



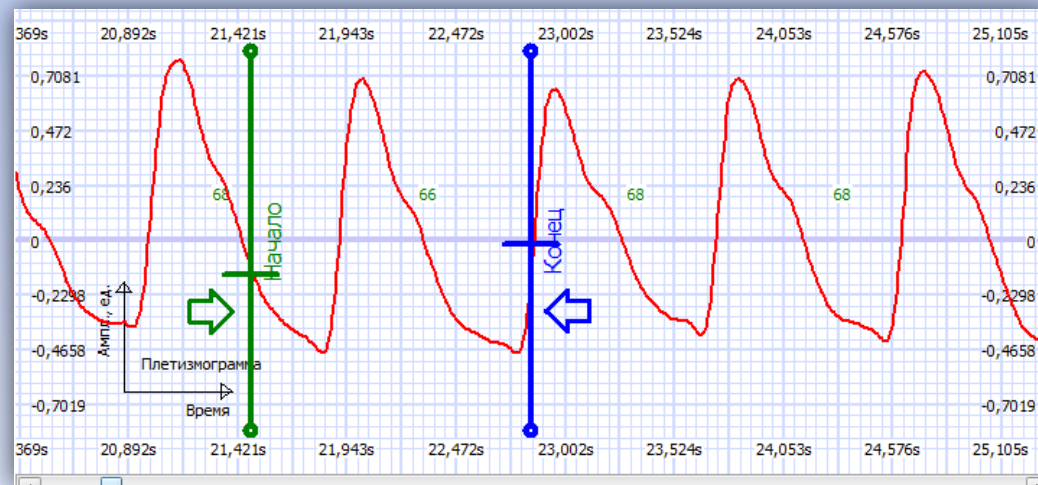
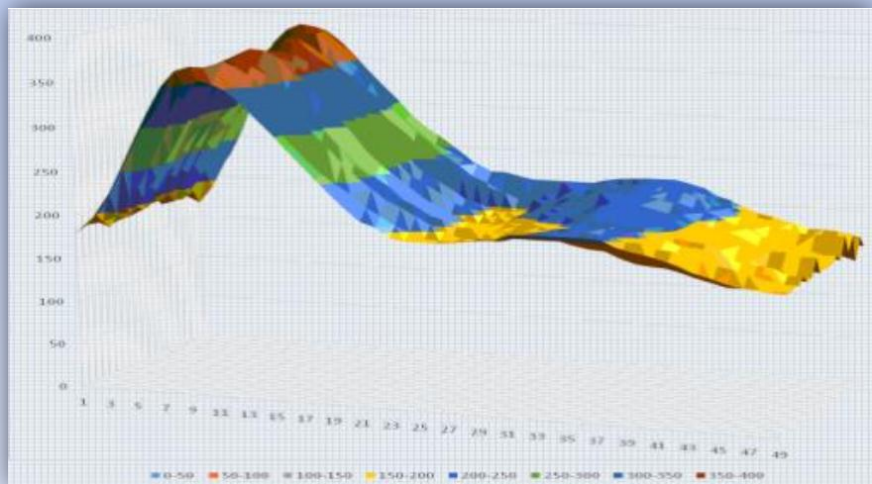
# Мультиспектральна система для оцінювання стану судин головного мозку

**Володимир Павлов,  
Студент групи – ЛТО 19м  
Вінницького національного технічного університету,  
кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки**

# АКТУАЛЬНІСТЬ

Перспективним напрямком ранньої діагностики порушень периферичного кровообігу є оптичні методи, що дозволяють проводити безболісний та неруйнівний контроль уражених ділянок. Серед них важливе місце займає фотоплетизмографічний метод, який заснований на опроміненні біологічної тканини інфрачервоним світлом та реєстрації відбитого від досліджуваної області світла за допомогою фотодетектора.

**Метою роботи** є розширення функціональних можливостей фотоплетизмографічного методу шляхом створення оптико-електронної мультиспектральної системи для аналізу периферійного кровообігу, зокрема, оцінювання мікроциркуляції стану судин головного мозку.



*Об'єкт дослідження* – процес дослідження оптичних показників стану судин головного мозку шляхом аналізу мікроциркуляторного кровообігу за допомогою мультиспектральної системи

*Предмет дослідження* – оптичні характеристики біооб'єкту, мультиспектральна система для дослідження стану судин головного мозку.

## **НАУКОВА НОВИЗНА**

- Розроблено тривимірну модель поверхні для представлення фотоплетизмографічного сигналу, в якій запропоновано визначення динамічних кривих як основних параметрів пульсових хвиль для задач моніторингу стану судинного русла. Це дозволило покращити візуальне виявлення ступеню порушень мікроциркуляції периферійного кровообігу.

- Отримала подальшого розвитку двовимірна структурно-зв'язнісна модель для представлення фотоплетизмографічного сигналу. Для вказаного сигналу запропоновано обчислення внутрішньозрізових та міжзрізових функцій, які в подальшому використовуються для оцінки стану судинного русла людини.

- Отримано значення оптимального кута між світловипромінюючим джерелом світлового потоку та фотоприймачем, що дозволило підвищити чутливість оптичного сенсора при врахуванні зміни оптичної товщини середовища з врахуванням зміни інтенсивності світла при поглинанні біологічними шарами з різними глибинами.

**Практична цінність роботи** полягає в тому, що запропоновано технічні рішення реалізації мультиспектральної системи для дослідження периферичної мікроциркуляції шляхом оброблення фотоплетизмографічної інформації для підвищення достовірності та функціональних можливостей, що може бути використано для кабінетів функціональної діагностики, для оперативного визначення порушень периферійного кровообігу в судинах головного мозку.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові та практичні результати, отримані в магістерській кваліфікаційній роботі, представлялись на Міжнародній науково-практичній конференціях «Infrared Sensors, Devices, and Applications» (Сан-Дієго, США, 2017), VIII Міжнародній конференції для фахівців та молодих науковців Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України (м.Харків, 2017, 2018), Міжнародних науково-практичних конференціях «Застосування лазерів в медицині та біології-2019», тощо.

**Публікації.** За результатами роботи опубліковано 12 наукових праць, з них 3 статті, що входить до наукових періодичних фахових видань України, 2 статті у закордонних наукових виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus, 3 тези доповідей у матеріалах конференцій, 2 патенти України на корисну модель.

## АНАЛОГИ



**Criticare 508** – неінвазивний прикраватний монітор, що відображає наступні параметри: криву ЕКГ, артеріальний тиск, насичення гемоглобіну крові, частоту пульсу, частоту дихання, температуру тіла.



Реанімаційно-хірургічні монітори **ЮМ-300** мають вбудовану систему автоматизованого кардіо- і реоаналізу. В основу аналізу покладений метод математичної обробки плетизмограми і кардіоінтервалів, зареєстрованих протягом визначеного часу.



## АНАЛОГИ



### Оптичний волоконний біосенсор

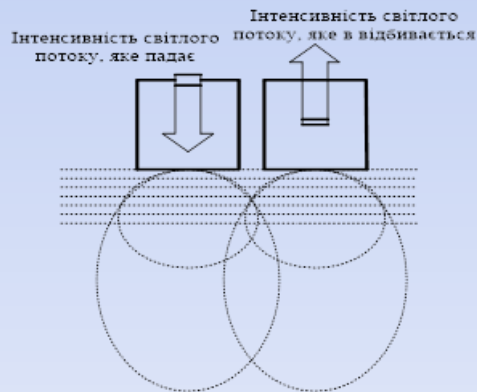
Оптичний волоконний біосенсор, який містить один лазерний діод довжиною 3 хвилі та один фотодіод з багатоканальною обробкою вихідного сигналу; було створено спеціальне програмне забезпечення для візуалізації та вимірювання сигналів MS-PPG. Лазерний діод BRIR (синій, червоний та інфрачервоний) випромінює довжини хвиль окремо одна за одною - 405 нм, 660 нм та 780 нм. Контактна головка датчика була підключена до пристрою кабелем довжиною 1 метр. Площа вимірювання для головки датчика становить 5 мм<sup>2</sup>. Габарити обладнання-прототипу складають 140 мм x 90 мм x 35 мм і вага 250 г; він працює від акумулятора і може працювати до 10 годин без підзарядки.

# Біофізичний механізм та особливості взаємодії мультиспектрального випромінювання з біологічними об'єктами

Інтенсивність оптичного випромінювання, що реєструється фотодетектором датчика, залежить від таких параметрів, як кут установки датчика, товщина біологічної тканини та довжина хвилі. І це можна визначити таким чином:

$$I = I_0 - (I_{\text{втр.кт.}} + I_{\text{втр.розс.}} + I_{\text{втр.погл.}})$$

$$I = I_0 \cdot \left( 1 - \left( \left( 1 - \frac{T_{opt} \cdot \pi \cdot r^2}{L^2} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta \right) + (1 - \exp(-(\mu_{t1}(\lambda) + (\mu_{t2}(\lambda) + \dots + \mu_{tn}(\lambda))z))) \right) \right)$$



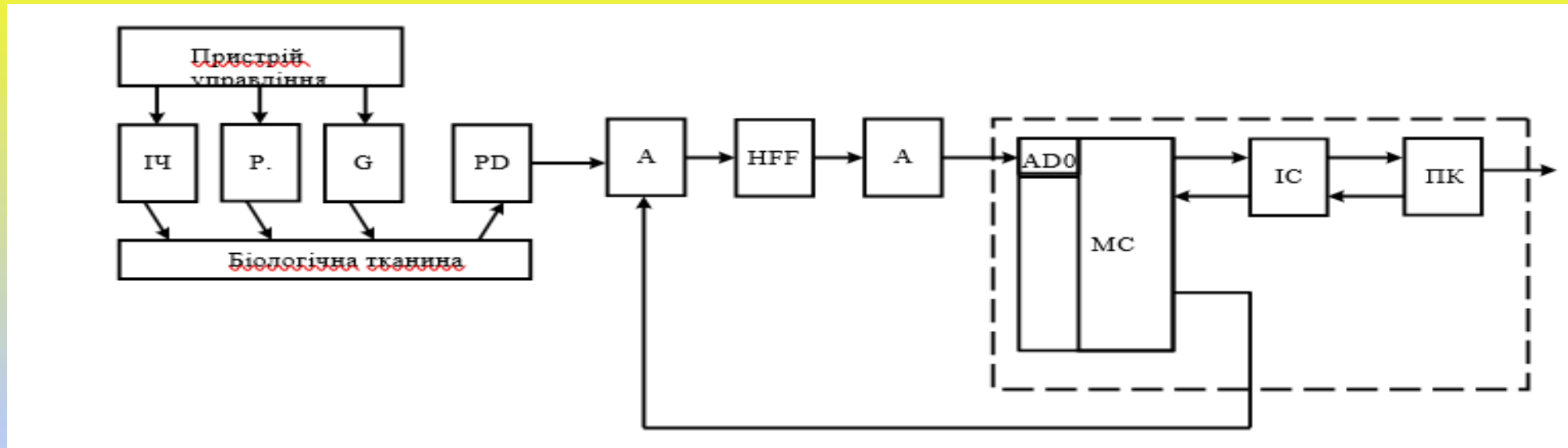
Дослідження оптичної товщини середовища з врахуванням зміни інтенсивності при поглинанні і відбитті у шарах шкіри

# **Біофізичний механізм та особливості взаємодії мультиспектрального випромінювання з біологічними об'єктами**

За результатами досліджень розроблено оптоелектронну мультиспектральну систему для визначення стану периферичного кровообігу. Основною особливістю цього пристрою є те, що він використовує три джерела випромінювання з різною довжиною хвилі: інфрачервоне (ІЧ) (780 нм), червоне (Ч) (660 нм), зелене (З) (532 нм) випромінювання. Це дозволяє одночасно досліджувати різні шари судин головного мозку. Наприклад, інфрачервоне випромінювання проникає в тканини на глибину до 1-2 см, що дозволяє ефективно досліджувати судини в глибоких частинах мозку. Зелене світло може проникати лише в поверхневий шар, тому воно краще підходить для діагностики поверхневих шарів судин. Джерела світла червоного та ІЧ випромінювання дозволяють визначити насиченість крові киснем.



## СХЕМА СТРУКТУРНА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ



Пристрій (блок управління)

Джерела випромінювання (G,R,IR)

Біологічна тканина

Фотодетектор (PD).

Попередній підсилювач (A),

Фільтр високих частот ( HFF)

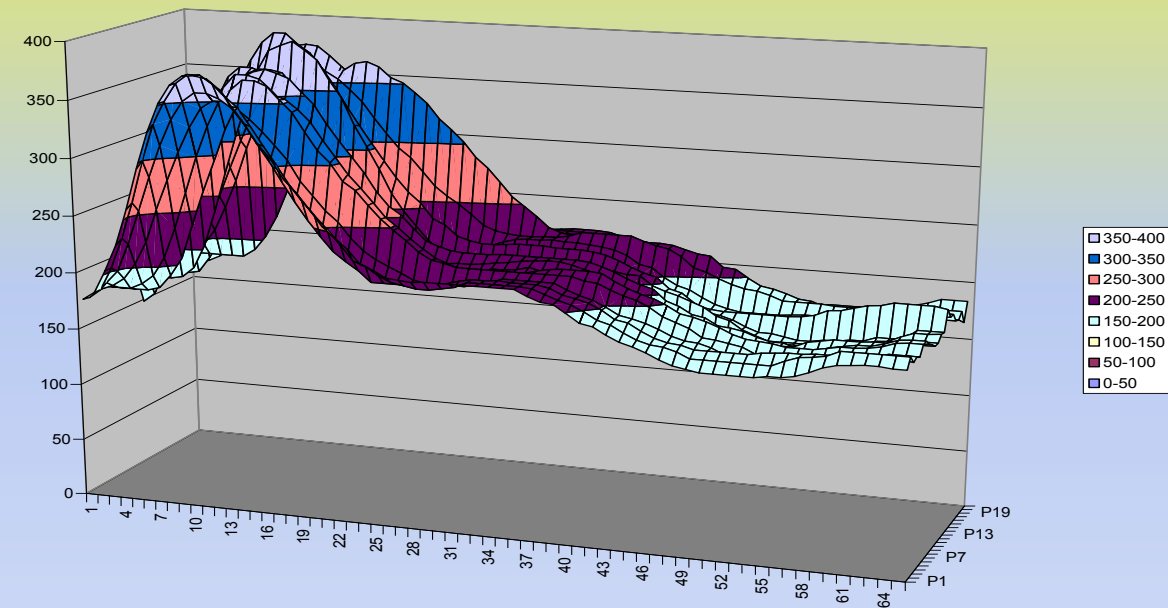
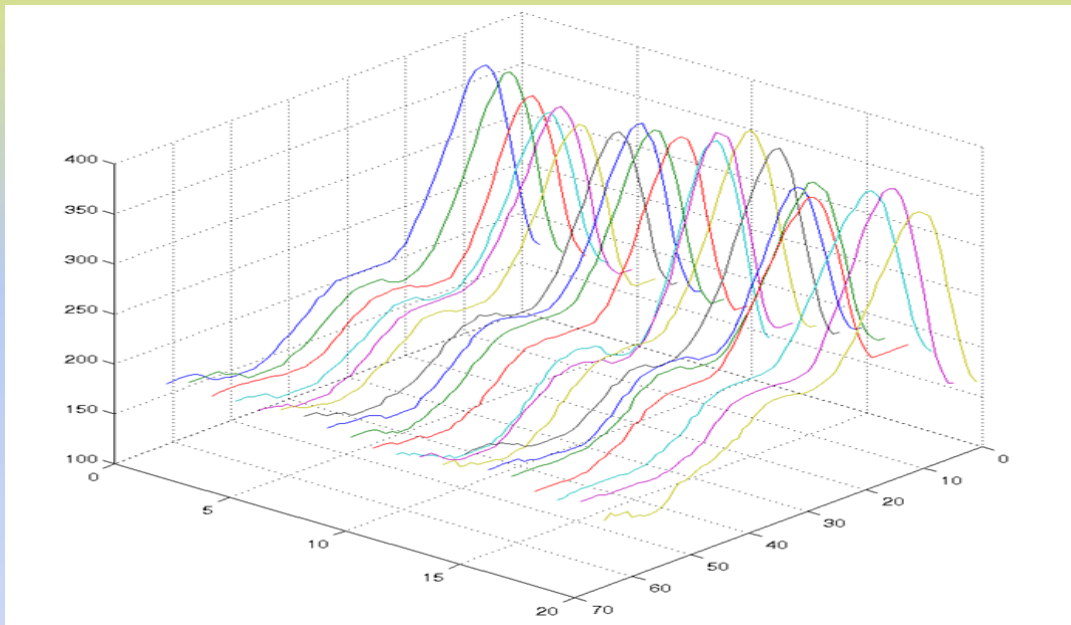
Підсилювач (A),

МС - мікроконтролер

Інтерфейс (ІС)

Вихід на екран (ПК)

# ПРИКЛАД ЗМОДЕЛЬОВАНОЇ ПОВЕРХНІ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ



Достатня щільна сукупність кривих, що відповідають пульсовим хвилям дозволяє отримувати поверхню, яка є також тривимірною моделлю вхідного фотоплетизмографічного сигналу. Кольорове забарвлення (при заданому діапазоні кольорів) покращує наочність візуалізації і дає змогу визначення порушень мікроциркуляції.

## Основні вимоги до вибору елементної бази мультиспектральної системи дослідження периферійного кровообігу

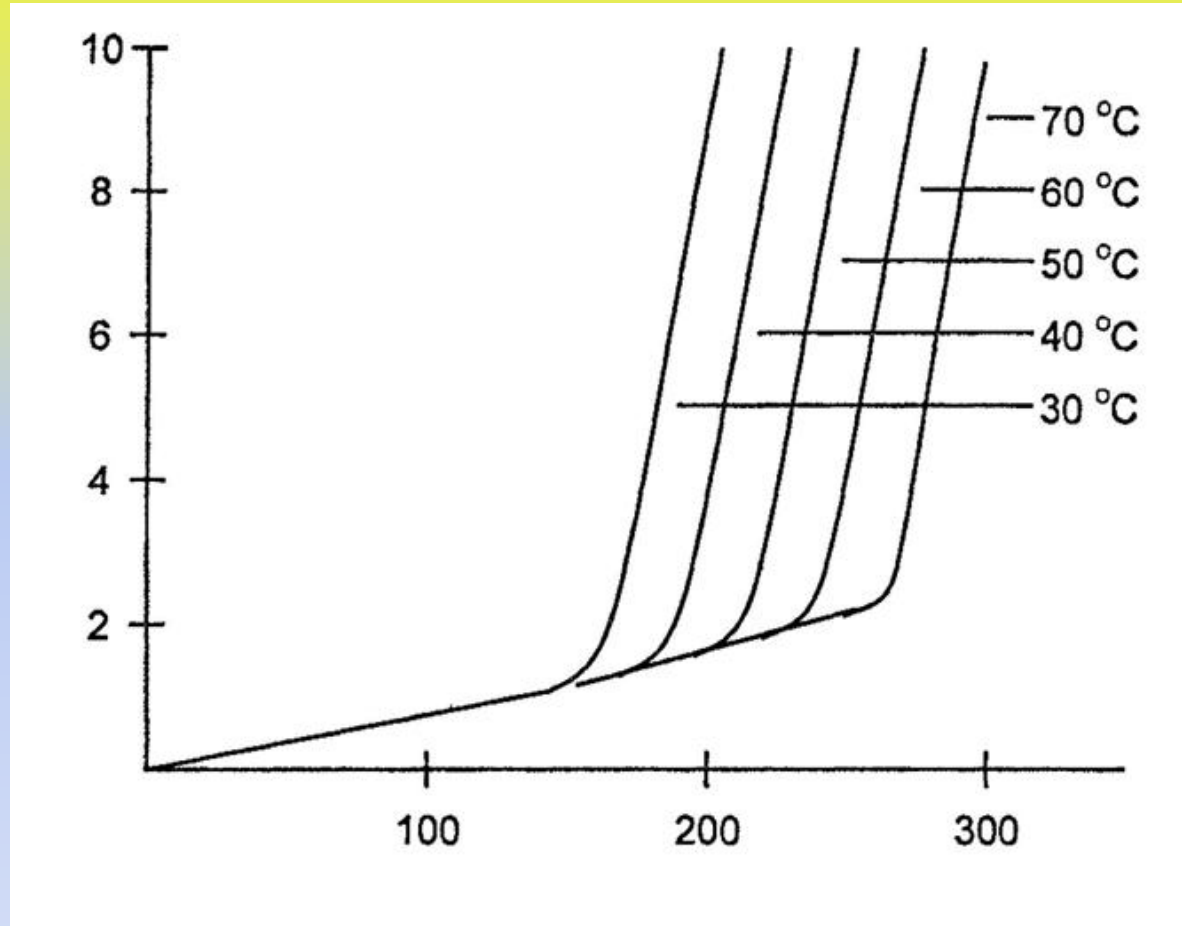
У ролі джерела світла для діагностики були використані лазерні діоди.

У разі застосування лазерів легше здійснювати цільове вибіркоче опромінення ураженої зони, мінімізувати період світлового впливу і вибрати необхідну довжину хвиль.

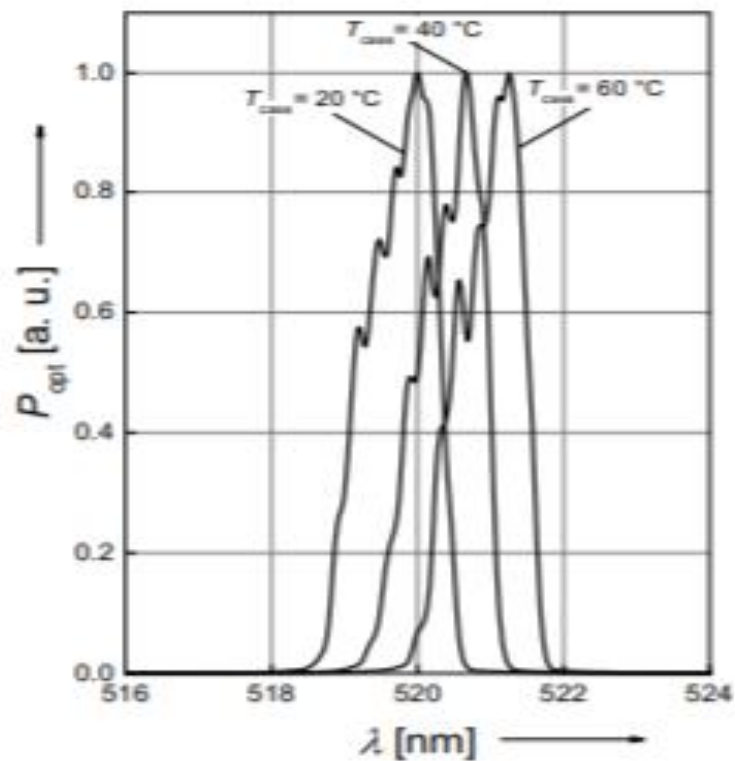
Лазерні діоди характеризуються високою довговічністю. Безперервно працюючі лазерні діоди можуть мати типовий термін служби  $10^5 - 10^7$  годин у кімнатній температурі, але за високих температур їх показники погіршуються швидше. Так, термін служби наявних на ринку лазерних діодів при  $70^\circ\text{C}$  зазвичай не перевищує 104 годин .

# Залежності потужності, сили струму та температури лазерного діода

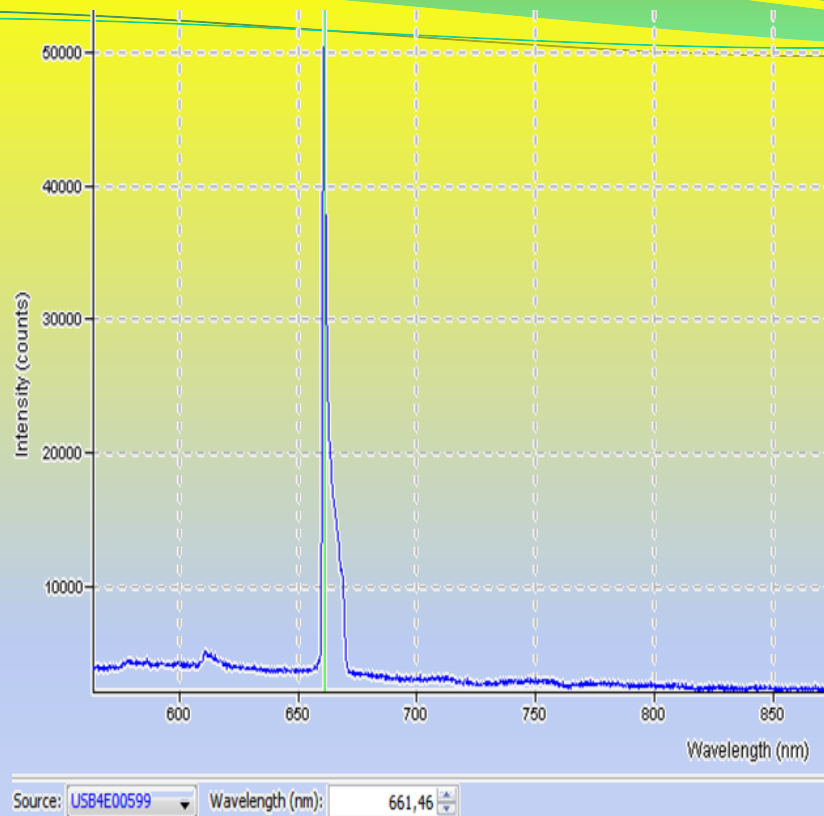
Оптична потужність, мВт



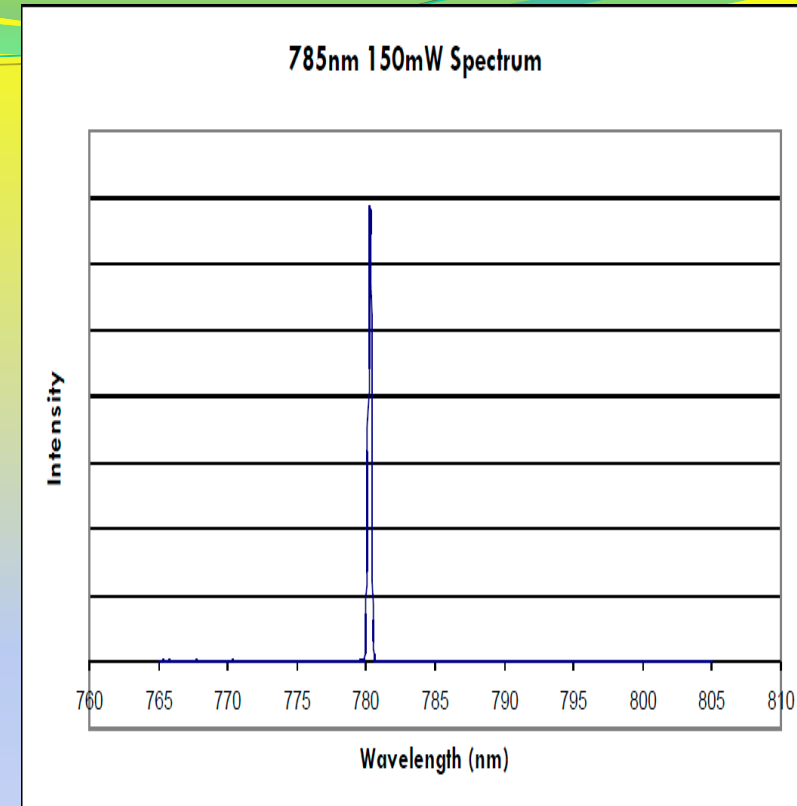
Сила струму, мА



А



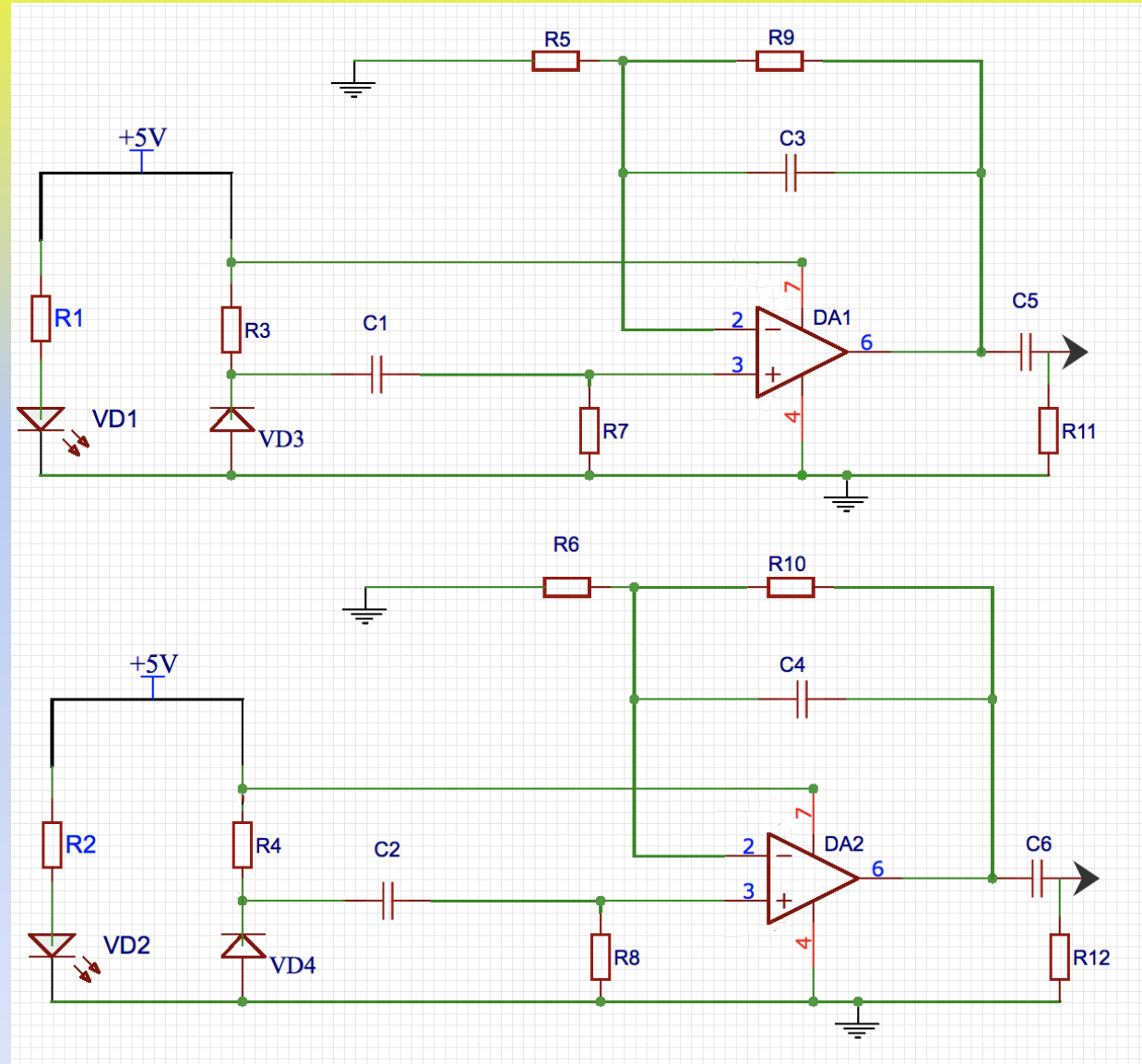
Б



В

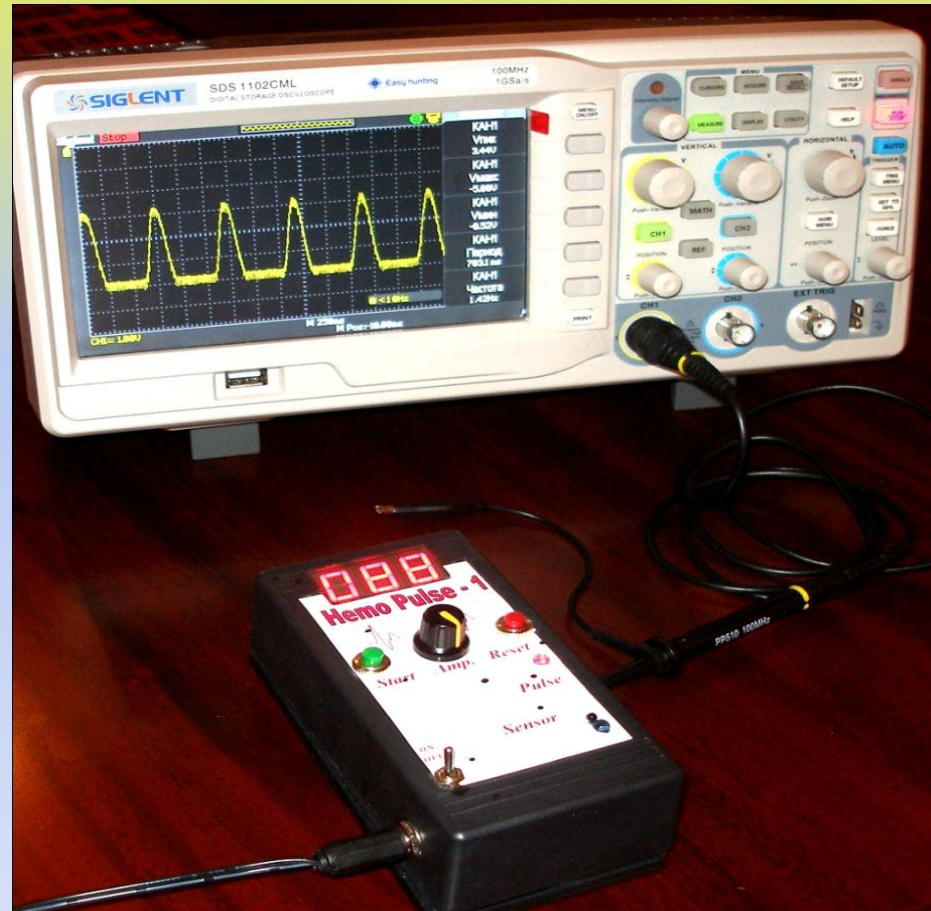
- А - Спектральна характеристика лазерного діоду із довжиною хвилі 520 нм серії PLT520В  
 Б - Спектральна характеристика лізерного діоду із довжиною хвилі 660 нм серії NDV4316  
 В - Спектральна характеристика лізерного діоду із довжиною хвилі 780 нм серії NDV7316

# СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ

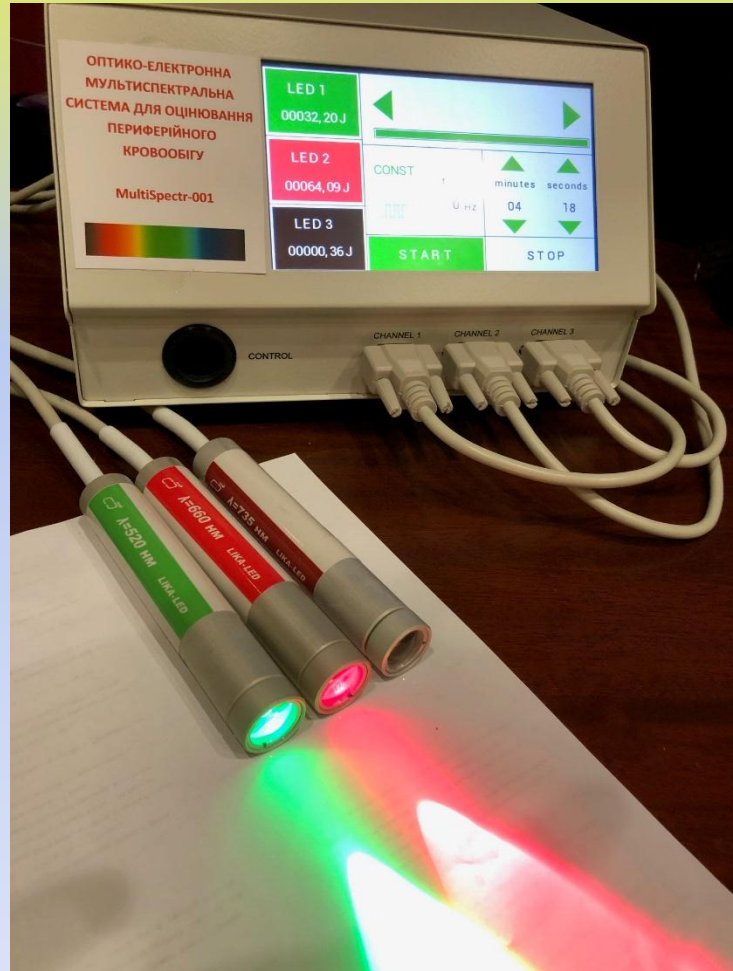




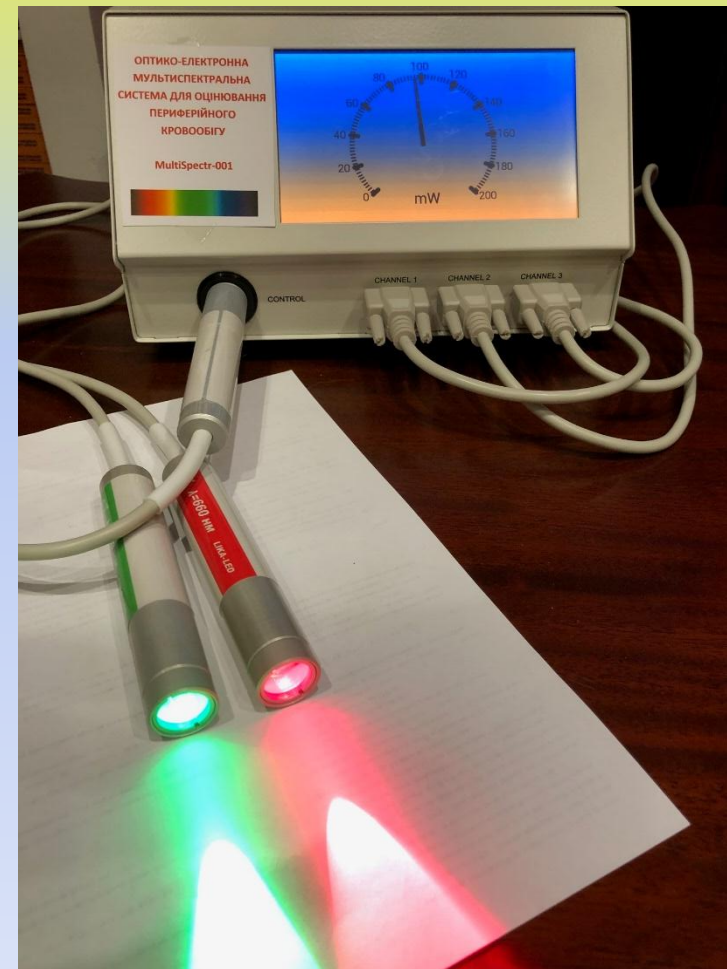
# ЗОВНІШНІЙ ВИГЛЯД ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ



**ЗОВНІШНІЙ ВИГЛЯД ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО КРОВООБІГУ (блок лазерних мультиспектральних випромінювачів (А), реалізація функції контролю потужності випромінювання (б)).**

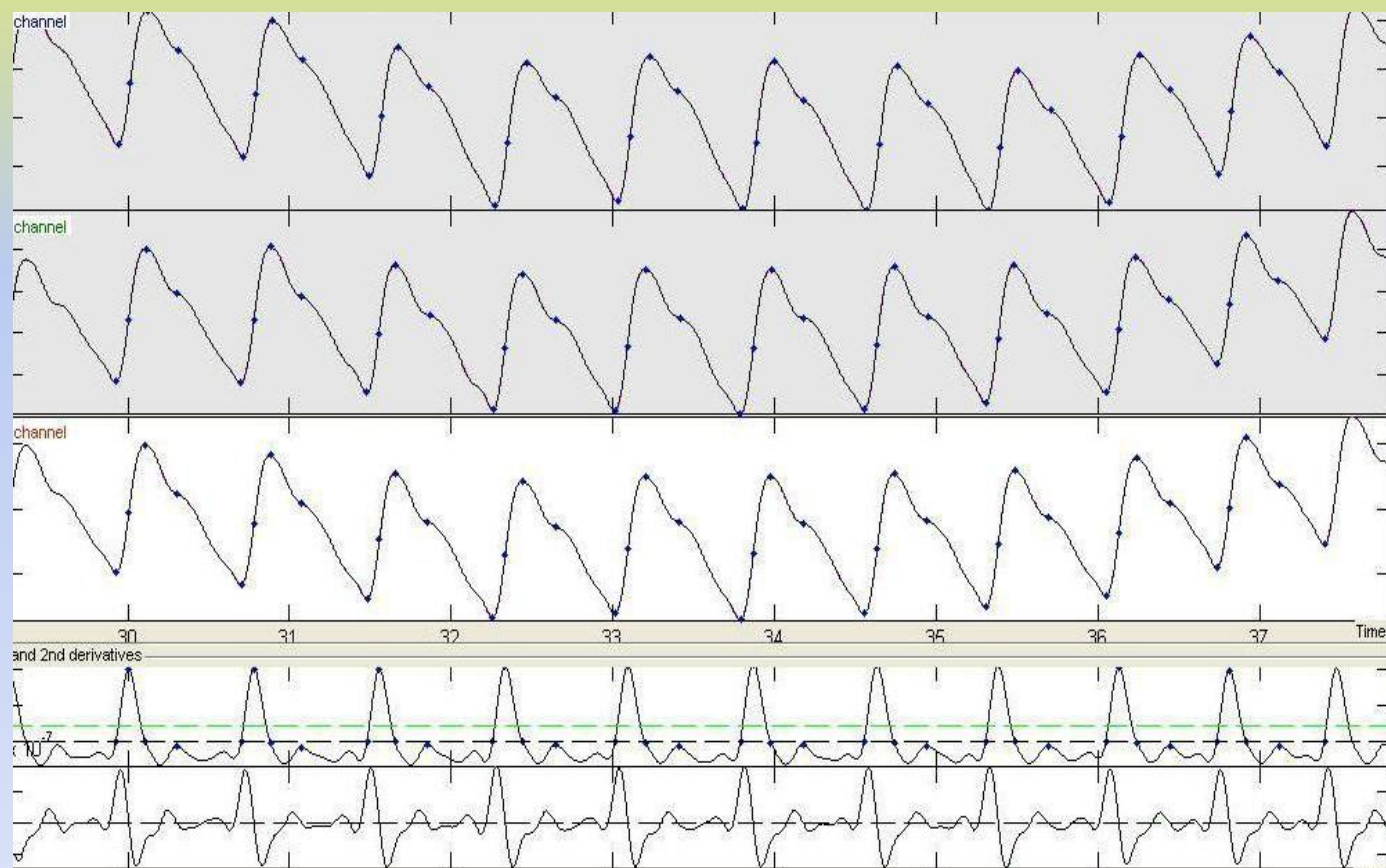


А



Б

# Знімок екрана вікна PPG-аналізу під час обробки експериментальних даних



## Економічні розрахунки системи

Показники	Задані у ТЗ	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на проведення досліджень	Не більше 100 тис. грн	91 тис. грн.	Виконано
2. Абсолютний щорічний ефект від можливого впровадження розробки, тис. грн	не менше 1000 тис. грн за рік	1089 тис. грн щорічно протягом 3-х років.	Виконано
3. Внутрішня норма дохідності вкладених інвестицій, %	не менше 65%	68%	Досягнуто
4. Термін окупності, роки	до 3-х років	1,47 років	Виконано



## Висновки

Набули подальшого розвитку схемотехнічні реалізації оптико-електронної мультиспектральної системи аналізу гемодинамічних показників, зокрема, при оцінюванні стану судин головного мозку.

В результаті виконання магістерської роботи отримано такі основні наукові та практичні результати.

- Проведено аналіз неінвазивних методів та оптико-електронних мультиспектральних систем та приладів для визначення гемодинамічних показників людини; Розроблено тривимірну модель поверхні для представлення фотоплетизмографічного сигналу. Доведена ефективність розробленої моделі різницевої поверхні для візуального виявлення ступеню порушень гемодинаміки на кінцівках. Запропоновано визначення динамічних кривих як основних параметрів пульсових хвиль для задач моніторингу стану судинного русла.
- Використана двовимірною структурно-зв'язнісна модель для представлення фотоплетизмографічного сигналу. Для вказаного сигналу запропоновано обчислення внутрішньозрізових та міжзрізових функцій, які в подальшому використовуються для оцінки стану судинного русла людини.
- Досліджено та отримано оптимальний кут між світловипромінюючим джерелом світлового потоку та фотоприймачем, що дозволило підвищити чутливість та достовірність оптичного сенсора при врахуванні зміни оптичної товщини середовища з врахуванням зміни інтенсивності при поглинанні і відбитті у шарах шкіри.

## Висновки

- Запропоновано технічні рішення реалізації мультиспектральної системи для дослідження периферичної мікроциркуляції шляхом оброблення фотоплетизмографічної інформації для підвищення функціональних можливостей, який може бути використаний для кабінетів функціональної діагностики, для оперативного визначення порушень периферійного кровообігу в судинах головного мозку.
- Запропоновано рекомендації щодо варіантів реалізації конструкцій волоконно-оптичного перетворювача для оптико-електронної мультиспектральної системи для дослідження гемодинамічних показників, який може визначати порушення кровообігу, зокрема, судин головного мозку.
- Розроблено макет мультиспектральної системи для вимірювання гемодинамічних показників (блок мультиспектральних джерел випромінювання);
- Проведено метрологічне оцінювання отриманих результатів



**Дякую за увагу !**