

# **Оптичні методи реєстрації фотоплетизмографічних сигналів**

**Роботу виконав:  
Павлов Володимир Сергійович,  
студент групи О-156  
Науковий керівник:  
Кожем'яко А.В. к.т.н., доц.**

**ВНТУ, 9 березня 2016 рік**

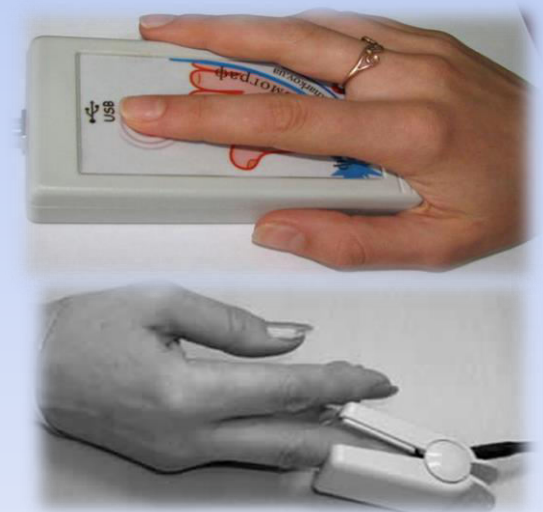
# АКТУАЛЬНІСТЬ

Наша сучасність характеризується швидким розвитком діагностичної апаратури, яка дозволяє фіксувати та контролювати різноманітні фізіологічні показники людини. Разом із зростанням технічного рівня діагностичних систем все більше набуває значення розробка та впровадження нових комп'ютерних методів обробки біомедичної інформації для задач діагностики. Так важливу інформацію про стан організму в цілому, його тканин та органів може надати інформація про стан мікроциркуляції крові.

Актуальність при цьому набувають неінвазивні методи, тобто без втручання безпосередньо у кров'яне русло. У своїй більшості такі методи подають інформацію у вигляді певних числових значень або графіків. Серед них найбільш перспективними є: реографія, капіляроскопія, фотоплетизмографія, ультразвукова доплерографія, лазерна доплеровська флуометрія .

## Мета роботи:

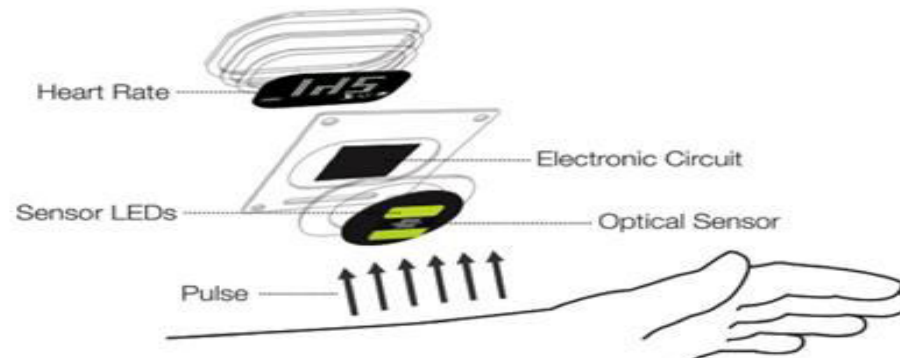
Метою роботи є розробка неінвазивного оптико-електронного пристрою для реєстрації моделі фотоплетизмографічного сигналу та автоматичного методу її обробки, що дозволить поєднати переваги вказаних методів з простотою реалізації та високою достовірністю діагностики.



# ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНИЙ МЕТОД

Одним із сучасних методів діагностики гемодинаміки організму людини, який набуває популярність, є метод фотоплетизмографії, що заснований на випромінюванні та поглинанні світла, яке проходить через ділянку тканини з пульсуючою кров'ю.

Фотоплетизмографія — метод дослідження судинного тону та кровотоку в судинах різного калібру, заснований на графічній реєстрації пульсуючих та більш повільних коливань об'єму будь якої частини тіла, пов'язаних з динамікою кровонаповнення судин. Досліджувану ділянку тканини просвічують інфрачервоним світлом, яке після розсіювання або відбиття (в залежності від конструкції оптичного сенсора), попадає на фотоприймач. Інтенсивність світлового потоку, відбитого або розсіяного цією ділянкою тканини (органа), пропорційно кількості крові, яка в ній знаходиться.



# ВИКОРИСТАННЯ В КАРДІОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ

Метод фотоплетизмографії, враховуючи надзвичайну чутливість судинного русла до зовнішніх факторів, використовують в кардіологічній практиці, наприклад, з метою визначення еластичних властивостей судин, для неінвазивного моніторингу ступеня насиченості крові киснем. Фотоплетизмографія надає протягом короткого періоду часу точну та об'єктивну інформацію про зміни параметрів кровообігу при впливі на організм різних фізичних чинників, що дозволяє використовувати її в фізіотерапії. Діагностичні можливості фотоплетизмографії дозволяють прогнозувати та розраховувати оптимальну дозу фактору впливу і попереджати негативні реакції в результаті передозування впливу фізичних факторів. За останні роки фотоплетизмографія знаходить нові застосування, а саме, у вертебрології, стоматології.

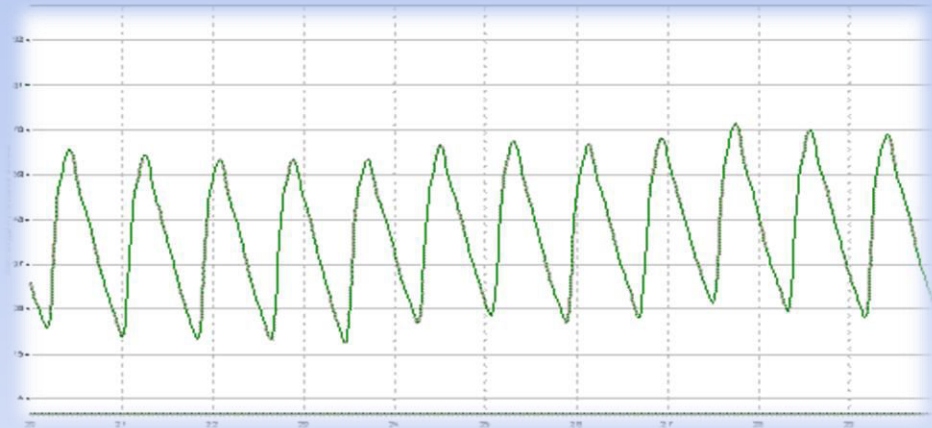


## **Постановка задачі досліджень:**

**Складність аналізу фотоплетизмографічного сигналу також полягає у відсутності єдиної універсальної методики його моделювання та обробки. Отже, проблема полягає в удосконаленні існуючих та розробці нових моделей фотоплетизмографічного сигналу та методів його обробки і що дозволять здійснювати моніторинг гемодинаміки та візуалізувати її стан, при цьому підвищити достовірність інтерпретації результатів і, як наслідок, точність діагностики.**

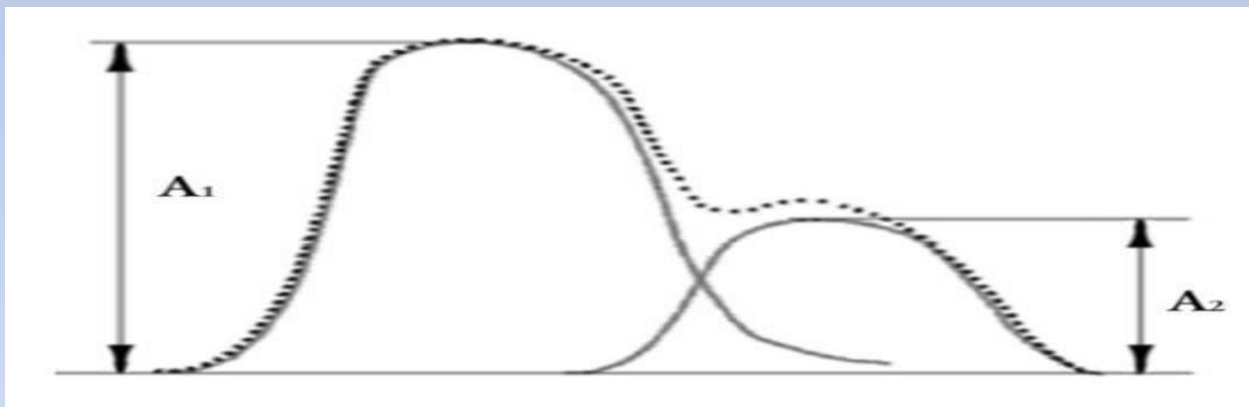
# АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

Усі відомі моделі фотоплетизмографічного сигналу та методи його обробки та аналізу можна поділити на такі групи: 1) графічний; 2) аналітичний; 3) якісний.



## ГРАФІЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Предметом вивчення фотоплетизмографічного сигналу є пульсові хвилі, приклад якої надано на рис. Надана ними інформація відображає на периферичному рівні гемодинаміки діяльність серцево-судинної системи. Модель, що представляє пульсову хвилю, є одновимірною кривою лінією і складається з двох компонентів – анакротичної та дикротичної фази



**Приклад фотоплетизмографічного сигналу пульсової хвилі**

## АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Оскільки фотоплетизмографічний сигнал є періодичним і представлений в часовій області, до нього можна застосовувати Фур'є перетворення. Це дає змогу отримати гармонічні складові пульсової хвилі, які будуть відображати нехарактерні викиди та впадини на фотоплетизмограмі.

Для аналізу цифрового фотоплетизмографічного сигналу використовується дискретне Фур'є перетворення. Отримані коефіцієнти дають можливість визначати відхилення сигналу від норми в порівнянні з еталонними значеннями. Для цього використовується апарат математичної статистики та вводиться ймовірнісний поріг для того, щоб визначити, відповідає отриманий спектральний розклад нормальним показникам чи є певні відхилення, що потребує більш глибокого дослідження.



# ЯКІСНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

Застосовується в експрес діагностиці. Якщо отриманий фотоплетизмографічний сигнал не має чітких характерних амплітудно-часових міток, визначених на рис. 2, то графічний і аналітичний метод малоінформативні. Такі випадки мають місце при діагностуванні патологічних змін в рухомих сегментах хребта при реєстрації фотоплетизмограм до лікувальної процедури мануальним терапевтом (рис. 1) та після процедури (рис. 2).

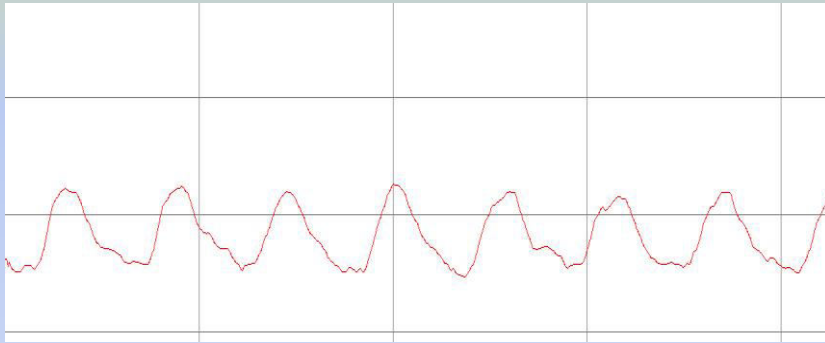


Рис. 1. Приклад фотоплетизмограми до сеансу мануальної терапії

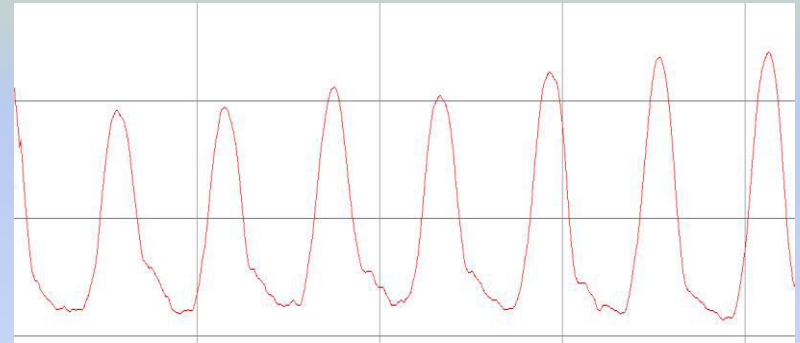
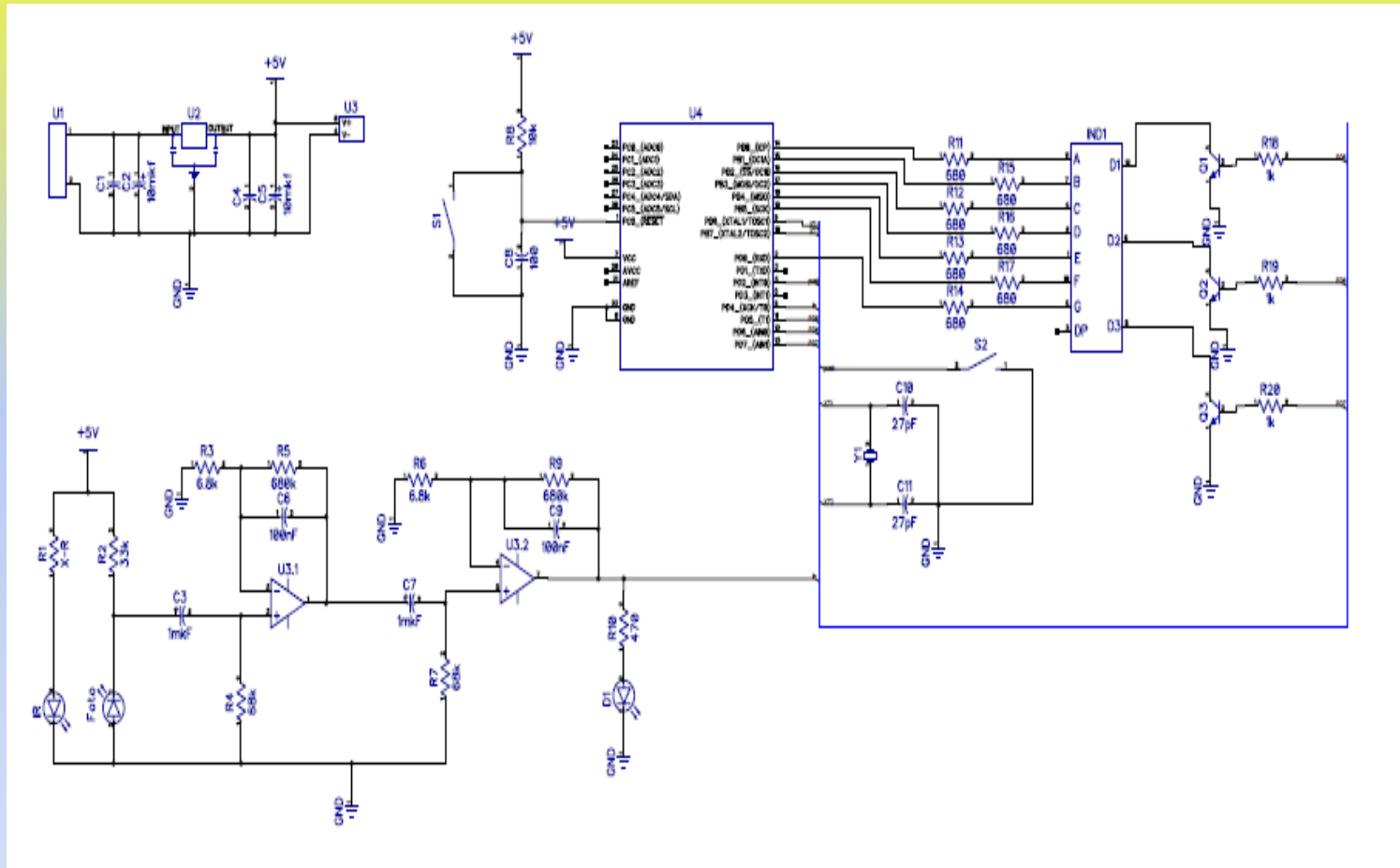


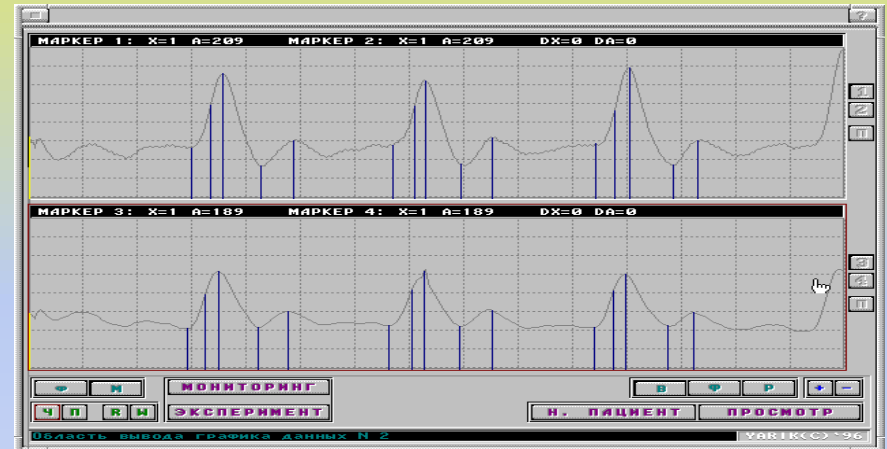
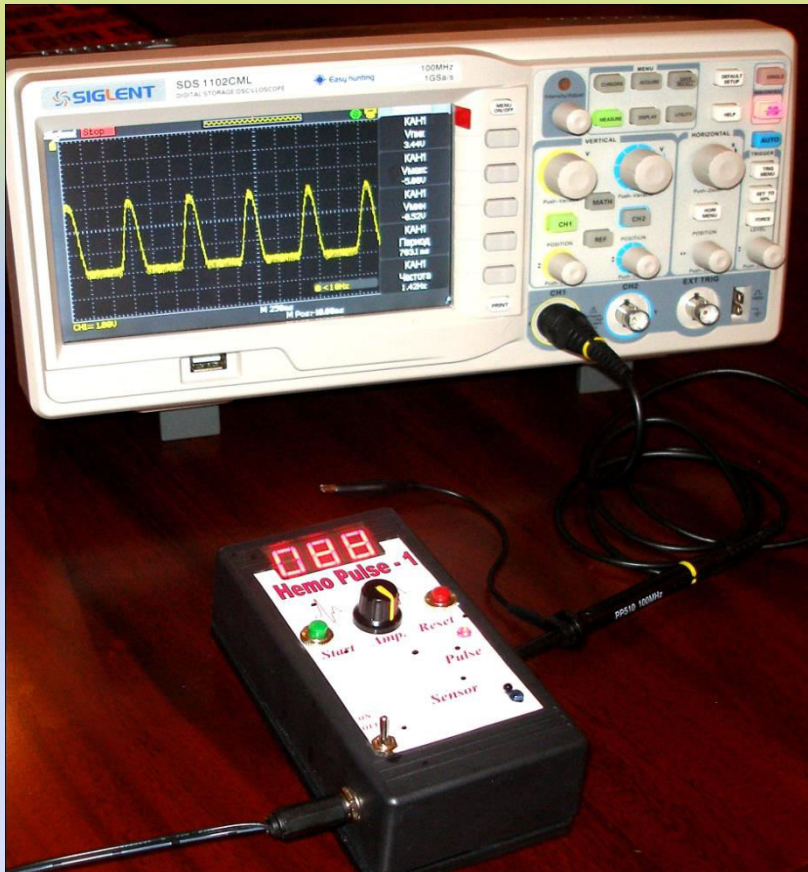
Рис. 2. Приклад фото-плетизмограми після сеансу мануальної терапії

Якісний метод передбачає візуальне сприйняття одновимірної кривої та її інтерпретацію фахівцем

# СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА НЕІНВАЗИВНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

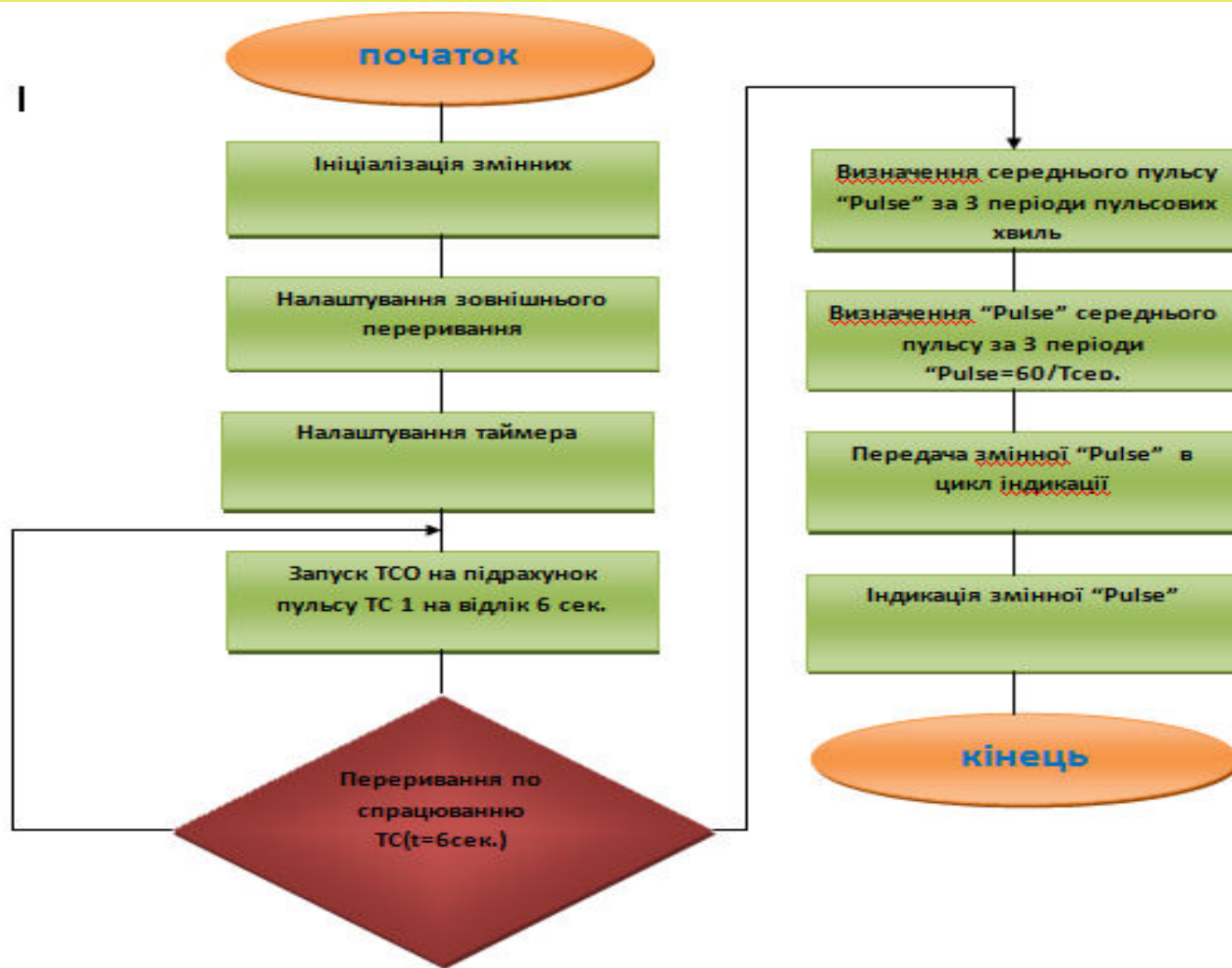


# ЗОВНІШНІЙ ВИГЛЯД МОБІЛЬНОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПРИБАДУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГЕМОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ



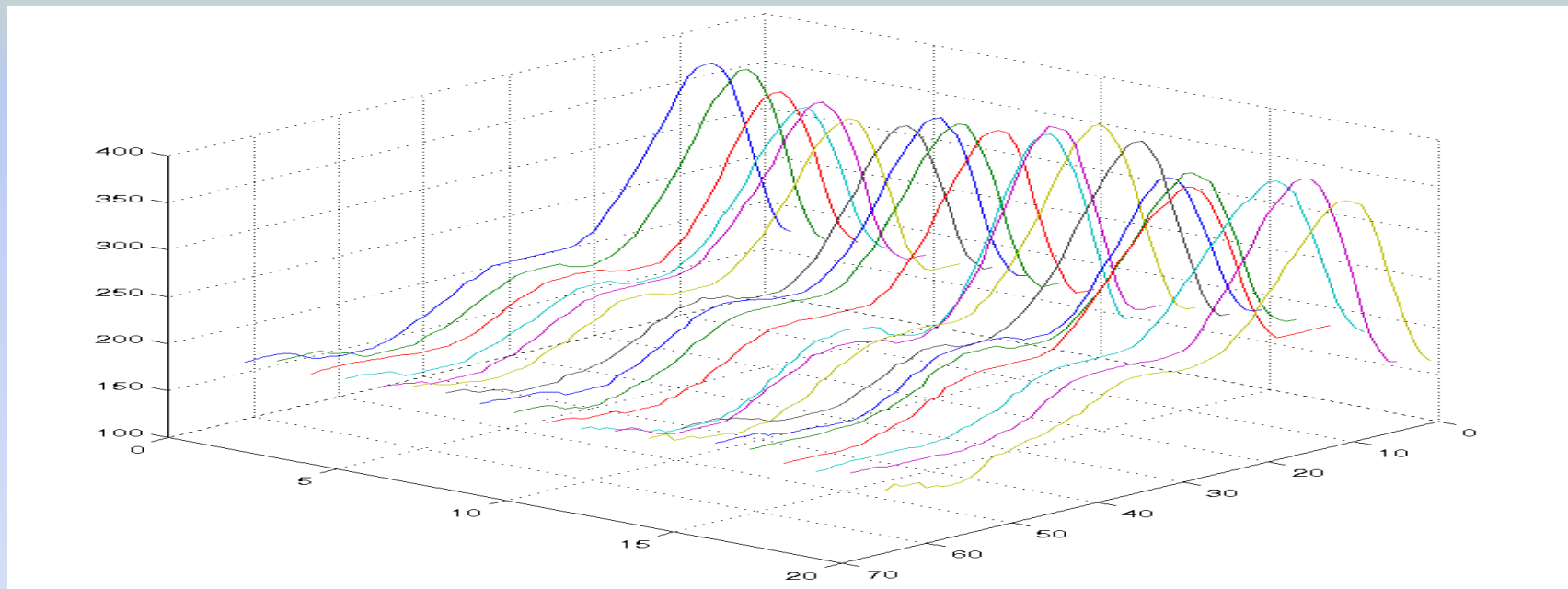
Гемодинамічні показники  
периферійного кровонаповнення

# АЛГОРИТМ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ



# ПРЕДСТАВЛЕННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ТРИВИМІРНОЮ МОДЕЛЛЮ ПОВЕРХНІ

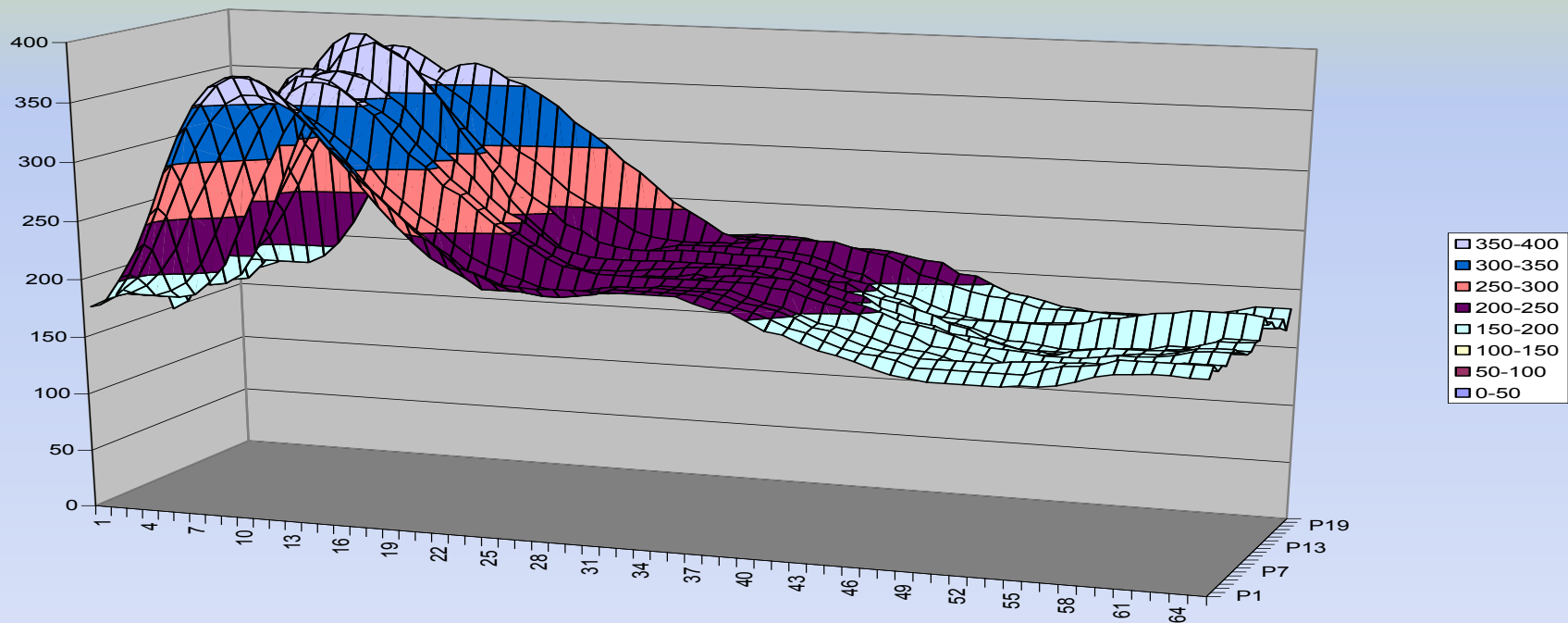
Для представлення фотоплетизмографічного сигналу тривимірною моделлю надану криву лінію розбивають на  $N$  кривих, кількість яких відповідає кількості пульсових хвиль. Отримані криві розташовують таким чином, щоб початок кожної кривої, що відповідає одній пульсовій хвилі, знаходився в одній площині (наприклад, ZOY).



Розташування кривих, що відповідають пульсовим хвилям

# ТРИВИМІРНА МОДЕЛЬ ВХІДНОГО ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

Якщо взяти достатньо щільну сукупність кривих, що відповідають пульсовим хвилям та апроксимувати їх (наприклад за допомогою сплайнів), то отримуємо поверхню, яка є також тривимірною моделлю вхідного фотоплетизмографічного сигналу. Приклад такої моделі наведений на рис. При цьому, кольорове забарвлення (при заданому діапазоні кольорів) покращує наочність візуалізації і дає змогу визначення порушень.

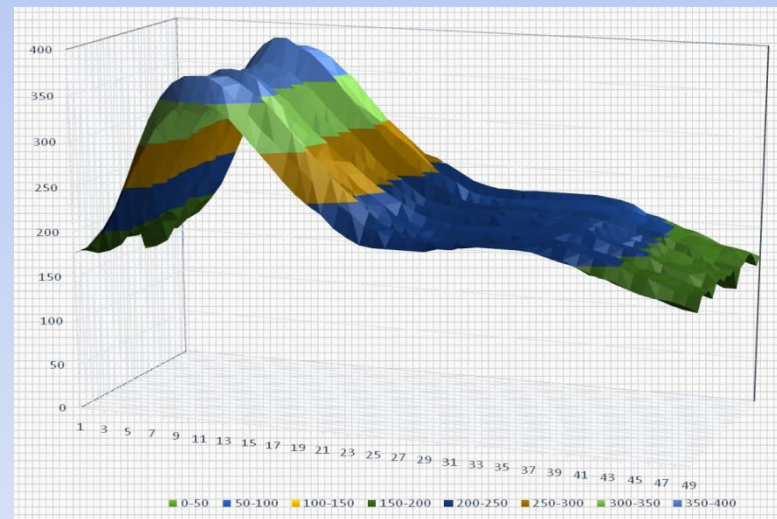
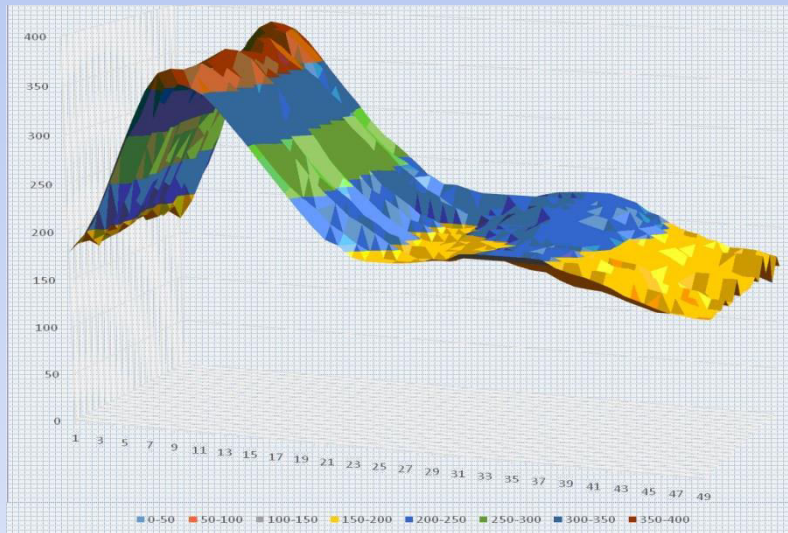


Приклад змодельованої поверхні фотоплетизмографічного сигналу

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ

Експериментальні дослідження проводилися в двох напрямках:

- 1) дослідження тривимірної моделі поверхні для визначення порушень мікроциркуляції крові на кінцівках;
- 2) дослідження структурно-зв'язної моделі для визначення стану гемодинаміки у пацієнтів з вертебрологічними порушеннями.



Приклади побудованих моделей фотоплетизмографічних сигналів

# ПРИКЛАДИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ №1

В порівняльну таблицю було внесено результати візуальної оцінки різницевих поверхонь та результати оцінки порушень фахівцем-експертом за класичним графічним методом. Деякі з цих результатів наведено в табл.1.

Таблиця 1

№ пацієнта	Візуальна оцінка різницевої поверхні (ступінь порушення)	Експертна оцінка за графічним методом (ступінь порушення)
1	висока	вище середнього
2	низька	низька
3	середня	нижче середнього
4	середня	середня
5	вище середнього	вище середнього

За результатами експерименти виявлено 80% збігу результатів за вказаними методами.



## ПРИКЛАДИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ №2

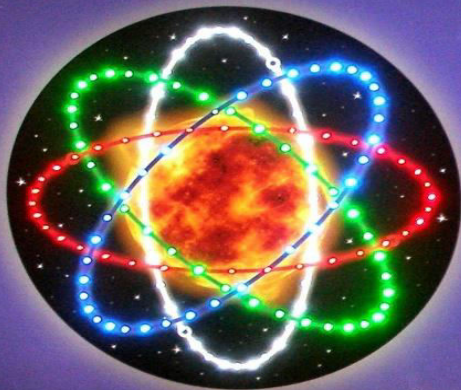
Отримані данні було пронормовано у відсотках. Одночасно лікарем-експертом якісним методом була виконана оцінка змін, які відбулися після проведення відповідної терапії (наприклад, мануального або медикаментозного впливу). Приклади деяких результатів наведено в табл.2.

Таблиця 2

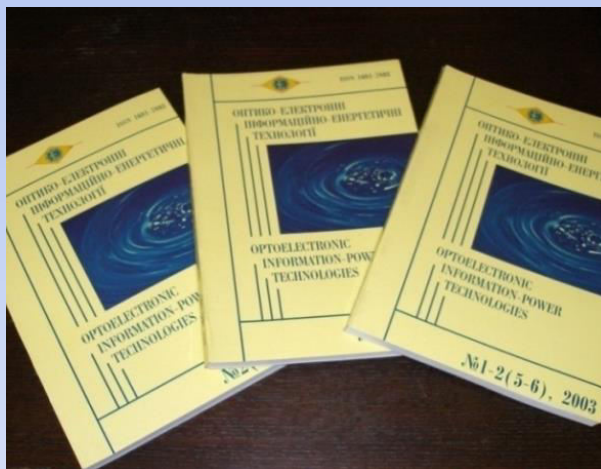
№ пацієнта	, %	, %	Експертна оцінка
1	73	75	добре
2	48	56	задовільно
3	69	74	добре
4	81	86	дуже добре
5	49	59	задовільно

Як показали результати експерименту у 83% (за внутрішньозрізовою функцією) і у 87% (за міжзрізовою функцією) випадків результати діагностики ступеня впливу на хребетно-рухомі сегменти за допомогою побудови структурно-зв'язностної моделі та відповідних зв'язностних функцій збігаються з експертною оцінкою, що довело ефективність запропонованої моделі.

# АПРОБАЦІЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ


$$\begin{aligned}\nabla \cdot E(r, t) &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho(r, t) \\ \nabla \cdot B(r, t) &= \frac{1}{c} \frac{d}{dt} E(r, t) + \frac{1}{\epsilon_0 c} j(r, t) \\ \nabla \cdot B(r, t) &= 0 \\ \nabla \cdot E(r, t) &= \frac{1}{C^2} \frac{d}{dt} E(r, t) + \frac{1}{\epsilon_0 C^2} j(r, t) \\ \nabla \cdot E(r, t) &= \frac{d}{dt} B(r, t)\end{aligned}$$

## Кафедра загальної фізики та фотоніки



Присвячується  
80-річчю професора К.О.Самойлової  
70-річчю доцента В.С.Васильєва  
60-річчю доцента М.Ф.Посохова



Матеріали  
XXXII Міжнародної  
науково-практичної  
конференції

### Застосування лазерів у медицині та біології

11-13 грудня 2014 року

м. Яремче



## **ВИСНОВКИ**

- **Набуло подальший розвиток схемотехнічні реалізації неінвазивного оптико-електронного приладу для аналізу гемодинамічних показників периферійного кровообігу (зокрема, значення пульсу) шляхом застосування сучасної елементної бази**
- **В роботі 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.**
- **Показана можливість використання запропонованих характеристик для аналізу зміни кровонаповнення в хребетно-рухомих сегментах внаслідок мануального або медикаментозного втручання. За результатами експериментальних досліджень доведена висока інформативність вказаних функцій, які в тому числі, можуть бути використані для задач моніторингу та діагностики, що є предметом подальших досліджень.**

**Дякую за увагу!**