

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ
ТЕХНОЛОГІЇ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ:
ПУЛЬСОДІАГНОСТИКА ТА ТКАНИННА ОПТИЧНА
АНІЗОТРОПІЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК 004.891.3:615.47

I-73

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 30.09.2025 р.)

Автори:

С. В. Павлов, Н. І. Заболотна, Ян Лунінь, З. В. Бондаренко

Рецензенти:

Аврунін О. Г. – завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки МОН України, доктор технічних наук, професор

Романюк О. Н. – завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету МОН України, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор

Тітова Н. В. – завідувачка кафедри біомедичної інженерії Національного університету «Одеська Політехніка» МОН України, доктор технічних наук, професор

I-73 Інтелектуалізовані оптико-електронні технології медичної діагностики: пульсодіагностика та тканинна оптична анізотропія / С. В. Павлов, Н. І. Заболотна, Ян Лунінь, З. В. Бондаренко – Вінниця : ВНТУ, 2025. – 204 с.

ISBN 978-966-641-978-4

В монографії викладено підходи щодо розв'язання науково-прикладних задач, яка полягають у необхідності вдосконалення оптичних методів та підвищення інформативності, точності оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованих біотехнічних систем діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії.

Розрахована на науковців, аспірантів, студентів спеціальностей: автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; біомедична інженерія; електроніка; інтелектуальні інформаційні системи.

УДК 004.891.3:615.47

ISBN 978-966-641-978-4 (друк)

ISBN 978-617-8163-66-2 (PDF)

© С. В. Павлов, Н. І. Заболотна,
Ян Лунінь, З. В. Бондаренко, 2025
© ВНТУ, 2025

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	6
ПЕРЕДМОВА (PREFACE)	7
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ОПТИКО- ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ ПУЛЬСОДІАГНОСТИКИ.....	19
1.1 Розвиток методів пульсової діагностики	19
1.2 Аналіз сучасних технологій для аналізу пульсу на основі електрокардіографії, фотоплетизмографії, ехокардіографії.....	24
1.3 Термінологія інтелектуалізованих інформаційно-вимірювальних систем на основі штучного інтелекту для аналізу ЕКГ, ФПГ та ехокардіосигналів.....	26
1.4 Огляд аналогів оптико-електронних приладів для пульсодіагностики	35
1.5 Висновки до першого розділу	41
РОЗДІЛ 2 ОПТИЧНІ МЕТОДИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕЄСТРАЦІЇ ОБРОБЛЕННЯ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ПУЛЬСУ ТА ТЕРМОГРАМ.....	42
2.1 Біометрична ідентифікація фотоплетизмографічних сигналів в клініці щелепно-лицевої хірургії з використанням технологій глибокого навчання	42
2.2 Модель перетворення одновимірної ФПГ сигналу в двовимірну матрицю Грама. Попередня обробка (фільтрація, нормалізація біомедичного сигналу)	50
2.3 Розробка математичної моделі теплового поля інтегральної структури.....	56
2.4 Оптичні методи оцінювання теплограм для оцінювання ступеню ішемії верхніх кінцівок в медицині катастроф	63

2.5 Застосування швидкого перетворення Фур'є для аналізу пульсограм	66
2.6 Висновки до другого розділу	70
 РОЗДІЛ 3 ПОЛЯРИМЕТРИЧНІ ЛАЗЕРНІ МЕТОДИ ТА ОПТИКО- ІНФОРМАЦІЙНА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ТКАНИННОЇ ОПТИЧНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ПАТОЛОГІЙ.....	
3.1 Архітектура оптико-інформаційної інтелектуалізованої системи оцінювання оптичної анізотропії БТ та вимоги до матеріалів дослідження	73
3.2 Спектрально-селективний гібридний метод азимутально інваріантної мюллер-поляриметрії та поляризаційної авто- флуоресценції біологічних шарів при діагностиці міокарда.....	80
3.3 Метод азимутально незалежної поляризаційної діагностики БШ міокарда із аналізом мап азимутів та еліптичностей	90
3.4 Двохвильовий метод комплексної поляризаційної реконструкції та аналізу параметрів фазової анізотропії та дихроїзму плівок жовчі при діагностиці діабету	96
3.5 Метод реконструкції фазових та орієнтаційних параметрів шарів двошарової біологічної структури при дослідженні онкопатології шийки матки в ОІС поляриметричного діагностування	104
3.6 Висновки до третього розділу	113
 РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИЧНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЕНСОРІВ ТА БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ НА ОСНОВІ ПУЛЬСОДІАГНОСТИКИ ТА ТЕРМОМЕТРІЇ.....	
4.1 Підходи до створення оптичних температурних сенсорів на основі брегівських структур для біомедичних досліджень	115
4.2 Метод і технологія реалізації оптичних сенсорів на основі брегівських ґраток	116
4.3 Принципи реалізації комбінованого оптоволоконного інструменту	124

4.4 Застосування згорткових нейронних мереж для підвищення діагностичної точності та ефективності лікування хворих на діабет в пульсодіагностиці	127
4.5 Висновки до четвертого розділу.....	132
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ НА ОСНОВІ ПУЛЬСОДІАГНОСТИКИ ТА ТЕРМОМЕТРІЇ.....	
5.1 Розробка структурної схеми оптико-електронної системи з оптичними сенсорами та медико-технічних вимог до реалізації інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану	134
5.2 Рекомендації щодо вибору елементної бази сенсорної частини	139
5.3 Рекомендації щодо розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики	144
5.4 Особливості інформаційно-вимірювальної системи для візуалізації пульсограм на основі SAVVY	156
5.5 Аналіз пульсової хвилі на базі інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики	162
5.6 Висновки до п'ятого розділу	166
ВИСНОВКИ	167
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
ДОДАТКИ	192
Додаток А Загальний вигляд інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії	193
Додаток Б Реалізація програмного забезпечення	194
Додаток В Короткий опис використаних підпрограм	200

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗНМ	згорткові нейронні мережі
ШІ (AI)	штучний інтелект
ІЧ	інфрачервоне випромінювання
ЛД	лазерні діоди
ФД	фотодіод
ССЗ	серцево-судинні захворювання
ПЗЗ	прилади із зарядовим зв'язком
ФП	Фур'є перетворення
ВБГ	волоконна брегівська ґратка
ОТО	оптична тканинна оксиметрія
НД	неінвазивна діагностика
БТ	біотканина
ПМ	показник мікроциркуляції
ВСР	варіабельність серцевого ритму
ФПГ	фотоплетізмограма
ЕКГ	електрокардіограма
ММЗ	мюллер-матричних зображення
ЕКГ	ехокардіографія
БПФ	блок поляризаційної фільтрації
БТ	біологічна тканина
БШ	біологічний шар

ПЕРЕДМОВА

Монографію присвячено розв'язанню науково-прикладних задач, які полягають у необхідності вдосконалення оптичних методів та підвищення інформативності, точності оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії.

В роботі представлено основні наукові результати:

- Формування еталон-масок шляхом застосування методу швидкого Фур'є-перетворення, який базується на використанні принципу перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон, що дозволило підвищити достовірність аналізу пульсограм.
- Розвиток методу згорткових нейронних мереж шляхом, введення залишкових блоків в ResNet, що дозволяє мережі ефективно вивчати відображення ідентичностей та точно визначити ефективність лікування та оцінити тривалість реабілітаційного періоду; виявити всілякі судинні порушення у хворих на цукровий діабет.
- Удосконалення моделі біометричної автентифікації, для якої було використано гібридну модель, що поєднує EfficientNetV2 B0 з мережею логико-часового типу для автентифікації користувача, що дозволило проводити ідентифікації в реальному часі для безперервної біометричної автентифікації пульсограм в різних напрямках біомедичних досліджень.
- Продемонстровано підвищення достовірності діагностики двошарових двокомпонентних БТ шийки матки в ОІС поляриметричного діагностування за методом реконструкції та аналізу фазових та орієнтаційних параметрів підповерхневих шарів при реалізації розроблених моделей вирішальних правил на нечіткій логіці. Отримано зростання достовірності на 2% при реконструкції орієнтаційного розподілу елементів ММЗ підповерхневого БШ зразка шийки матки; на 3,3% при реконструкції фазового розподілу елементів ММЗ підповерхневого шару біологічного тканинного зразка.
- Представлення архітектури інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії для оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень аналізу визначення ступеню патологічних процесів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що результати досліджень суттєво дозволило розширити функціональні можливості оптико-електронних систем і технологій, а саме: дослідити статистичні методи аналізу й обробки інформативних ознак при оцінюванні пульсограм та термограм.

На основі теоретичних досліджень реалізовано розвинуто метод оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії, що забезпечує аналіз інформації про стан тканинної мікроциркуляції, вазодилатації, запалення та інші процесів, які можуть сприяти підвищенню температури ділянки тіла.

Це має особливу цінність і мотивацію для подальшого розвитку медичних інформаційних систем і технологій, оскільки запропоновані методи, моделі і технології, зменшуючи суб'єктивність дослідника, сприяють створенню нового класу медичних інформаційних технологій для дослідження варіабельності пульсу та оцінювання запалювальних процесів.

Ключові слова: пульсодіагностика, термограми, варіабельність пульсу, мікроциркуляція біотканин, система, оптичне випромінювання, розсіювання світла, статистичний, Фур'є-перетворення, кореляційний і фрактальний аналіз поляризаційних зображень, інтелектуалізація, підтримка прийняття рішень.

Над створенням монографії працювали:

Вступ – Павлов С.В., Ян Лунінь, Заболотна Н.І.

Розділ 1. Аналітичний огляд методів та оптико-електронних приладів та систем для пульсодіагностики – Ян Лунінь, Павлов С.В.

Розділ 2. Оптичні методи та інтелектуалізовані технології реєстрації оброблення біомедичної інформації при оцінюванні пульсу та термограм – Ян Лунінь, Павлов С.В., Бондаренко З.В.

Розділ 3. Поляриметричні лазерні методи та оптико-інформаційна інтелектуалізована система оцінювання тканинної оптичної анізотропії при діагностиці патологій – Заболотна Н.І.

Розділ 4. Реалізація оптичних температурних сенсорів та біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії – *Ян Лунінь, Павлов С.В.*

Розділ 5. Розробка програмно-алгоритмічного забезпечення роботи інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії – *Ян Лунінь, Павлов С.В., Бондаренко З.В.*

Авторський колектив висловлює щирю подяку рецензентам цієї монографії завідувачу кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки МОН України, доктору технічних наук, професору **Олегу АВРУНІНУ**, завідувачу кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету МОН України, Заслуженому діячу науки і техніки України, доктору технічних наук, професору **Олександру РОМАНЮКУ**, завідувачці кафедри біомедичної інженерії Національного університету «Одеська Політехніка» МОН України, доктору технічних наук, професору **Наталії ТІТОВІЙ** за цінні зауваження та пропозиції, які були враховані під час підготовки видання.

Автори вдячні професору кафедри електроніки та інформаційних технологій факультету електричної техніки та комп'ютерних наук Люблінського університету технологій (Польща), доктору технічних наук, професору **Вальдемару ВУЙЦІКУ**, за мудрі поради та можливість проведення наукових досліджень на сучасному оптичному обладнанні на базі інноваційного технологічного парку, директору ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, к.т.н. **Володимиру ХОЛІНУ** за фахові рекомендації та технічну допомогу, к.ф.-м.н, старшим науковим співробітникам відділу когерентної і квантової оптики Інституту фізики НАН України **Наталії КАЧАЛОВІЙ** та **Валерію ВОЙЦЕХОВИЧУ** за фахові рекомендації щодо підготовки видання, а також колективу редакційно-видавничому відділу ВНТУ за допомогу у роботі над виданням.

PREFACE

The monograph is devoted to solving scientific and applied problems, which consist in the need to improve optical methods and increase the informativeness, accuracy of evaluating pulsograms and thermal images by developing an intellectualized biotechnical system for diagnosing the functional state based on pulse diagnostics and thermometry.

The work presents the main scientific results:

- Formation of reference masks by applying the fast Fourier transform method, which is based on the principle of converting discrete data from the time to the frequency range, which allowed to increase the reliability of pulsogram analysis.

- Development of the convolutional neural network method by introducing residual blocks into ResNet, which allows the network to effectively study the mapping of identities and accurately determine the effectiveness of treatment and assess the duration of the rehabilitation period; detect all kinds of vascular disorders in patients with diabetes.

- Improvement of the biometric authentication model, for which a hybrid model combining EfficientNetV2 B0 with a logical-temporal network for user authentication was used, which allowed for real-time identification for continuous biometric authentication of pulsograms in various areas of biomedical research.

- An increase in the reliability of diagnostics of two-layer two-component BT of the cervix in the OIS of polarimetric diagnostics using the method of reconstruction and analysis of phase and orientation parameters of subsurface layers when implementing the developed models of decision rules on fuzzy logic was demonstrated. An increase in reliability by 2% was obtained when reconstructing the orientational distribution of MMZ elements of the subsurface BSh sample of the cervix; by 3.3% when reconstructing the phase distribution of MMZ elements of the subsurface layer of a biological tissue sample.

- Presentation of the architecture of an intelligent biotechnical system for diagnosing a functional state based on pulse diagnostics and thermometry for evaluating pulsograms and thermal imaging images, analyzing them to determine the degree of pathological processes.

The practical value of the work lies in the fact that the results of the research significantly expanded the functional capabilities of optoelectronic systems and technologies, namely: to investigate statistical methods for

analyzing and processing informative features when evaluating pulsograms and thermograms.

Based on theoretical research, a method for evaluating pulsograms and thermal imaging images was developed by developing an intelligent biotechnical system for diagnosing a functional state based on pulse diagnostics and thermometry, which provides analysis of information about the state of tissue microcirculation, vasodilation, inflammation and other processes that can contribute to an increase in the temperature of a body part.

This is of particular value and motivation for the further development of medical information systems and technologies, since the proposed methods, models and technologies, reducing the subjectivity of the researcher, contribute to the creation of a new class of medical information technologies for the study of pulse variability and the assessment of inflammatory processes.

Keywords: pulse diagnostics, thermograms, pulse variability, microcirculation of biotissues, system, optical radiation, light scattering, statistical, Fourier transform, correlation and fractal analysis of polarization images, intellectualization, decision support.

The following worked on the creation of the monograph:

Introduction – *Pavlov S.V., Yang Longyin, Zabolotna N.I.*

Section 1. Analytical review of methods and optoelectronic devices and systems for pulse diagnostics – *Yang Longyin, Pavlov S.V.*

Section 2. Optical methods and intelligent technologies for registering biomedical information processing when assessing pulse and thermograms – *Yang Longyin, Pavlov S.V., Bondarenko Z.V.*

Section 3. Polarimetric laser methods and optical-information intelligent system for assessing tissue optical anisotropy in diagnosing pathologies – *Zabolotna N.I.*

Section 4. Implementation of optical temperature sensors and a biotechnical system for diagnosing a functional state based on pulse diagnostics and thermometry – *Yang Longyin, Pavlov S.V.*

Section 5. Development of software and algorithmic support for the operation of an intelligent biotechnical system for diagnosing a functional state based on pulse diagnostics and thermometry – *Yang Longyin, Pavlov S.V., Bondarenko Z.V.*

The author team expresses sincere gratitude to the reviewers of this monograph, the head of the Department of Biomedical Engineering of the

Kharkiv National University of Radioelectronics of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor **Oleg AVRUNIN**, the head of the Department of Software of the Vinnytsia National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor **Oleksandr ROMANIUK**, the head of the Department of Biomedical Engineering of the National University "Odesa Polytechnic" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor **Natalia TITOVA** for valuable comments and suggestions that were taken into account during the preparation of the publication.

The authors are grateful to Professor of the Department of Electronics and Information Technologies, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Lublin University of Technology (Poland), Doctor of Technical Sciences, Professor **Waldemar WÓJCIK**, for wise advice and the opportunity to conduct scientific research on modern optical equipment based on the innovative technology park, Director of PE "Fotonika Plus", Cherkasy, Ph.D. **Volodymyr KHOLIN** for professional recommendations and technical assistance, to Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Fellows of the Department of Coherent and Quantum Optics of the Institute of Physics of the NAS of Ukraine **Natalia KACHALOVA** and **Valery VOITSEKHOVYCH** for professional recommendations on the preparation of the publication, as well as to the team of the editorial and publishing department of VNTU for assistance in working on the publication.

ВСТУП

В останні роки з багатьох причин питанням експрес-діагностики функціонального стану здоров'я людини в різних ситуаціях приділяється підвищена увага. Найбільша перевага при здійсненні діагностики функціонального стану здоров'я людини віддається безконтактним неінвазивним методам, особливо у випадках їх індивідуального використання поза медичним закладом. При цьому більшість класичних неінвазивних методів експрес-діагностики (наприклад, по артеріальному тиску, температурі, частоті серцевих скорочень), які людина може реалізувати самостійно в потрібний момент, практично повністю вичерпали себе в отриманні нової інформації.

Традиційна китайська медицина довгий час покладалася на діагностику пульсу як на ключовий метод оцінювання стану пацієнта. Ця методика передбачає аналіз характеристик пульсу для визначення стану здоров'я різних органів і систем в організмі. Однак суб'єктивний характер діагностики пульсу може призвести до варіацій у сприйнятті серед практикуючих лікарів, особливо при діагностиці складних станів, таких як діабет. Щоб вирішити цю проблему, інтеграція сучасних технологій, таких як алгоритми глибокого навчання, може допомогти пом'якшити людські помилки та підвищити діагностичну послідовність.

На відміну від існуючих методів експрес-діагностики, пульсодіагностика дозволяє отримати додаткову інформацію про стан здоров'я людини в різних ситуаціях. Тому багато вчених і фахівців виявляють до нього підвищену увагу. Дуже важливо мати інформацію про ефективність доставки кисню до біологічних тканин для контролю динаміки відновлювальних процесів організму. Контроль за ефективністю доставки, споживання та постачання тканин киснем давно є одним з основоположних методів оцінки стану людського організму в клінічній практиці. Тому в особистому користуванні для цих цілей використовується трансмісійна пульсоксиметрія, яка дозволяє реєструвати пульсову хвилю і вимірювати пульс і насиченість киснем гемоглобіну в крові. Моделювання та аналіз форми імпульсного сигналу, оцінка швидкості його поширення та вимірювання серцевого викиду на його основі допомагають лікарям оцінити функціональний стан серцево-судинної та інших систем людини.

Саме оптична пульсдіагностування тканин набула більшого поширення для експрес-діагностики. У той же час дослідження показують, що

інформація про стан системи мікроциркуляції, температури в біологічних тканинах часто необхідна як в різних частинах тіла, так і на різній глибині.

Більше широкий підхід трактує мікроциркуляцію як весь комплекс процесів обміну та транспорту рідини в тканинах, відводячи для внутрішньосудинних процесів поняття «мікрогемоциркуляція». Мікроциркуляторна ланка у серцево-судинній системі можна визначити як центральне, тому що всі інші ланки цієї системи, по суті, покликані забезпечити основну функцію, що виконується цим ланкою, – транскапілярний обмін. Принципове значення має оцінка ступеня порушень мікроциркуляції при вивченні патогенезу цукрового діабету, атеросклерозу, синдрому Рейно, гострого панкреатиту та інших захворювань, оскільки дана система відіграє ключову роль у розвитку трофічних порушень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наукові та практичні дослідження виконувались відповідно до наукового напрямку ННЛ біомедичної оптики та фотоніки кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем і систем Вінницького національного технічного університету в межах виконання держбюджетних науково-дослідної робіт та грантів, які пов'язані з розробкою лазерних та фотонних технологій для діагностування, а саме «Розробка лазерно-фотонного лікувально-діагностичного комплексу медичної реабілітації пацієнтів з політравмами різного ступеня важкості» (Грант Національного фонду наукових досліджень України, № 209/0135 від 01.08.2023 року, ДР № 0123U101295, 61/0135 від 01.03.2024 року, ДР № 0124U002532), Розробка оптико-електронної системи тривимірної реконструкції в медицині катастроф для покращення медичної діагностики, лікування та реабілітації військовослужбовців № 61/0135 від 01.03.2024 року (ДР № 0124U001134).

Мета роботи - підвищення інформативності, точності оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії.

У даній роботі було поставлено такі задачі:

- зробити короткий аналіз методів та неінвазивних оптико-електронних систем та приладів для оцінювання серцево-судинної системи;

- Довести необхідність застосування неінвазивних оптико-електронних приладів для оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень;
- сформувати еталон-маски шляхом застосування методу швидкого Фур'є-перетворення для аналізу пульсограм, який базується на використанні принципу перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон;
- Продемонструвати перспективність застосування принципів нечіткої логіки в розробленій ОІС при використанні методу азимутально незалежної поляризаційної діагностики БШ міокарда із аналізом мап азимутів та еліптичностей поляризації. Досягнуто підвищення рівня достовірності методів диференціальної діагностики «ХІХС»–«ГКН» БШ міокарду: за аналізом мап азимутів на 7,2%; за аналізом мап еліптичностей на 4,8% в системі за рахунок ідентифікації баз вимірювань за моделями на основі нечіткої логіки.
- Встановити, що комплексне поєднання аналізу реконструйованих параметрів анізотропії плівок жовчі з параметрами дихроїзму, визначених на двох довжинах хвиль, та застосування нечіткої логіки для розробки моделей ПППР в ОІС поляриметричного діагностування сприяло підвищенню діагностики цукрового діабету 2-го типу: при аналізі вимірюваних розподілів, фазових зсувів, кругового і лінійного дихроїзму на 2,8%; при аналізі розподілів орієнтації оптичних осей на 0,5%.
- Продемонструвати підвищення достовірності діагностики двошарових двокомпонентних БТ шийки матки в ОІС поляриметричного діагностування за методом реконструкції та аналізу фазових та орієнтаційних параметрів підповерхневих шарів при реалізації розроблених моделей вирішальних правил на нечіткій логіці. Отримано зростання достовірності на 2% при реконструкції орієнтаційного розподілу елементів ММЗ підповерхневого БШ зразка шийки матки; на 3,3% при реконструкції фазового розподілу елементів ММЗ підповерхневого шару біологічного тканинного зразка.
- розвинути метод згорткових нейронних мереж на основі залишкових блоків в ResNet для відображення ідентичностей та визначення ефективності лікування;
- розробити архітектуру інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики

та термометрії для оцінювання фізіологічного стану мікроциркуляції в області опромінення низькоінтенсивним випромінювання, зокрема, при політравмах різного ступеню важкості.

- Провести фізіологічні вимірювання в лабораторних умовах та провести метрологічне оцінювання отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес дослідження оптичних методів та дослідження показників пульсової хвилі для аналізу різних захворювань за допомогою інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії

Предмет дослідження – оптичні методи, теплові поля ділянки, характеристики пульсової хвилі, інтелектуалізована біотехнічна система діагностування функціонального стану

Методи дослідження базуються на основних положеннях системного аналізу і теорії біомедичних засобів, математичного моделювання для аналізу і оброблення біомедичної інформації, математичної статистики і комп'ютерної обробки біомедичної інформації, теорії алгоритмів і оптико-електронних ланцюгів для аналізу схем.

Новизна роботи:

- Вперше сформовано еталон-маски шляхом застосування методу швидкого Фур'є-перетворення, який базується на використанні принципу перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон, що дозволило підвищити достовірність аналізу пульсограм.
- Отримало подальший розвиток метод згорткових нейронних мереж шляхом, введення залишкових блоків в ResNet, що дозволяє мережі ефективно вивчати відображення ідентичностей та точно визначити ефективність лікування та оцінити тривалість реабілітаційного періоду; виявити всілякі судинні порушення у хворих на цукровий діабет.
- Продемонстровано перспективність застосування принципів нечіткої логіки в розробленій ОІС при використанні методу азимутально незалежної поляризаційної діагностики БШ міокарда із аналізом мап азимутів та еліптичностей поляризації. Досягнуто підвищення рівня достовірності методів диференціальної діагностики «ХІХС»–«ГКН» БШ міокарду: за аналізом мап азимутів на 7,2%; за аналізом мап еліптичностей на 4,8% в системі за рахунок ідентифікації баз вимірювань за моделями на основі нечіткої логіки.

- Встановлено, що комплексне поєднання аналізу реконструйованих параметрів анізотропії плівок жовчі з параметрами дихроїзму, визначених на двох довжинах хвиль, та застосування нечіткої логіки для розробки моделей ПППР в ОІС поляриметричного діагностування сприяло підвищенню діагностики цукрового діабету 2-го типу: при аналізі виміряних розподілів, фазових зсувів, кругового і лінійного дихроїзму на 2,8%; при аналізі розподілів орієнтації оптичних осей на 0,5%.
- Продемонстровано підвищення достовірності діагностики двошарових двокомпонентних БТ шийки матки в ОІС поляриметричного діагностування за методом реконструкції та аналізу фазових та орієнтаційних параметрів підповерхневих шарів при реалізації розроблених моделей вирішальних правил на нечіткій логіці. Отримано зростання достовірності на 2% при реконструкції орієнтаційного розподілу елементів ММЗ підповерхневого БШ зразка шийки матки; на 3,3% при реконструкції фазового розподілу елементів ММЗ підповерхневого шару біологічного тканинного зразка.
- Удосконалено модель біометричної автентифікації, для якої було використано гібридну модель, що поєднує EfficientNetV2 B0 з мережею логико-часового типу для автентифікації користувача, що дозволило проводити ідентифікації в реальному часі для безперервної біометричної автентифікації пульсограм в різних напрямках біомедичних досліджень.
- Вперше запропоновано архітектуру інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії для оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень аналізу визначення ступеню патологічних процесів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що результати досліджень суттєво дозволило розширити функціональні можливості оптико-електронних систем і технологій, а саме: дослідити статистичні методи аналізу й обробки інформативних ознак при оцінюванні пульсограм та термограм.

На основі теоретичних досліджень реалізовано розвинуто метод оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального

стану на основі пульсодіагностики та термометрії, що забезпечує аналіз інформації про стан тканинної мікроциркуляції, вазодилатації, запалення та інші процесів, які можуть сприяти підвищенню температури ділянки тіла.

Використовуючи інтелектуальні методи аналізу, як процеси машинного навчання для класифікації та прийняття рішень підвищено точність діагностування до 84 % та ефективність подальшої медичного лікування та реабілітації.

Це має особливу цінність і мотивацію для подальшого розвитку медичних інформаційних систем і технологій, оскільки запропоновані методи, моделі і технології, зменшуючи суб'єктивність дослідника, сприяють створенню нового класу медичних інформаційних технологій для дослідження варіабельності пульсу та оцінювання запалювальних процесів.

ВИСНОВКИ

Розвинуто методологію розвитку оптичних методів досліджень біологічних оцінювання пульсограм та термограм шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термограм, що дозволило підвищити точність діагностування порівняно з традиційними методами діагностування (реоплетизмографічними ультразвуковими, та інш.), а також розширило функціональні можливості біомедичної інженерії в напрямку експрес-діагностування пульсу та запальних процесів.

На основі теоретичних досліджень реалізовано інтелектуалізовану біотехнічну систему діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термограм, що є визначальним у біомедичній діагностиці. Запропоновано оптико-електронні прилади та системи, які дають можливість визначати варіабельність пульсу та патологічні процеси при запалюваннях.

Отримано такі наукові та практичні результати:

- Вперше сформовано еталон-маски шляхом застосування методу швидкого Фур'є-перетворення, який базується на використанні принципу перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон, що дозволило підвищити достовірність аналізу пульсограм.
- Вперше розроблено експертну модель для прогнозування ступеня приживлення зубних імплантатів у пацієнтів у хворих на діабет на основі оцінювання пульсограм, що дозволило підвищити ефективність лікування.
- Отримало подальший розвиток метод згорткових нейронних мереж шляхом, введення залишкових блоків в ResNet, що дозволяє мережі плавно вивчати відображення ідентичностей та точно визначити ефективність лікування; уточнити тривалість реабілітаційного періоду; виявити всілякі судинні порушення у хворих на цукровий діабет; оцінити ефективність місцевого знеболювання.
- Продемонстровано перспективність застосування принципів нечіткої логіки в розробленій ОІС при використанні методу азимутально незалежної поляризаційної діагностики БШ міокарда із аналізом мап

азимутів та еліптичностей поляризації. Досягнуто підвищення рівня достовірності методів диференціальної діагностики «ХІХС»—«ГКН» БШ міокарду: за аналізом мап азимутів на 7,2%; за аналізом мап еліптичностей на 4,8% в системі за рахунок ідентифікації баз вимірювань за моделями на основі нечіткої логіки.

- Встановлено, що комплексне поєднання аналізу реконструйованих параметрів анізотропії плівок жовчі з параметрами дихроїзму, визначених на двох довжинах хвиль, та застосування нечіткої логіки для розробки моделей ПППР в ОІС поляриметричного діагностування сприяло підвищенню діагностики цукрового діабету 2-го типу: при аналізі вимірюваних розподілів, фазових зсувів, кругового і лінійного дихроїзму на 2,8%; при аналізі розподілів орієнтації оптичних осей на 0,5%.
- Продемонстровано підвищення достовірності діагностики двошарових двокомпонентних БТ шийки матки в ОІС поляриметричного діагностування за методом реконструкції та аналізу фазових та орієнтаційних параметрів підповерхневих шарів при реалізації розроблених моделей вирішальних правил на нечіткій логіці. Отримано зростання достовірності на 2% при реконструкції орієнтаційного розподілу елементів ММЗ підповерхневого БШ зразка шийки матки; на 3,3% при реконструкції фазового розподілу елементів ММЗ підповерхневого шару біологічного тканинного зразка.
- Удосконалено модель біометричної автентифікації: було використано гібридну модель, що поєднує EfficientNetV2 B0 з мережею логіко-часового типу для автентифікації користувача, що дозволило проводити ідентифікації в реальному часі для безперервної біометричної автентифікації пульсограм в різних напрямках біомедичних досліджень.
- Вперше запропоновано архітектуру інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії для оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень аналізу визначення ступеню патологічних процесів.

Практична цінність роботи полягає в тому, що результати досліджень суттєво дозволило розширити функціональні можливості оптико-електронних систем і технологій, а саме: дослідити статистичні методи аналізу й обробки інформативних ознак при оцінюванні пульсограм та термограм.

На основі теоретичних досліджень реалізовано розвинуто метод оцінювання пульсограм та тепловізійних зображень шляхом розроблення інтелектуалізованої біотехнічної системи діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та термометрії, що забезпечує аналіз інформації про стан тканинної мікроциркуляції, вазодилатації, запалення та інші процесів, які можуть сприяти підвищенню температури ділянки тіла.

Використовуючи інтелектуальні методи аналізу, як процеси машинного навчання для класифікації та прийняття рішень підвищено точність діагностування до 84 % та ефективність подальшої медичного лікування та реабілітації.

Це має особливу цінність і мотивацію для подальшого розвитку медичних інформаційних систем і технологій, оскільки запропоновані методи, моделі і технології, зменшуючи суб'єктивність дослідника, сприяють створенню нового класу медичних інформаційних технологій для дослідження варіабельності пульсу та оцінювання запалювальних процесів.

Монографія розрахована на науковців, аспірантів, студентів спеціальностей: автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; біомедична інженерія; електроніка; інтелектуальні інформаційні системи.

Результати використано в межах спеціальностей під час викладання таких дисциплін, як: «Нанотехнології в біології та медицині», «Біомедичні прилади, апарати і комплекси. Діагностична техніка», «Сучасні інформаційні технології в галузі хімічної інженерії та біоінженерії».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fu, S.E.; Lai, S.P. A system for pulse measurement and analysis of Chinese medicine. In Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society's 11th Annual International Conference, Seattle, WA, USA, 9–12 November 1989; pp. 1695–1696.
2. Yu, Y.C.; Yeh, S.J.; Chiu, C.C. Analysis of autonomic nervous system by applying artificial neural network to categorize pulse signals from Finapres. *Clin. Auton. Res.* 1996, 5, 295–1996.
3. Wang, B.H.; Lin, X.J. Detecting system and power-spectral analysis of pulse signals of human body. In Proceedings of the ICSP'98, 1998 Fourth International Conference on Signal Processing, Beijing, China, 12–16 October 1998; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 1998; pp. 1646–1649.
4. Yoon, Y.Z.; Lee, M.H.; Soh, K.S. Pulse type classification by varying contact pressure. *IEEE Eng. Med. Biol.* 2000, 19, 106–110. *Bioengineering* 2024, 11, 561.
5. Wang, H.; Cheng, Y. A quantitative system for pulse diagnosis in traditional Chinese medicine. In Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Shanghai, China, 17–18 January 2006; Volume 7, pp. 5676–5679.
6. Bote-Curiel, L.; Muñoz-Romero, S.; Gerrero-Currieses, A.; Rojo-Álvarez, J.L. Deep learning and big data in healthcare: A double review for critical beginners. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2331.
7. Mirmozaffari, M.; Yazdani, M.; Boskabadi, A.; Dolatsara, H.A.; Kabirifar, K.; Golilarz, N.A. A novel machine learning approach combined with optimization models for eco-efficiency evaluation. *Appl. Sci.* 2020, 10, 5210.
8. Roy, S.; Meena, T.; Lim, S.J. Demystifying supervised learning in healthcare 4.0: A new reality of transforming diagnostic medicine. *Diagnostics* 2022, 12, 2549.
9. Tieu, A.; Kroen, E.; Kadish, Y.; Liu, Z.; Patel, N.; Zhou, A.; Yilmaz, A.; Lee, S.; Deyer, T. The Role of Artificial Intelligence in the Identification and Evaluation of Bone Fractures. *Bioengineering* 2024, 11, 338.
10. Xu, W.; Fu, Y.-L.; Zhu, D. ResNet and its application to medical image processing: Research progress and challenges. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2023, 240, 107660.

11. Deng,X.; Ge, X.; Xue, Q.; Liu, H. Application of Imaging Examination Based on Deep Learning in the Diagnosis of Viral Senile Pneumonia. *Contrast Media Mol. Imaging* 2022, 2022, 6964283
12. Фізичні основи біомедичної оптики : монографія / [Павлов С. В., Кожем'яко В. П., Колісник П. Ф. та ін.] –Вінниця : ВНТУ, 2010.– 155 с.
13. .Павлов С.В, Думенко В.П.,Козловська Т.І та ін. Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами і шляхи їх удосконалення, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2008, №2, С. 129-135.
14. Лазерні медичні технології : навчальний посібник / [за редакцією Готри З. Ю. , Павлова С. В.] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 157 с.
15. Павлов С.В., Кожем'яко В.П., Петрук В.Г., Колісник П.Ф., Марков С.М. Біомедичні оптоелектронні інформаційні системи і апарати. Ч.1 – Неінвазивні методи діагностики серцево-судинної системи. Навчальний посібник – Вінниця: ВДТУ, 2003.- 126 с.
16. Дудненко Т.І. Оптоелектронний діагностичний комплекс аналізу мікроциркуляторних порушень в запальних процесах щелепно-лицьової ділянки // Тези студентських доповідей науково-технічної конференції. - Вінниця.-2003.– С.130.
17. Кожем'яко В.П., Готра З.Ю., Павлов С.В., Микитюк З.М., Готра З.О. „Біомедичні оптоелектронні інформаційні системи і апарати”, Ч.3 – Лазерні біомедичні системи: Навчальний посібник.- Вінниця, ВДТУ, 2000.- 143 с.
18. Soumagne D. Weber classification in cardiac rehabilitation. *Acta Cardiol.* 67(3) (2012), 285-290.
19. Anderson L, Thompson DR, Oldridge N [et al.]. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease.*Cochrane Database Syst Rev.* 5 (1)(2016).CD001800. doi: 10.1002/14651858.CD001800.pub3.
20. Widmer RJ, Allison TG, Lennon R [et al.]. Digital health intervention during cardiac rehabilitation: A randomized controlled trial. *Am Heart J.* 188 (2017), 65-72. doi: 10.1016/j.ahj.2017.02.016.
21. Flora, G.D.; Nayak, M.K. A Brief Review of Cardiovascular Diseases, Associated Risk Factors and Current Treatment Regimes. *Curr. Pharm. Des.* 2019, 25, 4063–4084.
22. Harmon,D.M.;Mangold,K.; BaezSuarez, A.; Scott, C.G.; Murphree, D.H.;

- Malik, A.; Attia, Z.I.; Lopez-Jimenez, F.; Friedman, P.A.; Dispenzieri, A.; et al. Postdevelopment Performance and Validation of the Artificial Intelligence-Enhanced Electrocardiogram for Detection of Cardiac Amyloidosis. *JACC Adv.* 2023, 2, 100612.
23. Butler, L.; Karabayir, I.; Kitzman, D.W.; Alonso, A.; Tison, G.H.; Chen, L.Y.; Chang, P.P.; Clifford, G.; Soliman, E.Z.; Akbilgic, O. A generalizable electrocardiogram-based artificial intelligence model for 10-year heart failure risk prediction. *Cardiovasc. Digit. Health J.* 2023, 4, 183–190.
 24. Awasthi, S.; Sachdeva, N.; Gupta, Y.; Anto, A.G.; Asfahan, S.; Abbou, R.; Bade, S.; Sood, S.; Hegstrom, L.; Vellanki, N.; et al. Identification and risk stratification of coronary disease by artificial intelligence-enabled ECG. *eClinicalMedicine* 2023, 65, 102259.
 25. Lee, Y.H.; Hsieh, M.T.; Chang, C.C.; Tsai, Y.L.; Chou, R.H.; Lu, H.H.S.; Huang, P.-H. Improving detection of obstructive coronary artery disease with an artificial intelligence-enabled electrocardiogram algorithm. *Atherosclerosis* 2023, 381, 117238.
 26. Valente Silva, B.; Marques, J.; Nobre Menezes, M.; Oliveira, A.L.; Pinto, F.J. Artificial intelligence-based diagnosis of acute pulmonary embolism: Development of a machine learning model using 12-lead electrocardiogram. *Rev. Port. Cardiol.* 2023, 42, 643–651.
 27. Sau, A.; Ibrahim, S.; Kramer, D.B.; Waks, J.W.; Qureshi, N.; Koa-Wing, M.; Keene, D.; Malcolm-Lawes, L.; Lefroy, D.C.; Linton, N.W.; et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiogram to distinguish atrioventricular re-entrant tachycardia from atrioventricular nodal re-entrant tachycardia. *Cardiovasc. Digit. Health J.* 2023, 4, 60–67.
 28. Shimojo, M.; Inden, Y.; Yanagisawa, S.; Suzuki, N.; Tsurumi, N.; Watanabe, R.; Nakagomi, T.; Okajima, T.; Suga, K.; Tsuji, Y.; et al. A novel practical algorithm using machine learning to differentiate outflow tract ventricular arrhythmia origins. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2023, 627–637.
 29. Shiokawa, N.; Izumo, M.; Shimamura, T.; Kurosaka, Y.; Sato, Y.; Okamura, T.; Akashi, Y.J. Accuracy and Efficacy of Artificial Intelligence-Derived Automatic Measurements of Transthoracic Echocardiography in Routine Clinical Practice. *J. Clin. Med.* 2024, 13, 1861.
 30. Sveric, K.M.; Ulbrich, S.; Dindane, Z.; Winkler, A.; Botan, R.; Mierke, J.; Trausch, A.; Heidrich, F.; Linke, A. Improved assessment of left

- ventricular ejection fraction using artificial intelligence in echocardiography: A comparative analysis with cardiac magnetic resonance imaging. *Int. J. Cardiol.* 2024, 394, 131383.
31. Slivnick, J.A.; Gessert, N.T.; Cotella, J.I.; Oliveira, L.; Pezzotti, N.; Eslami, P.; Sadeghi, A.; Wehle, S.; Prabhu, D.; Waechter-Stehle, I.; et al. Echocardiographic Detection of Regional Wall Motion Abnormalities Using Artificial Intelligence Compared to Human Readers. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2024.
 32. Roth, G.A.; Mensah, G.A.; et al. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990–2019: Update from the GBD 2019 Study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020, 76, 2982–3021.
 33. Haq, I.U.; Chhatwal, K.; Sanaka, K.; Xu, B. Artificial Intelligence in Cardiovascular Medicine: Current Insights and Future Prospects. *Vasc. Health Risk Manag.* 2022, 18, 517.
 34. Amisha; Malik, P.; Pathania, M.; Rathaur, V.K. Overview of artificial intelligence in medicine. *J. Fam. Med. Prim. Care* 2019, 8, 2328.
 35. Hamet, P.; Tremblay, J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism* 2017, 69S, S36–S40.
 36. Poalelungi, D.G.; Musat, C.L.; Fulga, A.; Neagu, M.; Neagu, A.I.; Piraianu, A.I.; Fulga, I. Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence Is Transforming Healthcare. *J. Pers. Med.* 2023, 13, 1214.
 37. Xu, N.; Yang, D.; Arikawa, K.; Bai, C. Application of artificial intelligence in modern medicine. *Clin. eHealth* 2023, 6, 130–137.
 38. Fogel, A.L.; Kvedar, J.C. Artificial intelligence powers digital medicine. *NPJ Digit. Med.* 2018, 1, 5.
 39. Zhang, J.; Zhang, J.; Jin, J.; Jiang, X.; Yang, L.; Fan, S.; Zhang, Q.; Chi, M. Artificial intelligence applied in cardiovascular disease: Abibliometric and visual analysis. *Front. Cardiovasc. Med.* 2024, 11, 1323918.
 40. Noorbakhsh-Sabet, N.; Zand, R.; Zhang, Y.; Abedi, V. Artificial Intelligence Transforms the Future of Healthcare. *Am. J. Med.* 2019, 132, 795.
 41. Bostrom, N. HowLongBefore Superintelligence? *Int. J. Future Stud.* 1998, 2, 11–30.
 42. Sun, K.; Roy, A.; Tobin, J.M. Artificial intelligence and machine learning: Definition of terms and current concepts in critical care research. *J. Crit. Care* 2024, 82, 154792.
 43. Chakraborty, C.; Bhattacharya, M.; Pal, S.; Lee, S.-S. From machine learning to deep learning: Advances of the recent data-driven paradigm

- shift in medicine and healthcare. *Curr. Res. Biotechnol.* 2024, 7, 100164.
44. Botvinick, M.; Ritter, S.; Wang, J.X.; Kurth-Nelson, Z.; Blundell, C.; Hassabis, D. Reinforcement Learning, Fast and Slow. *Trends Cogn. Sci.* 2019, 23, 408–422.
 45. Jakhar, D.; Kaur, I. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: Definitions and differences. *Clin. Exp. Dermatol.* 2020, 45, 131–132.
 46. Piccialli, F.; Di Somma, V.; Giampaolo, F.; Cuomo, S.; Fortino, G. A survey on deep learning in medicine: Why, how and when? *Inf. Fusion.* 2021, 66, 111–137.
 47. Dongare, A.D.; Kharde, R.R.; Kachare, A.D. Introduction to Artificial Neural Network. *Certif. Int. J. Eng. Innov. Technol. (IJEIT)* 2008, 9001, 2277–3754.
 48. Micheli-Tzanakou, E. Artificial Neural Networks: Definitions, Methods, Applications. In *Supervised and Unsupervised Pattern Recognition*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017; pp. 61–78.
 49. Zhou, S.K.; Rueckert, D.; Fichtinger, G. (Eds.) *Handbook of Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020.
 50. Berezsky, O.; Liashchynskiy, P.; Pitsun, O.; Izonin, I. Synthesis of Convolutional Neural Network architectures for biomedical image classification. *Biomed. Signal Process Control* 2024, 95, 106325.
 51. Piraianu, A.I.; Fulga, A.; Musat, C.L.; Ciobotaru, O.R.; Poalelungi, D.G.; Stamate, E.; Ciobotaru, O.; Fulga, I. Enhancing the Evidence with Algorithms: How Artificial Intelligence Is Transforming Forensic Medicine. *Diagnostics* 2023, 13, 2992.
 52. Herman, R.; Meyers, H.P.; Smith, S.W.; Bertolone, D.T.; Leone, A.; Bermpeis, K.; Viscusi, M.M.; Belmonte, M.; Demolder, A.; Boza, V.; et al. International evaluation of an artificial intelligence-powered electrocardiogram model detecting acute coronary occlusion myocardial infarction. *Eur. Heart J. Digit. Health* 2023, 5, 123–133.
 53. Nogimori, Y.; Sato, K.; Takamizawa, K.; Ogawa, Y.; Tanaka, Y.; Shiraga, K.; Masuda, H.; Matsui, H.; Kato, M.; Daimon, M.; et al. Prediction of adverse cardiovascular events in children using artificial intelligence-based electrocardiogram. *Int. J. Cardiol.* 2024, 406, 132019.
 54. Hillis, J.; Bizzo, B.C.; Mercaldo, S.; Ghatak, A.; Macdonald, A.; Halle, M.; Schultz, A.; L'Italien, E.; Tam, V.; Awad, A.; et al. Detection of Hypertrophic Cardiomyopathy on Electrocardiogram Using Artificial

- Intelligence. J. Am. Coll. Cardiol. 2024, 83, 2609.
55. Bhasipol A, Sanjaroensuttikul N, Pornsuriyasak P [et al.]. Efficiency of the home cardiac rehabilitation program for adults with complex congenital heart disease. *Congenit Heart Dis.* (2018) Sep 14. doi: 10.1111/chd.12659.
 56. Olena V. Vysotska , Kostiantyn Nosov, Natalia B. Savina, and etc. An approach to determination of the criteria of harmony of biological objects", *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108083B* (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501539.
 57. Sergii V. Pavlov, Aleksandr T. Kozhukhar, et al. Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching // *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3/2017. – P. 121-124. - doi:10.15199/48.2017.03.28
 58. Vladimir V. Kholin, Oksana M. Chepurna, Sergii Pavlov et al. Methods and fiber optics spectrometry system for control of photosensitizer in tissue during photodynamic therapy, *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 1003138* (September 28, 2016); doi:10.1117/12.2249259
 59. Ronald H. Rovira; Stanislav Ye. Tuzhansky; Sergii V. Pavlov; Sergii N. Savenkov; Ivan S. Kolomiets, et al. Polarimetric characterisation of histological section of skin with pathological changes, *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 100313E* (September 28, 2016); doi:10.1117/12.2249373
 60. S. V. Pavlov; V. B. Vassilenko; I. R. Saldan; D. V. Vovkotrub; A. A. Poplavskaya, et al. Methods of processing biomedical image of retinal macular region of the eye, *Proc. SPIE 9961, Reflection, Scattering, and Diffraction from Surfaces V, 99610X* (September 26, 2016); doi:10.1117/12.2237154
 61. Ronald Rovira; Marcia M. Bayas; Sergey V. Pavlov; Tatiana I. Kozlovskaya; Piotr Kisała, et al. Application of a modified evolutionary algorithm for the optimization of data acquisition to improve the accuracy of a video-polarimetric system, *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 981619* (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229087

62. Natalia I. Zabolotna; Sergii V. Pavlov; Kostiantyn O. Radchenko; Vladyslav A. Stasenko; Waldemar Wójcik, et al. Diagnostic efficiency of Mueller-matrix polarization reconstruction system of the phase structure of liver tissue, *Proc. SPIE* 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161E (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229018
63. Oleg G. Avrunin; Maksym Y. Tymkovych; Sergii V. Pavlov; Sergii V. Timchik; Piotr Kisała, et al. Classification of CT-brain slices based on local histograms, *Proc. SPIE* 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161J (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229040;
64. Oksana Chepurna; Irina Shton; Vladimir Kholin; Valerii Voytsehovich; Viacheslav Popov, et al. Photodynamic therapy with laser scanning mode of tumor irradiation, *Proc. SPIE* 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161F (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229030.
65. Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz// Information Technology in Medical Diagnostics . London, July 11, 2017 by Taylor & Francis Group CRC Press Reference - 210 Pages.
66. Vassilenko, S Valtchev, JP Teixeira, S Pavlov. Energy harvesting: an interesting topic for education programs in engineering specialties / «Internet, Education, Science» (IES-2016) – 2016. – P. 149-156.
67. Roman Kvyetnyy, Olga Sofina, Pavel Orlyk, Andres J. Utreras, Waldemar Wójcik, and etc. "Improving the quality perception of digital images using modified method of the eye aberration correction", *Proc. SPIE* 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 1003113 (28 September 2016).
68. Medical Diagnostics . London, July 11, 2017 by Taylor & Francis Group CRC Press Reference - 210 Pages.
69. Vassilenko, S Valtchev, JP Teixeira, S Pavlov. Energy harvesting: an interesting topic for education programs in engineering specialties / «Internet, Education, Science» (IES-2016) – 2016. – P. 149-156.
70. Roman Kvyetnyy, Olga Sofina, Pavel Orlyk, Andres J. Utreras, Waldemar Wójcik, and etc. "Improving the quality perception of digital images using modified method of the eye aberration correction", *Proc. SPIE* 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 1003113 (28 September 2016).

71. С. В. Павлов, С. В. Сандер, Т. І. Козловська, О. С. Безкрєвний, Ян Лунінь. Лазерна фотоплетизмографія для оцінювання периферичного кровообігу нижніх кінцівок, *Сучасні та проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки наносистем (СПІРН-2021)*, Вінницький національний технічний університет, 3-5 листопада 2021. – 3 с.
72. Yeh, W.-C.; Kuo, C.-Y.; Chen, J.-M.; Ku, T.-H.; Yao, D.-J.; Ho, Y.-C.; Lin, R.-Y. Pioneering Data Processing for Convolutional Neural Networks to Enhance the Diagnostic Accuracy of Traditional Chinese Medicine Pulse Diagnosis for Diabetes. *Bioengineering* 2024, 11, 561. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11060561>.
73. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.
74. Pavlov, S.V., Kozhukhar, A. T., Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3, 2017, pp. 121-124.
75. Fu, S.E.; Lai, S.P. A system for pulse measurement and analysis of Chinese medicine. In *Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society's 11th Annual International Conference*, Seattle, WA, USA, 9–12 November 1989; pp. 1695–1696. 2. Yu, Y.C.; Yeh, S.J.; Chiu, C.C. Analysis of autonomic nervous system by applying artificial neural network to categorize pulse signals from Finapres. *Clin. Auton. Res.* 1996, 5, 295–1996.
76. Dastagir, N.; Obed, D.; Bucher, F.; Murad, S.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Blood Vessel Injuries of the Fingers: A Clinical Comparison of One- and Two-Arterial Blood Supply. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 5889. <https://doi.org/10.3390/jcm12185889>.
77. Bickel, K.D.; Dosanjh, A. Fingertip reconstruction. *J. Hand Surg.* 2008, 33, 1417–1419.
78. Gordon, A.M.; Malik, A.T.; Goyal, K.S. Trends of hand injuries presenting to US emergency departments: A 10-year national analysis. *Am. J. Emerg. Med.* 2021, 50, 466–471.
79. Sabongi, R.G.; Erazo, J.P.; Moraes, V.Y.d.; Fernandes, C.H.; Santos, J.B.G.D.; Faloppa, F.; Belloti, J.C. Circular saw misuse is related to upper limb injuries: A cross-sectional study. *Clinics* 2019, 74, e1076.

80. Dastagir, N.; Obed, D.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Personalized Treatment Decisions for Traumatic Proximal Finger Amputations: A Retrospective Cohort Study. *J. Pers. Med.* 2023, 13, 215.
81. 20. Wójcik W., Smolarz A. Information Technology in Medical Diagnostics. *London, Taylor & Francis Group CRC Press Reference.* 2017. P. 210.
82. Born M. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light / M. Born, E. Wolf // 6th edn. (corrected). – Pergamon Press, 1986. – P. 45-113.
83. Wang X. Polarized light propagation through scattering media: time-resolved Monte Carlo simulations and experiments / X. Wang // *Journal of biomedical optics.* – 2003. – T. 8. – №. 4. – C. 608-617.
84. Wang L. MCML – Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues / L. Wang, L. J. Steven, Z. Ligiong // *Computer methods and programs in biomedicine.* – № 47, 1995. – P 131–145.
85. Van de Hulst H. C. Multiple light scattering: tables, formulas, and applications / H. C. Van de Hulst // Elsevier, reprinted 2012. – T. 1. 332 p.
86. Prahl S. A. A Monte Carlo model of light propagation in tissue / S. A. Prahl, M. Keijzer, S. L. Jacques, Welch A. J. *Laser Radiat. Med. Biol.* – 1989. – vol. 5. – P. 102-11.
87. Ghosh N. Depolarization of light in a multiply scattering medium: effect of the refractive index of a scatterer / N. Ghosh // *Physical Review E.* – 2004. – T. 70. – №. 6. – C. 066607.
88. Zhang R. Determination of human skin optical properties from spectrophotometric measurements based on optimization by genetic algorithms / R. Zhang // *Journal of biomedical optics.* – 2005. – T. 10. – №. 2. – C. 024030-02403011.
89. Anderson R. Polarized light examination and photography of the skin / R. R. Anderson. // *Archives of dermatology.* – 1991. – №127. – C. 1000–1005.
90. Gil J. J. Characteristic properties of Mueller matrices / J. J. Gil // *JOSA A.* – 2000. – T. 17. – №. 2. – C. 328-334.
91. R. U. Rovira, S. V. Pavlov, Monte Carlo simulation for studying the propagation of polarized light in biological tissue / *Optical-electronic information and energy technologies.* – 2014. – No. 2 (28). – pp. 56-61. – ISSN 1681-7893.

92. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.
93. Rovira R. H. Particular Aspects of the Use of Videopolarimetric Technology for Dermatological Study, Measuring and computing equipment in technological processes. – 2014. – №. 3 (48). – P. 115-119. – ISSN 2219-9365.
94. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F., “Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control”, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, p. 254, (2007).
95. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. “Information Technology in Medical Diagnostics II”. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, p. 336, (2019).
96. Pavlov, S.V., Kozhukhar, A. T., “Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching”, Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3, 121-124, (2017).
97. Zabolotna, N. I.; Pavlov S. V., Radchenko, K. O.; Stasenko, V. A. , Wójcik, W. etc. “Diagnostic efficiency of Mueller-matrix polarization reconstruction system of the phase structure of liver tissue”, Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications, 98161E, (2015).
98. Kukharchuk, Vasyl V., Pavlov Sergii V., etc. "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271, (2022).
99. Kozlovska Tatiana I., Zlepko Sergii M., Kolesnic Petro F., Pavlov Volodymyr S., etc. "Optoelectronic multispectral device for determining the state of peripheral blood circulation", Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 115810L, (2020).
100. Kanishyna Tetiana, Shkilniak Liudmyla, etc. "Study of tissue microcirculation disorders after tooth extraction by photoplethysmography in diabetic patients", Proc. SPIE 12476, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2022, 1247603 (12 December 2022).
101. Ghosh N., Vitkin A. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications, and outlook. *Journal of Biomedical Optics*. 2011. Vol. 16, №11. 110801.

102. Alalia S., Vitkin A. Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment. *Journal of Biomedical Optics*. 2015. Vol. 20 (6). 061104.
103. Qi, J. Mueller polarimetric imaging for surgical and diagnostic applications: a review. *J. Biophotonics* 10, 950–982 (2017).
104. De Boer, J.F., Hitzenberger, C.K. & Yasuno, Y. Polarization sensitive optical coherence tomography—a review. *Biomed. Opt. Express* 8, 1838–1873 (2017).
105. Ramella-Roman, J.C., Saytashev, I. & Piccini, M. A review of polarization-based imaging technologies for clinical and preclinical applications. *J. Opt.* 22, 123001 (2020).
106. Polarisation optics for biomedical and clinical applications: a review. / Chao He et. al. *Light: Science & Applications*. 2021. Vol. 10. 194.
107. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні тканини людини / під ред. О.Г. Ушенка. Чернівці: Чернівецький нац. ун – т, 2010. 588 с.
108. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні рідини / під ред. О.Г. Ушенка, Т.М. Бойчука. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т. 2011. 656 с.
109. Polarization Correlometry of Scattering Biological Tissue and Fluids / V.T. Bachinskyi, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko et. al. Springer Singapur, 2020. 76 p.
110. Mueller-Polarimetry of Barley Leaves I: Depolarization Metrics, Savenkov, S., Oberemok, Y., Kolomiets, I., Muttiah, R., *Photonics*, 2023, 10(12), 1361.
111. Mueller-Polarimetry of Barley Leaves II: Mueller Matrix Decompositions, Savenkov, S., Oberemok, Y., Kolomiets, I., Muttiah, R., Kurylenko, R., *Photonics*, 2024, 11(1), 76.
112. Методи і системи лазерної поляриметрії біологічних тканин : монографія / за ред. О. Ушенка, С. Павлова, В. Войцека. Вінниця. ПП «ТД «Едельвейс і К». 2019. 269 с.
113. Методи і системи лазерної поляриметрії оптичної анізотропії жовчі людини : монографія / за ред. О. Ушенка, С. Павлова, В. Войцека. Вінниця. ПП «ТД «Едельвейс і К». 2019. 337 с.
114. Заболотна Н.І., Павлов С.В., Шолота В.В. Моделі, методи та системи лазерної поляриметрії плазми крові для діагностики молочних залоз : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2024. 145 с.

115. Two-point Stokes vector diagnostic approach for characterization of optically anisotropic biological tissues / Peyvasteh M., Dubolazov A., Popov A. et. al. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2020. 53(39). 395401.
116. Дуболазов О.В. Багатофункціональна Стокс-корелометрія поляризаційно-неоднорідних об'єктних полів оптично-анізотропних біологічних шарів : автореф. дис. ...д-ра фіз.-мат. наук : 01.04.05. Чернівці, 2021. 40 с.
117. Digital histology with Mueller microscopy: how to mitigate an impact of tissue cut thickness fluctuations / Lee, H. R., Li, P., Yoo, T.S. et al., *J. Biomed. Opt.* 27 (7), 076004 (2019).
118. Ma H., He H., Ramella-Roman J. C. Mueller matrix microscopy. *Polyrized Light in Biomedical Imaging and Sensing*. Springer Cham, 2024. 40 p.
119. Sdobnov, A., Ushenko, V.A., Trifonyuk, L. et al. "Mueller-matrix imaging polarimetry elevated by wavelet decomposition and polarization-singular processing for analysis of specific cancerous tissue pathology," *J. Biomed. Opt.* 28(10), 102903 (2023).
120. Digital Information Methods of Polarization, Mueller-Matrix and Fluorescent Microscopy / [Vasyuk V.L., Kalashnikov A.V., Ushenko A.G. et al.]. Springer Nature Singapore, 2023. 102 p.
121. Zabolotna N. I., Sholota V. V. Polarimetric system of Mueller-matrix diagnostics of two-component biological structures with decision-making support. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2024. №1. С.120–127.
122. . Te-Yu Tseng, Chun-Yu Chen, Yi-Shan Li, and Kung-Bin Sung, "Quantification of the optical properties of two-layered turbid media by simultaneously analyzing the spectral and spatial information of steady-state diffuse reflectance spectroscopy," *Biomed. Opt. Express* 2, 901-914 (2011).
123. Multispectral Mueller polarimetric imaging detecting residual cancer and cancer regression after neoadjuvant treatment for colorectal carcinomas / Angelo Pierangelo, Sandeep Manhas, Abdelali Benali et. al. *Journal of Biomedical Optics* 18(4), 046014 (April 2013).

124. Заболотна Н.І., Окарський Г.Г. Система автоматизованої двохвилевої мюллер-поляриметрії для оцінювання анізотропної структури гістологічних зрізів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2020. Т. 39, №1. С.27-37.
125. Заболотна Н.І., В.В. Шолота В.В. Двохвильова поляриметрична система відтворення та оцінювання анізотропії та дихроїзму плівок жовчі при діагностиці патологій. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2023. Т. 46, №2. С.93-99.
126. Заболотна Н.І. Принципи і методи мюллер-матричної томографії багатошарових оптично товстих біологічних тканин / О.Г. Ушенко, Н.І. Заболотна . Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №1. – С. 157 –162.
127. Заболотна Н.І. Поляризаційне картографування багатошарових біологічних тканин. Оптично товсті шари. / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №3. – С. 106-110.
128. Заболотна Н.І., Шолота В.В. Система поляризаційної автофлуоресцентної діагностики біологічних шарів з нечіткою логікою підтримки прийняття рішення. *Технічна інженерія*. 2025. Т.95. №1. С.219–227.
129. Zabolotna N.I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9205. – 92050V; doi: 10.1117/12.2062140.
130. Заболотна Н.І. Система двовимірної багатопараметричної мюллер-матричної поляриметрії для діагностики оптико-анізотропної структури багатошарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, В.Б. Василенко, Х.Р. Ровіра // Застосування лазерів у медицині та біології: XXXVIII міжнар. наук.-практ. конф., 3-6 жовтня 2012 р.: матеріали допов.–Ялта, 2012. – С.160-161.
131. Заболотна Н.І. Інформаційна технологія діагностики полікристалічних мереж двопротенезаломлювальних біологічних структур / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, О.К. Радченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: Четверта Міжнар. наук. – практ. конф., 28–30 травня 2014 р.: матер. допов. – Вінниця, 2014. – С. 83 – 85.

132. Zabolotna N. I. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies / N.I. Zabolotna, V.V. Sholota, H. H. Okarskyi // Proc. SPIE. – 2020. –Vol. 11369 - 113691S. - P. 501-513.
133. Заболотна Н.І. Архітектура і алгоритми функціонування та аналізу даних двовимірних систем лазерної поляриметрії біологічних тканин / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – №1(25). – С. 54–65.
134. Zabolotna N.I. Orientational tomography of optical axes directions distributions of multilayer biological tissues birefringent polycrystalline networks / N.I. Zabolotna, R.Y. Dovhaliuk // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8873. – 887313; doi: 10.1117/12.2048634.
135. Zabolotna N.I. Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland / O.P. Mintser, N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, P. Komada // Proc. SPIE. – 2012. – Vol. 8698. – 86980D; doi: 10.1117/12.2019714.
136. Zabolotna N.I. Principals and methods of Mueller-matrix tomography of multilayer biological tissues / N.I. Zabolotna, I.V. Musiichuk // Proc. SPIE. – 2011. – Vol. 8338. – 833810; doi: 10.1117/12.920930
137. Заболотна Н.І. Статистична, кореляційна і фрактальна структура мюллер–матричних зображень багатошарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко, С.В. Костюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – №2(26).– С. 58–66.
138. Лазер і здоров'я. Серія «Фізична і біомедична електроніка» Монографія: за заг. ред. А. В. Кіпенського. Харків : Комунальне підприємство «Міська друкарня», 2024. (387 с.) С. 172–216.
139. Qin, Z. et. al., “How convolutional neural network see the world: a survey of convolutional neural network visualization methods,” CoRR abs/1804.11191 (2018).
140. Robinson, D., Hoong, K., Kleijn, W. B. et al., “Polarimetric imaging for cervical pre-cancer screening aided by machine learning: ex vivo studies,” J. Biomed. Opt. 28(10), 102904 (2023).
141. Majumdar, A., Lad, J., Tumanova, K. et al., “Machine learning based local recurrence prediction in colorectal cancer using polarized light imaging,” J. Biomed. Opt. 29(15), 052915 (2024).

142. Шолота В.В. Аналіз методів підтримки прийняття рішень в системах поляризаційної інтроскопії біологічних тканин та рідин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2025. Том 49, №1. С. 185–192.
143. Ванчуляк О. Я. Експертна оцінка гострої ішемії міокарда поляризаційно-кореляційними методами: дис. ... доктора мед. наук: 14.01.25 / ЧНУ, Чернівці, 2016. 292 с.
144. Нечіткі моделі прийняття рішення при лазерній поляризаційно інваріантній діагностиці ішемії міокарда / Н.І. Заболотна , В.В. Шолота В.В., В.Ю. Масловський В.Ю. [та ін.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2023. №1. С. 97–105. DOI: [10.31649/1681-7893-2023-45-1-97-105](https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-45-1-97-105).
145. Mueller-matrix of laser-induced autofluorescence of polycrystalline films of dried peritoneal fluid in diagnostics of endometriosis / Y.A. Ushenko, G.D. Koval, A.G. Ushenko et al. // *J. Biomed. Opt.* – 2016. – Vol. 21, №7. – 071116.
146. Digital Information Methods of Polarization, Mueller-Matrix and Fluorescent Microscopy / [Vasyuk V.L., Kalashnikov A.V., Ushenko A.G. et al.]. – Springer Nature Singapore, 2023. – 102 p
147. Заболотна Н. І., Бісікало О. В., Шолота В. В. Підтримка прийняття рішень в системі поляризаційної зображальної діагностики гістологічних зрізів за аналізом їх параметрів анізотропії, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. № 2 (40). С. 29–40.
148. Perspectives of the application of medical information technologies for assessing the risk of anatomical lesion of the coronary arteries / Pavlov S. V., Mezhiievska I. A., Wójcik W. [et al.]. // *Science, Technologies, Innovations*. – 2023. – №1(25). – P. 44–55.
149. Duboazov A. Statistical and fractal analyses of autofluorescence of myocardium tissue images in diagnostics of acute coronary insufficiency / A. Duboazov, M. Sidor, A. Karachevtsev // *Semiconductor physics, Quantum electronics and Optoelectronics*. – 2015. – Vol.18, No 2. – P. 152–157.
150. Ushenko Y.A. Scale-selective polarization cartography of biological polycrystalline net. *Proc. SPIE*. 2012. Vol. 8498. P. 84980Z.

151. Ушенко В.О. Вектор-параметрична діагностика та диференціація проявів оптичної анізотропії біологічних полікристалічних мереж, автореф. дис. ... канд .фіз.-мат. наук: 01.04.05. К. 2015. 20 с.
152. Medical fuzzy-expert system for prediction of engraftment degree of dental implants in patients with chronic liver disease / V. Polishchuk et al. *IAPGOŚ*. 2024. Vol. 14, №1. P. 90–95. <http://doi.org/10.35784/iapgos.5585/>.
153. Histological changes of bone tissue in the perforation defect site of the rat mandible when using hepatoprotector in odstructive hepatitis / S. S. Polishchuk et al. *World of medicine and biology*. 2020. №2 (72). P. 193–198.
154. Stathopoulos P, Rallis G. Poorly controlled diabetes mellitus is strongly associated with descending necrotizing mediastinitis of odontogenic origin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2023 Sep 15: S2212–4403.
155. Biometrics, the Technology That Measures and Analyses Our Biological Data, Iberdrola. (accessed on 15 October 2023). Available online: <https://www.iberdrola.com/innovation/advantages-and-uses-of-biometrics>.
156. Yang J. et al. Photoplethysmography Biometric Recognition Model Based on Sparse Softmax Vector and k-Nearest Neighbor / *Journal of Electrical and Computer Engineering*, Volume 2020, Article ID 9653470, 9 pages, <https://doi.org/10.1155/2020/9653470>
157. Features from the photoplethysmogram and the electrocardiogram for estimating changes in blood pressure / E. Finnegan et al. *Sci. Rep.* 2023. № 13. P. 986.
158. Real-Time PPG-Based Biometric Identification: Advancing Security with 2D Gram Matrices and Deep Learning Models / A. Cherry et al. *Sensors*. 2025. №25. P. 40.
159. Wannenburg J., Malekian R. Body sensor network for mobile health monitoring, a diagnosis and anticipating system. *IEEE Sens. J.* 2015. №15. P. 6839–6852.
160. Medical image segmentation using deep semantic-based methods: A review of techniques, applications and emerging trends / I. Qureshi et al. *Inf. Fusion*. 2023. №90. P. 316–352.
161. Abbas Q., Baig A. R. Hussain A. Classification of Post-COVID-19 Emotions with Residual-Based Separable Convolution Networks and EEG Signals. *Sustainability*. 2023. №15. P. 1293.

162. Cheriyaedath S. News Medical & Life Sciences. URL: [https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-\(PPG\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-(PPG).aspx) (accessed on 18 November 2023).
163. Incel O. D., Bursa S. On-Device Deep Learning for Mobile and Wearable Sensing Applications: A Review. *IEEE Sens. J.* 2023. №23. P. 5501–5512.
164. Deep Learning for PPG-Based Biometric Identification / X. Li et al. *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.* 2018. №13. P. 2203–2213.
165. Hanilci A., Gürkan H. ECG biometric identification method based on parallel 2-d convolutional neural networks. *J. Innov. Sci. Eng. JISE.* 2019. №3. P. 11–22.
166. Kim M.-G., Ko H., Pan S. B. A study on user recognition using 2D ECG based on ensemble of deep convolutional Neural Networks. *J. Ambient. Intell. Humaniz. Comput.* 2019. №11. P. 1859–1867.
167. Kim J.-S., Kim M.-G., Pan S.-B. Two-step biometrics using electromyogram signal based on convolutional neural network-long short-term memory networks. *Appl. Sci.* 2021. №11. P. 6824.
168. Donida Labati R., Piuri V., Rundo F., Scotti F., Spampinato C. Biometric recognition of PPG Cardiac signals using transformed spectrogram images. In Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021, P. 244–257.
169. Laser photoplethysmography in integrated evaluation of collateral circulation of lower extremities / S. V. Sander et al. *Proceedings of SPIE* 2015. №9816. P. 98161K.
170. Wójcik W., Smolarz A. Information Technology in Medical Diagnostics. London, Taylor & Francis Group CRC Press Reference. 2017. P. 210.
171. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F., Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 2007, P. 254,
172. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2019, P. 336.
173. Pavlov S. V., Kozhukhar A. T. Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching. *Przegląd elektrotechniczny.* 2017. R. 93. NR 3. P. 121-124. ISSN 0033-2097.
174. Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors / V. V. Kukharchuk et al. *Sensors* 22. 2022. № 1: 271.

175. Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors / V .Kukharchuk et al. Sensors 22. 2022. № 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
176. В.С. Войцехович, А.Г. Карпушева, Н.М. Качалова, Ю.А. Петрушко, Н.Ф. Терещенко, та В.В. Холин. О равномерности распределения плотности мощности лазерного излучения на выходе оптических волокон, Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні питання застосування лазерів в медицині – 2020», Черкаси, 30–31 жовтня 2020 р.
177. IS/IEC 60793-1-43: Optical Fibres, Part 1: Measurement Methods and Test Procedures, Section 43: Numerical Aperture, 2001.
178. А.С. Семенов, В.Л. Смирнов, и А.В. Шмалько. Элементы волноводного тракта оптических интегральных схем на основе трехмерных оптических волноводов, Квантовая электроника, Том 15, № 7, 1988, С. 1327-1357.
179. Комарова О. С., Павлов С. В., Петрушко Ю.А., Петраковський О. Експериментальне оцінювання однорідності розподілу щільності потужності лазерного випромінювання на виході коротких відрізків багатомодових оптичних волокон, Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2023. – С. 155-156.
180. Dastagir, N.; Obed, D.; Bucher, F.; Murad, S.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Blood Vessel Injuries of the Fingers: A Clinical Comparison of One- and Two-Arterial Blood Supply. J. Clin. Med. 2023, 12, 5889. <https://doi.org/10.3390/jcm12185889>.
181. Bickel, K.D.; Dosanjh, A. Fingertip reconstruction. J. Hand Surg. 2008, 33, 1417–1419.
182. Gordon, A.M.; Malik, A.T.; Goyal, K.S. Trends of hand injuries presenting to US emergency departments: A 10-year national analysis. Am. J. Emerg. Med. 2021, 50, 466–471.
183. Sabongi, R.G.; Erazo, J.P.; Moraes, V.Y.d.; Fernandes, C.H.; Santos, J.B.G.D.; Faloppa, F.; Belloti, J.C. Circular saw misuse is related to upper limb injuries: A cross-sectional study. Clinics 2019, 74, e1076.
184. Kukharchuk, V., Pavlov, S. et al. (2022), «Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors», Sensors, Vol. 22, No. 1, doi: 10.3390/s22010271.

185. Menga, E., Li, P.-Y. and Tai, Y.-C. (2008), «A biocompatible Parylene thermal flow sensing array», *Sensors and Actuators A.*, No. 144, pp. 18–28.
186. Avrunin, O.G., Nosova, Y.V., Pavlov, S.V. et al. (2021), «Research Active Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations», *Sensors*, Vol. 21, doi: 10.3390/s21248508.
187. Avrunin, O.G., Nosova, Y.V., Pavlov, S.V. et al. (2021), «Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data», *Sensors*, Vol. 21, doi: 10.3390/s21041198.
188. Kukharchuk, V., Pavlov, S., Katsyv, S. et al. (2021), «Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws», *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 26–29, doi: 10.15199/48.2021.09.05.
189. Osadchuk, O.V. (2000), *Microelectronic frequency converters on the base of the transistor structures with negative resistance*, UNIVERSUM, Vinnytsia, 303 p. 19. Desing, J. and Lindgren, P. (2005), «Sensor communication technology towards ambient intelligence», *Measurement Science and Technology*, Vol. 16, pp. 37–46.
190. Desing, J. (2005), «Sensor communication technology for the ambient intelligence creation», *Sensors and system*, No. 12, pp. 63–74. \
191. Wojcik, W. (2024), «Schematic implementation of signal converters of thermal sensors for biomedical purposes», *Opt-el. inf-energy tech.*, Vol. 47, Issue 1, pp. 187–197.
192. Kozlovska, T.I., Zlepko, S.M., Kolesnic, P.F., “Optoelectronic multispectral device for determining the state of peripheral blood circulation,” *Proc. SPIE 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 115810L (2020).
193. Sigala, F., Menenakos, Ch., Sigalas, P., Baunach, Ch., Langer, S., et al., “Transluminal angioplasty of isolated crural arterial lesions in diabetics with critical limb ischemia,” *Vasa*. Aug; 34(3), 186-91 (2005).
194. Abdelhamid, M.F., “Below-the-ankle Angioplasty is a Feasible and Effective Intervention for Critical leg ischaemia,” *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, No 39, 762-768 (2010).
195. Brochado, F.C., “Inframalleolar Bypass Grafts for Limb Salvage,” *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, No 40, 747-753 (2010).

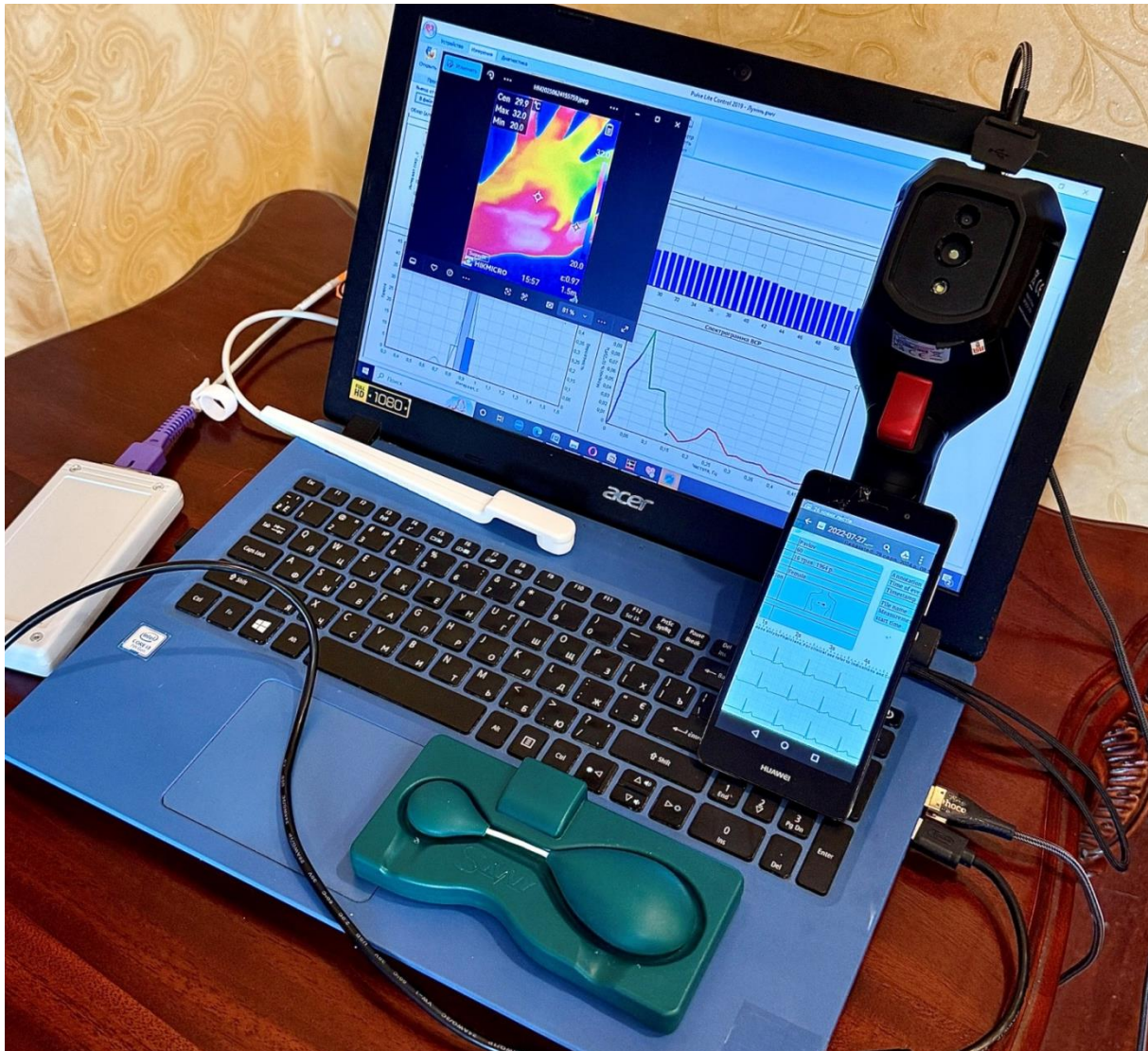
196. Masaki, H., Bypass vs. “Endovascular Therapy of Infrapopliteal Lesions for Critical Limb Ischemia,” *Annals of vascular diseases*, No3. 227-231 (2014).
197. Timmis, A, Townsend, N, Gale, C. et al., “European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics,” *European Heart Journal*. 39 (2018), 508–579 (2017).
198. The National Audit of Cardiac Rehabilitation (NACR). The National Audit of Cardiac Rehabilitation (NACR) annual statistical report. UK: University of York (2016).
199. Röhrig, B., Salzwedel, A., Linck-Eleftheriadis, S., “Outcome based center comparisons in inpatient cardiac rehabilitation – results from the EVA-Reha®,” *Cardiology project. Rehabilitation (Stuttg)*. No. 54(1), 45-52. (2015).
200. Tetiana Kanishyna, Liudmyla Shkilniak, Oleg Vlasenko, Volodymyr Pavlov, Zhanna Khomenko, Longyin Yang, Olga Komarova, Andrzej Smolarz, Ryszard Romaniuk, and Daniyar Jarykbassov "Study of tissue microcirculation disorders after tooth extraction by photoplethysmography in diabetic patients", *Proc. SPIE 12476, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2022*, USA, 1247603, (12 December 2022); <https://doi.org/10.1117/12.2657895>.
201. Liudmyla Shkilniak, Nataliia Zabolotna, Volodymyr Pavlov, Zhanna Khomenko, Yang Longyin, Konrad Gromaszek, Aliya Kalizhanova, and Ainur Kozbakova "Photonic methods for normalizing the level of tissue microcirculation in the maxillo-facial region", *Proc. SPIE 12985, Optical Fibers and Their Applications 2023*, USA, 129850M, (20 December 2023); <https://doi.org/10.1117/12.3022729>
202. V.S. Pavlov, N.I. Zabolotna, V.S. Polishchuk, A.I. Dalischuk, Ya.G. Skoryukova, and Ya.Lunin, “Biometric identification of photoplethysmographic signals in the clinic of maxillofacial surgery using deep learning technologies”, *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*, Vol. 1, Mar 2025. 12 p. DOI: [10.31649/2307-5376-2025-1-109-120](https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-109-120).
203. В. Вуйцік, Т. Мартинюк, Т. Нікітчук, Б. Єралієва, Д. Штофель, Я. Лунінь, Підходи до створення оптичних температурних сенсорів на основі структури Брега для біомедичних досліджень. *Технічна інженерія*, 2(94), 2024, 298–304. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-2\(94\)-298-304](https://doi.org/10.26642/ten-2024-2(94)-298-304).

204. В. Павлов, Н. Заболотна, Д. Штофель, Я. Лунінь, О. Комарова, і О. Кадук, «Реалізація лазерного волоконно-оптичного приладу для оцінювання тканинної мікроциркуляції», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 48, вип. 2, с. 205–211, Лис 2024. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-48-2-205-211>.
205. S.V. Pavlov, Waldemar Wójcik, R.L. Holyaka, Yang Longyin, O.D. Azarov, etc. «Realization of signal converters of the thermal sensors and high-linear analog devices of biomedical designation», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 47, вип. 1, с. 187–197, Лип 2024. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-187-197>
206. О. С. Комарова, В. В. Холін, М. Ф. Посохов, С. В. Тертишний, Ян Лунінь, інш. «Особливості реалізації комбінованого оптоволоконного інструментарію, суміщеного з пірометром», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 46, вип. 2, с. 100–104, Груд 2023. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104>.
207. С.В. Павлов, В. Войчик, Р.Л. Голяка, О.Д. Азаров, Л.Н. Никифорова, Я.Лунінь. «Розробка математичної моделі теплового поля інтегральної структури при реалізації сенсорів для біомедичних досліджень», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, вип. 58, вип. 3, с. 76–83, Груд 2023. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-58-3-76-83>
208. В.С. Павлов, Н.І. Заболотна, О.С. Безкревний, і Я. Лунінь. «Особливості використання волоконно-оптичних сенсорів для дослідження тканинної мікроциркуляції», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні техно-логії*, вип. 45, вип. 1, с. 106–113, Вер 2023. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104>.
209. С. Павлов, В. Вуйцік, Р. Голяка, О. Азаров, С. Богомолів, і Я. Лунінь, «Аналіз стану розвитку теплових сенсорів потоку загального, біомедичного та екологічного призначення», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 43, вип. 1, с. 82–93, Груд 2022. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2022-43-1-82-93>
210. П. Бабюк, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник, і Я. Лунінь, «Особливості комп'ютерного аналізу біомедичних зображень мікроциркуляції кон'юнктиви ока», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, вип. 42, вип. 2, с. 53–65, Жов. 2022. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2021-42-2-53-65>

211. Ян Лунінь, Сергій Павлов, Катерина Локес, Янина Скорюкова. «Оптичні методи та інтелектуалізовані оптико-електронні технології для оцінювання ступеню ішемії верхніх кінцівок в медицині катастроф», матеріали Міжнародної науково-технічної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій *"Фотоніка – ODS"*, 2025, 4 с.
212. Ян Лунінь, С.В. Павлов, Л.І. Шкільняк, Я.Г. Скорюкова, Т.М. Канішина. «Застосування згорткових нейронних мереж для підвищення діагностичної точності та ефективності лікування хворих на діабет в пульсодіагностиці», матеріали Міжнародної науково-технічної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій *"Фотоніка – ODS"*, 2025, 4 с.
213. Ян Лунінь, Сергій Павлов, Ярослав Ярославський, Олександр Волосович, Шолпан Жумагулова. «Застосування швидкого перетворення фур'є для аналізу пульсограм», матеріали Міжнародної науково-технічної конференції з оптико-електронних інформаційних технологій *"Фотоніка – ODS"*, 2025, https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ods/ods_2025/paper/view/24747/20456/
214. Пат. на корисну модель № 159143, МПК А61В 5/02. Фотонний волоконно-оптичний пристрій для оцінювання тканинної мікроциркуляції та фізіотерапевтичного впливу. Павлов В.С., Штофель Д.Х., Вуйцік Вальдемар, Ян Лунінь, № заявки: u 2024 04399, заявл. 10.09.2024, опубл. про державну реєстрацію 30.04.2025, Бюл. № 18. – 6 с.
215. Liudmyla Shkilniak, Tetiana Kanishyna, Oleg Vlasenko, Volodymyr Pavlov, Yang Longyin. «Photoplethysmography method for investigation of tissue microcirculation disorders after tooth extraction», Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference *"Modern technologies of biomedical engineering"*, Odessa Polytechnic National University, 2023, с.121-126. <http://dspace.opu.ua/xmlui/handle/123456789/13778>.
216. Володимир Павлов, Ян Лунінь, Ольга Комарова, Олександр Безкрєвний. «Метод та оптико-електронна система для оцінювання тканинної мікроциркуляції», Матеріали міжнародної науково-технічної конференції *«Сучасні технології біомедицинської інженерії»*, Одеса, ОП, 2022, 108-111. <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/12658>.

ДОДАТКИ

Додаток А
Загальний вигляд інтелектуалізованої біотехнічної системи
діагностування функціонального стану на основі пульсодіагностики та
термометрії



Додаток Б

Реалізація програмного забезпечення

Для передачі даних використовується універсальна послідовна шина (USB), яка здатна в режимі full-speed HID забезпечити швидкість передавання даних до 64000 байтів за секунду, в той час як low-speed пристрій забезпечує передачу 800 байтів за секунду. В порівнянні з стандартним UART інтерфейсом, який при стандартній швидкості передачі в 115200 бод забезпечує передачу 14400 байтів за секунду і це з урахуванням службової інформації для забезпечення надійних передач, яка в середньому становить 27% від загального обсягу. Отже передавання даних з використанням стандартного UART на швидкості 115200 бод забезпечить передачу корисної інформації з швидкістю, що приблизно дорівнює 9600 байтів за секунду. Це співрозмірно з low-speed HID USB пристроєм.

Проте зручність та надійність використання USB інтерфейсу для передавання даних є очевидною: по-перше цей інтерфейс забезпечує живлення, і у випадку, коли пристрій споживає менше за 500 мА напруги значенням в 5 В, додатково турбуватись за живлення пристрою немає необхідності. По-друге надійність передавання даних забезпечена на рівні інтерфейсу та програмного забезпечення.

Однак в мікроконтролері ATmega48 не передбачений апаратно модуль інтерфесу USB, і використання його в пристроях на базі такого мікроконтролера можлива лише за умови програмної емуляції, що накладає обмеження на функціонал та швидкість роботи інтерфейсу. Але для передавання цифрових даних зі швидкістю, що співрозмірна стандартній швидкості застарілого UART програмної емуляції більш ніж достатньо.

Програмування мікроконтролера відбувається внутрисхемно з використанням периферійного інтерфейсу SPI. До роз'єму програмування підключається програматор, що здатний працювати з програмною частиною, яка представлена утилітою avreal.

```
D:\>avreal32-1.29r
avreal/WIN32 v1.29r1 (Feb 10 2018 22:43:14)
AVR controllers programmer by Oleksandr Redchuk
http://real.kyiv.ua/avreal
bug-reports, suggestions and so on mail to avreal@real.kiev.ua
```

For short help type
avreal -h

Процес програмування відбувається в командному рядку набором команд і переліком параметрів. До них. Програмування відбувається в два етапи: на одному прописуються значення так званих ф'юзів (бітів в пам'яті мікроконтролера, які відповідають за основні налаштування роботи мікроконтролера) на іншому записується так звана прошивка. Прошивка є результатом компіляції програми написаної на мові високого рівня (наприклад C/C++) в машинні інструкції.

```
D:\>avreal32-1.29r1 +mega48pa -aft2232:enable=~adbus4 -f avreal/WIN32 v1.29r1  
(Feb 10 2018 22:43:14)
```

Device connected, mega48P|mega48PA detected

Chip not locked

Fuses:

OSCCAL = AB

_LOW = 62

CKDIV = 0

CKOUT = 1

SUT = 2

CKSEL = 2

_HIGH = DF

RSTDISBL = 1

DWEN = 1

WDTON = 1

EESAVE = 1

BODLEVEL = 7

_EXT = FF

SELFPRGEN = 1

Total time 201ms

All OK

Бінарний файл, який можна передати програматору для запису в постійну пам'ять мікроконтролера складається з адрес і відповідних даних, що необхідно записати по заданим адресам.

:020000020000FC

:10000000D5C5BBC418951895189518951895C9

:10001000189518951895189518951895189578

:10002000189518951895189518951895189568

:10003000189518950600FF0901A101150026FF007B

:10004000750895200900B20201C0040309041203D7

```
:10005000660062006D0065002E0064006500760099
:100060001403500075006C0073006500320030000E
:100070003100320012011001000000008C016DF0537
:10008000000101020001090222000101008019099A
:1000900004000001030000000921010100012216F3
:1000A00000070581030800326E00840100002C0067
:1000B0005801540C00E00093800005E0009381009B
:1000C00000E000936F000895102F106C10937C00D7
```

Atmel AVR архітектура використовує 8-розрядний шістнадцятковий формат файлу Intel – це формат ASCII для друку, який складається з одного або кількох записів даних, за якими слідує запис кінця файлу. Кожен запис складається з одного рядка інформації. Записи даних можуть відображатися в будь-якому порядку. Значення адреси та даних представлено 2 або 4 шістнадцятковими цифрами.

Формат запису такий: LL AAAA RR DDD...DDD CC

Character	Description
LL	Довжина поля. Кількість байтів.
AAAA	Адресне полу. Адреса першого байту.
RR	Поле типу запису. 00 для даних і 01 для кінця запису.
DD	Поле даних.
CC	Контрольна сума. One's complement для LL, AAAA, RR, DD... полів по модулю 256.

Аналіз контурів пульсової хвилі. Перед початком аналізу пульсової хвилі необхідно ввести дані пацієнта, скориставшись функцією «Відомості» в розділі «Пацієнт». Для розрахунку індексу жорсткості судин слід вказати зріст пацієнта у сантиметрах у відповідному полі та підтвердити натисканням кнопки «Зберегти». Інші поля можуть залишатися незаповненими. Для повернення до режиму перегляду запису використовуйте кнопку «Дивитися».

Щоб вибрати початок і кінець фрагменту для аналізу, скористайтесь кнопками в групі «Вибір фрагмента». Натисніть кнопку «Початок», щоб

встановити маркер початкової точки фрагмента. Перемістіть запис фотоплетизмограми таким чином, щоб маркер точно вказував на початок обраної пульсової хвилі. Потім натисніть кнопку «Кінець» і повторіть процес для вибору завершення фрагмента.

Для забезпечення коректності аналізу пульсової кривої межі обраного періоду необхідно включати невелику частину попереднього та наступного циклів, відповідно до рекомендацій, наведених на рисунку.

Процедура встановлення маркерів для контурного аналізу пульсової хвилі. Для виконання контурного аналізу пульсової хвилі необхідно розмістити маркери на ключових точках кривої:

- **B1** – початок серцевого циклу,
- **B2** – момент максимального розширення судини у фазу вигнання,
- **B3** – точка, що відповідає протодіастолічному періоду,
- **B4** – початок діастолі,
- **B5** – завершення серцевого циклу.

Правильне розташування маркерів проілюстровано на рисунку у програмі.

Щоб встановити маркер, наприклад, **B1**, натисніть кнопку «B1» у секції «Маркери» та клацніть мишею у точці кривої, що відповідає початку серцевого циклу. Для коригування позиції маркера затисніть ліву кнопку миші, утримуючи активну кнопку відповідного маркера у секції «Маркери», і перемістіть його до потрібного місця.

Встановіть усі маркери, повторюючи зазначену процедуру. Маркери можна розставляти в довільному порядку.

Після завершення встановлення маркерів програма **Pulse Control** автоматично виконає розрахунок амплітудно-часових параметрів пульсової хвилі та визначить індекси, які будуть відображені у таблиці «Індекси ПВ».

Для коректного розрахунку індексу жорсткості в програмі необхідно вказати зріст пацієнта. Цей параметр слід внести у розділ «Відомості» про випробовуваного. Натисніть кнопку «Відомості», введіть значення зросту в сантиметрах і збережіть зміни. Після цього знову перейдіть до таблиці «Індекси ПВ», щоб програма виконала розрахунок. Без зазначення зросту розрахунок індексу жорсткості виконати неможливо.

Показник	Опис	Норма
ІЖ, м/с	Індекс жорсткості - параметр, який явно корелює зі швидкістю поширення пульсової хвилі - маркером артеріальної жорсткості / ригідності.	5 – 9 м/с
ІВ, %	Індекс відбиття - відображає переважно тонус артеріол і дрібних судин, опосередковано вказує на	40 - 70 %
АПХ	Амплітуда пульсової хвилі (амплітуда анакротичної фази).	
АДХ	Амплітуда дикротичної хвилі.	0,5* АПВ
ВІ	Висота інцизури.	(2/3)* АПВ
ІДХ	Індекс дикротичної хвилі.	50 - 70%
ТАФ, с	Тривалість анакротичної фази пульсової хвилі.	
ТДФ, с	Тривалість дикротичної фази пульсової хвилі.	
ТФІ, с	Тривалість фази вигнання - параметр, що відображає діастолічну активність.	
ТПХ, с	Тривалість пульсової хвилі.	0,7 - 1,1 с
ІВХ, %	Індекс висхідної хвилі - параметр, що відображає фазу наповнення в систолічний період серцевого циклу, відповідає відношенню тривалості висхідного сегмента анакротичної	15 - 30%

	хвилі до загальної тривалості пульсової хвилі.	
ЧН, с	Час наповнення (відповідає проміжку від початку пульсової хвилі до вершини анакротичної хвилі).	0,06 - 0,2 с
ТС, с	Тривалість систолічної фази серцевого циклу.	0,35 - 0,55 с
ТД, с	Тривалість діастолічної фази серцевого циклу.	0,4 - 0,6 с
ЧВХ, с	Час відбиття пульсової хвилі (відповідає часу розслаблення міокарда в протодіастолічну фазу).	0,2 - 0,4 с
ЧСС	Частота серцевих скорочень.	55 - 85 уд/с
B1 (t; a)	Початок серцевого циклу.	
B2 (t; a)	Момент максимального розширення судини у фазу вигнання.	
B3 (t; a)	Точка, яка відповідає протодіастолічному періоду.	
B4 (t; a)	Початок діастоли.	
B5 (t; a)	Завершення серцевого циклу.	

Інтерфейс робочої області програми поділений вертикальним спліттером, який дозволяє налаштовувати розмір відображуваних секцій. Пересуваючи спліттер вліво або вправо, користувач може змінювати пропорції між областю досліджуваної пульсової хвилі та секцією з обчисленими амплітудно-часовими параметрами. Це забезпечує гнучкість у перегляді та аналізі даних.

Додаток В

Короткий опис використаних підпрограм

Reset: ініціалізація ресурсів мікроконтролері AVR: стек, серійні лінії, буфери USB, переривання.

Main: цикл основної програми. Перевірка діючого значення прапорця і, якщо прапорець встановлений, виконує необхідну процедуру. Додатково, ця програма перевіряє USB скид в лініях даних і повторно ініціалізує інтерфейс мікроконтролера USB, якщо потрібно.

Int0Handler: програма обробки переривання для зовнішнього переривання INT0. Головний приймальний/передавальний двигун; емуляція від USB ліній даних. Запам'ятовування даних в буфері, встановлення USB власників пакету (адреса USB), розпізнавання пакета, відправлення відповіді USB хосту.

MyNewUSBAddress: звертання до INT0 шаблону прийому, чи містить він запит на зміну адреси USB. Адреса і її закодований еквівалент NRZI змінюються для найшвидшої розшифровки адреси протягом того часу, поки USB пакет прийому готовий.

FinishReceiving: копіює закодовані необроблені дані від USB пакету прийому до розшифровуючого пакету (для декодування NRZI і вставки бітів).

USB Reset: ініціалізує інтерфейс USB до значень за умовчанням (еквівалентно стану після ввімкнення).

SendPreparedUSBAnswer: посилає готовий вихідний буферний вміст до ліній USB. NRZI кодування і вставка бітів виконується протягом передачі. Пакет закінчується з EOP.

ToggleDATAPID: перемикає DATAPID ідентифікатор пакету (PID) між DATA0 і DATA1 PID. Це перемикання необхідне протягом передачі за специфікацію USB.

ComposeZeroDATA1PIDAnswer: komponує нульову відповідь на передачу. Нульова відповідь не містить жодних даних і використовується в деяких випадках як відповідь, коли на пристрої немає додаткових доступних даних.

InitACKBuffer: ініціалізує буфер в оперативній пам'яті з даними ACK. Цей буфер часто посилається як відповідь, отже він завжди утримується готовим в пам'яті.

SendACK: передає пакет ACK до ліній USB.

InitNAKBuffer: ініціалізує буфер в оперативній пам'яті з даними. Цей буфер часто посилається як відповідь, отже він завжди утримується готовим в пам'яті.

SendNAK: передає пакет NAK до ліній USB.

ComposeSTALL: ініціалізує буфер в оперативній пам'яті з даними STALL. Цей буфер часто посилається як відповідь, отже він завжди утримується готовим в пам'яті.

DecodeNRZI: виконує NRZI декодування. Дані з ліній USB в буфері NRZI закодовані. Цей шаблон видаляє NRZI кодування з даних.

BitStuff: видаляє/додає вставку бітів в отримані дані USB. Вставка бітів додається технічними засобами хоста згідно з специфікацією USB, аби гарантувати синхронізацію в здійсненні вибірки даних. Цей шаблон виробляє отримані дані без вставки бітів або даних для передачі без вставки бітів.

ShiftInsertBuffer: допоміжна програма, яка використовується, коли виконується додавання вставки бітів. Додає один біт до вхідного буфера даних і тому збільшує буферну довжину. Залишок буфера переміщений.

ShiftDeleteBuffer: допоміжна програма, яка використовується, коли виконується видалення вставок бітів. Переміщає один біт до вхідного буфера даних і тому зменшує буферну довжину. Залишок буфера переміщено.

MirrorInBufferBytes: розставляє байти по порядку, тому що дані, отримані від ліній USB до буфера, знаходяться в інвертованому порядку (LSB/MSB).

CheckCRCIn: виконує CRC (циклічну перевірку за допомогою надлишкових кодів) над пакетом отриманих даних. CRC додається пакету USB для визначення порушення цілісності даних.

AddCRCOut: додає поле CRC у вихідний пакет даних. CRC здійснюється відповідно до USB специфікації USB від даних полів USB.

CheckCRC: допоміжна програма, яка використовується в перевірці CRC і додаванні.

LoadDescriptorFromROM: завантажує дані з ПЗП до вихідного буфера USB (як відповідь USB).

LoadDescriptorFromROMZeroInsert: завантажує дані з ПЗП до вихідного буфера USB (як відповідь USB), але кожен байт додається як нуль. Така процедура використовується, коли дескриптор рядка запитаний у форматі UNICODE (Збереження ПЗП).

LoadDescriptorFromSRAM: завантажує дані з ОП до вихідного буфера USB (як відповідь USB).

LoadDescriptorFromEEPROM: завантажує дані з дані EEPROM до вихідного буфера USB (як відповідь USB).

LoadXXXDescriptor: виконує виділення для розташування джерела відповіді: ПЗП, ОП або EEPROM.

PrepareUSBOutAnswer: готує відповідь USB для вихідного буфера відповідно до запиту хоста USB і виконує запитану процедуру. Додає вставку бітів до відповіді.

PrepareUSBAnswer: головний шаблон для виконання необхідної процедури і підготовки відповідної відповіді. Шаблон спочатку визначить, яку процедуру потрібно виконувати, виявляє номер функції від отриманого пакет початкових даних, а потім виконує запитану функцію. Параметри функції розташовані в пакеті початкових даних.

Шаблон ділиться на дві великі частини:

- стандартні запити;
- спеціальні запити продавця.

Стандартні запити є обов'язковими і описуються в специфікації USB (SET_ADDRESS, GET_DESCRIPTOR).

Спеціальні запити виробника – це запити, які дозволяють виробнику отримати спеціальні дані (у контрольній передачі USB). Контрольна передача IN USB використовується у пристрої AVR для зв'язку з хостом. Розробники можуть додати в цю частину їх власні функції і таки чином підвищити універсальність пристрою. Різна документація побудована на функціях у вихідному коді може бути використана як шаблони для того, як додати звичайні функції [19].

Формат вхідного повідомлення від USB хоста

Як зазначено вище, розробляємий пристрій використовує USB передачу управління. Цей тип передачі використовує формат даних, визначений в специфікації USB описаний в [2] на сторінці 13 (Передача управління). В цьому документі містяться деталі і пояснення того, як працює передача управління і яким чином наш пристрій зв'язується з хостом USB. Пристрій AVR використовує контроль IN кінцевої точки. Хороший приклад передачі даних може бути знайдений на сторінці 15 в [19]. Зв'язок між хостом і пристроєм AVR виконується за цим прикладом.

На додаток до фактичної передачі управління, формат поля DATA0/1 в передачі потрібно обговорювати. Передача управління визначає його початковий стан стандартним запитом, довжина якого 8 байт

Стандартний пакет `setup` використовується для виявлення конфігурації пристрою після ввімкнення. Цей пакет використовує стандартний тип запиту в полі `bmRequestType` (біти D6-D5 = 0). Всі наступні значення полів (`bRequest`, `wValue`, `wIndex`, `wLength`) можуть бути знайдені в специфікації USB. Їх пояснення може бути знайдене на сторінках 27-30 в [119] (Стандартні Запити).

Передача управління використовується для зв'язку з користувачем комунікації, здійснюється як функція по замовчуванню в мікропрограмі. `Vendor Type` використовується в полі `bmRequestType` (біти D6-D5 = 2). В даному випадку всі подальші поля (`bRequest`, `wValue`, `wIndex`) можуть бути змінені згідно з вказівками програміста. У нашому виконанні, поле `bRequest` використовується для номера функції і наступні поля використовуються для параметрів функції. Перший параметр знаходиться в `wValue` слоті, другий – у `wIndex` розташуванні.

Хост USB також зв'язується з пристроєм за допомогою IN передачі управління. Хост посилає, 8-байтовий IN пакет даних до пристрою у форматі, визначеному вище (номер функції і параметри), і пристрій потім відповідає запитаними даними. Довжина даних обмежена мікропрограмою в деяких випадках до 255 байтів, але головне обмеження накладається на драйвер пристрою на головному комп'ютері.

Наукове видання

Сергій Володимирович Павлов

Наталія Іванівна Заболотна

Ян Лунінь

Злата Василівна Бондаренко

**ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ
ТЕХНОЛОГІЇ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ:
ПУЛЬСОДІАГНОСТИКА ТА ТКАНИННА ОПТИЧНА
АНІЗОТРОПІЯ**

Монографія

Видається в авторській редакції

Рукопис оформили: Сергій ПАВЛОВ, Наталія ЗАБОЛОТНА

Оригінал-макет виготовили: Злата БОНДАРЕНКО, ЯН ЛУНІНЬ

Підписано до друку 13.11.2025 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 12,24.
Наклад 30 прим. Зам. 2025-038.

Видавець та виготовлювач –
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114
press.vntu.edu.ua
E-mail: rvv.vntu@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.