

Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

Матеріали до магістерської кваліфікаційної роботи на тему:

## **Засіб оптичної спектроскопії**

Виконав: студент гр. ЛТО-19м **Панченко Владислав Анатолійович**

Керівник: к.т.н., доцент **Тужанський Станіслав Євгенович**

ВІННИЦЯ – 2020

## Актуальність теми. Мета МКР

Одним з перспективних експериментальних фізичних методів є аналіз спектрів випромінювання. Сучасна елементна база передбачає можливість створення автоматизованих спектральних комплексів, які здатні керувати механічною частиною спектрального пристрою, реєструвати вихідний сигнал та передавати цифровий сигнал на комп'ютер для подальшої обробки досліджуваного спектра. Такі системи є перспективними для дослідження спектральних характеристик в тому числі світлотехнічних джерел випромінювання. Таким чином, розробка й вдосконалення методів реєстрації засобів оптичної спектроскопії із обробкою та класифікацією сигналів в процесі дослідження на базі сучасних оптико-електронних технологій є **актуальною** науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить забезпечити підвищити ефективність спектрального аналізу порівняно із традиційними методами.

**Мета МКР.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розширення функціональних можливостей засобу оптичної спектроскопії для автоматизованого аналізу спектральних характеристик випромінювачів для світлотехніки

## Завдання МКР. Об'єкт і предмет дослідження

### Завдання МКР:

- ✓Провести порівняльний аналіз та класифікацію сучасних засобів оптичної спектроскопії,
- ✓Удосконалити метод вимірювального контролю та класифікації спектральних сигналів джерел випромінювання світлотехнічних пристроїв;
- ✓Розрахувати функціональні характеристики елементів схем автоматизованого спектрометра, оптичного блоку і сенсора;
- ✓Розробити лабораторний макет автоматизованого засобу оптичної спектроскопії світлодіодних випромінювачів, структурну, оптичну і електричну схеми;
- ✓Виконати експериментальне дослідження спектрів зразків світлотехнічних джерел різних типів та проаналізувати отримані результати;
- ✓Розрахувати економічну доцільність та інші економічні показники розробки.

**Об'єкт дослідження** – процеси вимірювання і аналізу спектральних сигналів оптичного випромінювання оптоелектронних випромінювачів

**Предмет дослідження** – методи і засоби оптичної спектроскопії оптоелектронних джерел випромінювання.

**Наукова новизна.** Удосконалено метод реєстрації із класифікацією спектральних сигналів для спектроскопії оптичних джерел випромінювання, в якому на відміну від існуючих використовується інтегрована обробка і нейромережна класифікація спектрів сигналів, що дозволило розширити функціональні можливості методу.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних результатів розроблено лабораторний макет автоматизованого засобу спектроскопії світлодіодних випромінювачів, електричні та оптичні схеми його основних функціональних вузлів

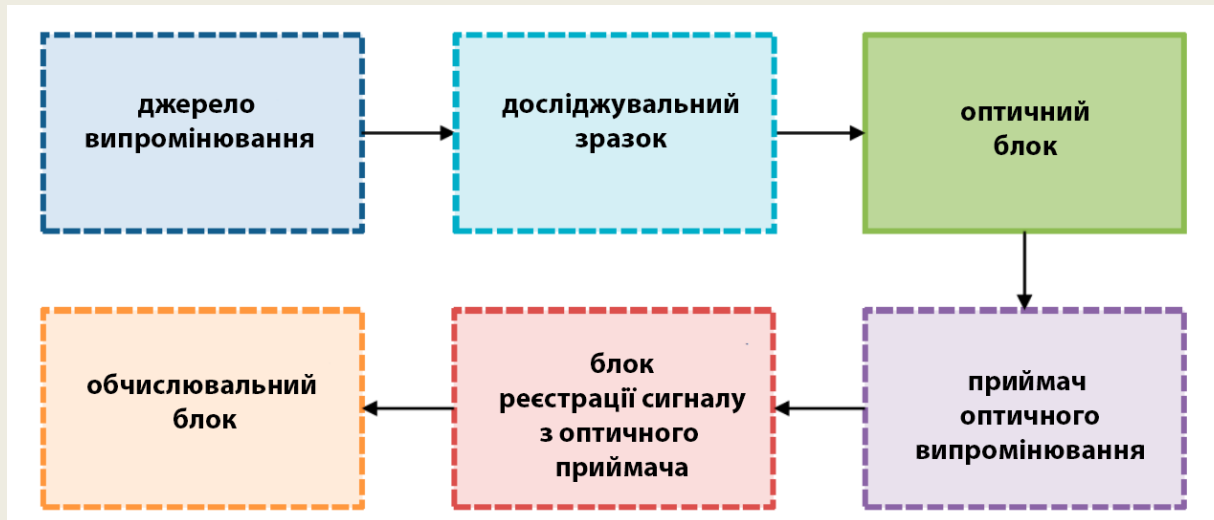
**Публікації.** За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тези доповідей у матеріалах конференцій.

## Класифікація оптичних спектральних приладів

Для класифікації спектральних приладів використовується ряд ознак, до числа основних з яких відносять:

- принцип розкладання у спектр (електромагнітна, електронна природа випромінювання, мас-спектроскопія тощо);
- робочий спектральний діапазон (УФ, видимий, ІЧ та їх комбінації);
- тип оптичної системи;
- фізичний принцип дії приладу (поглинання, випромінювання, емісія);
- метод спостереження і принцип реєстрації спектру;
- призначення.

Узагальнена схема оптичного спектрометра



## Порівняльний аналіз оптичних спектрометрів

Тип/марка/виробник	Спектральний діапазон, нм	Оптична схема	Роздільна здатність	Сигнал /шум	Джерела світла / фотоприймачі	Маса, кг
ІЧ Фур'є спектрометр/ IRAffinity-1/ Shimadzu	350-7500	однопроменева (інтерферометр Майкельсона)	0,5;1;2;4; 8;16 см <sup>-1</sup>	>30000	Галогенна лампа/ DLATGS	35
ІЧ Фур'є спектрометр/ IRTracer-100 Shimadzu	350-7800	однопроменева (інтерферометр Майкельсона)	0,25;0,5;1; 2;4;16см <sup>-1</sup>	>60000	Галогенна лампа, керамічний/ DLATGS, MCT, InGaAs	40
УФ спектрофотометр / UV-3700 /Shimadzu	240-2600	Двопроменева (дифр. ґратки)	0,1 нм	>20000	Галогенна, дейтерієва лампа / ФЕП, InGaAs,PbS	170
УФ спектрофотометр/ PV1251C /Solar	315-1000	двопроменева (дифр. ґратки)	1 нм	н/д	W галогенна лампа / Si	7
УФ спектрофотометр/ UV-3600/Shimadzu	185-3300	Двопроменева (дифр. ґратки)	0,1	н/д	Галогенна, дейтерієва лампа/ ФЕП, InGaAs,PbS	96

# Порівняльний аналіз оптичних спектрометрів

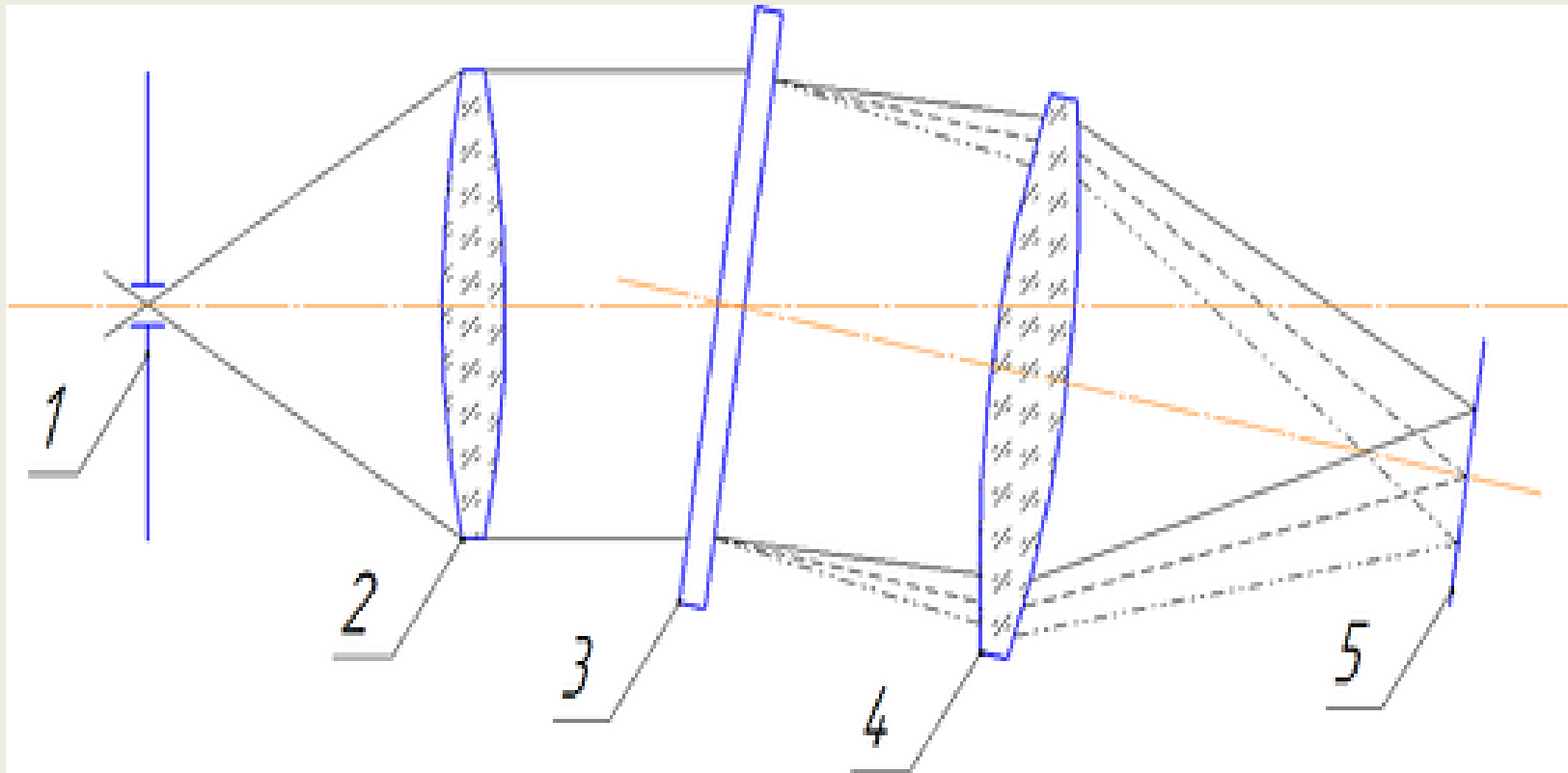


USB спектрометр Ocean Optics (USA)



USB спектрометр для світлотехніки PCE-SRM40 (Німеччина)

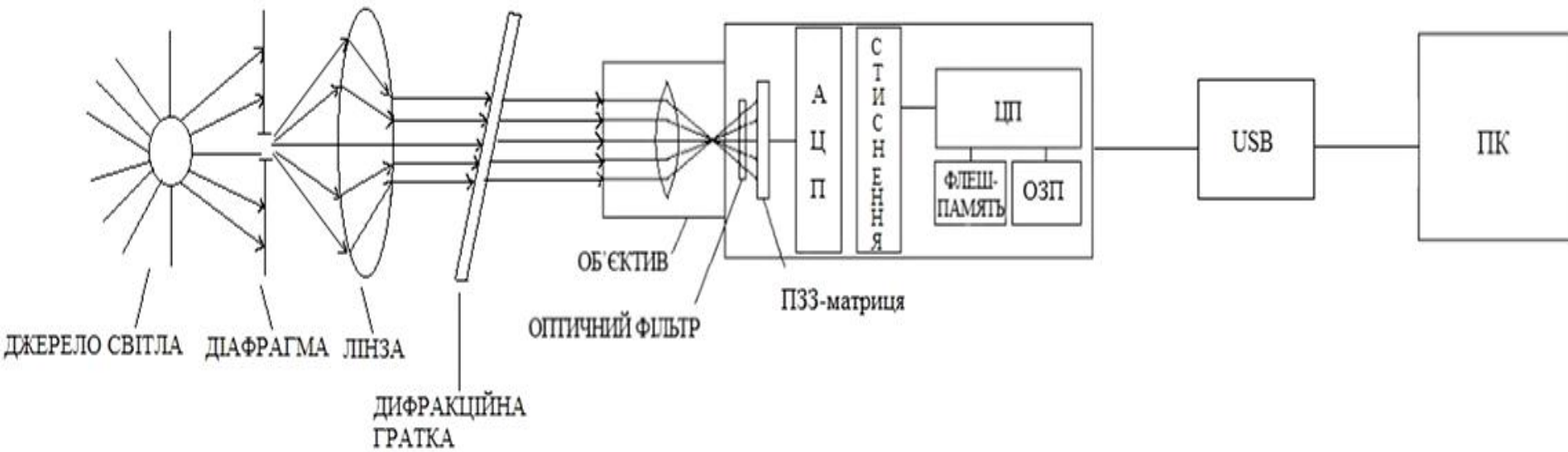
# Оптична схема спектрометра



1 - вхідна щілина, 2 - об'єктив, 3 - дифракційна решітка,  
4 - фокусувальний об'єктив, 5 - площина зображення (площина  
фотоприймача)



# Структурна схема автоматизованого засобу оптичної спектроскопії світлових джерел



# Стандартні методи спектрального аналізу (мінімізації при порівнянні сигналу з спектральною базою речовин)

Пошук за абсолютною різницею

$$M_{ADV} = \left(1 - \frac{N}{D}\right) \cdot 100$$

$$N = \sum_{i=1}^n |s_i - r_i|, D = \sum_{i=1}^n |s_i|.$$

Пошук за першими похідними

$$M_{FDAV} = \left(1 - \frac{N}{D}\right) \cdot 100,$$

$$N = \sum_{i=1}^n |\Delta s_i - \Delta r_i|, D = \sum_{i=1}^n |\Delta s_i|, \begin{matrix} \Delta s_i = s_i - s_{i-1} \\ \Delta r_i = r_i - r_{i-1} \end{matrix}$$

Метод найменших квадратів

$$M_{LS} = \left(1 - \frac{N}{D}\right) \cdot 100,$$

$$N = \sum_{i=1}^n (s_i - r_i)^2, D = \sum_{i=1}^n s_i^2.$$

Перша похідна найменших квадратів

$$M_{FDLS} = \left(1 - \frac{N}{D}\right) \cdot 100,$$

$$N = \sum_{i=1}^n (\Delta s_i - \Delta r_i)^2, D = \sum_{i=1}^n \Delta s_i^2$$

Евклідова відстань

$$M_{ED} = \left(1 - \frac{N}{D}\right) \cdot 100,$$

$$N = \sum_{i=1}^n \sqrt{|s_i^2 - r_i^2|}, D = \sum_{i=1}^n s_i.$$

Пошук за коефіцієнтом кореляції

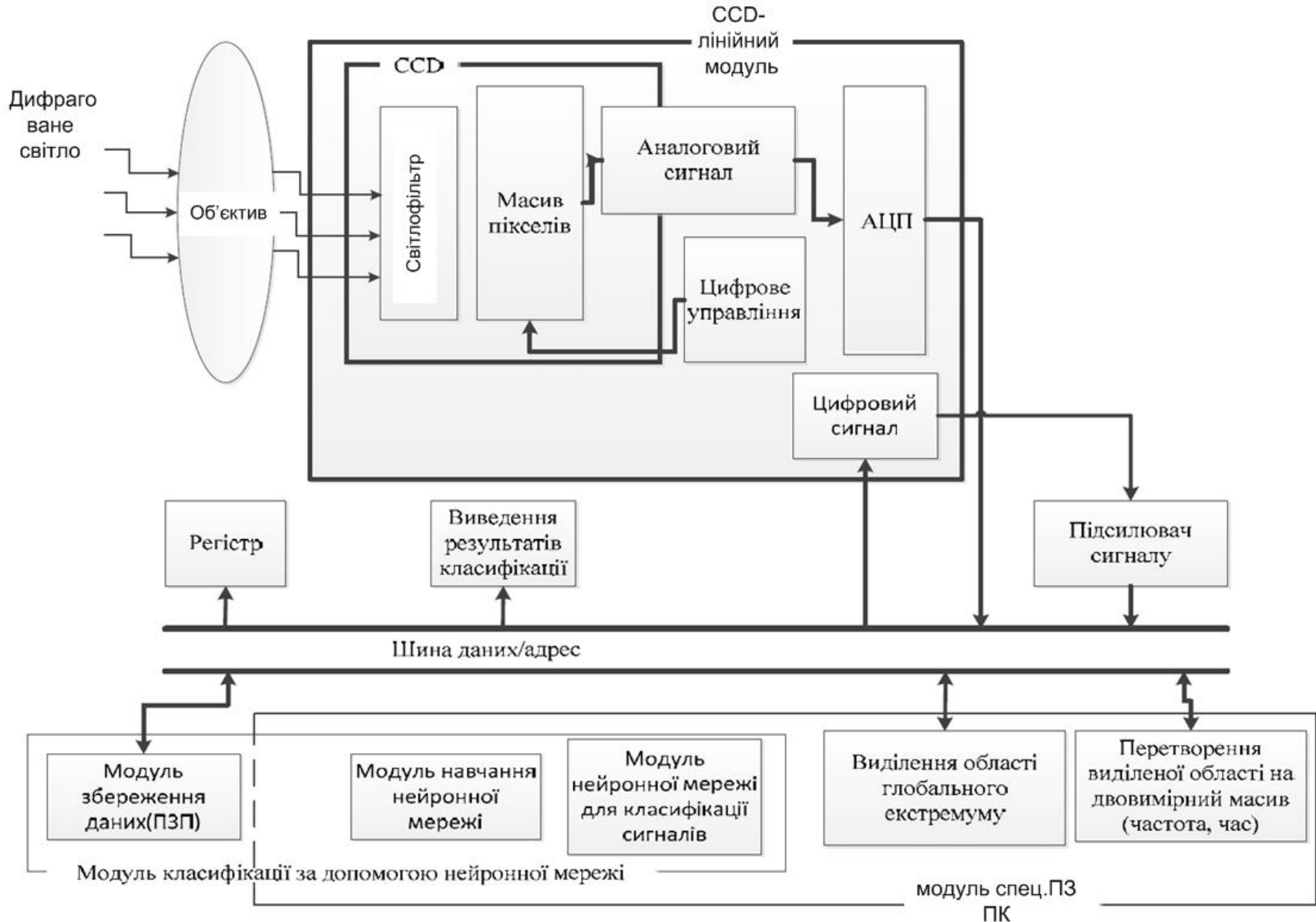
$$M_{CC} = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - s)(r_i - r)}{\sum_{i=1}^n (s_i - s)^2 \sum_{i=1}^n (r_i - r)^2} \cdot 100.$$

# Метод реєстрації спектрального випромінювання із неймережною класифікацією сигналів

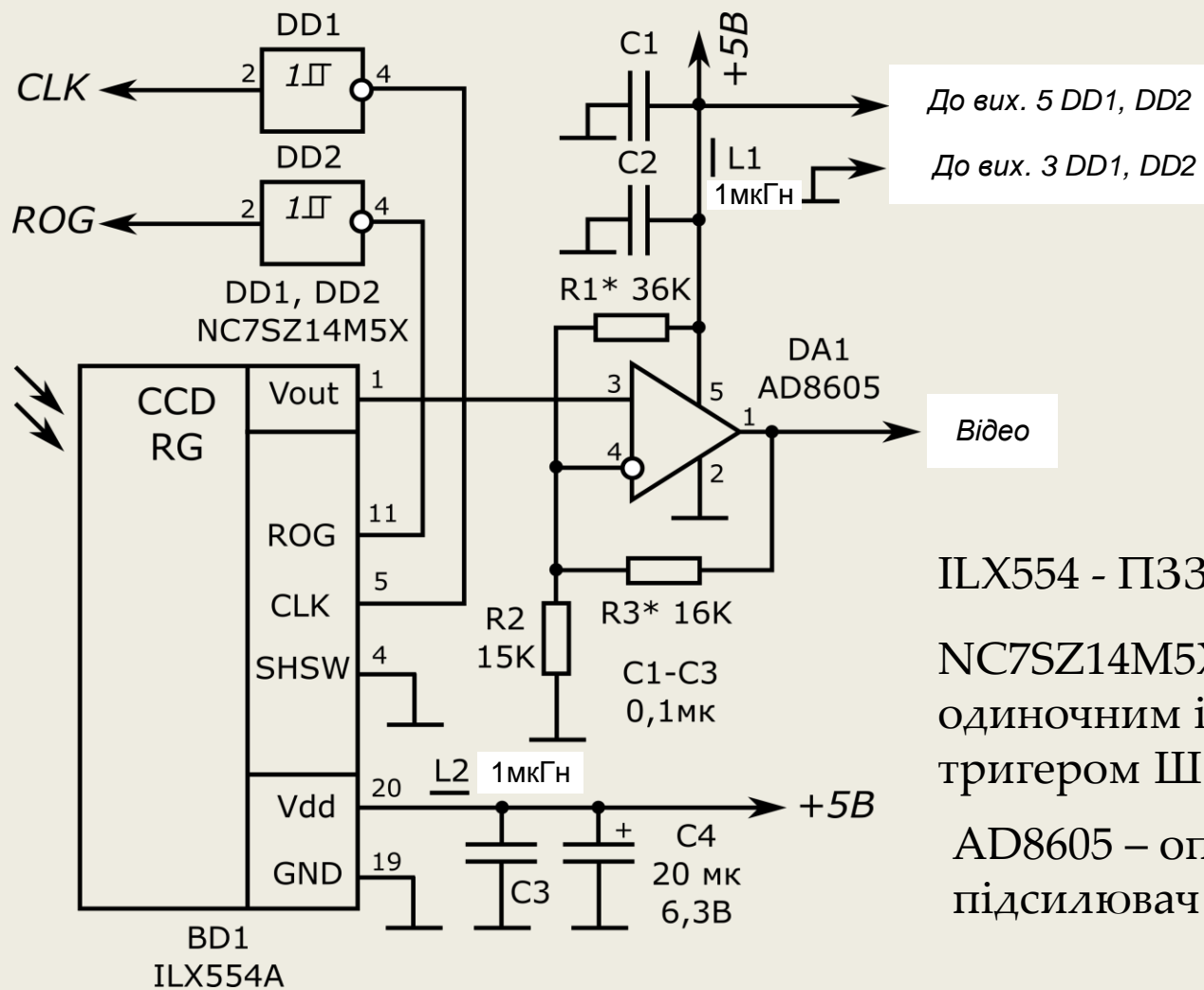
В роботі пропонується метод вимірювального контролю спектральних сигналів випромінювання оптоелектронних пристроїв, в якому використовується автоматизована обробка і неймережна класифікація спектрів сигналів. Блок-схема методу:



# Функціональна схема засобу оптичної спектроскопії (блок реєстрації) із модулем класифікації за допомогою нейромережі



# Схема електрична принципова блоку реєстрації засобу оптичної спектроскопії



ILX554 - ПЗЗ лінійка Sony

NC7SZ14M5X - мікросхема з  
одиначним інвертуючим  
тригером Шміта

AD8605 – операційний  
підсилювач

## Розрахунок основних характеристик оптичного спектрометра

Кутова дисперсія

$$D_{\theta} = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{10^6 d \cos\theta} = 1,667 \text{ мрад/мм}$$

Лінійна дисперсія

$$D_{\lambda} = \frac{dL}{d\lambda} = 10^6 d / mF = 10^6 600 / 20 = 3 \cdot 10^7 \text{ (нм/мм)}$$

Робочий спектральний діапазон

$$\Delta\lambda = L_D \frac{dL}{d\lambda} = 2,54 \cdot 3 \cdot 10^7 = 7,62 \cdot 10^7 \text{ (нм)}$$

Роздільна здатність

$$R = mN \quad R_1 = 600 \text{ лін/мм}$$

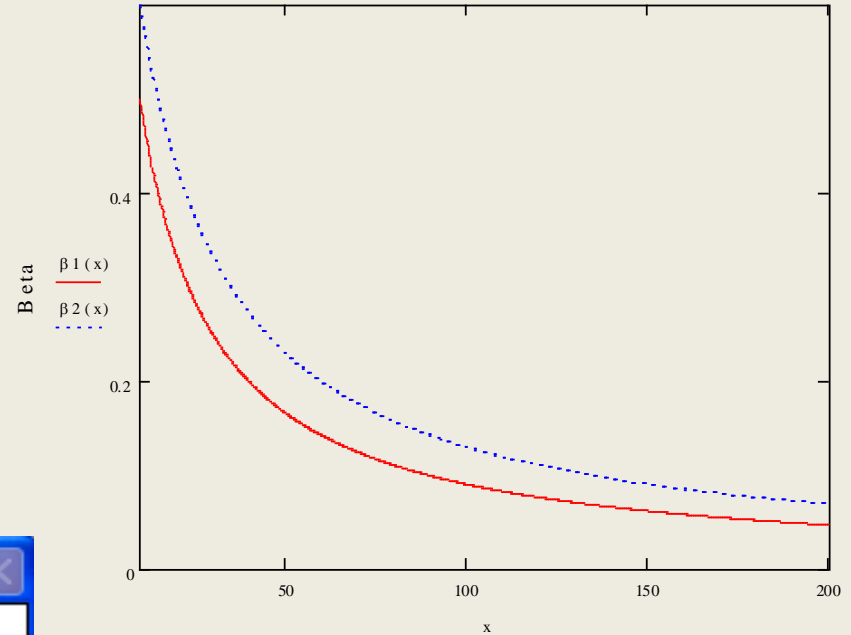
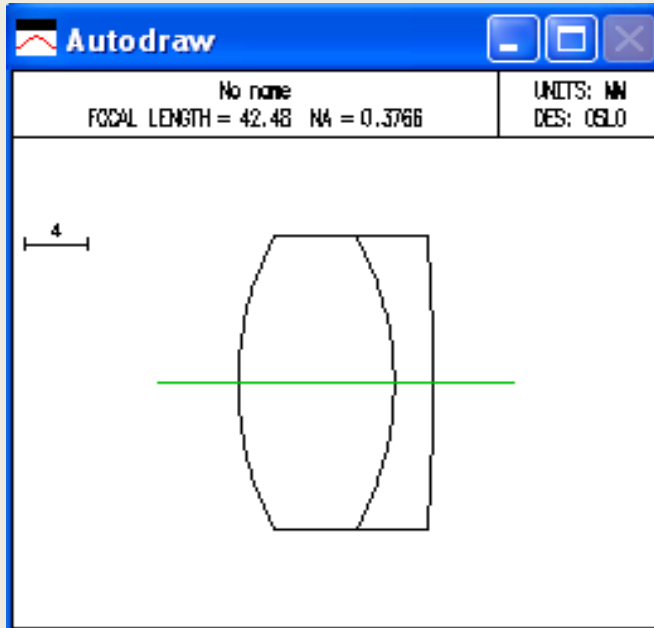
# Розрахунок об'єктива

Фокусна відстань об'єктива

$$f' = \frac{6}{\operatorname{tg}(25)} = 12,9 \text{ (мм)}$$

Тоді відносний отвір об'єктива

$$\frac{D}{f'} = \frac{1}{12,9} = 0,08$$



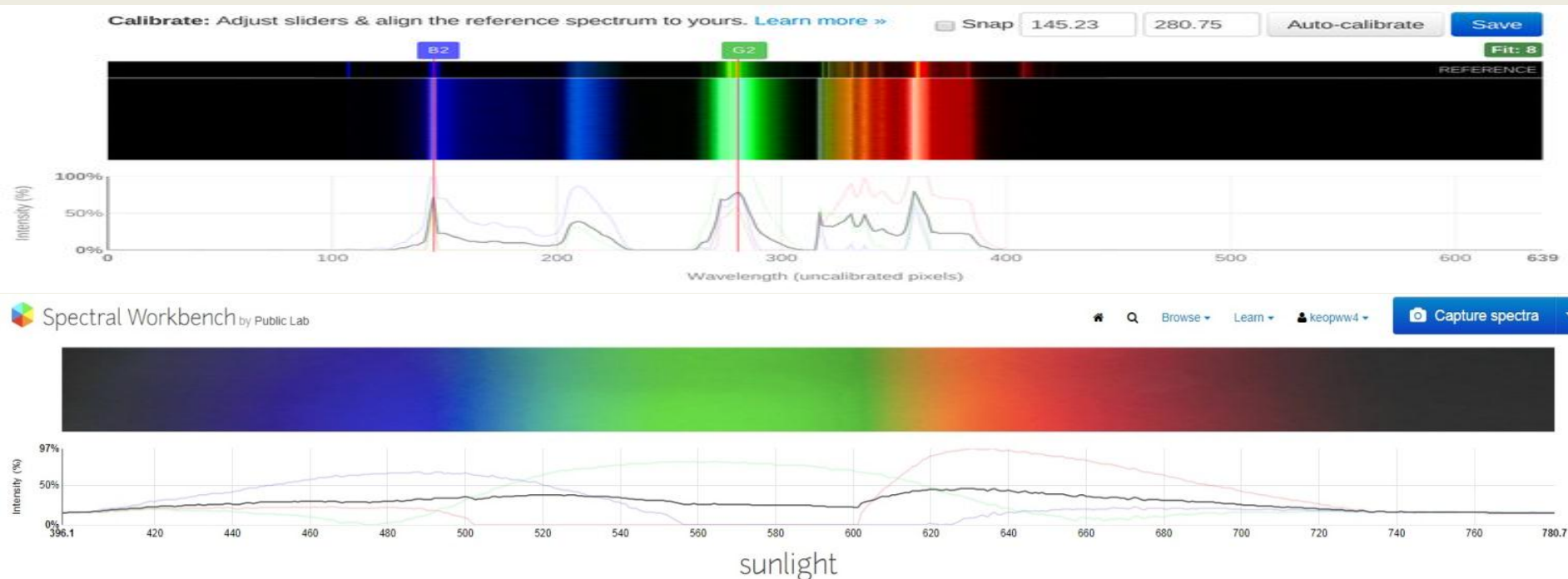
Оптична схема об'єктива,  
отримана у програмі  
OSLO EDU

## Розробка лабораторного макету автоматизованого засобу оптичної спектроскопії





# Програмне забезпечення для реєстрації спектрів SPECTRAL WORK BENCH



### Calib

by warren (fork) [Twitter](#) [Facebook](#) [GitHub](#) [Comments](#) [0](#) [Forks](#) [0](#) [Scripting](#)

[Tools](#) [Sets](#) [0 Comments](#) [0 Forks](#) [Scripting](#)

Versioning [?](#)

[Fork this spectrum](#) and work on a copy

Data processing and display [?](#)

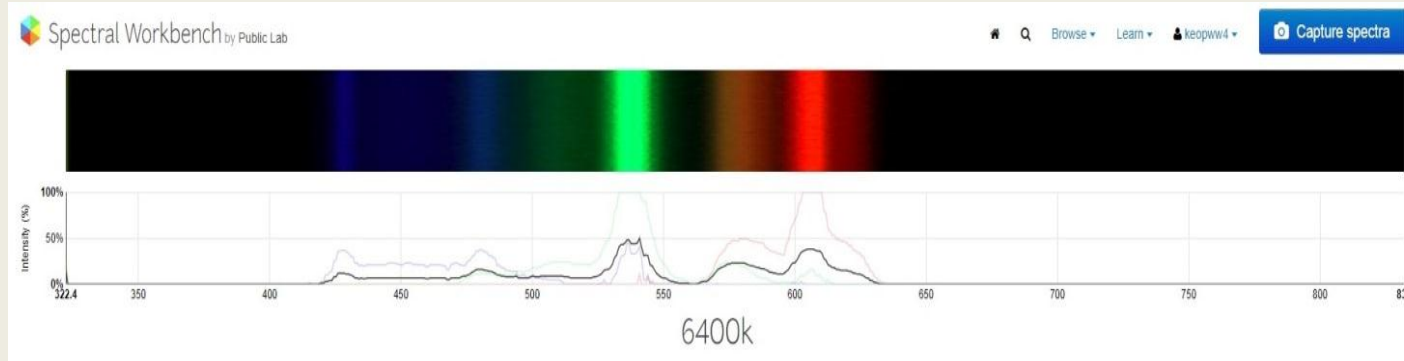
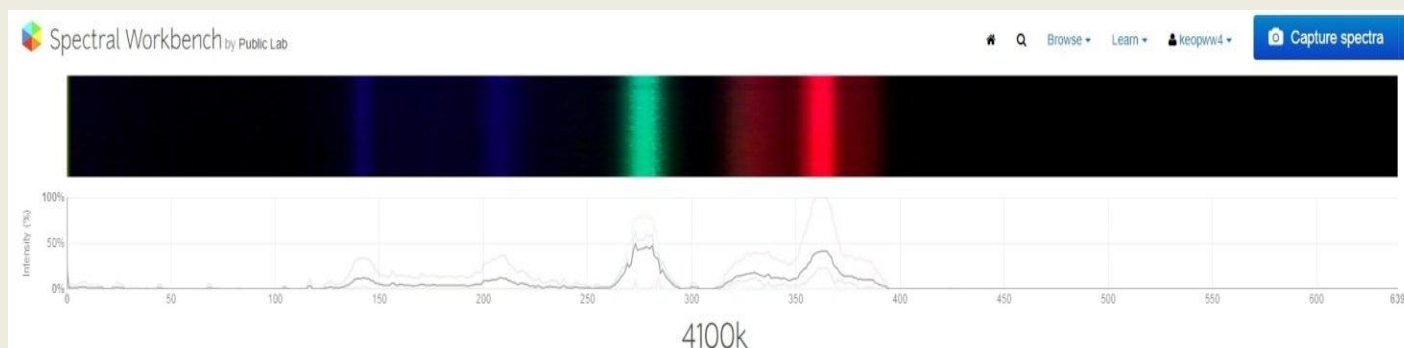
[Calibrate this spectrum](#)

Operation	Date	Des
video_row:254	01-28-16 17:35 pm	No c mon
forked:69544	01-28-16 17:35 pm	Spe copy most recent Rea

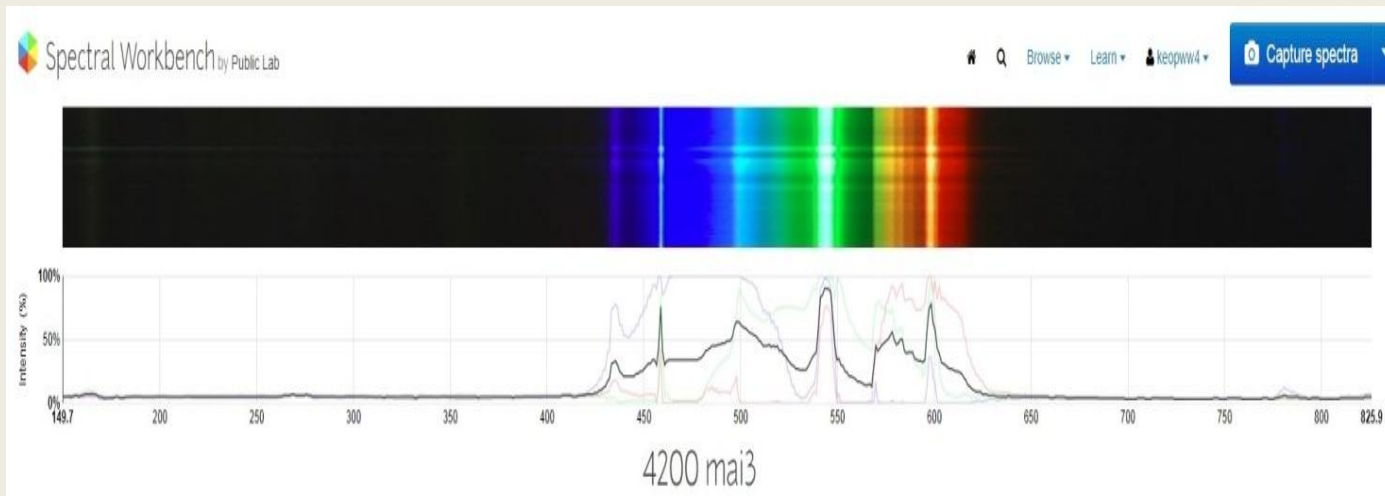
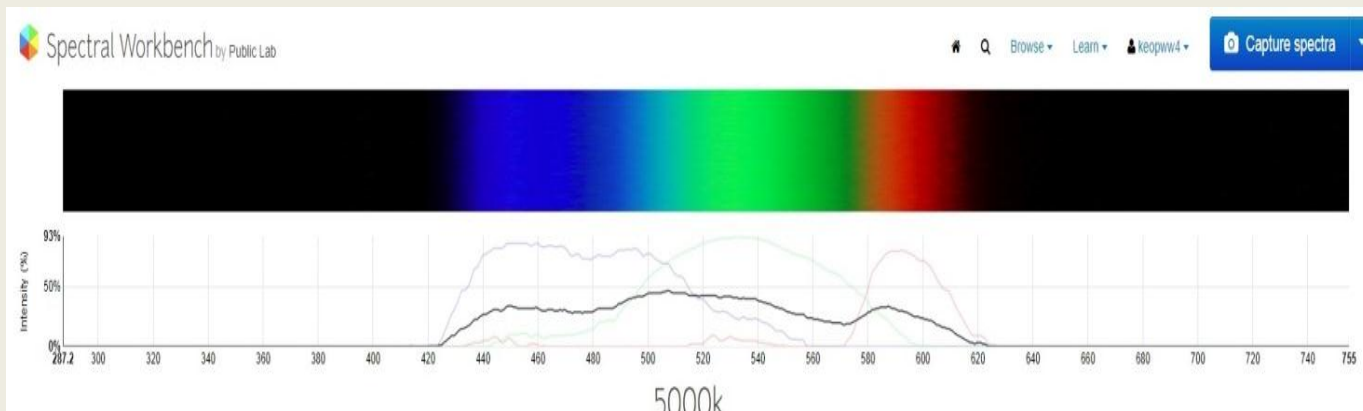
Процедура  
настройки

# Експериментальне дослідження світлотехнічних пристроїв на оптичному спектрометрі

## Люмінесцентні спектри



# Експериментальні спектри світлодіодних ламп



## Висновки

Зроблено порівняльний аналіз сучасних пристроїв спектрометрії різних типів, здійснено класифікацію оптичних спектрометрів;

Запропоновано метод реєстрації спектрів оптичних випромінювачів з класифікацією вимірних сигналів на основі нейромережі, що дозволить розширити функціональні можливості оптичного спектрометра.

Розроблено лабораторний макет малогабаритного оптичного спектрометра та зроблено опис його роботи.

Проведено розрахунок характеристик розробленого засобу; зокрема лінійної дисперсії, роздільної здатності та спектрального діапазону вимірювання оптичного спектрометра.

Виконано експериментальне дослідження спектрів зразків світлотехнічних джерел різних типів. Порівняння графіків отриманих спектральних характеристик люмінесцентних ламп та світлодіодних джерел показало, що найближчим до природного сонячного освітлення є спектр випромінювання світлодіодних випромінювачів.

Розраховано економічні показники розробки. Засіб оптичної спектроскопії характеризується високими показниками якості та конкурентоспроможності і даний проект є привабливим з точки зору інвестиційної політики.

Дякую за увагу