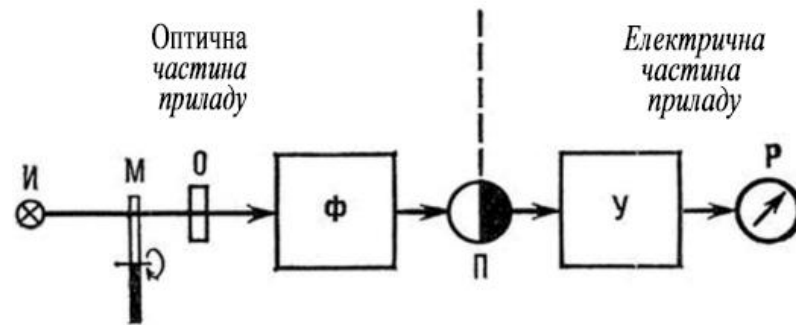


Рисунок 1.2 – Блок-схема однопроменевого одноканального спектрального приладу:

І - джерело випромінювання; М - оптичний модулятор (обтюратор);
 Про - досліджуваний зразок; Ф - скануючий фільтр (монохроматор); П -
 фотоелектричний приймач випромінювання; У - підсилювач і перетворювач
 сигналів приймача; Р - аналоговий або цифровий реєстратор.

Спектрометри високого дозволу для досліджень структури атомних і молекулярних спектрів є стаціонарними лабораторні установки, що працюють за схемою, приведеною на рис. 1.2. Їх довгофокусні (до 6 м) монохроматори поміщаються у вакуумні корпуси (для усунення атмосферного поглинання) і розташовуються в віброзащитенний і термостабілізованого приміщеннях. У цих приладах використовується 2- і 4-кратна дифракція на великих ешелет, застосовуються високочутливі охолоджені приймачі, що дозволяє досягати в спектрах поглинання значень $R = 2 \times 10^5$ при $\lambda = 3 \text{ мкм}$. Для виявлення ще більш тонкої структури в схему вводять інтерферометри Фабрі -Перо, в яких сканування по l в межах вузького діапазону виробляється зміною тиску в зазорі або зміною величини зазору за допомогою пьезодвигунів, а щілинний монохроматор використовується лише для попереднього вибору спектрального діапазону і

розділення накладаються порядків інтерференції. Такі прилади називаються спектрометрами Фабрі - Перо; вони дозволяють у видимій області отримувати[8].

Іншим варіантом є - двопроменеві спектрофотометри. У двопроменевих оптичних схемах потік від джерела розділяється на два пучки - основний і пучок порівняння (референтний). Найчастіше застосовується двопроменева схема «оптичного нуля» (рис. 1.3), що представляє собою систему автоматичного регулювання із зворотним зв'язком[9].

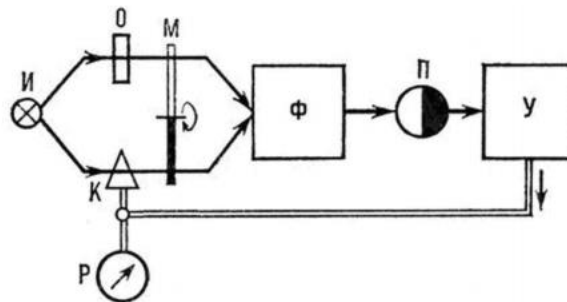


Рисунок 1.3 – Схема «оптичного нуля» двух лучевого одноканального спектрофотометра:

И - джерело випромінювання; М - оптичний модулятор (обтюратор); Про - досліджуваний зразок; Ф - скануючий фільтр (монохроматор); П - фотоелектричний приймач випромінювання; У - підсилювач і перетворювач сигналів приймача; Р - аналоговий або цифровий реєстратор; К- оптичний клин.

У разі рівного розподілу потоків в двох пучках фотометра, поперемінно посилаються модулятором М на вхідну щілину монохроматора Ф, система знаходиться в рівновазі, клин До нерухомий. При зміні довжини хвилі пропускання зразка міняється, і рівновага порушується - виникає сигнал розбалансу, який посилюється і подається на сервомотор, керуючий рухом клину і пов'язаним з ним реєстратором Р. (самописцем). Клин переміщається до тих пір, поки що вноситься ним ослаблення референтного потоку не компенсує ослаблення, внесеного зразком[10]. Діапазон

переміщення клину від повного закриття до повного відкриття узгоджується зі шкалою (від 0 до 100%) реєстратора коефіцієнта пропускання зразка. Численні моделі СФ, що випускаються серійно фірмами багатьох країн, можна розділити на 3 основні класи: складні універсальні СФ для наукових досліджень ($R = 103-104$), прилади середнього класу ($R = 103$) і прості, «рутинні», СФ ($R = 100-300$). У СФ 1-го класу передбачена автоматична зміна реплік, джерел, приймачів, що дозволяє охопити широкий спектральний діапазон. Найбільш поширені діапазони 0,19-3 мкм, 2,5—50 мкм і 20—330 мкм. Конструкції цих СФ забезпечують широкий вибір значень R , M , Δf , скоростей і масштабів реєстрації спектрів різних об'єктів. В приладах середнього класу використовуваний спектральний діапазон менше і вибір режимів обмежений. В простих СФ передбачаються зазвичай 1—2 стандартних режими з найпростішим управлінням «пуск — стоп»; це переносні прилади масою 20—40 кг.

Крім спектрофотометрів, що працюють за схемою «оптичного нуля», існують прецизійні спектрофотометри, побудовані за схемою «електричні стосунки». У них світлові пучки двох променевого фотометра модулюються різними частотами (або фазами) і відношення потоків визначається в електричній частині приладу. У конструкції спеціальних типів спектрофотометрів вводять мікроскопи (мікроспектрофотометри), пристрої для досліджень спектрів флуоресценції (спектрофлуориметри), поляризації (спектрополяриметри), дисперсії показника заломлення (спектрорефрактометри), вимірів яскравості зовнішніх випромінювачів в порівнянні з еталонним (спектрорадіометри). Автоматичні спектрофотометри є основними приладами для досліджень спектральних характеристик речовин і матеріалів і для спектрального аналізу абсорбції в лабораторіях [11].

Однопроменеві нереєструючі спектрофотометри - зазвичай прості і відносно дешеві прилади для області 0,19-1,1 мкм, схема яких аналогічна наведеної на рис. 1.2 Потрібна довжина хвилі в них встановлюється вручну; зразок і еталон, щодо якого вимірюється пропускання або віддзеркалення,

послідовно вводяться в світловий пучок. Відлік знімається візуально по стрілочному або цифровому приладу. Для збільшення продуктивності спектрофотометри оснащуються пристроями цифропечаті і автоматичної подачі зразків[12].

Спектрометри комбінаційного розсіювання можуть бути однопроменевими і Двопроменева. Джерелом випромінювання в них зазвичай служать лазери, а для спостереження комбінаційних частот і придушення фону, створюваного первинним випромінюванням, застосовуються подвійні і потрійні монохроматори, а також голографічні дифракційні ґрати. Прилади забезпечуються пристроями для спостереження комбінаційного розсіювання в рідинах, кристалах, порошках під різними кутами і «на просвіт». У кращих приладах відношення фону до корисного сигналу знижено до 10^{-15} і комбінаційні частоти можуть спостерігатися на відстанях \sim декілька $см^{-1}$ від збудливою лінії[13].

Швидкісні спектрометри (хроноспектрометри) працюють за схемою, приведеною на рис. 1.2, але, на відміну від попередніх, їх забезпечують пристроями швидкого циклічного сканування і широкосмуговими ($\Delta\phi$ до 10^7 Гц) приймально-реєструючими системами. Для досліджень кінетики реакцій сканування ведеться з малою шпаруватістю, яка досягається, наприклад, шляхом «біжить щілини»: замість вихідної щілини у фокальній площині встановлюється швидко обертовий диск з великим числом радіальних прорізів. Таким шляхом отримують до 10^4 спектрів в сек. Якщо час життя об'єкта занадто мало для кінетичних досліджень, застосовують більш швидке сканування обертовими дзеркалами, це призводить до великої шпаруватості і вимагає синхронізації початку процесу з моментом проходження спектра по щілини. До швидкісних спектрометрам відносяться спектровізор СПВ-У (реєструючий до 500 спектрів в сек. У видимій області) і швидкісний ІК-спектрометр ІКСС-1 (ІКС-20) з регульованим спектральним діапазоном в межах інтервалу 1-6 мкм і швидкостями запису від 1 до 100 спектрів в сек.

Сканування в цій групі приладів не застосовується, дискретний ряд довжин хвиль (в поліхроматор) або ділянки безперервного спектру (в спектрографах) реєструються одночасно, і оптична частина будується зазвичай за схемою, приведеною на рис. 1.1. Якщо ж замість системи, що створює кутову дисперсію, застосовується набір вузькосмугових світлофільтрів, прилад зазвичай відносять до фотометра[14].

Багатоканальні спектральні прилади широко використовуються для спектрального аналізу складу речовин за обраними аналітичним довжинах хвиль λ . У міру збільшення числа каналів з'являється можливість вивчення спектральних розподілів $f(\lambda)$. Розглянемо найбільш типові прилади даної групи (в порядку зростання числа каналів).

Плазмові (атомна абсорбція) спектрофотометри мають зазвичай один-два канали реєстрації. Вони вимірюють інтенсивності ліній абсорбції (емісії, флуоресценції) атомів елементів в полум'ї спеціальних пальників або інших «атомізаторів». У простих конструкціях аналітичні λ виділяються вузькосмуговими фільтрами (полум'яні фотометри), в приладах вищого класу застосовуються поліхроматор або монохроматори, які можна перемикати на різні довжини хвиль. Прилади даного типу використовують в спектральному аналізі для визначення більшості елементів періодичної системи. Вони забезпечують високу вибірковість і чутливість до 10^{-14} г.

Квантометри - фотоелектричні установки для промислового спектрального аналізу (рис. 1.4).

Час аналізу на вакуумному 24-канальному квантометрі 10 елементів складає близько 2 хв. Таким чином, квантометри будуються на основі поліхроматорів; вихідні щілини поліхроматор виділяють із спектру випромінювання досліджуваної речовини аналітичні лінії і лінії порівняння, відповідні потоки посилаються на приймачі (фотопомножувачі), встановлені у кожній щілині. Фотоструми приймачів заряджають накопичувальні конденсатори; величини їх зарядів, накопичені за час експозиції, служать мірою інтенсивностей ліній, які пропорційні концентраціям елементів у

пробі. Існуючі моделі квантометрів розрізняються робочими діапазонами спектру (всередині області 0,17-1 мкм), числом одночасно працюючих каналів (від 2 до 80), ступенем автоматизації, способами збудження спектрів (дуга, іскра, лазер)[16]. Вони застосовуються для експресного аналізу хімічного складу сталей і сплавів в чорній і кольоровій металургії, металевих домішок у відпрацьованих мастильних маслах машин і двигунів для визначення ступеня їх зносу і в ін. завданнях.

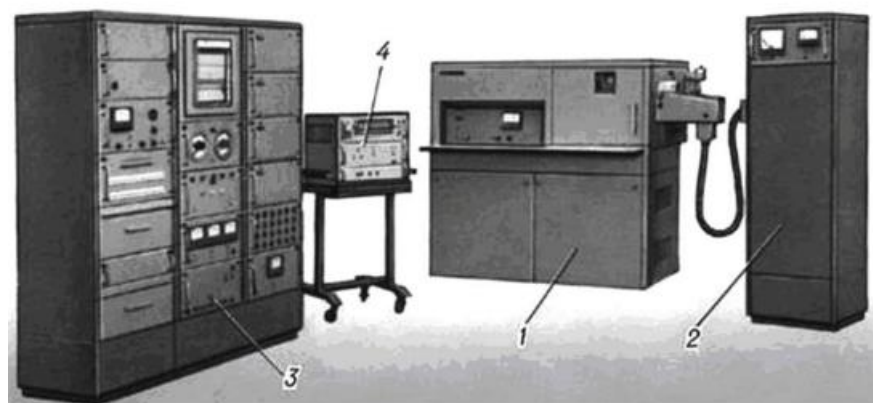


Рисунок 1.4 – Вакуумний 24-канальний квантометр

Вакуумний 24-канальний квантометр[15] (заводська назва - фотоелектрична установка) ДФС-41 (рис.1.4) для експресного і маркувального аналізу чавунів, простих і середньолегованих сталей на легуючі елементи, металоїди і шкідливі домішки, аналітичні лінії яких розташовані у вакуумній УФ-області містить наступні елементи:

1 - вакуумний поліхроматор з увігнутими дифракційними ґратами з фокусною відстанню, рівним 1 м, робочий діапазон 0,175-0,38 мкм;

2 - генератор іскри ІТТ-1 для збудження емісійних ліній атомів в пробі;

3 - електронно-реєструючий пристрій ЕРУ-1;

4 - блок цифрового відліку.

Спектрографи одночасно реєструють протяжні ділянки спектра, розгорнутого в фокальній площині фотоприймача. (рис. 1.1) на

фотопластинках або фотоплівках (фотографічні спектрограф), а також на екранах Передавальний телевізійних трубок, електроннооптичних перетворювачів з «запам'ятовування» збережений и т. П. При гарній оптиці число каналів обмежується лише роздільною здатністю (зерністістю) фотоматеріалів або числом рядків Телевізійної розгортки. У відомій області спектра для візуальних методів спектрального аналізу широко використовуються прості спектроскопи і стилоскоп, в яких приймачем є око[17].

Діапазон довжин хвиль, в якому працюють спектрографи, тягнеться від короткохвильового кордону оптичного діапазону і поступово розширюється в ІК-область в міру досягнення все більш високої фоточутливості шарів і розвитку методів теплоспостереження.

Типи спектрографів відрізняються великою різноманітністю - від найпростіших приладів настільного типу для навчальних цілей і компактних ракетних і супутникових бортових приладів для дослідження спектрів сонця, зірок, планет, туманностей до крупних астроспектрографів, що працюють в поєднанні з телескопами, і лабораторних 10- метрових вакуумних установок з великими плоскими і увігнутими дифракційними ґратами для досліджень тонкої структури спектрів атомів. Лінійна дисперсія спектрографів (ділянка фокальної площини Δx , яку він обіймає інтервалом довжин хвиль $\Delta \lambda$) може лежати в межах від 10^2 до 10^5 мм/мкм, світлосила по освітленості (відношення освітленості в зображенні вхідної щілини до яскравості джерела, що висвітлює вхідну щілину) - від 0,5 в світосильних спектрографах до 10^{-3} і менше в довгофокусних приладах великої дисперсії.

Швидкісні багатоканальні спектральні прилади призначені для досліджень спектрів бистропротекаючих процесів конструюються шляхом поєднання спектрографа зі швидкісною кінокамерою (кіноспектрографи), введення в схему приладу багатогранних обертових дзеркал для розгортки спектрів перпендикулярно напрямку дисперсії, застосування багатоканальної реєстрації з багатоелементними приймачами.

У цій області ще немає сталої термінології. Такі спектральні прилади називаються хроноспектрографами, спектрохронографами, спектровізорами, швидкісними спектрометрами[18].

1.3. Інструментальне забезпечення спектрально-аналітичних досліджень

Оптична спектроскопія займає помітне місце в арсеналі сучасних інструментальних аналітичних технологій дослідження матеріалів. Методи оптичної спектроскопії забезпечують високу селективність і чутливість до присутності навіть слідів (на рівні $10^{-5} - 10^{-12}$ г/л) кількостей аналізованого речовини. На світовому рівні відповідні спектрально-аналітичні технології та апаратуру представляє цілий ряд фірм - Perkin Elmer, Bruker, Shimadzu, Nicolette, Jobin Yvon і ін. В переважній більшості апаратури цих фірм функції управління вимірами і обробки результатів виконуються IBM PC- сумісними комп'ютерами за спеціалізованими програмами, що функціонує в операційному середовищі Microsoft Windows[19].

Слід зазначити, що існує безліч галузей, які потребують високоточних оптичних вимірах. В даний час спостерігається зростання сфер застосування волоконно-оптичних датчиків. Унікальні особливості цих датчиків (високі точності характеристики, стабільність і надійність при малих габаритах і малому енергоспоживанні) сприяють досягненню якісно нових результатів при вирішенні різних завдань, пов'язаних з ракетно-космічної та авіаційної, хімічної та металургійною промисловістю, нафтогазової і гірничодобувної галуззю, медициною і багатьма іншими областями.

В даний час в усьому світі спостерігається активний перехід від традиційних джерел світла до напівпровідникових. Зазначена тенденція не обійшла стороною і сферу виробництва світловимірювальних еталонних ламп, оскільки виробництво таких ламп стає дорожче і втрачає рентабельність. У зв'язку з цим одним з пріоритетних напрямків в сучасній

фотометрії можна вважати створення еталонних випромінювачів на основі потужних світлодіодів, що неможливо без відповідної еталонної бази. Для комплексного дослідження характеристик напівпровідникових джерел випромінювання створюються спеціалізовані лабораторії[20].

Розвиток обчислювальної техніки призводить до все більшого розповсюдження систем технічного зору. Однією з найважливіших сфер застосування систем технічного зору є розробка роботизованих комплексів. Роботизовані комплекси широко використовуються в промисловості, зокрема, при виконанні різних технологічних операцій на конвеєрах (сортування деталей, визначення їх положення, позиціонування). В якості первинних датчиків в таких системах, як правило, застосовуються багатоканальні оптико-електронні системи. Підвищення точності та ефективності систем технічного зору досягається вдосконаленням алгоритмів обробки вимірювальної інформації та поліпшенням відповідних параметрів первинного датчика. Останнє вимагає наявності еталонної бази.

Таким чином, розвиток великого числа високотехнологічних галузей пов'язано з наявністю еталонної оптико-електронної бази. Основа такої бази - спектроенергетическіє вимірювальні комплекси, що дозволяють проводити дослідження в різних областях спектру і інтенсивності (яскравості) випромінювання. Аналітичного огляду таких комплексів присвячений наступний підрозділ представленої дисертації.

Ситуацію, що склалася із спектроенергетичними вимірювальними системами на території СНД можна розглянути на прикладі апаратури Ленінградського оптико-механічного об'єднання (ЛОМО) – апаратура якого охоплює практично весь круг сучасних спектрально-аналітичних технологій. Апаратурою ЛОМО було оснащено більшість аналітичних лабораторій СНД. В «до комп'ютерну» епоху (60- 70-ті роки) апаратура ЛОМО - спектрофотометри СФ-8, СФ-18, СФ-20, СФ-26, ІКС-24, ІКС-29 і ІКС-31, КР (комбінаційного розсіювання) - спектрометр ДФС-24 - практично, за

винятком масогабаритних параметрів, не поступалася апаратурі провідних зарубіжних фірм[20].

Подальше її розвиток характеризується двома напрямками: розробкою автоматизованої аналітичної апаратури общецелевого призначення - ІЧ і УВИ (УФ і видимого оптичного діапазону) - спектрофотометри, КР-спектрометр ДФС-52, люмінесцентний спектрометр СДЛ-2 - і автоматизованих електронно-оптичних модулів (КСВУ- 2, -6, -23, монохроматор МДР-41), призначених для створення спеціалізованих спектрально-аналітичних комплексів.

Оптичні вузли цієї апаратури побудовані на основі найсучасніших досягнень оптико-механічної промисловості (голограмних і нарізних фокусируючих решіток зі змінним кроком, оригінальних технічних рішень і ін.), Що дозволяють істотно знизити рівень паразитного випромінювання і підвищити робочі параметри. У той же час засоби автоматизації практично всіх пристроїв не витримують ніякого порівняння зі світовими моделями і морально застаріли[17-20].

Оснащення цих приладів і оптико-механічних вузлів сучасними пристроями обчислювальної техніки для управління процесом вимірювання і обробки отриманих даних дозволить підняти їх до рівня, який задовольняє світовим вимогам до спектрально-аналітичним технологіям. Найбільш актуально рішення цих питань для проведення митного контролю.

1.4. Автоматизація спектральних досліджень

Автоматизація спектральних технологій передбачає вирішення кількох завдань:

–управління спектральним приладом, а саме управління приводами скануючих і інших переміщуваних елементів і виконавчих пристроїв, що забезпечують необхідні режими виміру; забезпечення необхідних режимів харчування збудливих і реєструючих пристроїв, що дозволяють мінімізувати

шуми і інші джерела систематичних похибок вимірювань (корекція коливань джерела світла і базової лінії, облік темного струму фотоприймачів і ін.);

–представлення результатів вимірювань в графічній і цифровій формі і візуалізація їх на електронному моніторі і (або) у вигляді твердої (паперової) копії;

–збереження результатів вимірювань в довготривалій пам'яті комп'ютера і (або) на проміжних носіях у вигляді самостійного файлу. Виконання цього завдання необхідно для використання отриманих результатів в наступних перетвореннях, архівації їх в електронному вигляді і для формування електронних баз даних.

Стандартні рішення для автоматизації спектральних вимірювань, що використовуються переважно більшістю виробників, являють собою моноблочні прилади одноцелевого призначення (спектрофотометри, спектрофлуориметри та ін.). Зв'язок таких приладів із зовнішнім комп'ютером здійснюється за стандартними інтерфейсам. При цьому приймально керуючі функції зазвичай виконуються вбудованим в прилад мікро контролером. Обмін інформацією з зовнішнім комп'ютером здійснюється за допомогою спеціальних кодових таблиць, що є, як правило, ноу-хау фірми. Така апаратура не допускає не тільки дооснащення додатковими пристроями, що працюють в єдиному програмному полі з основними, а й ніяких методичних удосконалень режимів вимірювання, навіть якщо оптичні вузли апаратури це дозволяють[15]. Післягарантійне обслуговування апаратури і заміна морально застарілих електронних пристроїв (які, як відомо, старіють в кілька разів швидше оптичного тракту) пов'язані з високими матеріальними витратами, часом переважаючими вартість самої апаратури.

Стандартні пакети програмного забезпечення, що поставляються з апаратурою, як правило, представляють продукт з закритим для користувача доступом, також не допускає ніяких методичних удосконалень. А файли даних в цих пакетах формуються у власному, індивідуальному для кожної фірми, форматі. Створення електронних баз даних на основі таких файлів -

тривала і копітка процедура, що вимагає кілька проміжних стадій переформатування.

1.5. Аналітичний огляд існуючих спектроденергетичних вимірювальних засобів із автоматизованою оптико-механічною системою

Оптико-електронні прилади знаходять широке застосування в спектроскопії. Спектроскопія використовується при визначенні фізичних, хімічних і біологічних властивостей органічних і неорганічних матеріальних систем в хімії, біології, медицині і всіляких областях техніки. У зв'язку з особливостями (висока чутливість, можливість вивчення специфічних процесів) в даний час все частіше застосовуються методи флуоресцентної спектроскопії. Сучасній спектроскопії потрібно не тільки висока точність вимірювання величин, але і висока роздільна здатність по довжині хвилі. У таблиці 1.1 представлені характеристики деяких сучасних спектрофотометрів. Зовнішній вигляд спектрофотометра (Perkin Elmer Lambda 950) представлений на малюнку 1.5.



Рисунок 1.5 – Спектрофотометр Perkin Elmer Lambda 950

Для проведення експериментів з використанням флуоресцентних методів застосовують спеціальну апаратуру - спектрофлуориметри. Правильна ідентифікація і аналіз даних, отриманих в результаті проведення

експериментів, є скрутної або зовсім неможливою завданням без проведення корекції люмінесцентного спектру обладнання з урахуванням розкиду характеристик останнього. У зв'язку з цим виникає необхідність у відповідному еталонному забезпеченні[16].

Якість спектрометра, безсумнівно, визначається оптикою, а достовірність одержуваної в ході експериментів вимірювальної інформації - також і електронною апаратурою, що здійснює процеси перетворення, обробки і реєстрації. Використання ж сучасної мікропроцесорної техніки дозволяє істотно розширити можливості спектрометра[11].

Ручне проведення спектрометричних вимірювань являє собою досить трудомісткий і тривалий процес. За оцінками авторів публікації, вимір шуканої величини на одній довжині хвилі займає близько 3 хвилин без урахування подальшої обробки. При цьому висока ймовірність виникнення додаткових похибок, пов'язаних з тривалістю вимірювань (наприклад, дрейф параметрів елементів спектрометра) і суб'єктивним фактором (невірний візуальний відлік за шкалою аналогового вимірювача). Автоматизація процесу вимірювань дозволяє скоротити час проведення вимірювань, а також зменшити або зовсім виключити людський фактор. Персональний комп'ютер дозволяє здійснювати управління монохроматором, подальше обчислення скоригованого спектра, зберігати методики проведення випробувань, а також їх численні результати з можливістю ефективного доступу до останніх. Таким чином, відповідний рівень автоматизації для сучасних спектрометрів є настільки ж необхідним, як і високі технічні показники [11,17]. Те ж справедливо і для еталонної бази.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики сучасних спектрофотометрів

Параметр	Макет модернізованого спектроенергетичного вимірювального засобу на базі монохроматору МДР-23	Perkin Elmer Lambda 950	Спектрофотометр СФ-56	Спектрофотометр Cintra 4040	Shimadzu UV2700 UV-VIS Spectrophotometer	Спектрофотометр МДР-206	Спектрофотометр МДР-41
Спектральний робочий діапазон, нм	190-3500	190.3300	190.1100	190.900	185.900	190-5000	200-25000
Спектральна ширина цілі, нм	0,2.5,0	0,05.5,0; 0,2.20,0	0,3.6	0,2.5,0	0,1.5	0-4,2	0,2
Похибка установки довжин хвиль, нм	0,01	0,08...0,3	0,1	0,01	0,1.0,3	0,01	0,025
Відтворюваність установки довжин хвиль, нм	0,018	0,005.0,080	0,05	0,018	0,05	0,05	0,03
Найменший дозволяються спектральний інтервал, нм	0,1	0,05 (0,2 К)	0,3	0,1	0,1	0,06	0,2
Фотометричний діапазон, А	-0,3.4,0	8	-0,3.4,0	-0,477.4,0	-8,5.8,5	4,3	2,0

	Фотометрична точність, А:							
- в діапазоні (0 .. 0,5) А	$0,110^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,110^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	
- в діапазоні (0,5.1,0) А	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	
	Фотометрична відтворюваність, А:							
- в діапазоні (0.0,5) А	$1,010^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$1,010^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	
- в діапазоні (0,5.1,0) А	$1,010^{-3}$	$0,16 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$1,010^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	
	Розсіяне світло, %:							
- при $\lambda = 220$ нм	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	
- при $\lambda = 340$ нм	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	
Дрейф нульової лінії, А / ч	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	-	$0,17 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$		$0,17 \cdot 10^{-3}$	
Фотометричний шум (RM)		Б), А:						
- при 0 А	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	-	$0,23 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	-	
- при 2 А	$0,19910^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	-	$0,19910^{-3}$	-	$0,2 \cdot 10^{-3}$	-	
- при 4 А	$0,19110^{-2}$	$0,110^{-2}$	-	$0,19110^{-2}$	-	$0,110^{-2}$	-	
Ціна, \$	750	4975	2544,90	5538,90	4300	4000-4100	3574	

Двоканальний монохроматор-спектрограф з компенсацією астигматизму NP250-2 (рис.1.6) має фокусну відстань 270 мм і відносний отвір 1 / 3,9. Прилад побудований за оригінальною оптичною схемою з двома незалежними оптичними каналами; Коліматорні і камерне дзеркала асферичні.



Рисунок 1.6 – Монохроматор-спектрограф з компенсацією астигматизму NP250-2

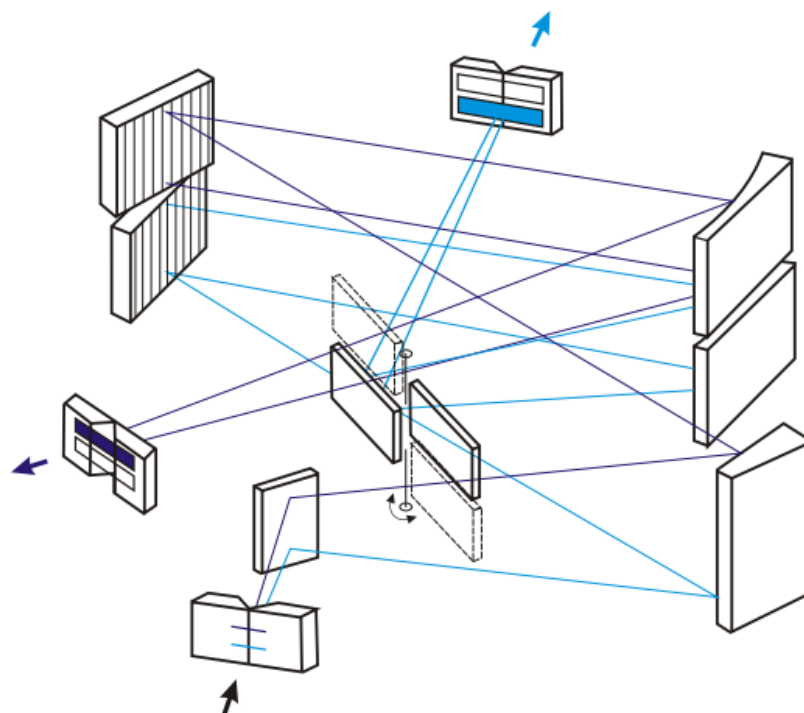


Рисунок 1.7 – Оптична схема монохроматор-спектрограф з компенсацією астигматизму NP250-2

Крім вибору спектрального інтервалу шляхом повороту дифракційної решітки, в приладі передбачена можливість швидкої заміни решіток вручну. Прилад має два вихідних порту, які можна використовувати одночасно.

Особливості приладу є: повністю автоматизоване управління від ПК; Вхідні і вихідні щілини з автоматичною або ручним регулюванням ширини; Два вихідних порту з автоматизованим перемиканням; Можливість одночасної реєстрації двох незалежних спектрів за допомогою різних детекторів; Оригінальна програмне забезпечення для Win'98 / 2000 / XP[5].

Областю застосування даного приладу є: Спектральні вимірювання в діапазоні від УФ до ГИК; Емісійна, флуоресцентна, Рамановская спектроскопія; Вимірювання поглинання і пропускання; Багатоканальна спектроскопія (за допомогою фотодіодних і ПЗСматриць).

Монохроматор МДР-206 (рис.1.8) призначений для використання в якості джерела монохроматичного випромінювання в спектральному діапазоні від 190 до 5000 нм.



Рисунок 1.8 – Монохроматор МДР-206

Монохроматори можуть оснащуватися додаткові пристрої, що розширюють можливості у вирішенні науково-дослідних завдань. У тому числі: джерелами світла, фотоприймачами, туреллю автоматичного перемикання фільтрів, узгодженим дзеркальним конденсором і т.п.[15].

Вбудований в монохроматор мікропроцесорний контролер забезпечує автоматичну установку будь-якої заданої довжини хвилі в робочому спектральному діапазоні. Управління скануванням проводиться від кнопок пульта управління, значення поточної довжини хвилі висвічується на вбудованому дисплеї.

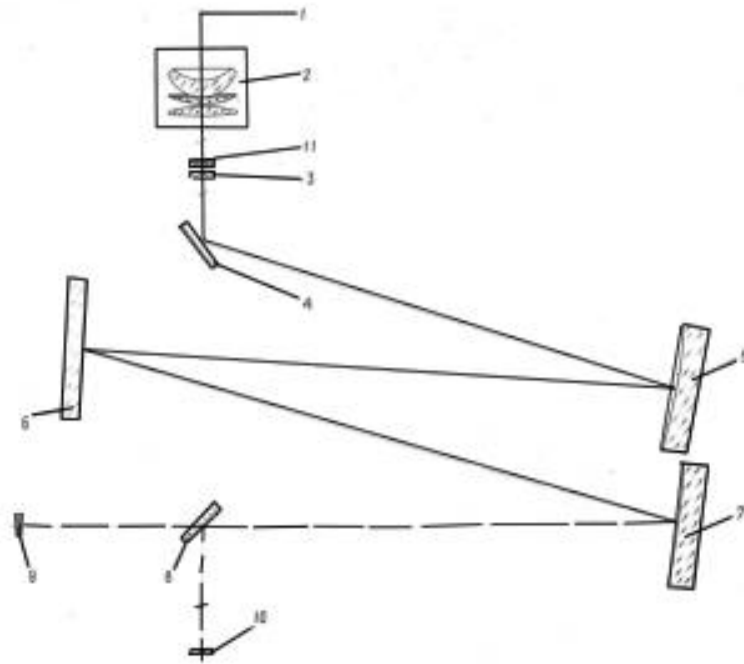


Рисунок 1.9 – Оптична схема монохроматор-спектрограф з компенсацією астигматизму МДР-206

Монохроматори можуть оснащуватися додаткові пристрої, що розширюють можливості у вирішенні науково-дослідних завдань. У тому числі: джерелами світла, фотоприймачами, туреллю автоматичного перемикавання фільтрів, узгодженим дзеркальним конденсором і т.п.[15].

Вбудований в монохроматор мікропроцесорний контролер забезпечує автоматичну установку будь-якої заданої довжини хвилі в робочому спектральному діапазоні. Управління скануванням проводиться від кнопок пульта управління, значення поточної довжини хвилі висвічується на вбудованому дисплеї.

Вбудований мікропроцесорний контролер забезпечує управління двома додатковими кроковими двигунами, а також прийом і обробку сигналів від двох зовнішніх приймачів випромінювання. Підключення зовнішніх пристроїв проводиться через роз'єми, розташовані на корпусі монохроматора[13].

Пристрій монохроматоров передбачає можливість безпосереднього підключення до монохроматором зовнішнього комп'ютера через послідовний порт RS232 для управління і реєстрації спектрів. Для роботи з зовнішнім комп'ютером використовується програмне забезпечення, яке працює в середовищі MS Windows 9X / NT[13].

Основні технічні характеристики представлені в таблиці 1.2:

Таблиця 1.2

Технічні характеристики МДР-206

Спектральний діапазон	190-5000
Оптична схема	Еберта-Фасті
Фокусна відстань	180
Відносний отвір	1/4
Розміри дифрагмаційної решітки, мм	40x50
Ширина щілин	0-4
Кількість вихідних щілин	1
Зворотна лінійна дисперсія, нм / мм (для решітки 1200штр/мм)	4,3
Роздільна здатність (для решітки 1200штр/мм)	9000
Похибка установки довжини хвилі, нм (для решітки 1200штр/мм)	0,5
Збіжність установки довжини хвилі, нм (для решітки 1200штр/мм)	0,1
Габаритні розміри мм, не більше	280x240x170
Маса монохроматора, кг не більше	6,8

Монохроматор МДР-41 призначений для використання в якості джерела монохроматичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні.

Робочий діапазон приладу 200-25000 нм охоплюється змінними дифракційними ґратами (репліками) розмір заштрихованої частини 50x40 мм число штрихів на мм - від 3000 до 375.

Прилад побудований за оригінальною схемою, що дозволяє істотно зменшити рівень заважає випромінювання в порівнянні зі звичайною схемою Фасти. Для освітлення входної щілини приладу використаний дзеркальний конденсор, в якому розміщений блок світлофільтрів для усунення вищих порядків дифракції[3, 7, 9]. Управління монохроматором від зовнішнього комп'ютера через мікропроцесорний контролер.

Технічні характеристики приладу представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики монохроматору МДР-41

Спектральний діапазон	200-25000
Відносний отвір	1/6
Фокусна відстань дзеркальних об'єктивів, мм	300
Зворотна лінійна дисперсія, нм / мм	2,0
Кількість вихідних щілин	1
Гранично розшешимий спектральний інтервал, нм (при = 546,07 нм, ширині щілини 5 мкм, висете щілини 2мм)	Краще ніж 0,02
Рівень заважає випромінювання (на відстані 8 спектральних ширини щілини від лінії лазера HE-NE 632,8 нм)	1*E-5
Відтворюваність за шкалою довжин хвиль, нм	0,025
Точність за шкалою довжин хвиль, не гірше	0,2
Габаритні розміри мм, не більше	250x440x280
Маса монохроматора, кг не більше	12

*Примітка: Всі характеристики, помічені *, наведені для решітки 1200 штрихів на мм*

Також можна навести у якості прикладу багатofункціональний спектрометр МФС - найпоширеніший стаціонарний повітряний оптичний емісійний спектрометр, створений для швидкого і точного аналізу складу різних матеріалів (в першу чергу, кольорових металів та їх сплавів) з одночасним визначенням всіх цікавлять елементів безпосередньо в процентах концентрації[17].

1.6. Комп'ютерні технології автоматизації вимірювань

Розвиток комп'ютерних технологій і цифрових пристроїв дозволило шляхом перетворення дискретних сигналів значно спростити і зробити універсальним систему вимірювального комплексу. Це дозволило на підставі одержуваних з датчиків електричних сигналів, їх аналогово-цифрового перетворення і відповідних програмних засобів здійснювати функції безлічі вимірювальних приладів різного призначення, а також функції обробки результатів вимірювань, їх відображення в тому чи іншому вигляді. Після вимірювання і аналізу, будь-якої фізичної величини, наступним логічним кроком є завдання управління, тобто зміна певних параметрів системи в залежності від отриманих результатів. Наприклад, вимірявши температуру нагрівається обсягу, можна подати сигнали на пристрій, який буде управляти потужністю подається на нагрівальний елемент і тим самим підтримувати задану програму температурного режиму в зазначеному обсязі[18, 19].

Останнім часом з'явилася можливість на базі комп'ютерних технологій, в тому числі на базі рішень фірми National Instruments (яке включає в себе середовище розробки додатків LabVIEW), значно спростити рішення такого роду завдань. Можна впевнено сказати, що побудова систем відображення і управління різними фізичними і технологічними процесами є основною функцією програмно-апаратного комплексу фірми National Instruments. При цьому управління процесами, що відбуваються може бути

або прямим, або здійснюватися через спеціальні програмовані логічні контролери (programmable logical controllers - PLC), що прийнято називати диспетчерським управлінням і збором даних (supervisory контроль data acquisition - SCADA)[18].

Крім цього є можливість в рамках одного приладу отримувати набір вихідних аналогових або цифрових сигналів, які можуть бути використані для управління реальними об'єктами. Все це в сукупності лягло в основу ідеї створення так званих віртуальних приладів.

Апаратна частина приладів значно спрощується, включаючи в себе тільки уніфіковані вузли зі збору даних і платформу, що відповідає вимогам того чи іншого промислового призначення. Такий підхід дозволив у кілька разів скоротити собівартість приладу, зробити його гнучко перебудовується і легко модифікується[19].

Величезні можливості комп'ютерних систем надають можливість вести записи великих масивів даних, що дає можливість проводити ретроспективний аналіз, статистичну обробку і т.д. Фірмою National Instruments розробила також серію апаратних засобів, які дозволяють вирішити проблему апаратної прив'язки вимірюваних величин до пристроїв цифрової обробки. Деякі функції цих апаратних коштів мають програмне керування, наприклад, є можливість програмного управління коефіцієнтом посилення аналогово-цифрового перетворювача. У зв'язку з цим LabVIEW являє в сукупності з пристроями повний апаратно-програмний комплекс для побудови систем вимірювання та автоматизації.

В цілому можна говорити, що виник новий апарат дослідження різних фізичних явищ і побудови автоматизованих систем управління з можливостями побудови математичних моделей і безліччю віртуальних приладів, що фактично є єдиним програмно-обчислювальним комплексом.

Технологічні рішення фірми National Instruments надають величезні можливості побудови контрольно-вимірювальних і технологічних комплексів практично будь-якої складності. У той же час апаратна і

програмна частина рішення задачі залишаються відкритими, для свого розвитку в промисловому і лабораторного виконанні. З мінімальними зусиллями можна будувати і програмувати власні платформи, які будуть вирішувати ті чи інші практичні завдання[14].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Проведено аналітичний огляд основних типів спектроенергетичних вимірювальних засобів та їх особливості; аналітичний огляд існуючих спектроенергетичних вимірювальних засобів з автоматизованою оптико-механічною системою. Виходячи з цього стало зрозуміло, що швидкісні багатоканальні спектральні прилади призначені для досліджень спектрів бистропротекаючих процесів конструюються шляхом поєднання спектрографа зі швидкісною кінокамерою (кіноспектрографи), введення в схему приладу багатогранних обертових дзеркал для розгортки спектрів перпендикулярно напрямку дисперсії, застосування багатоканальної реєстрації з багатоелементними приймачами.

Якість спектрометра, безсумнівно, визначається оптикою, а достовірність одержуваної в ході експериментів вимірювальної інформації - також і електронною апаратурою, що здійснює процеси перетворення, обробки і реєстрації. Використання ж сучасної мікропроцесорної техніки дозволяє істотно розширити можливості спектрометра.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ В СИСТЕМІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ.

2.1. Особливості сучасних типів крокових двигунів

Крокові двигуни привабливі, оскільки можуть управлятися безпосередньо від комп'ютера або мікроконтролера. Їх унікальна особливість полягає в тому, що вихідний вал обертається за допомогою серії дискретних кутових інтервалів, або кроків, один крок виконується кожен раз при отриманні керуючого імпульсу. При подачі певної кількості імпульсів, вал повернеться на заданий кут, що робить такий двигун ідеально відповідним для управління позиціонуванням без зворотного зв'язку[21].

Ідея переміщення вала під дією серії кроків може створити уявлення про примітивне пристрій, точно який вважає кроки до тих пір, поки заданий кількість не буде досягнуто, однак таке подання було б помилково. Кожен крок виконується дуже швидко, зазвичай за одиниці мілісекунд; коли потрібна велика кількість кроків, керуючі імпульси можуть подаватися швидко, іноді до декількох тисяч кроків в секунду. При таких високих швидкостях надходження керуючих імпульсів обертання валу стає плавним, а поведінка нагадує звичайний двигун. Типові застосування включають приводи головки диска, каретки інструменту в невеликих ЧПУ верстатах, там, де двигун міг би обертати ходовий гвинт; головку принтера, безпосередньо або через ремінь.

Більшість крокових двигунів дуже схожі на звичайні двигуни, і, в цілому, можна прийняти, що момент і потужність крокової двигуна аналогічна стандартному повністю закритому двигуну з такими ж розмірами і діапазоном швидкостей. Кут кроку знаходиться в основному в діапазоні 1.8° - $90. ^{\circ}$, а момент від $1 \mu\text{Nm}$ (в мініатюрних наручних годинниках з двигуном діаметром 3 мм) до, ймовірно 40 Nm в двигунах з діаметром 15 см додатних

для інструменту, де може знадобитися швидкість 500 об / хв. Більшість прикладів застосування знаходяться в ці кордони і використовують двигуни, які без праці можна тримати в руці.

Якщо потрібно динамічне позиціонування і точне управління швидкістю, а необхідний момент і швидкість не перевищують допустимі межі, то КД є найбільш бюджетним рішенням. Для збільшення моменту може бути використаний понижуючий редуктор. В іншому випадку необхідно підбирати більш потужний двигун.

Три основні різновиди КД:

- зі змінним магнітним опором
- з постійними магнітами
- гібридні

Визначити тип двигуна можна на дотик: при обертанні вала знеструмленому двигуна з постійними магнітами (або гібридного) відчувається змінний опір обертання, двигун обертається клацанням. Вал знеструмленому двигуна зі змінним магнітним опором обертається вільно. Гібридні двигуни - це удосконалення двигунів з постійними магнітами і за способом управління нічим від них не відрізняються. Визначити тип двигуна можна і по конфігурації обмоток. Двигуни зі змінним магнітним опором мають три (іноді чотири) обмотки з одним загальним виводами. Двигуни з постійними магнітами мають дві незалежні обмотки. Вони можуть мати по додатковому контакту від середини. Іноді двигуни з постійними магнітами мають чотири роздільні обмотки[22].

2.1.1. Управління позиціонуванням без зворотного зв'язку

Базова схема застосування крокового двигуна, показана на рис. 2.1. Привід складається з електронних переключаючих схем, які живлять двигун і обговорюються пізніше. Виходом є кутове положення вала двигуна, тоді як вхід складається з 2-х малопотужних сигналів[22].

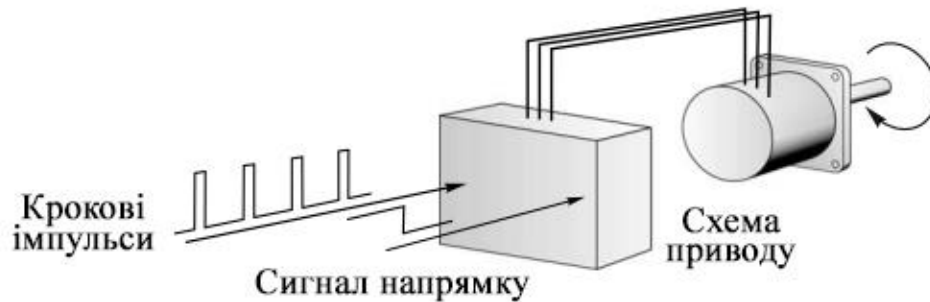


Рисунок 2.1 – Управління позиціонування з використанням крокового двигуна без зворотного зв'язку

Кожен раз при виникненні імпульсу на вхідній лінії, двигун виконує один крок, вал залишається в новому положенні до приходу наступного крокової імпульсу. Стан лінії напрямку (низький або високий) визначає, чи буде крок двигуном виконуватися за годинниковою стрілкою або проти неї. Таким чином, задану кількість крокових імпульсів визначає кут повороту вихідного валу[23, 24].

Це точна відповідність між імпульсами і кроками робить кроковий двигун дуже привабливим: він забезпечує управління позицією, оскільки виходом є кутове положення вихідного валу. Це цифрова система, оскільки остаточний кут повороту визначається кількістю поданих імпульсів; і також це система з відкритим контуром, оскільки немає зворотного зв'язку від вихідного валу[24].

2.1.2. Генерація крокових імпульсів і реакція двигуна

Крокові імпульси можуть створюватися схемою генератора, керованого аналоговим напругою, цифровим контролером або мікропроцесором. При виконанні необхідної кількості кроків, імпульси генератора пропускаються до приводу і вважаються, коли досягається заданий кількість імпульсів, генератор блокується. Цей процес ілюструється на рис. 2.2 для послідовності з шести кроків. Є шість командних імпульсів,

рівномірно розподілених в часі, двигун виконує один крок слідом за кожним командним імпульсом[24, 25].

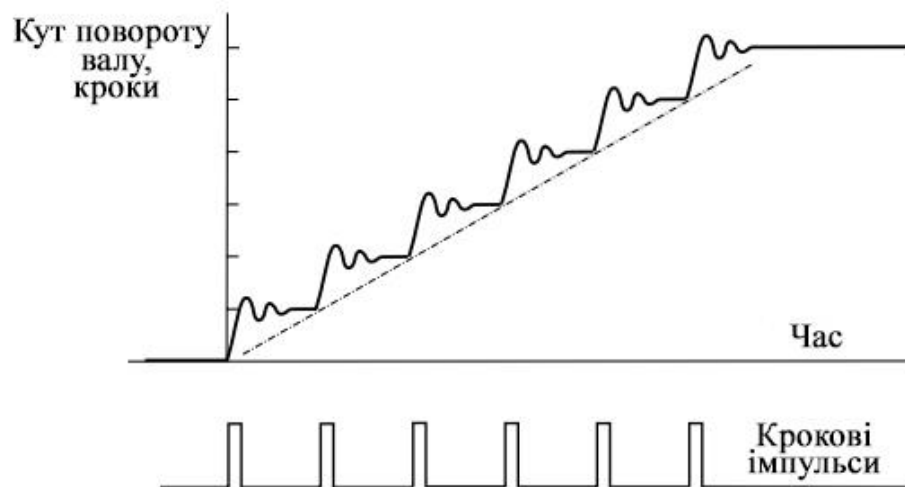


Рисунок 2.2 – Типова реакція двигуна на низькочастотну послідовність крокових, командних імпульсів

Три важливих, загальних особливості можуть бути відзначені з посиланням на рис. 2.2. По-перше, хоча остаточний кут повороту визначається кількістю імпульсів (шість кроків), середня швидкість повороту вала (показана похилій пунктирною лінією на рис. 2.2) залежить від частоти генератора. Чим вище частота, тим менше часу знадобиться для виконання шести кроків[25].

По-друге, принцип крокової роботи недосконалий. Ротор забирає певний час для переміщення з одного положення в інше, потім проскакує задане положення і нарешті, в результаті коливального процесу остаточно встановлюється в новому положенні. Загальний час необхідне для одного кроку різний в залежності від розмірів двигуна, крокової кута і типу навантаження, але зазвичай в межах діапазону в 5 - 100 мс. Це зазвичай здається досить швидким для недосвідчених новачків, хоча окремі кроки зазвичай можна чути в маленьких двигунах як «тик» при кожному кроці, а для великих як «клік» або «Кланк».

По-третє, щоб бути впевненими в абсолютній позиції в кінці послідовності кроків, ми повинні знати абсолютну позицію на початку. Це потрібно, оскільки кроковий двигун це пристрій який реагує тільки на приріст сигналу. До тих пір, поки не стався збій, двигун завжди буде виконувати один крок, при надходженні, одного керуючого імпульсу, але для того, щоб відстежувати абсолютну позицію, просто підраховуючи імпульси приводу (за умови, що вся система в порядку) ми повинні завжди починати рахунок з відомої позиції. Зазвичай, лічильник кроків «обнуляється» коли вал двигуна знаходиться в заданій позиції, після цього він підсумовується при русі за годинниковою стрілкою і віднімається при русі проти неї. За умови що кроки не були втрачені число в лічильнику кроків завжди визначає абсолютну позицію[26].

2.2. Принцип роботи крокового двигуна

Принцип роботи крокового двигуна дуже простий. Якщо підвісити металевий брусок так, щоб він міг повертатися в магнітному полі, то він буде орієнтуватися уздовж поля. При зміні напрямку магнітного поля, брусок буде також повертатися знову уздовж поля під дією, так званого, реактивного моменту. (Механізм дії аналогічний стрілкою компаса з тим винятком, що встановлюється металева стрілка замість постійного магніту і орієнтується вона уздовж магнітного поля землі повільніше, з можливістю переплутати N і S!).

Кроковий кут виходить з виразу

$$\text{кроковий кут} = \frac{360}{(\text{Зубц ротора}) - (\text{фази статора})}$$

Існує два найбільш важливих типу крокових двигунів: зі змінним магнітним опором (VR) і гібридні. Обидва типи засновані на реактивному принципі, різниця полягає в способі отримання магнітного поля. У двигунах типу VR поле створюється єдино комплектом струмопровідних котушок[26,

27]. Двигун гібридного типу також має комплект котушок, але, додатково, і постійний магніт (на роторі) звідси і назва «гібридний» для цього типу двигуна. Хоча обидва типи двигунів працюють на одному і тому ж базовому принципі, на практиці, тип VR більш привабливий для великих кутів повороту (наприклад, 15° , 30° , 45°), тоді як гібридний тип краще підходить, коли потрібні маленькі кути (наприклад, 1.8° , 2.5°).

Схема двигуна з постійними магнітами представлена на рис. 2.3. Він складається зі статора, що має чотири і більше обмотки, і ротора, який містить постійні магніти. Полюси, які чергуються в ротора мають прямолінійну форму і розташовані уздовж осі двигуна[28].

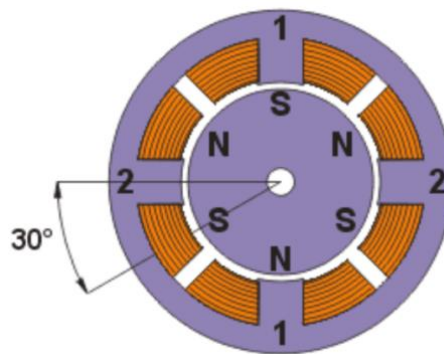


Рисунок 2.3 – Двигун з постійними магнітами.

При подачі струму на одну з обмоток, ротор прагне прийняти таке положення, коли протилежно заряджені полюси ротора і статора знаходяться навпроти один одного.

Щоб обертання було безперервним, потрібно включати обмотки поперемінно. На практиці двигуни з постійними магнітами зазвичай мають 48 - 24 кроку на оборот (кут кроку $7.5 - 15$ градусів). Кут кроку можна зменшити, запускаючи КД через спеціальний драйвер, на якому можна програмувати крок до необхідної величини. Так само можна скористатися редуктором, щоб зменшити навантаження на двигун і зробити крок коротшим[28].

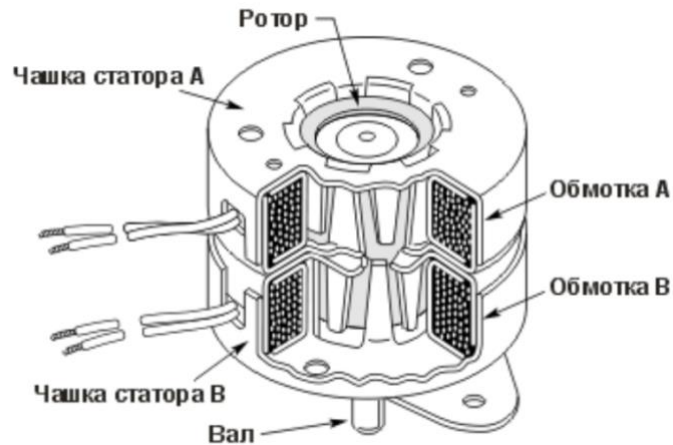


Рисунок 2.4 – Розріз крокового двигуна з постійними магнітами.

Двигуни з постійними магнітами виявляються під впливом зворотного ЕРС з боку ротора, що обмежує максимальну швидкість. Для роботи на високих швидкостях використовуються двигуни зі змінним магнітним опором. Так само можна скористатися редуктором[28, 29].

Спрощена схема роботи крокового двигуна типу VR з кроком 30° , показана на рис.2.5.

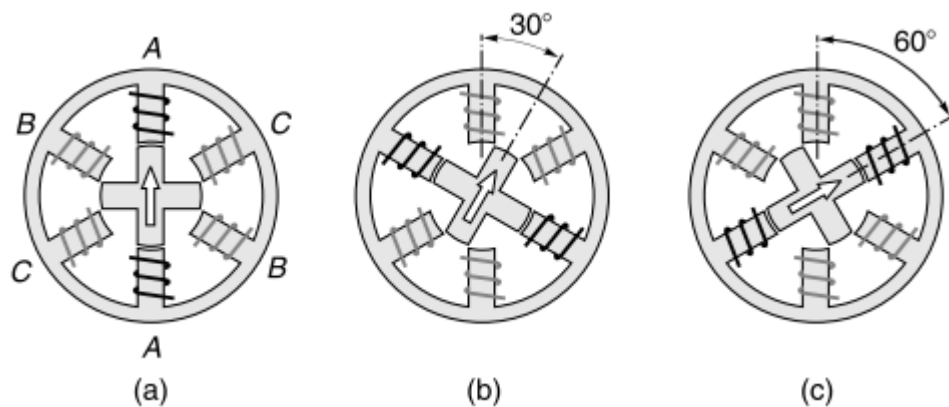


Рисунок 2.5 – Принцип роботи крокового двигуна зі змінним магнітним опором і кроковим кутом 30°

Статор виконаний з набору сталевих пластин і має шість, рівномірно розподілених, які виступають полюсів, або зубців, кожен містить окрему обмотку. Ротор, який може бути цілісним або з окремих пластин, має чотири виступаючих зубця тієї ж ширини, що і зубці статора. Зазор між зубцями

ротора і статора дуже маленький, зазвичай від 0.02 до 0.2 мм. Коли немає струму в жодній з статорних обмоток, ротор може вільно обертатися[28].

Діаметрально протилежну відбувається, якщо з'єднати послідовно пари котушок так, що одна діє як полюс N, а інша як полюс S. Таким чином, є три незалежних статорних ланцюга або фази і кожна може харчуватися постійним струмом від приводної схеми (не відображено на рис. 2.5) . Коли подається харчування на фазу А (показано жирними лініями на рис.2.5 (а)), створюється магнітне поле спрямоване вздовж полюсів статора фази А. Тому ротор притягається в положення при якому пара полюсів ротора позначених стрілкою вирівнюються з напрямком поля фази А, як показано на рис. 9.5 (а). Коли харчування фази А вимикається, а фази В включається, інша пара полюсів ротора притягається в положення вирівняне уздовж поля фази В, повертаючи ротор на 30° за годинниковою стрілкою в нове крокові положення, як показано на рис. 2.5 (b).

Наступний крок за годинниковою стрілкою на 30° відбудеться при виключенні фази В та включення фази С. В наступний момент знову вступає в дію первісна пара полюсів ротора (позначена стрілкою), але тепер вони вирівнюються по полю створеному фазою С, як показано на рис. 2.5 (с). Повторно перемикаючи фази статора в послідовності ABCA і т.д., отримують обертання ротора за годинниковою стрілкою з кроком 30° , якщо послідовність перемикачів буде ACBA і т.д., ротор буде обертатися проти годинникової стрілки. Цей режим роботи називається «полношаговий», і є найбільш простим способом управління кроком двигуна. Відзначимо, що полярність напруги струму не має значення: двигун буде вирівнюватися однаково добре в не залежності від напрямку струму[22, 26].

Для роботи в повно шаговом режимі кожна секція статора підключається до живлення послідовно, так що відповідний зубець ротора вирівнюється з зубцем статора. Крок виходить, оскільки такі набори зубців ротора зрушені на один крок. Принципова різниця в порівнянні з одне секційним VR двигуном (рис. 2.5) в тому, що всі зубці кожної секції ротора

беруть участь в створенні моменту, коли ця секція підключається до живлення. В цілому, використання матеріалів у цьому двигуні не краща ніж в одне секційному, оскільки в кожен момент часу, використовується тільки одна третина матеріалу[28].

2.3. Основні характеристики роботи крокових двигунів в повнокроковому режимі роботи з імпульсним приводом.

2.3.1. Одно кроковий режим

Якщо припустити, що фаза А підключена до харчування, а ротор стоїть нерухомо в положенні, коли кут $\Theta = 0^\circ$ (рис. 2.6), то фази повинні підключатися до харчування в послідовності ABCA і т.д. при русі за годинниковою стрілкою, тому нам треба уявити як фаза А вимикається і включається фаза В. Вважаємо також, що падіння струму в фаза А і зростання струму в фазі В відбувається дуже швидко, до того як ротор переміститься значно[23, 29].

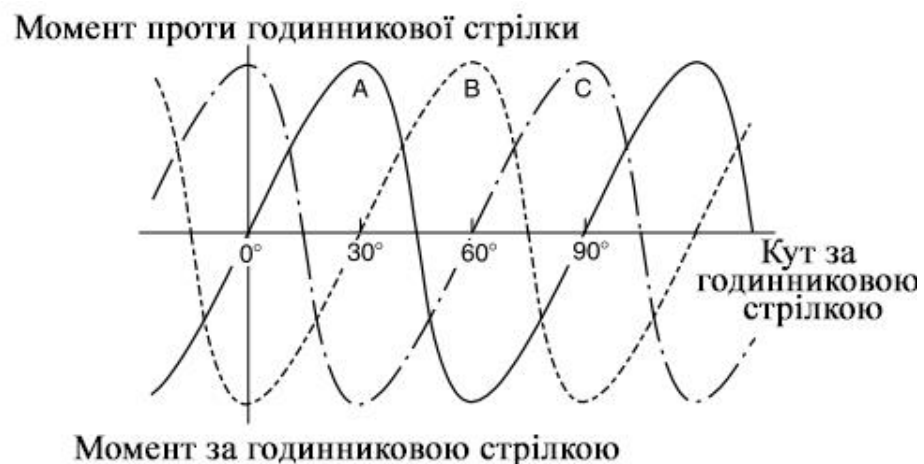


Рисунок 2.6 – Статичні криві залежності моменту від зсуву крокової двигуна зі змінними магнітами сопроотивлення і кроковим кутом 30°

Ротор знаходиться в позиції $\Theta = 0^\circ$, але тепер почне відчувати вплив моменту чинного за годинниковою стрілкою (рис. 2.6), створеного фазою В.

Тому ротор почне прискорюватися і дію цього моменту продовжиться до переміщення ротора в положення 30° . Прискорений рух ротора триватиме весь час, тому він проскочить позицію 30° , яка є його кінцевою метою (крок) при харчуванні фази В. Однак, як тільки він проскочить це положення, напрямок дії моменту реверсують і ротор відчуває дію гальмівного моменту, який спочатку зупинить його, а потім прискорить його назад в напрямку позиції 30° . Якби не було тертя або іншої причини для загасання, ротор продовжував би коливатися; але, на практиці, він зупиняється у своєму новому положенні досить швидко, так само як загасають системи другого порядку. Наступний крок 30° виконується таким же чином, вимикаючи струм в фазі В і включає струм в фазі С[22].

Раніше в міркуваннях згадувалося, що ротор обертається, завдяки послідовному дії кожного з трьох моментів, криві яких показані на рис.2.6. Навпаки, оскільки всі криві однакової форми, ми можемо вважати, що на ротор впливає одна єдина крива моменту, яка «стрибає» на один крок (30° в цьому випадку) кожен раз при перемиканні струму з однієї фази на наступну. Часто це найбільш зручне візуальне уявлення того, що відбувається в двигуні.

2.3. Імпульсний привід

Базова схема однієї фази VR двигуна показана на верхній частині рис. 2.7 разом з графіками струму. Щоб отримати дуже швидка зміна струму, при перемиканні фаз, застосовується високовольтне харчування.

Нижній транзистор відкривається на весь період часу, коли потрібно струм. Верхній транзистор відкривається кожен раз, коли миттєвий струм падає нижче нижнього порогового рівня (показаний пунктирною лінією на рис. 2.7) і закривається тоді, коли струм перевищить верхній граничний рівень.

Імпульсний принцип роботи призводить до того, що форма токового сигналу стає хорошим наближенням до ідеалу (рис. 2.7). В кінці періоду включення обидва транзистора закриваються, і інерційний ток з обмотки тече через обидва діода назад в джерело живлення. Протягом цього часу збережена в індуктивності енергія повертається, а оскільки напруга на контактах обмотки стає $-V_c$, струм зменшується так само швидко, як і зростає[30].

Оскільки система регулювання є замкнутою системою, спотворення імпульсу струму за рахунок ЕРС мінімально, а це означає, що ідеальна (постійний струм) крива залежності перекидаючого моменту від частоти крокових імпульсів буде зберігатися до високих частот проходження крокових імпульсів.

Однак, очевидно, що період включеного стану зменшується, на час поки росте струм і номінальний струм ніколи не досягається.

У міру подальшого зростання частоти імпульсний ефект загасає і привід по суті переходить в режим постійної напруги, а момент падає швидко, як видно на рис. 2.8(с)[30].

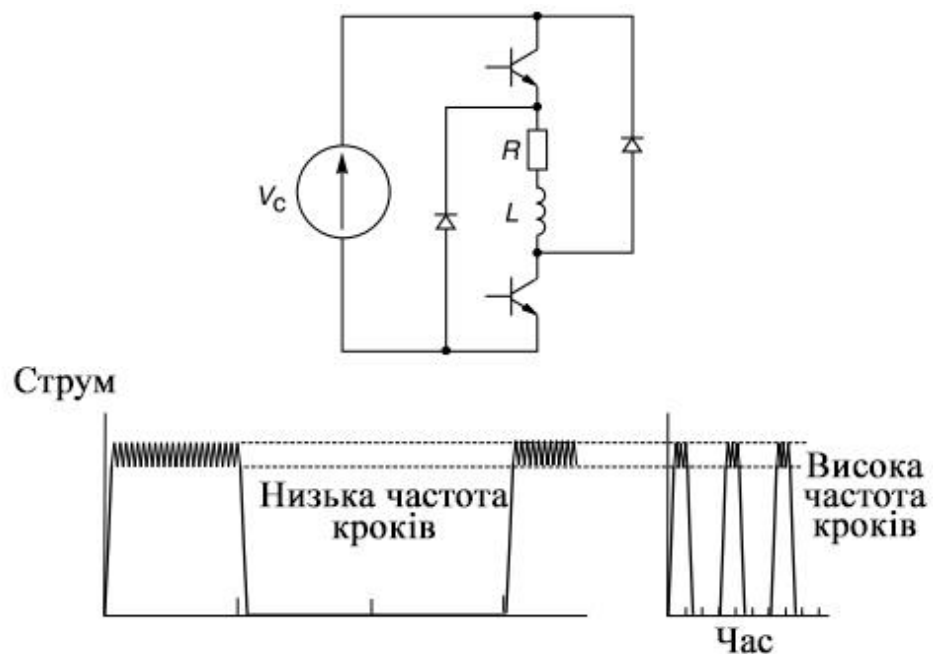


Рисунок 2.7– Імпульсний привід з постійним струмом і типові графіки струму

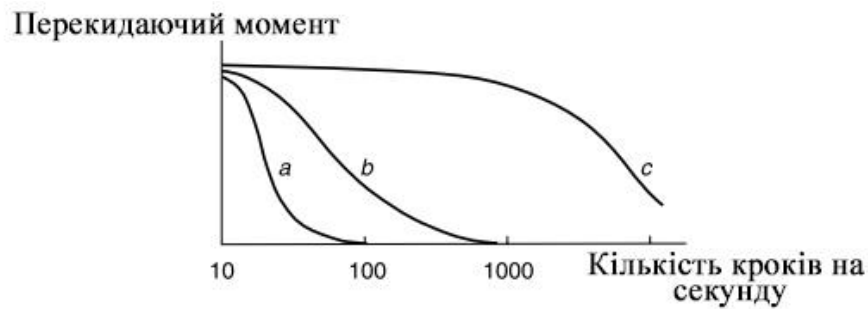


Рисунок 2.8 – Типові криві залежності перекидаючого моменту від частоти проходження крокових імпульсів для заданого двигуна з різними типами приводних схем, (a) привід постійної напруги; (b) привід з форсованим струмом; (c) імпульсний привід

Немає сумніву в повній перевазі імпульсного перетворювача, і він поступово стає стандартом. Однокристальний модулі можна купити для невеликих (1 - 2 А) двигунів, а повністю готові плати, з номінальними характеристиками до 10 А і більш пропонуються для великих двигунів[30].

2.3.3. Переваги крокового двигуна:

- 1 Кут повороту ротора визначається кількістю імпульсів, які подані на двигун.
- 2 Двигун забезпечує повний момент в режимі зупинки.
- 3 Прецизійне позиціонування і повторюваність. Гарні КД мають похибку від 3% до 5% від величини кроку. Ця похибка не накопичується від кроку до кроку.
- 4 Можливість швидкого старту, зупинки, реверсування.
- 5 Висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток (тертя мінімальне), термін служби КД фактично визначається терміном служби підшипників.
- 6 Залежність положення від вхідних імпульсів забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку.

7 Можливість реалізації дуже низьких швидкостей обертання для навантаження, приєднаної до валу двигуна без використання проміжного редуктора.

8 Швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів.

Тому КД широко застосовуються при автоматизації різних установок. Для підключення КД необхідно використовувати спеціальні електронні схеми[31].

ВИСНОСКИ ДО РОЗДІЛУ

Конструкція крокових двигунів проста, єдина рушійна частина це ротор, який не має обмоток, колектора і щіток: тому вони надійні і не вибагливі. Ротор утримується в своїй крокової позиції єдино завдяки дії магнітного потоку між статором і ротором. Кроковий кут визначається геометрією зубця і пристроєм статорних обмоток, тому точність штампування і складання пластин ротора і статора повинна гарантувати однаковий крок. На щастя, будь-які помилки штампування не накопичуються.

Величина вирівнюючого моменту безпосередньо залежить від величини струму в фазових обмотках. Однак саме положення ротора не залежить від величини струму, оскільки воно просто визначається тим місцем, де зубці ротора і статора вирівнюються. Це властивість відповідає цифровий природі крокової двигуна.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ВУЗЛІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ МОНОХРОМАТОРА МДР-23

3.1. Автоматизована система керування оптико-механічною частиною спектроенергетичного вимірювального засобу на базі монохроматора МДР 23.

3.1.1. Особливості дифракційних спектроенергетичних вимірювальних засобів.

Основним дисперсійним елементом усіх без винятку дифракційних спектроенергетичних вимірювальних засобів є дифракційні решітки різної будови і функціональних властивостей.

Дифракційна решітка представляє собою систему великої кількості щілин, розташованих близько один до одного на однаковій відстані. Чим більше число щілин має решітка, тим більше її роздільна сила. У спектральних приладах використовуються решітки різних типів: плоскі, увігнуті і з різним профілем штрихів. Розглянемо спектральні прилади з плоскими решітками. Нехай на плоску прозору грати ДР перпендикулярно до її поверхні падає паралельний пучок світла (рис. 3.1, а).

Розглянемо розподіл інтенсивності світла в дифракційній картині, що спостерігається на бескокінцівках, або в фокальній площині лінзи (рис. 3.1, а точка Р). Дифраговані від щілин решітки хвилі інтерферують між собою і утворюють дифракційну картину. Отже, дифракційна картина від решітки є результатом[32].

Плоскі решітки, використовувані в більшості спектральних приладів, є відбивними. Монохроматори з плоскими дифракційними ґратами на відміну від призматичних приладів мають дзеркальні об'єктиви і при наявності змінних решіток з різним числом штрихів можуть працювати в широкій області

спектра. Основними схемами таких монохроматоров є схеми Літтрова, Фасті-Еберта та Черні-Турнера (рис. 3.1).

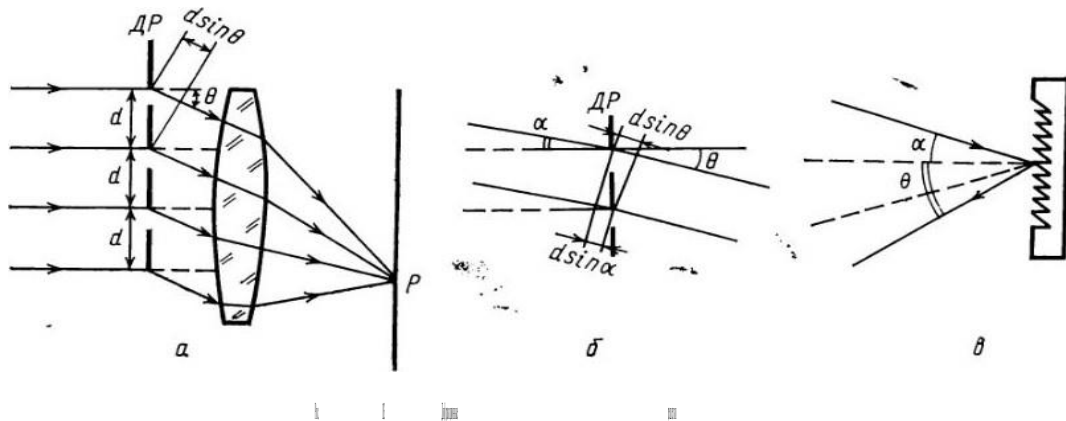


Рисунок 3.1 – дифракції хвиль на кожній щілині і подальшої інтерференції хвиль від різних щілин. Різниця ходу хвиль від двох сусідніх щілин D і різниця фаз δ між ними рівні

$$D = d \sin \theta \quad (3.1.1)$$

$$d = t d = t c / \sin \theta \quad (3.1.2)$$

де t -порядок інтерференції, d - постійна решітки (сумарна ширина її прозорого і непрозорого ділянок), θ - кут між напрямком спостереження інтерференційної кар. твані і нормаллю до ґрат. Направлення на головний максимум θ_t можна встановити з виразу

$$d \sin \theta_t = t \lambda \quad (3.1.3)$$

де λ - довжина хвилі, t - порядок інтерференції

При похилому падінні плоскої хвилі під кутом α до дифракційної решітці (рис. 3.1, б) положення головних максимумів визначається умовою

$$d(\sin \theta - \sin \alpha) = n \lambda \quad (3.1.4)$$

В сучасних дифракційних спектральних приладах використовуються відбивні решітки. Для таких систем рівняння дифракційної решітки має вигляд

$$m \lambda = d(\sin \theta - \sin \alpha) \quad (3.1.5)$$

де α - кут падіння світла на дифракційну решітку, θ - кут відображення (рис. 3.1, в)

Диференціюючи рівняння (3.1.6), можна отримати вираз для кутової дисперсії решітки:

$$\frac{dn}{dl} = \frac{m}{d \cos \theta} \quad (3.1.6)$$

Для визначення кутової дисперсії частіше користуються співвідношенням

$$\frac{dq}{dl} = \frac{Nm}{A \cos \theta} \quad (3.1.7)$$

де M - число штрихів решітки, A - лінійна апертура решітки (при її повному освітленні A - довжина штрихованої області)[33].

Автоколімаційна пристрій, розроблений Літтровим, призначений для отримання великої лінійної дисперсії (рис. 3.2, а). Пучок світла, що йде врозріз від вхідної щілини, робиться паралельним за допомогою лінзи коліматора і входить в диспергирующую систему (грати). Відбитий від неї світло знову проходить через коліматор, який вже служить лінзою камери і фокусує спектр, який виділяється вихідний щілиною. Інший схемою монохроматора з великою лінійною дисперсією є схема Фасті-Еберта (рис.3.3, б)[31. 33]. Коліматором і камерним об'єктивом в ній служать різні частини одного і того ж увігнутого дзеркала. Найбільш поширеною схемою монохроматоров, використовуваних в Спектрофлуориметр, є схема Черні-Турнера (рис. 3.3, в). Наявність роздільних коліматорного і камерного дзеркал в цій схемі дозволяє зменшити астигматизм. Випромінювання, що проходить через вхідну щілину (м, у), плоским дзеркалом направляється на увігнуте дзеркало 2, після чого падає на плоску відображає дифракційну решітку. Світло, спектрально диспергований дифракційною решіткою, за допомогою дзеркал 3 і 4 фокусується в площині вихідний щілини[34].

Подібно призмі плоска решітка вимагає застосування лінз або дзеркал, щоб збирати і фокусувати падаючий і виходить світло. Функції дифракційної решітки і об'єктивів можна поєднати в одному елементі-решітці, нарізаною на увігнутому дзеркалі. При цьому в оптичній схемі приладу залишається одна відбивна поверхня - сама решітка. Для увігнутої решітки так само, як і для плоскої решітки, справедливо співвідношення (3.1.4)

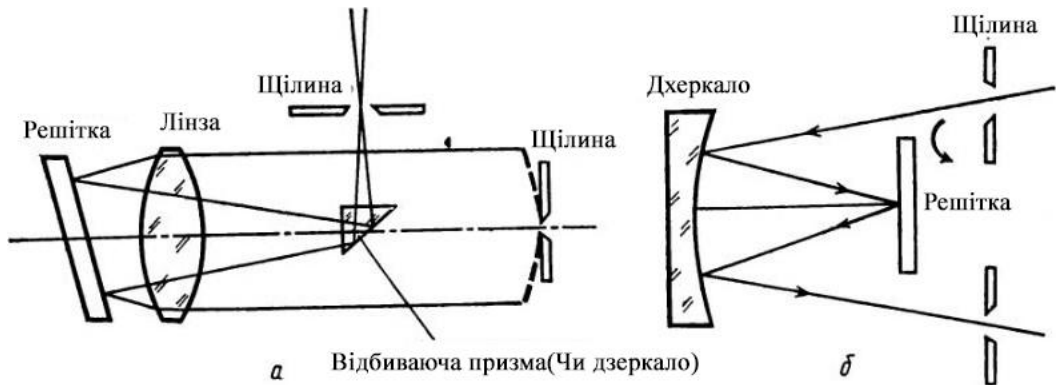


Рисунок 3.2 – схема Фасти-Еберта

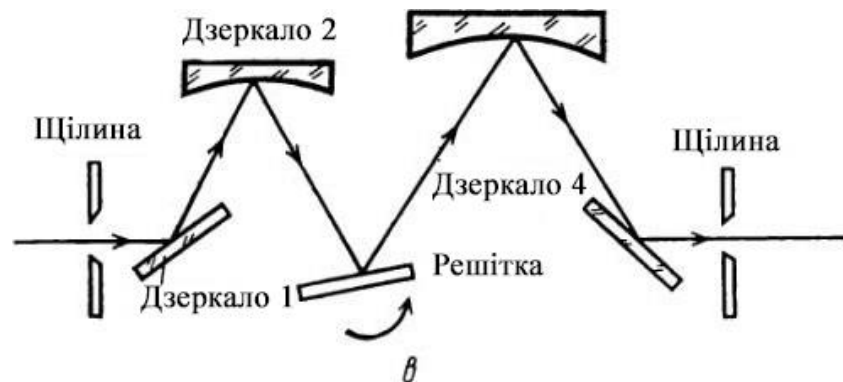


Рисунок 3.3 – Основные схемы дифракционных монохроматоров:
Литрова (а), Фасти—Эберта (б) и Черни—Турнера (в)

При цьому вхідний і вихідний щілини решітки і одержуваний спектр лежать на одному колі, діаметр якої дорівнює радіусу кривизни увігнутою решітки - так званої окружності Роуланда[34]. Для монохроматора з

увігнутою ґратами лінійна дисперсія постійна для всіх точок кола Роуланда. Відомий також ряд схем для розташування увігнутою дифракційної решітки в монохроматорах. У більшості таких установок решітка і обидві щілини знаходяться на колі Роуланда

3.1.2. Конструктивні особливості монохроматора МДР 23

Монохроматор МДР 23 призначений для виділення монохроматичного випромінювання в широкому спектральному діапазоні. Монохроматор використовується в науково-дослідних і промислових лабораторіях в різних спектроскопічних установках при проведенні дослідження спектральних характеристик джерел і приймачів випромінювання. Даний монохроматор використовується при вивченні оптичних властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів в ультрафіолетовій, видимій та ближній інфрачервоній областях спектру.

Порівняльні характеристики МДР-23 і більше сучасних монохроматорів представлені в таблиці 3.1 [31, 35].

Таблиця 3.1.

Порівняльні характеристики монохроматорів

Параметр	МДР-23	МДР-41	SOL MS350
Робочий спектральний діапазон, нм	200...2000	200...25000	185...60000
Дані наведені для решітки з числом штрихів на мм	1200	1500	1200
Зворотня лінійна дисперсія, нм / мм	1,3	2,0	2,37
Гранично розширюємий спектральний інтервал, нм	0,2	0,02	0,06
Відтворюваність за шкалою довжин хвиль, нм	0,12	0,025	0,03
Точність за шкалою довжин хвиль, нм	0,5	0,2	0,06
Відносний отвір (по входу)	1:6	1:6	1/3,8
Розсіяне світло	Н.д.	10^{-5}	10^{-5}

Метрологічні характеристики монохроматора залежать, в основному, від якості виготовлення елементів оптико-механічної схеми. Точність установки довжини хвилі визначається кінематичною схемою і використовуваної керуючою електронікою. Одним з варіантів підвищення точності установки довжини хвилі є поліпшення якості виготовлення зазначених схем. Проте, даний варіант складно реалізуємо, доступний, як правило, заводомвиробником і дослідно-конструкторських бюро і веде до створення абсолютно нового пристрою. У той же час, значного підвищення точності установки довжини хвилі (в деяких випадках на порядок і більше) можна досягти за допомогою удосконалення пристрою управління приводом дифракційної решітки[36].

Оптична схема монохроматора МДР-23 представлена на рис. 3.4.

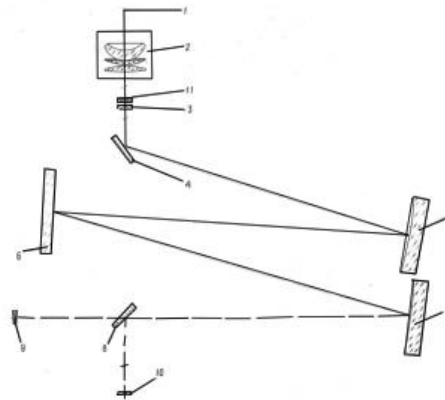


Рисунок 3.4 – Оптична схема монохроматора МДР-23

Монохроматор МДР 23 побудований за асиметричною схемою Фасти зі сферичними дзеркальними об'єктивами.

Оптична схема монохроматора, показана на рис.3.4. Джерело світла 1 через конденсор 2 висвітлює вхідну щілину 3 монохроматора. Поворотний дзеркало 4 і дзеркальний сферичний об'єктив 5, в фокальній площині якого розташована вхідна щілина 3, направляють паралельний пучок на дифракційну решітку 6. Після дифракції паралельний пучок фокусується дзеркальним сферичним об'єктивом 7 на вихідну щілину 10[33, 37].

Залежно від положення поворотного дзеркала 8 пучок світла потрапляє або на одну щілину 9, або на іншу щілину 10. У разі необхідності використання одночасно обох вихідних щілин в пучок вводиться дзеркало, зрізане по висоті.

Для проектування джерела світла на щілину монохроматора служить конденсор оскільки конденсор не ахроматичний, то фокусування його в різних областях спектру вимагає зміни відстані між вхідною щілиною і конденсором і між конденсором і джерелом світла[38].

Розрахункові значення цих відстаней і отримується при цьому збільшення вказані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахункові значення відстаней

Довжина хвилі, нм	Відстань від джерела світла до першої поверхні конденсора, мм	Відстань від останньої поверхні конденсора до вхідної щілини, мм	Збільшення
200	52,8	286,3	3,9
330	68,8	270,3	3
400	71,9	267,2	2,9
600	76,0	263,1	2,7
800	77,7	261,4	2,6
1000	78,8	260,3	2,6
1300	80,1	259,0	2,5
1700	82,0	257,1	2,5
2000	83,8	255,3	2,4

Для зрізання вищих порядків спектра, що накладаються на робочу спектральну область використовують світлофільтри.

Робоча область спектра, в якій використовується кожний світлофільтр, награвірован на його оправі.

Електрична схема монохроматора МДР-23 представлена на рис.3.5.

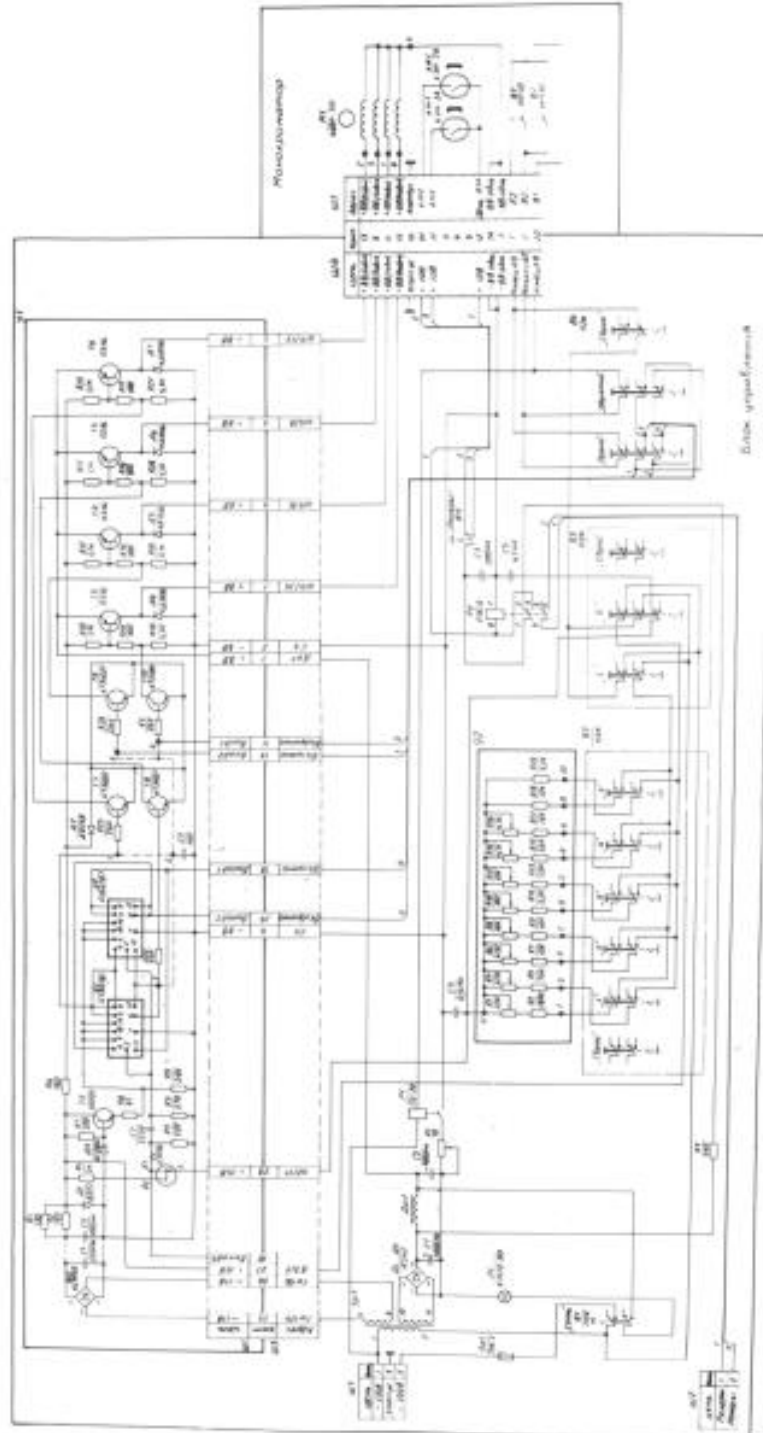


Рисунок 3.5 – Електрична схема монохроматора МДР-23

Електрична схема монохроматора складається зі схеми блоку управління Кроковое двигун и схеми монохроматора[39].

Схема управління кроковим двигуном містить випрямлячі Д1-Д4 з П-образним фільтром, плату управління У1 для харчування і управління кроковим двигуном, плату УП з резисторами і органи комутації В1-В5.

Схема монохроматора містить кроковий двигун М1 (типу ШДР 711) мікроперемикачі на кінцях робочого діапазону (В1 - короткохвильовий, В2 - довгохвильовий) і реперних пристрій, що складається з герконів КМ1 і КМ2, керованих постійним магнітом[39].

Кроковий двигун приводиться в рух П - образними імпульсами, послідовно надходять на його обмотки. Прямокутні імпульси зрушені відносно один одного на період проходження імпульсів генератора.

Швидкість обертання валу крокового двигуна визначається частотою проходження імпульсів генератора, а напрямок обертання - фазовими співвідношеннями між імпульсами, які надходять на обмотки двигуна (рис. 3.6).

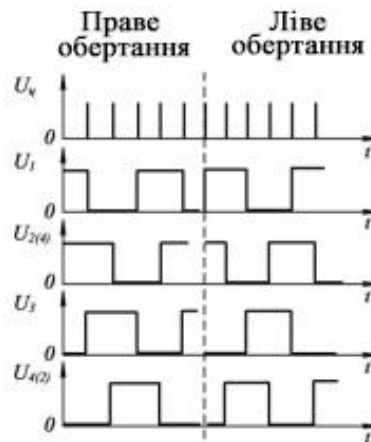


Рисунок 3.6 – Послідовність імпульсів крокового двигуна

Плата управління У1 містить генератор, електронний комутатор, ключі потужності і стабілізований джерело живлення мікросхем.

Генератор на одноперехідному транзисторі Т1 генерує трикутні імпульси. Частота генеруючих імпульсів, а отже і число оборотів в хвилину валу електродвигуна (швидкість розгортки спектра) змінюється блоком кнопкових перемикачів В2[40]. При цьому один з резисторів плати УП

спільно з конденсаторами С4 і С5 блоку утворюють в генераторі времязадающей РС - ланцюг, яка визначає частоту генерації.

Комутатор представляє собою два тригера на інтегральних мікросхемах У1 і У2. Імпульси з виходу генератора надходять на один з входів комутатора. Тригери перетворюють імпульси генератора в чотиритактний систему імпульсів, які через підсилювачі керують базовими ланцюгами ключів потужності Т3-Т6. Ключі потужності розподіляють ток в обмотках крокового двигуна відповідно до імпульсами, які надходять з комутатора. Між виходом комутатора і входом підсилювачів Т9, Т10 включений блок кнопкових перемикачів В4, за допомогою якого здійснюється реверс напрямку обертання валу двигуна.

Загальна точка обмоток крокового двигуна підключена через резистор Р1 до фільтру випрямляча.

Реперних пристрій складається з постійного магніту, силові лінії якого замикають контакт геркона КМ1. Для переривання силових ліній використовується сталевий диск (модулятор), механічно пов'язаний з механізмом повороту решітки. Через контакт геркона спрацьовує реле Р2, контакт якого включає лічильник реперів[34, 39]. Кнопковий перемикач В5 дозволяє змінювати ціну поділки реперною мітки з 1 до 10 нанометрів.

На підставі монохроматора розміщені основні елементи оптичної і кінематичної схем (рис. 3.7).

Змінні дифракційні решітки в оправі встановлюються на тримач, при цьому кульові опори входять в лунки, а упор притискається до майданчика власника. Рукоятка служить для зручності установки решітки. Установка дифракційних решіток здійснюється через вікно в корпусі монохроматора, що закривається кришкою. на оправі кожної решітки награвірував відповідне їй число штрихів на міліметр.

Для зменшення чинного відносного отвору монохроматора до 1: 8 на решітку може бути поміщена діафрагма 27. В неробочому стані решітки закриваються висувними кришками[41].

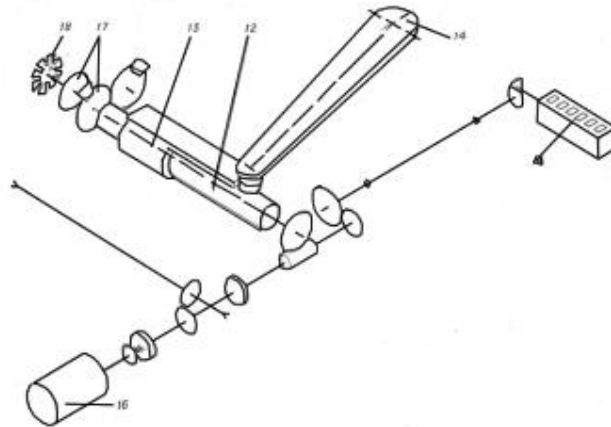


Рисунок 3.7 – Кінематична схема монохроматора МДР-23

Вхідні і дві вихідні щілини монохроматора - комбіновані з подвійним розкриттям, точність відліку при розкритті від 0 до 0,02 - 0,001 мм, при розкритті від 0,2 до 2,2 мм - 0,01 мм. Відлік ширини розкриття вхідної щілини здійснюється за шкалою барабанчика, вихідних щілин за шкалами барабанчиків з іншого боку.

Ножі щілин виготовлені з радіусом кривизни 130,3 і 140,6 мм, відповідно для вхідних і вихідних щілин.

Для фокусування вхідну щілину і вихідну щілину можна переміщати уздовж оптичної осі. Переміщення вхідної щілини здійснюється обертанням кільця, при цьому відлік знімається за шкалою, а вихідний щілини обертанням кільця, при цьому відлік знімається за шкалою.

В насадки надівається на вхідну щілину можуть бути встановлені діафрагма з фігурними вирізами, що обмежує висоту щілини, і змінні світлофільтри. За вхідною щілиною знаходиться затвор, включення якого здійснюється рукояткою. Включення дзеркала, що направляє світло на вихідну щілину або введення в світловий пучок дзеркала, зрізаного по висоті здійснюється рукояткою. При використанні тільки однієї з вихідних щілин друга повинна бути закрита кришкою[41].

Довжина хвилі випромінювання проходить через вихідну щілину монохроматора, визначається за лічильником, одне оцифроване розподіл якого відповідає 0,1 нм для решітки 1200 штрихів на міліметр, а одне поділ не оцифрованої шкали відповідає 0,025 нм. При роботі з ґратами 600 штрихів на міліметр показання лічильника слід множити на два, при роботі з ґратами 300 штрихів на міліметр слід множити на чотири.

На кронштейні синусового механізму розташований вузол реперного пристрою. Рух від гвинта синусового механізму через шестерні передається на диск з вирізами, які забезпечують нанесення на запис реперних міток через 1 або через 10 нм. Автоматична розгортка спектру здійснюється від крокової двигуна[42]. Значення швидкостей розгортки спектра для різних решіток наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Значення швидкостей розгортки спектра для різних решіток

Ряд і номер кнопки перемикача	Швидкісна розгортка спектра, нанометра в хвилину		
	Для решітки 1200 штрихів на міліметр	Для решітки 600 штрихів на міліметр	Для решітки 300 штрихів на міліметр
1-1	0,2	0,4	0,8
1-2	0,4	0,8	1,6
1-3	0,8	1,6	3,2
1-4	1,6	3,2	6,4
1-5	3,2	6,4	12,8
П-1	5,0	10,0	20,0
П-2	10,0	20,0	40,0
П-3	20,0	40,0	80,0
П-4	40,0	80,0	160,0
П-5	80,0	160,0	320,0

Максимальна швидкість розгортки спектра призначена для швидкого повороту дифракційної решітки при поверненні решітки в початкове положення. Для відключення крокової двигуна на кінцях робочого діапазону

кожної дифракційної решітки в монохроматоре передбачені кінцеві вимикачі. Монохроматор підключається до блоку управління через роз'єм, клемма служить для заземлення монохроматора. Всі елементи електричної схеми змонтовані в корпусі, закритому кришкою.

У сучасній спектроскопії велику роль відіграють завдання, пов'язані з виміром лінійних спектральних характеристик (наприклад, спектральних коефіцієнтів поглинання, пропускання або відбиття, спектрів випромінювання і т.д.)[37, 44]. Додаткову складність при цьому може вносити наявність фону у вигляді суцільного спектра. У зв'язку з цим при дослідженні лінійних спектрів потрібно не тільки висока точність вимірювання енергетичних характеристик, але висока точність установки довжини хвилі диспергуючого пристрою, значно більша, ніж при вимірюванні суцільних спектрів.

3.2. Розробка схеми керування кроковим двигуном в системі позиціонування оптико-механічних компонентів монохроматора МДР-23

3.2.1. Загальна структурна схема експерименту.

Управління та збір даних в вимірювальній схемою організований на базі плати розширення. Для реалізації цього застосовано апаратну частину, яка забезпечує управління поворотом дифракційних ґраток і отримання вимірювань електричного сигналу з фотоприймача для обраних кутів повороту (довжин хвиль монохроматора). Для узгодженої роботи апаратної частини використано програмний модуль (віртуальний прилад), який забезпечує алгоритм роботи самого приладу контролю[43].

Існує дві основні характеристики спектральних приладів [43]

- Роздільна здатність $\lambda_0 / d\lambda$ яка характеризує здатність спектрального приладу окремо реєструвати сусідні спектральні інтервали $d\lambda$ і визначається дифракцією на діючому отворі D.
- Світлосила визначає величину корисно використовуюваного спектральним приладом світлового потоку.

До інших характеристик спектральних приладів відносяться кутова дисперсія dq/dl , яка представляє собою залежність кута q відхилення диспергуючим елементом променів від довжини хвилі, а також лінійної дисперсією, яка визначається відповідно до виразу (3.2) [44]:

$$\frac{dl}{d\lambda} = f_2 \frac{dq}{d\lambda} \frac{l}{\sin \epsilon} \quad (3.2)$$

l – координата на спектрі;

ϵ – кут між площиною спектру і віссю камери спектрального приладу.

Зручною і часто використовуваною характеристикою також є зворотна лінійна дисперсія, яка визначається $d\lambda/dl$ і являє собою величину спектрального інтервалу, який вміщується на довжині спектра, що дорівнює 1 мм (розмірність нм / мм) [44].

Таким чином, одна з основних задач в процесі розробки нової автоматизованої оптико-механічної системи спектроенергетического комплексу полягає в створенні сучасної програмно-апаратної системи управління комплексом. На підставі проведеного огляду публікацій, пов'язаних з модернізацією оптико-електронних пристроїв, можна зробити висновок, що одним з найбільш поширених, надійних і економічних у плані матеріальних витрат рішень є реалізації системи управління, збору і обробки даних відповідно до схеми, представленій на рис. 3.8

Мікроконтролер являє собою пристрій, основним призначенням якого в даному контексті є управління різними електронними вузлами [45], а саме:

- управління кроковими двигунами;
- опитування датчиків положення рухомих елементів;
- збір вимірювальної інформації з приємнореєструючих систем і фотометра (або контрольного радіометра);
- управління живленням еталонних і повіряються (калібруються) джерел і приймачів випромінювання;
- зв'язок з персональним комп'ютером і т.д..

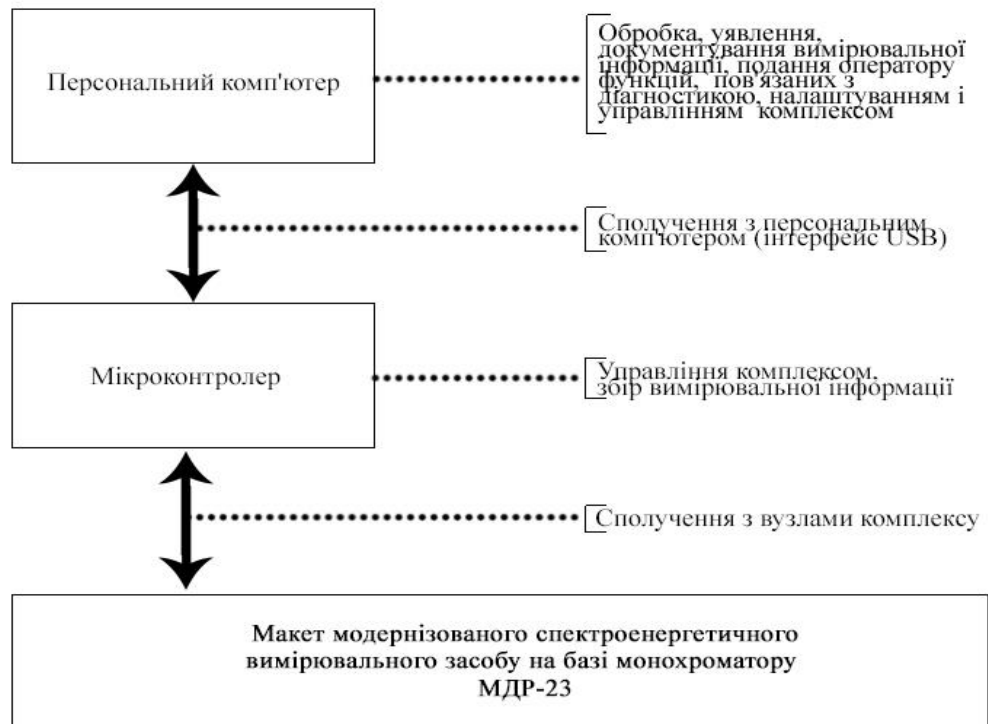


Рисунок 3.8 – Структурна схема системи управління спектроенергетическим комплексом

Зазвичай мікроконтролер об'єднує на одному кристалі мікропроцесор і набір периферійних пристроїв: оперативний пристрій (ОЗУ), постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і т.д.

3.2.2. Вибір апаратних і програмних засобів

В даний час на ринку є значний асортимент мікроконтролерів, призначених для вирішення найрізноманітніших завдань, починаючи від управління найпростішими датчиками, і закінчуючи обробкою великих обсягів даних в режимі реального часу.

У таблиці 3.4 представлені порівняльні характеристики мікроконтролерів фірм Atmel, Texas Instruments і STMicroelectronics [45-47].

Таблиця 3.4

Порівняльні характеристики мікроконтролерів

Параметр	Atmel ATmega2560-16AU	Texas Instruments MSP430F449 IPZR	ST Microelectronics STM32F303 VCT6
1	2	3	4
Ширина шини даних, біт	8	16	32
Тактова частота, МГц	16	8	72
Кількість входів / виходів	86	48	87

Продовження таблиці 3.4

Обсяг пам'яті програм, Кбайт	256	60	256
Тип пам'яті програм	flash	flash	flash
Обсяг EEPROM, Кбайт	4	-	-
Обсяг RAM, Кбайт	8	2	40
Розрядність АЦП, біт	10	12	12
Кількість входів АЦП	16	8	4
Вбудовані інтерфейси	I2c, spi, iагі	spi, iагі	сap, I2c, irda, Iіp, spi, uart, usb
Вбудована периферія	brown-outdetect	brown-outdetect	dma, 2Б, ПОГ, pwm, wdt
Напруга живлення, В	4,5...5,5	1,8.3,6	2.3,6
Робоча температура, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Корпус	tqfp-100	Цф-100	Цф-100

Відмінними рисами мікроконтролерів MSP430 є наднизьким споживанням енергії, наявність генератора з цифровим контролем, а також 16-розрядний ядро. З іншого боку, мікроконтролери АМел АТмега мають

недорогі модифікації з розвиненою периферією, а також порівняно великим обсягом ОЗУ і ПЗУ. Крім того, на базі мікроконтролерів Atmel виробляються електронні конструктори і налагоджувальні плати АМШпо, які представляють собою вкрай привабливі рішення з точки зору ціна / можливості (особливо стосовно завдань, пов'язаних з розробкою нових пристроїв, коли безперервно пропонуються і тестуються різні конструкторські ідеї).

Сервуда Arduino розроблена з метою спрощення процесу створення різних технічних об'єктів, пов'язаних з управлінням світлом, звуком, рухом. Вона дозволяє прискорити процес розробки і, тим самим, сприяє швидкому втіленню ідей в життя. АМШпо використовується в багатьох освітніх програмах по всьому світу. Однак, незважаючи на легкість використання базових апаратних можливостей АМШпо, платформа також надає великий набір інструментів, за допомогою яких професійні інженери можуть створювати складні автоматизовані системи. Крім того, доступні всілякі периферійні пристрої, за допомогою яких можна розширити функціональні можливості Arduino: ультразвукові та інфрачервоні датчики, кнопки, контролери крокових двигунів, модулі бездотової передачі даних і т.д. На базі цієї платформи побудовано безліч чудових пристроїв, починаючи від найпростіших іграшок і закінчуючи складними промисловими роботами[48].

Платформа Arduino являє собою сукупність апаратного і програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом. Програмне забезпечення є безкоштовним і крос-платформним. Ще одним чудовим гідністю платформи є активна спільнота Arduino, доступне по всьому світу за допомогою форумів і вікі-енциклопедій (наприклад, Arduino Playground). Тут можна знайти приклади проектів і вирішення багатьох проблем, що неминуче виникають в процесі розробки[48].

Розглянемо докладніше плату Arduino Mega 2560 r3. Це старша модель в лінійці Arduino, що базується на відносно потужному мікроконтроллері ATmega2560, що працює на частоті 16 МГц. Одним з головних переваг

моделі є розмір флеш-пам'яті, рівний 256 кбайт. Слід зазначити, що спектроенергетичській вимірювальний комплекс - це система, що складається з безлічі вузлів, в зв'язку з чим для управління комплексом потрібна складна програма, яка займає великий обсяг пам'яті. Крім того, необхідно значну кількість портів введення / виводу. Вже згадана плата має 54 цифровими входами / виходами, 15 з яких можуть використовуватися в якості аналогових виходів (за допомогою широтно-імпульсної модуляції), а також 16 аналоговими входами[49]. З точки зору засобів комунікації Mega 2560 надає 4 послідовних порту, порт SPI, а також 6 різних апаратних переривань. Також є один інтегрований світлодіод і кнопка перезавантаження Reset. Основні характеристики Arduino Mega 2560 r3 представлені в таблиці 3.5.

У зв'язку з перерахованими достоїнствами плати Arduino Mega 2560 вибираємо її в якості центрального контролера, що забезпечує управління вузлами спектроенергетического комплексу

Таблиця 3.5

Основні характеристики плати Arduino Mega 2560 r3

Параметр	Значення
Мікроконтролер	Atmel ATmega2560
Тактова частота, МГц	16
Флеш-пам'ять, кБ	256 (8 використовується для потреб завантажувача)
ОЗУ, кБ	8
Незалежна пам'ять, кБ	4
Аналогові входи, шт	16
Цифрові входи / виходи, шт	54
Робоча напруга, В	5
Постійний струм через вхід / вихід, мА	40
Кількість портів UART, шт	4
Інтерфейс USB	Мікроконтролер ATmega8U2

Для розробки програмного забезпечення персонального комп'ютера будемо використовувати мову програмування C #, платформу .NET Framework і технологію Windows Presentation Foundation (WPF).

C # є основною мовою розробки програм на платформі .NET корпорації Microsoft. Популярність цієї мови пов'язана з багатьма причинами. В першу чергу, C # вдало поєднує випробувані засоби програмування з найсучаснішими технологіями. Він ефективний для написання як найпростіших програм, так і дуже складних продуктів, які передбачається використовувати для управління технологічними процесами сучасних підприємств. Основною концепцією C # є об'єктно орієнтоване програмування, яке пропонує ефективний підхід до розробки програмного забезпечення [50].

WPF (Windows Presentation Foundation) - це платформа для побудови графічних додатків Windows. До основних переваг WPF відносяться [50]:

- апаратне прискорення за допомогою DirectX (отрисовка елементів);
- веб-подібна модель компонування, декларативний призначений для користувача інтерфейс, підтримка стилів, шаблонів і команд - все перераховане надає можливості для створення гнучких призначених для користувача інтерфейсів, а також якісного відділення призначеного для користувача інтерфейсу від бізнес-логіки і застосування шаблонів проектування, таких як MVVM;
- розширена модель малювання і розвинена текстова модель;
- розширена підтримка відео, аудіо, анімації.

Загальна вимірювальна схема приладу з монохроматором створювалася з урахуванням реалізації принципу повністю автоматизованого процесу вимірювання спектральних складових, можливість збереження результатів контролю і відображення результатів на моніторі комп'ютера як на робочому місці оператора, так і на віддаленому мережевому комп'ютері[49].

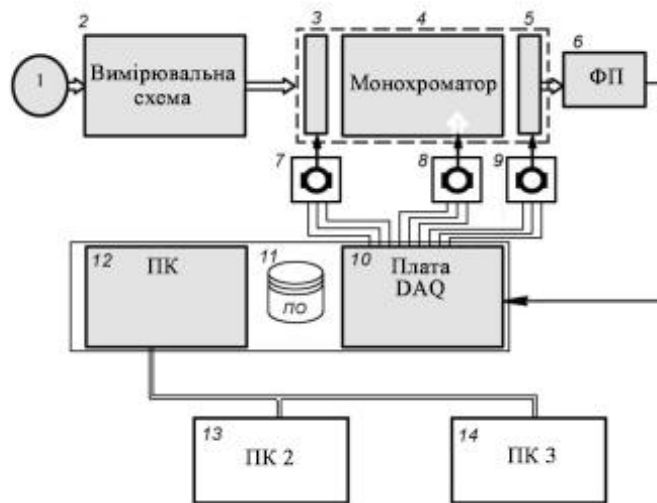


Рисунок 3.9 – Представлена функціональна схема автоматизованого варіанту приладу на базі монохроматора МДР-23.

При цьому в стандартну вимірювальну схему контролю 1, 2, 3, 5 додається блок керування кроковим двигуном повороту дифракційної решітки 4, додається плата збору даних (апаратна частина), ПК 7, додається також програмне забезпечення, необхідне для управління кроковим двигуном і послідовності введення даних в фотоприймач[44].

Таким чином, для вирішення початкової завдання автоматизації даного приладу необхідно забезпечити наступні функціональні можливості:

- управління кроковим двигуном повороту дифракційної решітки;
- управління кроковим двигуном для розкриття вхідної щілини;
- управління кроковим двигуном розкриття вихідний щілини;
- зняття показів фотоприймача.

3.2.3. Вибір крокового двигуна придатного до застосування в системі позиціонування оптико-механічних компонентів монохроматора МДР-23.

В процесі проведення аналізу ринку крокових двигунів була зроблена спроба знайти універсальне рішення, яке мало б, з одного боку, достатньою для переміщення рухомого сферичного дзеркала моментом, і, з іншого боку,

придатними для монтажу в вузол обрізати світлофільтрів габаритами. На жаль, подібний пошук виявився безуспішним. В результаті вибір був зупинений на двох моделях крокових двигунів: Nema-17 (для вузла обрізати світлофільтрів) і Nema-23 (для інших рухомих елементів). Зовнішній вигляд крокових двигунів представлений на рис. 3.10. Основні технічні характеристики двигунів приведені в таблиці 3.6 [50].



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд крокових двигунів Nema-17 і Nema-23

У таблиці 3.6 представлено відповідність висновків крокової двигуна Nema-23 і його обмоток.

Таблиця 3.6

Технічні характеристики крокових двигунів Nema-17 і Nema-23

Параметр	Nema-17	Nema-23
Струм/Фаза, А	1,7	2,8
Опір/фаза, Ом	1,5	0,9
Індуктивність/фаза, Гн	2,8	2,5
Крутний момент, Н*м	0,3	1,27
Кількість виводів	6	4
Момент інерції ротору, г*см ²	54	300
Кутовий крок, кут.град	1,8	1,8
Вага, кг	0,28	0,7
Довжина, мм	42	56

Таблиця 3.7

Відношення виводів Nema-23 та його обмоток

Колір проводу	Обмотка	Полярність
Чорний	A	+
Зелений	A	-
Червоний	B	+
Синій	B	-

Для управління кроковим двигуном, крім мікроконтролера (в нашому випадку - плати Arduino), потрібне додаткове спеціалізоване проміжне пристрій - драйвер крокової двигуна.

До основних завдань драйвера ставляться формування необхідних для коректного обертання двигуна тимчасових послідовностей і забезпечення необхідного струму в обмотках [44, 49]. З одного боку, сигнали управління кроковими двигунами можна сформувати засобами мікроконтролера (програмно), однак це може привести до виникнення значних накладних витрат (велике завантаження мікроконтролера). У нашому випадку це не становить серйозної проблеми, оскільки переміщення рухомих елементів виконується до проведення вимірювань, і мікроконтролер в цей час не виконує інших завдань. Існує і більш серйозне обмеження: вихідний струм, що отримувався на висновках мікроконтролера, становить приблизно 40 мА.

Водночас, для крокової двигуна Nema-23 робочий струм на фазу, як видно з таблиці 3.6, становить 2,8 А. Отже, потрібно використовувати додаткову схему, що виконує функцію підсилювача струму. Можна спроектувати і реалізувати такий підсилювач самостійно, однак на ринку існує цілий ряд готових рішень - драйверів крокових двигунів. Слід зазначити, що багато такі рішення крім схеми формування необхідного струму містять також додатковий мікроконтролер, який здійснює формування тимчасових послідовностей, що дозволяє зменшити накладні витрати центрального контролера. Крім того, деякі драйвери підтримують

мікрошаговий режим повороту крокової двигуна (тобто поворот крокової двигуна не на цілий крок, а на будь-яку його частину: 1/2, 1/4 і т.д.), що є корисною опцією при вирішенні багатьох завдань, пов'язаних з точним позиціонуванням різних елементів.

У процесі аналітичного огляду було знайдено кілька статей, автори яких використовували зазначений драйвер HY-DIV268N-5A для створення верстатів з числовим програмним управлінням (наприклад, [44, 50]), що говорить про досить високої точності і надійності драйвера. По суті, пристрій являє собою набір периферії (корпус, радіатори, роз'єми і т.д.) для іншого мікрошаговий драйвера - Toshiba TB6600, який виконаний у вигляді одиночної мікросхеми [44]. Toshiba TB6600 містить набір інструментів, що дозволяють здійснювати точне і плавне позиціонування ротора крокового двигуна, а також мінімізувати шум і вібрацію. Для формування керуючої послідовності сигналів драйверу потрібно всього один тактовий імпульс від центрального контролера (Arduino). Це дозволяє уникнути накладних витрат, пов'язаних з формуванням центральним контролером специфічних керуючих імпульсів певної частоти і шпаруватості [44].

Таким чином, для управління кроковими двигунами будемо використовувати драйвер HY-DIV268N-5A. Основні технічні характеристики пристрою представлені в таблиці 3.8 [47].

Таблиця 3.8.

Основні технічні характеристики драйверу крокового двигуна HY-DIV268N-5A

Параметр	Значення
Напруга живлення, В (постійний струм)	12...48
Вхідний струм, А	1...5
Вихідний струм, А	0,2...4,5(піковий струм 5А на 200 мс)
Робоча температура, °С	-10...45
Температура зберігання, °С	-40...70
Вага, кг	0,2

3.3. Розробка алгоритму керування оптико-механічними компонентами монохроматора МДР-23

Процес створення програми для мікроконтролера, призначеної для вирішення тієї чи іншої практичної задачі, складається з декількох етапів, включаючи розробку алгоритму розв'язання задачі, написання, тестування, налагодження та документування програми [47, 49].

Кожен з розглянутих раніше рухомих елементів може розглядатися як набір декількох взаємопов'язаних елементів:

- безпосередньо сам рухливий елементів (дзеркало, станина і т.д.);
- набір датчиків положення, що виконують роль зворотного зв'язку і здійснюють індикацію поточного становища рухомого елемента;
- кроковий двигун, який здійснює переміщення рухомого елемента відповідно до заданої програми;
- драйвер крокової двигуна, що забезпечує живлення крокової двигуна і формування необхідних тимчасових послідовностей.

З платою Arduino безпосередньо з'єднуються датчики положення і драйвер крокової двигуна. Від одного датчика положення йде один сигнальний провід, на якому, в залежності від поточного взаємного розташування елементів, є високий або низький логічний рівень. Внаслідок цього для визначення поточного стану рухомого елемента необхідно проводити опитування стану виведення Arduino, до якого підключений сигнальний провід датчика положення.

Для з'єднання драйвера крокової двигуна і плати Arduino використовується 3 виведення. Один висновок Arduino з'єднується з виводом DIR + драйвера і служить для визначення напрямку обертання крокового двигуна.

Другий висновок Arduino з'єднується з виводом PUL + драйвера і служить в якості джерела тактових сигналів для повороту крокової двигуна. Принцип роботи наступний: при подачі на даний висновок імпульсу драйвер

генерує необхідну послідовність сигналів на висновках А +, А-, В + і В-, в результаті чого кроковий двигун виробляє поворот на один крок в обраному напрямку. Періодичність тактових сигналів задає швидкість обертання крокового двигуна. Кожен кроковий двигун характеризується деякою максимальною швидкістю обертання, при перевищенні якої двигун починає працювати нестабільно або зовсім зупиняється. Для двигунів Nema-17 і Nema-23 максимальна швидкість обертання становить 1 оборот в секунду, тобто 200 кроків в секунду. Звідси, мінімальний період тактового сигналу становить 5 мс.

Третій вивід Arduino з'єднується з виводом EN + драйвера. Якщо на даному виведенні встановлена логічна одиниця, то харчування на двигун не подається, робота двигуна неможлива. В іншому випадку (логічний нуль) робота проводиться в штатному режимі. Кроковий двигун при подачі на нього живлення з плином часу розігрівається. Тому висновок EN + можна використовувати, з одного боку, для запобігання перегріву двигуна, і, з іншого боку, для економії електричної енергії[50].

На рис. 3.11 наведені оригінальний і пропонувані алгоритми установки довжини хвилі для макету модернізованого спектроенергетичного вимірювального засобу на базі монохроматору МДР-23.

У початковому стані монохроматор знаходиться на довжині хвилі $\lambda_{поч}$

1. По приходу команди установки довжини хвилі $\lambda_{к/н}$ пристрій управління перевіряє, чи потрапляє $\lambda_{к/н}$ в діапазон між двома найближчими крапками реперів.
2. Якщо так, то перехід до 4. Якщо немає, то відбувається зміна довжини хвилі в бік її зменшення або збільшення до реперної точки. Потім перехід до 2.
3. За формулою (3.3.1) обчислюється кількість кроків крокової двигуна, яке він повинен зробити, щоб досягти шуканої точки:

$$N = N_{cons} \frac{|\lambda_{поч} - \lambda_{кін}|}{W} \quad (3.3.1)$$

де N – кількість кроків;

N_{cons} - кількість кроків крокового двигуна монохроматора в діапазоні 10 нм;

W - ваговий коефіцієнт, що визначає ціну поділки одного кроку

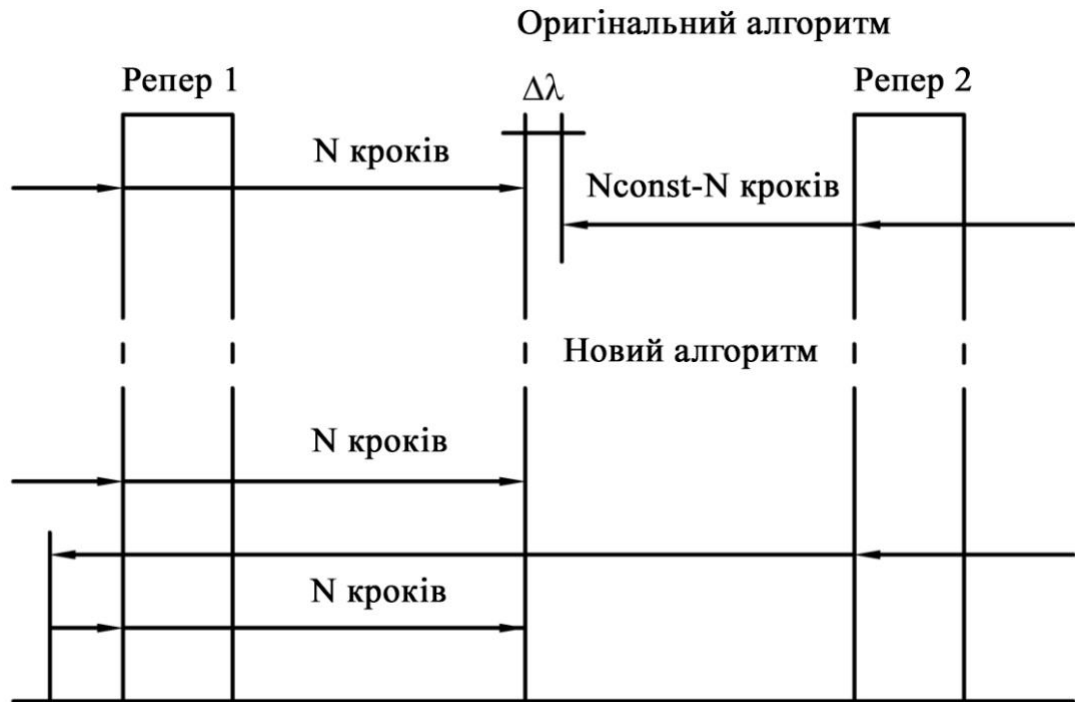


Рисунок 3.11 – Порівняння алгоритмів установки довжини хвилі

Схема розглянутого алгоритму представлена на рис. 3.12. Одним з основних недоліків оригінального алгоритму є відсутність обліку магнітного гистерезиса, який виражається в похибці при досягненні однієї і тієї ж точки при обертанні крокової двигуна в різних напрямках.

Для усунення цього недоліку необхідно при установці довжини хвилі завжди дотримуватися одного напрямку обертання двигуна (наприклад, напрямки збільшення довжини хвилі)[41]. Процедура установки довжини хвилі $\lambda_{кін} - \lambda_{поч}$ при цьому дещо ускладнюється, оскільки при русі в зворотному напрямку необхідно «проходити» повз шуканої точки і

найближчою до неї зліва крапки репера, змінювати напрямок обертання двигуна і лише потім проводити безпосередньо установку довжини хвилі.



Рисунок 3.12 – Схема оригінального алгоритму установки довжини хвилі (початок)

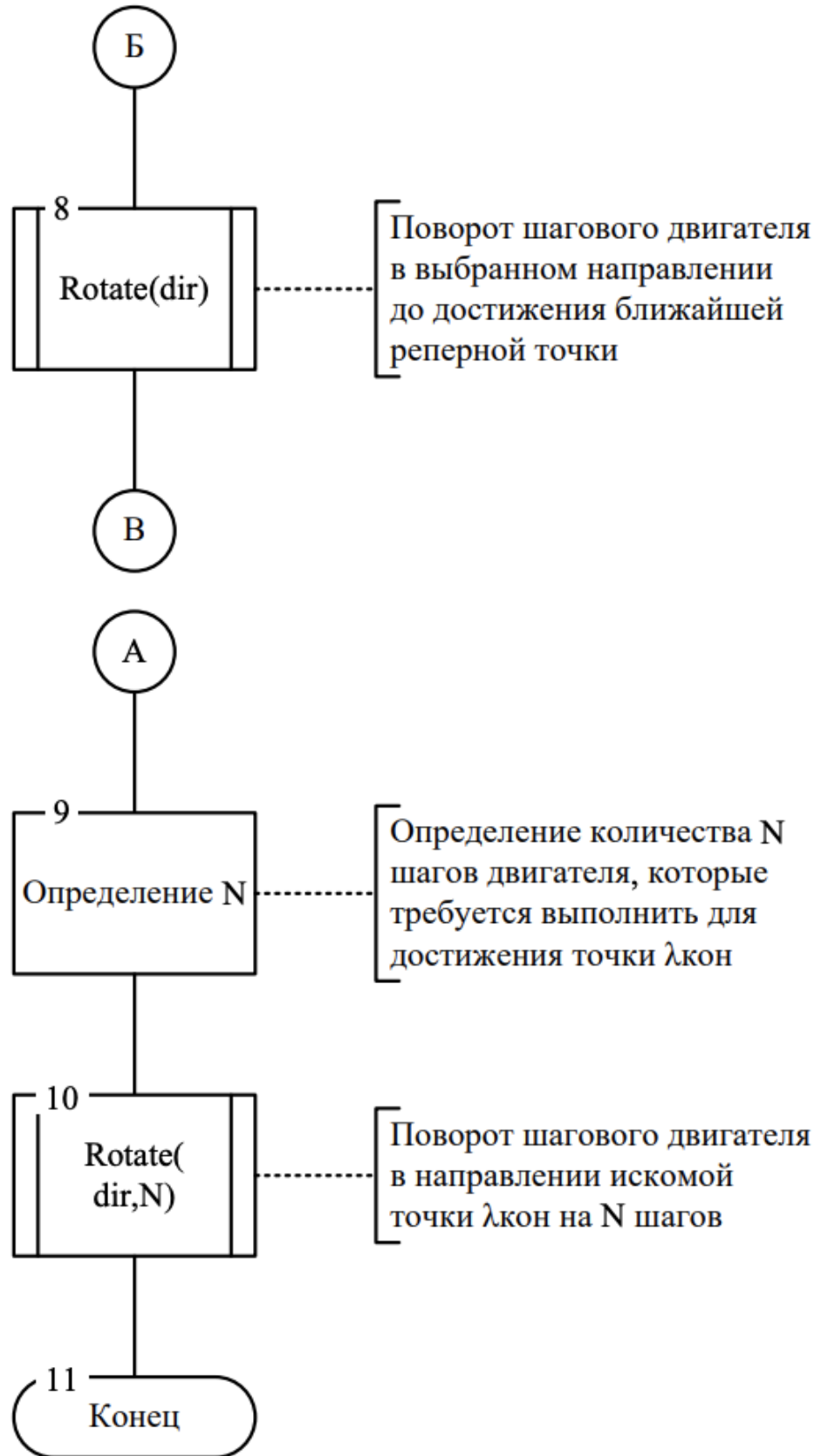


Рисунок 3.13 – Схема оригінального алгоритму установки довжини хвилі (продовження)

Основним недоліком алгоритму є виникнення явища резонансу при подачі на кроковий двигун імпульсів з частотою, кратною 200 Гц. Резонанс супроводжувався сильним биттям обертових частин, приводив до пропуску кроків двигуна і виникнення значної похибки при установці довжини хвилі[42]. Дане програмне рішення забезпечує два основні режими роботи крокового двигуна:

- швидка установка довжини хвилі для сервісних потреб (назад до початку діапазону і т.д.);
- повільна установка довжини хвилі для точного позиціонування дифракційної решітки.
- При скануванні діапазону з використанням алгоритму у ряді випадків спостерігався систематичний догляд довжини хвилі (в кінці 10 нм похибка могла становити до 1 нм). Аналіз показав, що причина такої поведінки полягала в програмному забезпеченні. В оригінальному алгоритмі була передбачена процедура ініціалізації монохроматора, в якій перед початком роботи підраховується кількість кроків двигуна, що укладаються в діапазон 10 нм між двома крапками реперів. Кількість кроків коливалася в межах від 5995 до 6005.
- При значеннях менше 6000 кроків / 10 нм відбувався пропуск кроків монохроматора. У той же час, при значеннях, більших або дорівнює 6000 кроків / 10 нм, пропуску кроків не спостерігалось. З'ясувалося, що мікроконтролер виробляв операції з цілочисельними значеннями, в зв'язку з чим виникала похибка, яка веде до пропуску кроків.
- У новому алгоритмі управління монохроматором процедура ініціалізації спрощена - кількість кроків на діапазон 10 нм прийнято рівним 6000 і зберігається в пам'яті мікроконтролера.

3.4. Розрахунок похибки установки довжин хвиль автоматизованого монохроматора МДР-23

Для визначення похибки установки довжин хвиль монохроматора застосовано стандартну схему контролю спектроенергетичних характеристик вимірювального засобу.



Рисунок 3.14 – Схема експериментальної установки для визначення похибки установки довжини хвилі монохроматора

В якості еталонного засобу вимірювань виступає ртутна лампа ДРГС-12. У процесі калібрування проводиться сканування 12 спектральних інтервалів, що містять 12 характерних спектральних ліній випромінювання хімічних елементів лампи (таблиця 2, [41]). Основними параметрами сканування є значення вхідної щілини монохроматора (50 мкм) і крок сканування (0,01 нм). Для кожного з інтервалів проводиться п'ять повторних сканувань спектра. Як результатів вимірювань при цьому вибираються пікові значення

довжин хвиль (які, в нашому випадку, відповідають максимальним значенням коду АЦП)[45].

Після цього для кожної серії результатів вимірювань обчислюємо середнє квадратичне відхилення к 3 випадкової похибки відповідно до вираження (3.4.1) [49]:

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_{i,k} - \lambda_k)^2}{N(N-1)}} \quad (3.4.1)$$

де $\lambda_{i,k}$ – довжина хвилі для вимірювання з номером і спектрального інтервалу k

λ_k - середнє значення для серії (спектрального інтервалу) k , що визначається у відповідності з виразом (3.4.2) [49];

N - число вимірювань (в конкретному випадку $N = 5$).

$$\lambda_k = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_{i,k}}{N} \quad (3.4.2)$$

Для знаходження межі довірчої кордону випадкової похибки ϵ установки довжини хвилі монохроматора використовується вираз (3.4.3) [49]:

$$\epsilon = t_{\frac{P}{2}, N-1} \times \max(S_k) = 2,776 \times \max(S_k) \quad (3.4.3)$$

де $t_{\frac{P}{2}, N-1}$ - значення коефіцієнта Стюдента для числа вимірювань $N = 5$ при довірчій ймовірності $P = 0,95$

$\max(S_k)$ - найбільше із значень СКО випадкової похибки, обчислених за виразом (3.4.4).

В якості межі систематичної похибки установки довжин хвиль використовують максимальне з значень, розрахованих відповідно до вираження (3.4.4) [49]:

$$\Delta\lambda_k = |\lambda_{ном,k} - \lambda_k| \quad (3.4.4)$$

де $\lambda_{ном,k}$ - номінальна довжина хвилі для спектрального інтервалу k

Результати обчислень представлені в таблиці 3.4. Можна зробити висновок, що похибка установки довжини хвилі з використанням нового алгоритму становить величину, яку можна порівняти з кроком сканування 0,01 нм.

Таблиця 3.4.

Отримані значення похибок

Параметр	Значення
Найбільше значення СКО випадково похибки $\max(S_k)$	0,004
Межа довірчої кордону випадкової похибки ϵ , нм	0,011
Межа систематичної похибки установки довжини хвилі, нм	0,008

Таким чином, однією з основних задач в процесі розробки нової автоматизованої оптико-механічної системи електроенергетичного комплексу полягала в створенні сучасної програмно-апаратної системи управління комплексом. Фрагменти розробленої в рамках даної роботи програми наведено в додатку А.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

На підставі проведеного огляду публікацій, пов'язаних з модернізацією оптико-електронних пристроїв та власних практичних розробок можна зробити висновок, що одним з найбільш поширених, надійних і економічних у плані матеріальних витрат рішень є реалізації системи управління, збору і обробки даних відповідно до схеми, зображеної на рис. 3.8.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ»

4.1. Опис ідеї проекту

Спектральні прилади в усьому їх різноманітті є потужним засобом дослідження структури і складу різних речовин, в якому б агрегатному стані воно не знаходилося. Як відомо, роль спектрального приладу полягає в тому, щоб складне, поліхроматичне випромінювання оптичного діапазону, падаюче на його вхідний отвір, розкласти і зафіксувати положення окремих спектральних ліній, виміряти інтенсивність тої чи іншої ділянки спектру, в тій чи іншій спектральній лінії. Це дозволяє визначати елементний склад речовини.

Стандартні рішення для автоматизації спектральних вимірювань, що використовуються переважною більшістю виробників, являють собою моноблочні прилади одноцільового призначення (спектрофотометри, спектрофлуориметри та ін.). Зв'язок таких приладів із зовнішнім комп'ютером здійснюється за стандартними інтерфейсам. При цьому прийнятно - керуючі функції зазвичай виконуються вбудованим в прилад мікро контролером. Обмін інформацією з зовнішнім комп'ютером здійснюється за допомогою спеціальних кодових таблиць, що є, як правило, ноу-хау фірми виробника.

Стандартні пакети програмного забезпечення, що поставляються з апаратурою, як правило, представляють продукт з закритим для користувача доступом, також не допускає ніяких методичних удосконалень. А файли даних в цих пакетах формуються у власному, індивідуальному для кожної фірми, форматі. Створення електронних баз даних на основі таких файлів - тривала і копітка процедура, що вимагає кілька проміжних стадій переформатування.

Таким чином, один з можливих шляхів вирішення даного завдання полягає в доопрацюванні спектральних приладів під відкриті стандарти комп'ютерних рішень автоматизації, які дозволять створити необхідну віддалену комунікацію.

Тому нами було розроблено автоматизовану оптико-механічну систему спектроенергетичного вимірювального засобу, із застосуванням КД в системі позиціонування довжин хвиль та керування диспергуючими елементами.

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

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу	Автоматизації спектральних вимірювань із застосуванням КД в системі керування диспергуючими елементами в оптико-механічній системі позиціонування довжин хвиль.	Впевненість в складі продуктів.
	Автоматизація спектральних вимірювань із застосуванням КД в системі керування диспергуючими елементами в оптико-механічній системі позиціонування довжин хвиль	Забезпечення себе від можливого негативного впливу небезпечних речовин, надмірних концентрації дозволених до застосування домішок в харчових продуктах та органічній сировині.
	Керування КД та оптико-механічною системою позиціонування диспергуючих елементів спектроенергетичного вимірювального засобу за допомогою програми	Можливість реалізації вітчизняної продукції що відповідає стандартам держави імпортера на світових ринках

Продовження таблиці 4.2

1.	Вартість приладу, \$	750	4975	3574	4300	-	-	+	
2.	Швидкість встановлення	5	12	24	15	+	-	-	
3.	Вартість обслуговування	80	200	400	450	-	-	+	
4.	Відсоток браку	4	9	3	5	-	+	-	
5.	Затрати на виробництво	Високі	Середні	Низькі	Середні	+	-	-	
6.	Відносини з органами державної влади	Добрі	Добрі	Нейтральні	Нейтральні	-	+	-	
7.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-	

Для формування конкурентоспроможності запропонованого товару на ринку визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

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

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

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу	Створення системи для вивчення властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів в ультрафіолетовому спектрі.	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний

Продовження таблиці 4.3

2.	Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу	Створення системи для вивчення оптичних властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів у видимому спектрі.	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
3.	Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу	Створення системи для вивчення оптичних властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів у ближньому інфрачервоному спектрі.	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
4.	Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу	Створення системи для вивчення сировини на митних пунктах пропуску	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу			Створення системи для вивчення оптичних властивостей кристалів та інших речовин і матеріалів у видимому спектрі.	

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект можна реалізувати за допомогою всіх методів, які доступні на даний момент, але серед доступних нам ми обираємо для вивчення оптичних властивостей у видимому спектрі та будемо використовувати його для реалізації нашої ідеї.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

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

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

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

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	233772 ум.од.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патентування продукту, середня конкуренція, високий показник якості обслуговування.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN 61326-2-1:2016 ДСТУ EN 61010-2-033:2017 ДСТУ EN 61010-2-201:2017
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	71%

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

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

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Спрощення та прискорення розрахунку властивостей	Промислові підприємства, які виготовляють продукцію і	Технічні вимоги реалізації приладів на підприємстві.	- до продукції Невеликі розміри приладу. Можливість

	у видимому спектрі	практикують додавання в її склад домішок Контролюючі лабораторії. Підприємства, які займаються реалізацією продукції, або купують її для подальшого експортування.		<p>проведення досліджень в польових умовах. Позіонування у мікрокроковому режимі роботи КД. Можливість виведення результатів на комп'ютер. Безперебійна робота приладу. Просте управління приладом. Довгий термін використання (експлуатації).</p> <p>- до компанії-постачальника Відповідність приладу заданим характеристикам. Можливість технічної підтримки. Інструктування з питань роботи приладу.</p>
--	--------------------	--	--	--

При купівлі даного продукту клієнт може зіткнутися з певними проблемами. Для їх попередження і швидкого виправлення необхідні створення та доставка якісного приладу, наявність висококваліфікованих працівників для роботи із засобом вимірювань, забезпечення сприятливих умов роботи з вимірювальним засобом на об'єкті замовника для своєчасного усунення можливих технічних проблем в роботі вимірювального засобу. (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Загроза появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною.	Вивчення продукції конкурентів та вдосконалення своєї, для задоволення всіх потреб користувачів.

Продовження таблиці 4.6

2.	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого може зменшитись продаж	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3.	Наявність локального конфлікту на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців.	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4.	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Збої в роботі приладу.	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

Наявність певних загроз реалізації продукції дозволить вдосконалювати прилад та завжди бути в курсі всіх наукових новинок та економічної ситуації в країні. Окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення приладу.	Впровадить технологію і змінить вартість товару.
2.	Попит	Збільшення попиту на товар.	Збільшення продажів, а відповідно і прибутків компанії
3.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5.	Екологія	Підвищення зацікавленості людей впливу різних речовин і продуктів на навколишнє середовище.	Реклама своєї продукції яка допомагає виявити підприємства які мають попит на товар.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Олігополія	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний	Вдосконалення товару та пошук можливостей виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Міжгалузєва	За рахунок збільшення попиту розширити ринок
4. Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

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

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На даний момент на ринку існує 3 прямих конкуренти, які займаються виготовленням схожого обладнання.	Потенційним конкурентам є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Гнучкі ціни.	Постачальникам є інтернет магазини які займаються розповсюдженням програмного забезпечення для вимірювання у видимому спектрі. Диференціація витрат. Концентрація постачальників. Значення розміру поставок	Основними клієнтами підприємства є легкої промисловості. Розмір закупівель. Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	Компанія володіє доволі сильною пропозицією, максимальна схожість доступних аналогів, скі практично відсутні

Продовження таблиці 4.9

Висновки:	Проводити аналіз Пропозицій від конкурентів, працювати над способом зниження собівартості товару.	Високий ризик входу нових компаній, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. потенційна конкуренція відсутня	Так як концентрація постачальників доволі висока вони не диктують умови роботи на ринку.	Для клієнтів все вагомішим є питання ціни, вони бажають купувати дешевше. Для задоволення потреб потрібно працювати над розробкою нових пропозицій та підтримувати якість товару.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентність, розроблювали нові версії товарів
-----------	---	---	--	---	--

Провівши аналіз факторів робимо обґрунтування конкурентоспроможності. Точна оцінка конкурентоспроможності можлива лише після впровадження приладу, тому робимо лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Підтримка з клієнтами зворотного зв'язку, усунення проблем, які могли бути при роботі, вдосконалення роботи приладу, а відповідно збільшення попиту на продукт, що в результаті дозволить зменшити вартість.
2	Велика кількість постачальників	Наявність приладу та своєчасна доставка продукту клієнту.
3	Висока якість	Висока якість і точність приладу, яка дозволяє клієнту отримувати максимально точний результат при вимірюваннях.
4	Технічна підтримка	Наявність досвідчених спеціалістів, які зможуть швидко вирішити проблему, яка з'явилась в роботі з приладом.
5.	Наявність патентів	Наявність патенту на прилад, який дає споживачу упевненість в тому що він купує товар, який пройшов сертифікацію та випробування.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін приладу

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим приладом							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Наявність патентів	16	+							
2	Велика кількість постачальників	15				+				
3	Висока якість	17	+							
4	Технічна підтримка	19		+						
5.	Ціна	14								+

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок на впровадження програмного забезпечення та керування КД в мікрокроковому режимі. Основною перевагою та головним досягненням є якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: За наявності патентів користувач буде впевнений в якості придбаного продукту. За рахунок підтримки ми закріплюємо свої позиції на ринку. Завдяки високій якості та позиціонуванні під час вимірювань отримуємо нових клієнтів.</p>	<p>Слабкі сторони: Так як на ринку велика кількість постачальників, у клієнта широкий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту та проводити роботу над збільшенням кількості постачальників. За рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</p>
<p>Можливості: 1. Зміниться технологія виготовлення товару. 2. Збільшення попиту на товар. 3. Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва. 4. Може впливати на купівлю/продаж товару. 5. Підвищення зацікавленості людей впливу різних речовин і продуктів на навколишнє середовище.</p>	<p>Загрози: 1. Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і конкурентною ціною. 2. Зміна курсу національної валюти, за рахунок чого можуть впасти продажі. 3. Може вплинути на коло потенційних покупців. 4. Проблема з фірмами постачальниками. 5. Збої приладу під час роботи.</p>

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

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

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

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

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

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Промислові компанії	Зазначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати, які пов'язані з вдосконаленням приладу та розширення його	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку економіки і галузі споживача зокрема	Середня	Середні бар'єри входу на ринок
	Державні установи контролю якості продукції.			Середня	Середні бар'єри входу на ринок

	Інститути, вчені яких проводять дослідження в даній області	функціональних можливостей.		Середня	Середні бар'єри входу на ринок
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

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

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

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні і позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін в стартапі за рахунок можливостей ринку	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, підтримка зворотнього зв'язку з клієнтами.	Стратегія диференціації

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

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Передбачається розвиток на ринку	Основні характеристики – так, які будуть вдосконалюватись шляхом покращення позиціонування.	Зайняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

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

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

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в контролі складу продуктів.	Отримання результатів проведення спектоскопії та склад продукції, який важко або неможливо визначити іншими пристроями.	Технічна підтримка. Безперебійна робота приладу. Систематизація та спрощення обробки результатів досліджень.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Вдосконалення оптико-механічної системи спектроенергетичного вимірювального засобу покращення позиціонування КД під час спектроскопічного виміру. Можна виділити наступні вигоди використання: Макимально точне позиціонування вимірювання.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3. Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Тл
	4. Вартість обслуговування (Низька вартість обслуговування)	Нм	Вр
Якість: відповідає нормам ДСТУ EN 61326-2-1:2016, ДСТУ EN 61010-2-033:2017, ДСТУ EN 61010-2-201:2017			
Пакування: прилад в малогабаритному корпусі запакований в коробку із зазначенням повних характеристик приладу та його зображенням.			
Марка:			
III. Товар із підкріпленням	До придбання товару, користувач може запросити до себе спеціаліста та протестувати прилад, провівши на ньому ряд необхідних досліджень протягом робочого дня.		
	Після придбання товару один раз в квартал клієнту буде дзвонити спеціаліст та за необхідності навідуватись для налаштування, калібрування, усунення несправностей, та неточностей у роботі приладу.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування (отримання сертифікату про інтелектуальну власність) та надання кожній виробленій копії індивідуального ліцензійного коду який необхідно вводити під час активації приладу.			

Далі визначаємо цінові межі, якими необхідно користуватися при визначенні ціни продукту, щоб він користувався попитом на ринку. При аналізі цінових меж та встановленні ціни необхідно враховувати ціни на прилад, які пропонують конкуренти та доходи потенційних клієнтів. (табл. 4.20).

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	32 000 – 120 000 грн.	37 100 – 119 000 грн.	400 000 – 500 000 грн.	19 990-24 490 грн.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Придбання товару один раз	Доставка товару покупцеві, його активація та налаштування.	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Необхідність Точного позионування під час проведення вимірювань для контролю якості продукції. Можливість виведення продукції на міжнародні ринки.	Мережа інтернет, виставки, семінари, друкована продукція, тематичні форуми.	Спеціалізовані виставки	Проінформувати клієнта про те, що за допомогою приладу стає можливим максимально точно позионування під час вимірювання, а відповідно максимально точно проводити контроль.	Демонстрація точного позионування в дії.

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

4.6. Висновки

Провівши детальний аналіз стартап проекту, можна зробити висновок, що даний продукт буде цікавий потенційним клієнтам і має велику можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з динамікою ринку на розроблений продукт буде високий попит у споживачів, і з точки зору

рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є існування аналогів продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу потрібно надати нашому розроблюваному продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри у споживачів і формуванні своєї бази клієнтів необхідно:

Адаптація існуючих методик позиціонування КД для даного виробу.

Удосконалення програмного забезпечення для автоматизації під час проведення вимірювань.

Проведення публічної презентації мікрокрокового позиціонування приладу серед цільової групи користувачів, та широкого кола науковців на профільних заходах.

Провести рекламну компанію за допомогою електронних та друкованих профільних видань, для залучення потенційних користувачів.

Надати можливість проведення тестових вимірювань приладом.

Підтримувати зворотній зв'язок з клієнтами, удосконалювати прилад для задоволення рекламаций клієнтів що виникли в процесі технічного обслуговування засобу вимірювань.

ВИСНОВКИ

1. Прилади спектрального аналізу є ефективним засобом контролю різних металів і сплавів;
2. Основним недоліком випускаються спектральних приладів є моноблочні виконання із засобами автоматизації контролю;
3. Найбільш ефективним засобом автоматизації та мережевої комунікації, в повній мірі задовольняє потребам проведення митного контролю, є комп'ютерні технології на базі рішень фірми National Instruments;
4. Для реалізації роботи спектральних приладів аналізу з комп'ютерними технологіями фірми National Instruments потрібно провести доопрацювання вузлів спектральних приладів.
5. Практичне провадження вищезазначених методів та засобів і пропонується у вигляді промислового зразка автоамізованого вимірювального засобу, що може використовуватися у багатьох сферах промисловості

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Якушенков, Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. - М.: Логос, 2011. - 568 с.
2. Щелевой оптический датчик положения КТІR0411S. Характеристики, применение. - <http://mypractic.ru/shhelevoj-opticheskij-datchik-polozheniya-ktir0411s-karakteristiki-primenenie.html>
3. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт; пер. с англ. А.В. Кирюшина, А.И.
4. Шаговые двигатели FL57STH -1.8°. - http://www.npoatom.ru/katalog/step_motor/fl57sth/
5. Фотометр фотоэлектрический КФК-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Загорский оптико-механический завод, 1988. -47 с.
6. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика / В.В. Тучин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. - 2005. - № 1. -Т. 5. - С. 39-53.
7. Технические характеристики спектрофотометра СФ-56. - <http://okb-spectr.ru/products/sf/sf56tech/>
8. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли: учеб. пособие / Е.Н. Сутырина. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. - 165 с.
9. Стендовая спектрально-энергетическая калибровка систем оптического дистанционного зондирования / Ю.В. Беляев, И.М. Цикман, А.А. Казак, А.П.
10. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др.; Под общ. ред. В.А. Панова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. - 742 с.

- 11.Спектрофотометр СФ-56. -<http://www.dia-m.ru/lab/spektrofotometry/russia-yu-56-yuunyuyuyuyun-yu-56/>
- 12.Спектрофотометр Shimadzu UV-2700. <http://www.dia-m.ru/lab/spektrofotometry/corningpyrex-uv-2700-spektrofotometr-uv-2700-dvuhluchevoj-185-9001400-nm/>
- 13.Спектрофотометр Cintra 4040. -
- 14.Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/ Freeduino / У. Соммер. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 256 с.
- 15.Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - М.: Издательство Юрайт, 2014. - 838 с.
- 16.Руководство разработчика Prism - часть 2, инициализация приложений Prism. - <https://habrahabr.ru/post/176853/>
- 17.Руководство разработчика Prism - часть 1, введение. - <https://habrahabr.ru/post/176851/>
- 18.Разработка и создание универсального измерительного комплекса для метрологической аттестации, энергетической градуировки и испытаний излучателей и фотометрической аппаратуры, работающих в диапазоне длин волн 0,28-1,25 мкм. Отчет по научно-исследовательской опытно-конструкторской работе. Шифр «Корунд-Б», х/д № 91030 / В.В. Бачериков, В.Н. Налимов, А.А. Богданов, Г.Н. Толстых. - М.: ВНИИОФИ, 1992. - 114 с.
- 19.Прокопенко, В.С. Программирование микроконтроллеров ATME1 на языке С / В.С. Прокопенко. - СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2012. - 320 с.
- 20.Прасов, М.Т. Способ повышения точности установки длины волны в оптических детекторах приборов жидкостной хроматографии / М.Т. Прасов, А.В. Печеровый //Датчики и системы. - 2006. - № 4. - С. 7-10.
- 21.Попов, И.И. Новые горизонты фотоники и наноэлектроники / И.И. Попов, А.В. Мороз // Вестник ПГТУ. - 2013. - № 2 (18). - С. 98-101.
- 22.Петин, В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В.А. Петин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2014. - 400 с.

23. Оптико-физические методы исследования: методические указания к лабораторным работам / А.М. Василевский, Г.А. Коноплев, М.Ф. Панов. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. - 56 с.
24. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е издание / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2016. - 992 с.
25. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Г. Буч, Р.А. Максимчук, М.У. Энгл и др.; пер. с англ. Д. Ключин. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2010. - 720 с.
26. Носов, Ю.Р. Оптроны и их применение / Ю.Р. Носов, А.С. Сидоров. - М.: Радио и связь, 1981. - 280 с.
27. Никифоров, С.Г. Лаборатория исследований световых технологий «Л.И.С.Т.» / С. Никифоров, А. Архипов // Полупроводниковая светотехника. - 2011. - № 2. - С. 30-38.
28. Никифоров, С.Г. Измерительная лаборатория для комплексного исследования характеристик светодиодов, применяемых в системах отображения информации / С.Г. Никифоров // Компоненты и технологии. - 2007. - № 7. - С. 170-175.
29. Некрасов, В. Автоматизация анализа. Спектрально-аналитические технологии / В. Некрасов, Г. Шаулов, А. Ковалев. - Электроника: Наука, Технология, Бизнес. - 2002. - №3. - С. 32-36.
30. Монохроматор-спектрограф серии MS350.
<http://solmstruments.com/ru/spectroscopy/monochromator-spectrographs/ms350/specification>
31. Монохроматор МДР-23. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Ю-34.14.515 ТО. - Л.: ЛОМО, 1989. - 27 с.
32. Монохроматор «МДР-41». - <http://okb-spectr.ru/products/mdr41/>
33. Михеенко, Л.А. Метрологическое обеспечение радиометрической калибровки оптико-электронных устройств дистанционного

- зондирования Земли / Л.А. Михеенко, В.Н. Боровицкий // *Космічна наука і технологія*/. - 2009. - Т. 15. - № 5. - С. 3-15.
34. Метрологическое обеспечение Фотоники: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. - М.: ФГУП «ВНИИОФИ», 2015. - 180 с.
35. Методические аспекты спектрально-энергетических калибровок оптической аппаратуры / А.В. Роговец, Ю.В. Беляев, Л.В. Катковский и др. // *Восьмая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. - М.: ИКИ РАН, 2010. - С. 36-37.
36. Макаров, Р. А. Автоматизированная установка для спектрально-кинетических измерений / Р.А. Макаров // *Вестник КрасГУ. Серия «Физико-математические науки»*. - 2004. - № 1. - С. 62-69.
37. Литвинов, В.С. Тепловые источники оптического излучения / В.С. Литвинов, Г.Н. Рохлин. - М.: Энергия, 1975. - 248 с.
38. Лебедева, В.В. Экспериментальная оптика / В.В. Лебедева. - 4-е изд. - М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. - 282 с.
39. Ларионов, А.И. Автоматизированная система управления спектрофотометрическим оборудованием на примере СФ-46 / А.И. Ларионов, С.С. Алалыкин, А.С. Алалыкин, Е.А. Дурман // *Вестник Удмуртского университета*. - 2013. - № 3. - С. 3-6.
40. Ларионов, А. И. Автоматизированная система управления спектрофотометрическим оборудованием на примере СФ-46 / А. И. Ларионов, С. С. Алалыкин, А. С. Алалыкин, Е. А. Дурман // *Вестник Удмуртского университета*. - № 4 (3). - 2013. - С. 3-6.
41. Контроллер шагового двигателя. - <http://kazu.ru/shemes/showpage/0/843/1.html>
42. Комплекс спектральный вычислительный универсальный КСВУ-23. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Ю-30.67.063 ТО.

- Ленинградское оптико-механическое объединение имени В.И. Ленина, 1988. -37 с.
- 43.Колючкин, В.Я. Алгоритмы обработки информации в системах технического зрения промышленных роботов / В.Я. Колючкин, К.М. Нгуен, Т.Х. Чан // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2013. - №. 9. - С. 42-53.
- 44.Кенио, Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т. Кенио; пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 200 с.
- 45.Калибровка датчиков для определения ориентации малого космического аппарата / Д.С. Иванов и др. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. - 2010. - № 28. - 30 с.
- 46.Замирец, О.Н. Методы и компоненты построения астроизмерительных систем для ориентации космических аппаратов / О.Н.// Системи обробки інформації. - 2016. - № 5 (142). - С. 18-26.
- 47.Драйвер HY-DIV268N-5A для шаговых двигателей. - <http://cnctech.ru/datasheet/HY-DIV268N-5A.pdf>
- 48.Длугунович, В. Эталонная и испытательная база в области фотоники / В. Длугунович, А. Исаевич, С. Никоненко // Наука и инновации. - Минск: Издательский дом «Белорусская наука», 2015. - Т. 2. - № 144. - С. 19-21.
- 49.Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка / Дж. Рамбо, М. Блаха. - 2-е изд. - СПб.: Питер, 2007. - 544 с.
- 50.Дворкин, Б.А. WorldView-2: революционное изменение подхода к получению, анализу и использованию космической съемки / Б.А. Дворкин // Геоматика. - 2011. - № 3 (11). - С. 14-26.

Вихідний код класу Stepper Motor

T.1 Интерфейс IStepperMotor

```

enum class ROTATE_DIRECTION
{
    CLOCKWISE,
    COUNTERCLOCKWISE
};

class IStepperMotor : public IMotor
{
    //functions
public:
    virtual byte GetDirPin() = 0;
    virtual void SetDirPin(byte pin) = 0;
    virtual byte GetPulPin() = 0;
    virtual void SetPulPin(byte pin) = 0;
    virtual byte GetEnPin() = 0;
    virtual void SetEnPin(byte pin) = 0;
    virtual void Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,
                       int steps,
                       unsigned int period) = 0;
    virtual void Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,
                       int steps) = 0;
    virtual void Rotate(int steps) = 0;
    virtual void Stop() = 0;
    virtual void Enable() = 0;
    virtual void Disable() = 0;
    virtual BUSY_STATUS IsBusy() = 0;
}; //IStepperMotor

```

```

class StepperMotor : public IStepperMotor
{
//variables
private:
    IInputOutputFacade& _ioFacade;
    IDelayService& _delayService;
    byte _id;
    byte _dirPin;
    byte _pulPin;
    byte _enPin;
    BUSY_STATUS _isBusy;
    ROTATE_DIRECTION _defaultDir;
    int _defaultSteps;
    unsigned int _defaultPeriod;
    bool _needsToStop;
//functions
public:
    StepperMotor(byte id,
                 IInputOutputFacade& ioFacade,
                 IDelayService& delayService);
    ~StepperMotor();

    virtual byte GetDirPin() override;
    virtual void SetDirPin(byte pin) override;
    virtual byte GetPulPin() override;
    virtual void SetPulPin(byte pin) override;
    virtual byte GetEnPin() override;
    virtual void SetEnPin(byte pin) override;
    virtual void Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,
                       int steps,
                       unsigned int period) override;
    virtual void Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,

```

```

        int steps) override;
virtual void Rotate(int steps) override;
virtual void Stop() override;
virtual void Enable() override;
virtual void Disable() override;
virtual BUSY_STATUS IsBusy() override;
virtual byte GetID() override;
virtual void Rotate() override;

void Step(ROTATE_DIRECTION dir);

}; //StepperMotor

StepperMotor::StepperMotor(byte id,
                          IInputOutputFacade& ioFacade,
                          IDelayService& delayService)
    : _ioFacade(ioFacade),
      _delayService(delayService)
{
    _id = id;
    _isBusy = BUSY_STATUS::FREE;
    _defaultDir = ROTATE_DIRECTION::CLOCKWISE;
    _defaultSteps = -1;
    _defaultPeriod = 10;
    _needsToStop = false;
}

StepperMotor::~StepperMotor()
{
}

void StepperMotor::Enable()
{

```

```
    _ioFacade.DWrite(_enPin, LOW);
}

void StepperMotor::Disable()
{
    Stop();
    _ioFacade.DWrite(_enPin, HIGH);
}

BUSY_STATUS StepperMotor::IsBusy()
{
    return _isBusy;
}

byte StepperMotor::GetID()
{
    return _id;
}

byte StepperMotor::GetDirPin()
{
    return _dirPin;
}

void StepperMotor::SetDirPin(byte pin)
{
    _ioFacade.ConfigPinAsOutput(pin);
    _dirPin = pin;
}

byte StepperMotor::GetPulPin()
{
    return _pulPin;
}
```

```
}

void StepperMotor::SetPulPin(byte pin)
{
    _ioFacade.ConfigPinAsOutput(pin);
    _pulPin = pin;
}

byte StepperMotor::GetEnPin()
{
    return _enPin;
}

void StepperMotor::SetEnPin(byte pin)
{
    _ioFacade.ConfigPinAsOutput(pin);
    _enPin = pin;
}

void StepperMotor::Rotate()
{
    Rotate(_defaultDir, _defaultSteps, _defaultPeriod);
}

void StepperMotor::Rotate(int steps)
{
    Rotate(_defaultDir, steps, _defaultPeriod);
}

void StepperMotor::Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,
                          int steps)
{
    Rotate(dir, steps, _defaultPeriod);
}
```

```

void StepperMotor::Rotate(ROTATE_DIRECTION dir,
                          int steps,
                          unsigned int period)
{
    if (IsBusy()==BUSY_STATUS::BUSY)
    {
        return;
    }
    _isBusy = BUSY_STATUS::BUSY;
    int remainingSteps = steps;
    int decrement = 1;
    if (remainingSteps < 0)
    {
        remainingSteps = 1;
        decrement = 0;
    }
    while(remainingSteps > 0 &&
          _needsToStop == false)
    {
        Step(dir);
        remainingSteps -= decrement;
        _delaySevice.DelayMS(period);
    }
    _needsToStop = false;
    _isBusy = BUSY_STATUS::FREE;
}

void StepperMotor::Stop()
{
    if (IsBusy()==BUSY_STATUS::BUSY)
    {
        _needsToStop = true;
    }
}

```

```
}  
  
void StepperMotor::Step(ROTATE_DIRECTION dir)  
{  
    if (dir == ROTATE_DIRECTION::CLOCKWISE)  
    {  
        _ioFacade.DWrite(_dirPin, LOW);  
    }  
    else  
    {  
        _ioFacade.DWrite(_dirPin, HIGH);  
    }  
  
    _ioFacade.DWrite(_pulPin, HIGH);  
    _ioFacade.DWrite(_pulPin, LOW);  
}
```