

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПРОСОЛОВСЬКИЙ РУСЛАН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 616.072.7

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРИФЕРІЙНОГО
КРОВООБИГУ НА ОСНОВІ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СЕНСОРІВ**

Спеціальність 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Павлов Сергій Володимирович**, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Зленко Сергій Макарович**, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри проектування медико-біологічної апаратури

доктор фізико-математичних наук, професор **Бих Анатолій Іванович**, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри біомедичних електронних пристроїв і систем.

Захист відбудеться "14" _____ 01_____ 2011 р. о _____ 12:00_____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий "13" _____ 12_____ 2010 р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

В.Ю. Кучерук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день, з розвитком нових біомедичних технологій, діагностування стану здоров'я людини є дедалі більш необхідним для попередження захворювань, моніторингу хронічних хвороб, аналізу стану пацієнтів, спостереження за стадіями одужання та реакціями на дії медичних препаратів та інше.

У цьому контексті дослідження периферійного кровообігу людини є достатньо перспективним напрямком діагностування за станом кровоносною системою за декількома причинами: діагностування є неінвазивним методом, який використовує ближній інфрачервоний спектр оптичного випромінювання; результати діагностування можна отримувати з різних частин тіла людини, що дозволяє локально діагностувати рівень циркуляції крові; результати дослідження реєструються і обробляються в режимі реального часу, що забезпечує достатню швидкодію і інформативність методу; оптичний метод є безпечним, а тому може використовуватись разом з іншими засобами діагностування.

За рахунок усіх вищеперерахованих переваг, на сьогодні даний напрям досліджень представляє високу цінність та зацікавленість, і відомо цілий ряд вітчизняних і зарубіжних наукових шкіл, що працюють у напрямку оптичних технологій контролю і вимірювання показників неоднорідних біологічних середовищ, серед яких: О.Д. Азарова, В.А. Амбарцумяна, П. Бугера, В.Б. Василенко, З.Ю. Готри, С.М. Злепка, В.П. Кожем'яко, Г.В. Розенберга, С.В. Павлова, В.Г. Петрука, М.Ю. Сахновського, В.В. Соболева, В.В. Тучина, А.Х. Тейлора, С. Чандарасекара та ін.

Таким чином, тема даної дисертації є актуальною для досліджень та вдосконалень методики неінвазивного діагностування периферійного кровонаповнення, а результати проведених досліджень можуть підвищити достовірність діагностування периферійного кровообігу при певних паталогіях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Науковою базою дисертаційної роботи стали результати, отримані в процесі виконання науково-дослідних робіт, які здійснювались за планами наукових досліджень Вінницького національного технічного університету та Міністерства освіти і науки України за фаховим напрямком «Новітні біотехнології: діагностика і методи лікування найпоширеніших захворювань».

Зміст дисертаційної роботи складають результати досліджень, які проводились протягом 2008-2010 років сумісно науковими школами Вінницького національного технічного університету (кафедра лазерної та оптоелектронної техніки та кафедра загальної фізики та фотоніки), Нового лісабонського університету (департамент фізики та факультет наукової медицини), згідно договору про співпрацю між університетами від 18.07.2005.

Основні результати дисертаційної роботи були отримані у ході виконання держбюджетних тем, які виконувались на кафедрах лазерної та оптоелектронної техніки і кафедри загальної фізики та фотоніки ВНТУ: «Лазерні та оптико-електронні технології в діагностиці, терапії та прогнозуванні стану серцево-судинної системи» (№ державної реєстрації 0102U002272); «Створення оптико-електронних перетворювачів для формування статистичних та динамічних еталонів-образів паталогій мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області» (№ державної реєстрації 0100U002933); «Створення автоматизованих діагностичних систем для оцінювання функціонального стану людини» (№ державної реєстрації 0105U002421); «Створення інформаційних діагностичних технологій для оцінювання стану і визначення індексу здоров'я людини» (№ державної реєстрації 0108U000656).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення достовірності оброблення біомедичних даних шляхом створення оптико-електронної системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів.

Відповідно до поставленої мети даної дисертаційної роботи необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз методів використання оптичних волокон у волоконно-оптичних сенсорах в біомедицині, здійснити аналіз типів оптичних волокон і перспектив їх використання у біомедичних сенсорах, систематизувати отримані результати.
2. Отримати залежності для аналізу ефектів розповсюдження випромінювання через біооб'єкт на основі методу Монте-Карло та провести оцінювання характеру розповсюдження випромінювання у біооб'єктах.
3. Розробити методику для розрахунку основних параметрів випромінювання при розповсюдженні по передаючому оптичному волокні, провести розрахунки затухань випромінювання, побудувати моделі зміни характеристик при зміщеннях випромінюючого та приймаючого оптичних волокон відносно поверхні біооб'єкту.
4. Створити оптико-електронну систему для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів.
5. Розробити алгоритм та програмне забезпечення для реєстрації, оброблення та збереження біомедичних даних в режимі реального часу.

Об'єкт дослідження – динамічні процеси взаємодії та перетворення оптичного випромінювання у біооб'єктах, що мають місце при реєстрації і діагностики рівня периферійної мікроциркуляції, шляхом застосування оптико-електронних приладів та систем діагностики периферійного кровообігу.

Предмет дослідження – оптичні характеристики оптико-електронних біомедичних інтелектуальних пристроїв та систем, на основі яких визначаються гемодинамічні показники стану периферійного кровонаповнення.

Методи досліджень базуються на основних положення системного аналізу і теорії біомедичних засобів, аналізу процесів розповсюдження оптичного випромінювання в біооб'єктах, математичного моделювання, синтезу та схемотехнічної реалізації, обробки біомедичної інформації, теорії побудови алгоритмів і оптико-електронних ланцюгів для аналізу схем.

Наукова новизна одержаних результатів.

Дослідження та отримані результати у даній дисертаційній роботі надають подальшого розвитку неінвазивних систем біомедичних приладів для діагностування периферійного кровообігу.

1. Вперше отримано аналітичну залежність розповсюдження та взаємодії з шарами біотканини зондуючого оптичного випромінювання на основі методу Монте-Карло для волоконно-оптичних сенсорів для системи дослідження периферійного кровообігу, яка враховує параметри приймаючого та передаючого оптичних волокон, а також параметри взаємодії випромінювання з речовиною, що дозволило підвищити достовірність діагностування.
2. Дістав подальшого розвитку клас оптико-електронних систем для дослідження периферійного кровообігу, що враховує динаміку оптичного розповсюдження зондуючого випромінювання, яка обумовлена виявленими особливостями внутрішнього променерозподілу при керованих змінах параметрів середовища та сенсору, що дозволило підвищити достовірність оброблення біомедичної інформації.
3. Дістала подальшого розвитку архітектура оптико-електронної системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів з паралельною обробкою біомедичної інформації в режимі реального часу, яка, на відміну від аналогічних систем, дозволяє проводити просторове дослідження периферійної мікроциркуляції крові з підвищеною достовірністю.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у представлених рекомендаціях щодо розробки системи для дослідження периферійного кровообігу, яка включає у собі дві моделі використання оптичного волокна у складі оптичної системи сенсору: на основі єдиного випромінюючого та приймаючого оптичного волокна, та на основі одного випромінюючого та групи приймаючих оптичних волокон, що дозволило провести аналіз використання оптичних волокон різних параметрів та характеристик, а також визначити найбільш ефективні методики розміщення оптичних волокон в оптичному сенсорі для вирішення двох задач: високої точності та інформативності отриманих біомедичних даних.

Практичні здобутки, які викладені у дисертаційній роботі, дозволили:

1. Реалізувати схемотехнічні рішення побудови оптико-електронних систем діагностики периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів, що проводять реєстрацію та обробку фотоплетизмографічної інформації в режимі реального часу, здійснити апаратно-програмну реалізацію системи для дослідження периферійного кровообігу для оцінювання біомедичних сигналів на основі отриманих фотоплетизмограм;
2. Розробити рекомендації щодо побудови волоконно-оптичних сенсорів на базі групи оптичних волокон для системи діагностики периферійного кровообігу.
3. Провести впровадження системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів на фірмі NMT, Lda (Madan Parque, FCT-UNL. Rua dos Inventores. 2825- 182 Caparica, Portugal), у Вінницькому медичному центрі реабілітації, в навчальному процесі кафедри лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі ідеї і розробки: принциповий підхід, методика, математична модель [1,2,5,14,15], принцип, математична модель, методика та інтерпретація результатів [3,6,7,9,10,18,19], принцип побудови, одержання експериментальних даних та їх інтерпретація [4,11,12,13,16,20], принцип побудови та дослідження [8,17].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 17 науково-технічних конференціях: «Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології PHOTONICS-ODS – 2002, 2005, 2008, 2010» міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Вінниця); XXXI, XXXIII, XXXIV, XXXV науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 2002, 2004, 2005, 2006); «Інтернет-Освіта-Наука-2004», четверта міжнародна конференція ІОН-2002, 28 вересня – 16 жовтня, 2004 р (м. Вінниця, 2004); VIII міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС - 2005)» (м. Вінниця, 24-27 жовтня 2005 року); SPIE International Conference “Optics and Photonics - 2006” (Сан Дієго, Каліфорнія, США, 2006 рік); XXV, XXXII, XXXIV Международные научно-практические конференции «Применение лазеров в медицине и биологии». (Луцк 2006 г., Гурзуф 2009 г., Судак 2010 г.); XIII міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика-2006) (м. Вінниця, 2006 рік) IV Міжнародної науково-технічної конференції „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)”. (м. Вінниця, 2009 рік); I Всеукраїнський з’їзд «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» з міжнародною участю. (м. Київ, 2010 рік).

Публікації. Результати теоретичних і експериментальних досліджень викладені в 20 наукових працях, серед яких 6 статей у наукових журналах, що входять до переліку ВАК України, 12 тез у матеріалах конференцій та 2 патенти на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 5 додатків і списку використаних джерел (106 найменувань). Основний зміст

викладено на 126 сторінках друкованого тексту, містить 52 рисунки, 3 таблиці. Загальний обсяг дисертації 165 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету та задачі досліджень. Наведено основні наукові і практичні результати, відомості про їх впровадження, апробацію і публікацію.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз існуючих пристроїв і систем для дослідження периферійного кровообігу, проведено аналіз методів та засобів для діагностики периферійного кровотоку, які базуються на використанні оптичних волокон або волоконно-оптичних кабелів. Методи класифіковані за методологією здійснення вимірювання, за типом вимірюваної величини, за точністю, а також перспективністю використання в біомедицині.

Для оцінювання та вибору типу оптичних волокон здійснена оцінка взаємодії оптичного випромінювання з шарами тканини шкіри, а також проведено огляд та класифікацію оптичних волокон за такими ознаками, як габаритні параметри та сфера використання.

Огляд методів дослідження та оптичних волокон дозволив визначити та сформулювати ряд задач для подальшого вирішення у дисертаційній роботі.

У **другому розділі** представлена модель розповсюдження оптичного випромінювання в біологічних середовищах та біооб'єктах.

Проведено моделювання розповсюдження випромінювання у біотканинах на базі методу Монте-Карло.

Проведений аналіз дослідження та представлена методика розрахунку параметрів оптичних сенсорів на базі ОВ з урахуванням отриманих результатів.

Для моделі розрахунку взаємодії оптичного випромінювання з тканиною шкіри людини прийнято використовувати спрощену модель, що складається з трьох шарів.

При взаємодії зі шкірою, випромінювання розсіюється, відбивається та проходить крізь тканину. Мають місце такі етапи взаємодії випромінювання зі шкірою тканини як відбиття від поверхні шкіри, $I_{відб}$, де відбувається зміна випромінювання в тілесному куті; поглинання у меланіні, I_m , де відбувається зміна інтенсивності за законом Бугера-Ламберта та відбивання від судин, I_c , де відбувається зменшення інтенсивності. Таким чином, з урахуванням приведеної взаємодії випромінювання з тканинами шкіри аналітично можна записати

$$\Delta I = I_{над} - (I_{відб} + I_m + I_c) = I_0 \cos \theta - (r_1 I_0 d\Omega + (1 - r_1) \exp(-\mu l) + r_2 2dl d\Omega), \quad (1)$$

де I_0 – інтенсивність випромінювання, що взаємодіє з речовиною, θ – кут падіння випромінювання (по закону Ламберта), r_1 – коефіцієнт відбивання шкіри, $d\Omega$ – елементарний тілесний кут, μ – коефіцієнт послаблення, l – оптична товщина середовища, r_2 – коефіцієнт відбиття судин. Формула (1) дозволяє оцінити інтенсивність випромінювання при відбиванні від судин в залежності від рівня їх кровонаповнення.

Дослідження шарів тканини шкіри можна привести до дослідження періодичної структури шарів з різними оптичними характеристиками. Одним із можливих методів розв'язання подібної задачі вважається метод Монте-Карло, який широко використовується для чисельно рішення рівнянь ТПВ. Метод Монте-Карло базується на числовому моделюванні транспорту фотонів в розсіюваному середовищі. Випадкові вектори розповсюдження фотонів всередині зразка біотканини досліджуються від точки входження у зразок біооб'єкту, до його поглинання повного або виходу зі зразка.

Як досліджуваний біооб'єкт у наших дослідженнях виступає шар тканини шкіри. Біля 70% шкіри складає вода і 30% — білки (колаген, еластин, ретикулін), вуглеводи (глюкоза, глікоген, мукополісахариди), ліпіди, мінеральні солі (натрій, магній, кальцій) а також

ферменти. На поверхні шкіри містяться складки, борізки а також валики, які переплітаючись між собою утворюють індивідуальний рисунок шкіри. Шкіра неоднорідна за своєю структурою. У ній виділяють три основні шари: підшкірну жирову клітчатку, дерму та епідерміс.

На рис. 1 представлено результати дослідження характеристик поглинання інфрачервоного випромінювання шкірою миші та щура різних товщин та протягом тривалої дії випромінювання, що спричиняло висушування рідини у шкірі, а, відтак, і зменшення показника поглинання випромінювання шкірою.

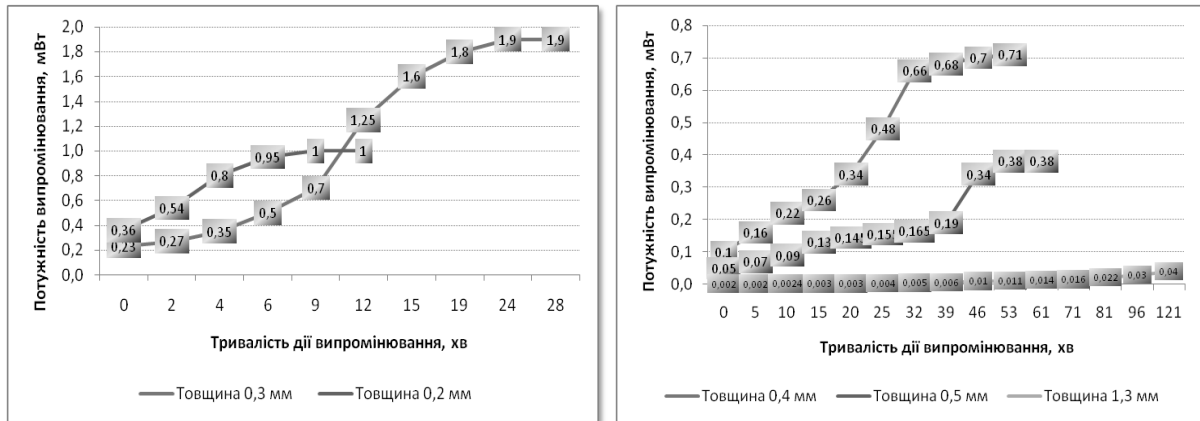


Рис. 1. Діаграми проходження ІЧ випромінювання через шкіру миші (зліва) та щура (справа)

Результати дослідження взаємодії ІЧ оптичного випромінювання з біооб'єктом тканини шкіри показали, що більшість оптичного випромінювання поглинається та розсіюється рідкими речовинами, що входять до складу структури шкіри, перетворюючи його у тепло. Однак, частина випромінювання проходить крізь шкіру і відображається у напрямку, зворотному до напрямку розповсюдження. Ця частина випромінювання і являє інформаційну складову, яка має бути зібраною та заміряною волоконно-оптичним датчиком.

На базі отриманих результатів було побудовано модель та проведено дослідження взаємодії випромінювання з шарами тканини шкіри (рис. 2), де d – діаметр серцевини ОВ, d_1 – віддаленість ОВ від поверхні біотканини, L – товщина шару біотканини, γ , γ_1 і γ_2 – кути падіння, відбивання і заломлення випромінювання відповідно, n_1 , n_0 і n_2 – ПЗ серцевини ОВ, повітря і біотканини відповідно, α – граничний кут розсіяного у біотканині випромінювання, яке потрапляє у ОВ.

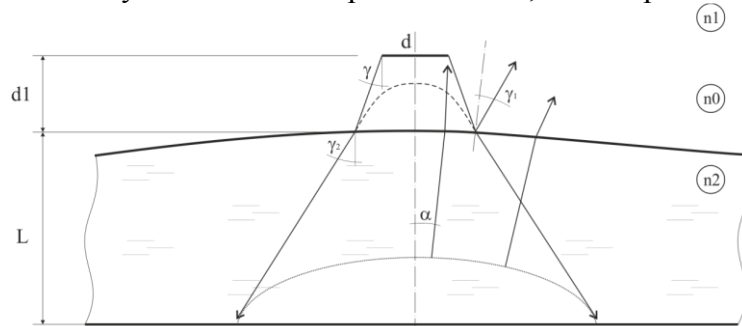


Рис. 2. Модель розсіювання оптичного випромінювання у шарі тканини дерми: штрихова лінія – модель розповсюдження гаусового пучка; пунктирна лінія – еліптична модель відображення сигналу

Розрахунок проходження оптичного випромінювання розраховується у два етапи: розрахунок на межі середовищ між оптичним волокном та навколишнім середовищем (тут враховуються оптичні характеристики ОВ та навколишнього середовища, яке є повітрям);

розрахунок на межі середовищ між навколишнім середовищем та тканиною шкіри, з урахуванням нерегулярної структури тканини шкіри людини.

Значення коефіцієнта зворотного відображення випромінювання R_L визначається у децибелах і розраховується за такою формулою

$$R_L = 10 \log \left(\frac{P'}{P} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{B \pi^2 d^2 \sin^2 \alpha}{4}}{\frac{\pi^2 d^2}{4} B \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^a R_1(\psi) f(\gamma) \cos \theta \sin \theta d\theta} \right), \quad (2)$$

де B – яскравість джерела випромінювання, R_1 – коефіцієнт відображення випромінювання від межі двох середовищ, θ і ϕ – кути розповсюдження випромінювання по відношенню до нормалі до випромінюючої поверхні ОВ.

Таким чином, проаналізувавши результати моделювання коефіцієнту зворотного випромінювання R_L (рис. 3), можна зробити наступні висновки: для багатомодового ОВ зі ступінчастим ПЗ і діаметром серцевини 100 мкм коефіцієнт зворотного відображення складає величину -8,49 дБ, яка буде обрана як базова величина для динамічного діапазону пристрою діагностики на основі волоконно-оптичних сенсорів; торець ОВ складає собою додаткове джерело зворотних відображень сигналу, що у випадку проектування оптичного сенсору на базі одного випромінюючого волокна може вносити додаткові завади у вимірюваний сигнал, тому, як показали результати на рис. 3, часткове зменшення таких завад може бути досягнуто за рахунок полірування торця ОВ під кутом β , який має відповідати граничним межим критичного кута розповсюдження випромінювання в ОВ.

Для моделювання взаємодії оптичного випромінювання з шарами тканини шкіри використовується метод Монте-Карло, який серед своїх переваг дає можливість використовувати будь-яку матрицю розсіювання, при цьому не вносячи обмежень до використання індикатрис з великими передніми максимумами або до використання у якості матриці розсіювання експериментальних даних; відсутнє обмеження на число детекторів, немає складності у визначенні параметрів випромінювання всередині середовища.

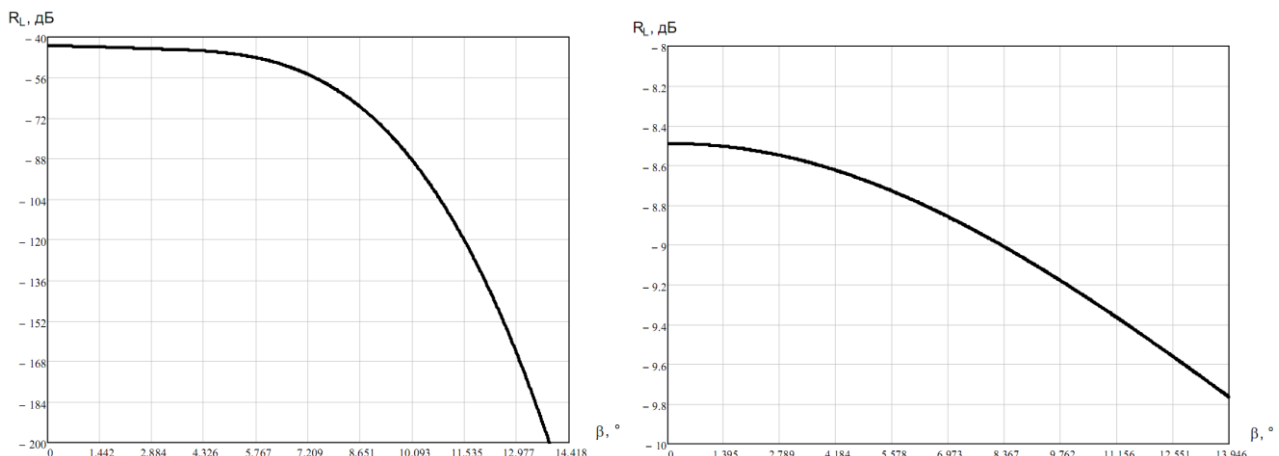


Рис. 3. Графіки залежності коефіцієнта зворотного відображення випромінювання R_L від кута полірування торця ОВ β при проходженні випромінювання від ОВ до тканини шкіри

Важливим аспектом розрахунку параметрів волоконно-оптичного сенсору є врахування взаємодії оптичного випромінювання з поверхнею біотканини. На даний параметр впливає ряд показників, однак, для спрощення аналізу проводиться розрахунок геометричних параметрів взаємодії випромінювання. При цьому враховуються параметри оптичних волокон а також геометрія розташування сенсора відносно поверхні біотканини.

Для аналізу характеристик взаємодії випромінювання з поверхнею біотканини вводяться наступні початкові дані, відносно яких проводиться подальший аналіз:

- Випромінююча та приймаюча поверхні оптичних волокон розташовані у площині, паралельній до площини поверхні біотканини.
- Використовувалось два типи оптичних волокон: багатомодове ОВ зі ступінчатим ПЗ, діаметром серцевини 100 мкм та числовою апертурою 0,29 (тип 1); багатомодове ОВ зі ступінчатим ПЗ, діаметром серцевини 200 мкм та числовою апертурою 0,39 (тип 2).
- Зміщення оптичних волокон можливе лише у площині їх розташування, а зміщення площини можливе лише по вектору нормалі до поверхні біотканини.
- Для просторового представлення оптичного сигналу обрана модель гаусового пучка.

Згідно представленої методики, розрахунок параметрів взаємодії випромінювання проводиться у такі 3 етапи для кожного з двох приведених типів оптичних волокон:

1. Розрахунок площі взаємодії випромінювання з поверхнею біотканини при падінні з випромінюючого ОВ;
2. Побудова пучка відображеного від біотканини випромінювання на базі моделі гаусового пучка;
3. Розрахунок залежності ефективності розташування оптичних волокон відносно поверхні біотканини.

Площа поверхні, на яку падає оптичне випромінювання з випромінюючого ОВ визначається безпосередньо параметрами ОВ а також геометрією розташування волокна. При вищеписаних умовах розташування оптичного волокна функціональна залежність віддаленості оптичного волокна від площі поверхні біотканини, на яку падає випромінювання така

$$S'(h) = 2\pi \left(\frac{1}{2} D + h \tan(\sin^{-1} NA) \right)^2, \quad (3)$$

де $S'(h)$ – функціональна залежність площі поверхні біотканини, на яку падає випромінювання від відстані h до поверхні випромінюючого ОВ; D – діаметр випромінюючого ОВ; NA – числова апертура випромінюючого ОВ.

На рис. 4 представлена графік функції $S'(h)$ при віддаленості випромінюючого ОВ від $h=0$ до $h=500$ мкм.

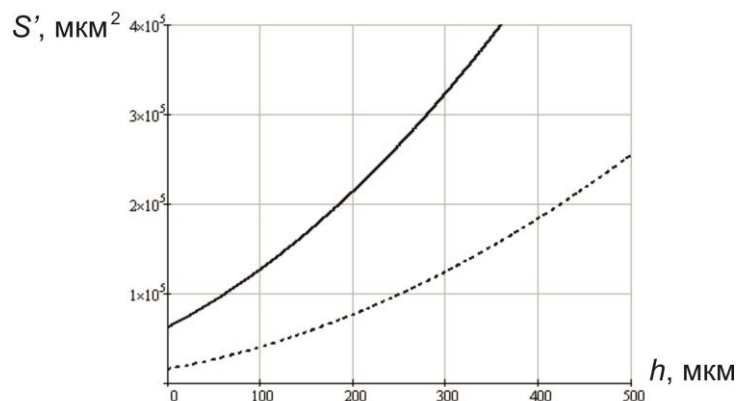


Рис. 4. Графічна залежність площі поверхні біотканини від відстані до поверхні випромінюючого для ОВ типу 1 (пунктирна крива) та типу 2 (суцільна крива)

Для представлення моделі розповсюдження випромінювання від випромінюючого ОВ використовується модель гаусового пучка

$$G(x, y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_x)^2 + (y - \mu_y)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

де $G(x, y)$ – розподіл гаусового пучка в 3-вимірному просторі по координатам x та y ; σ – коефіцієнт масштабування; μ_x та μ_y – коефіцієнти зсуву по осям абсцис та ординат відповідно.

На рис. 5 представлені функціональні залежності розподілу гаусового пучка при віддаленні випромінюючого ОВ типів 1 та 2 відповідно від поверхні біотканини. Вісь абсцис представляє розподіл гаусового пучка (мкм), вісь ординат – віддаленість випромінюючого ОВ від поверхні біотканини (мкм). Графіки представляють собою набори зрізів розповсюдження гаусових пучків при різних значеннях віддалення.

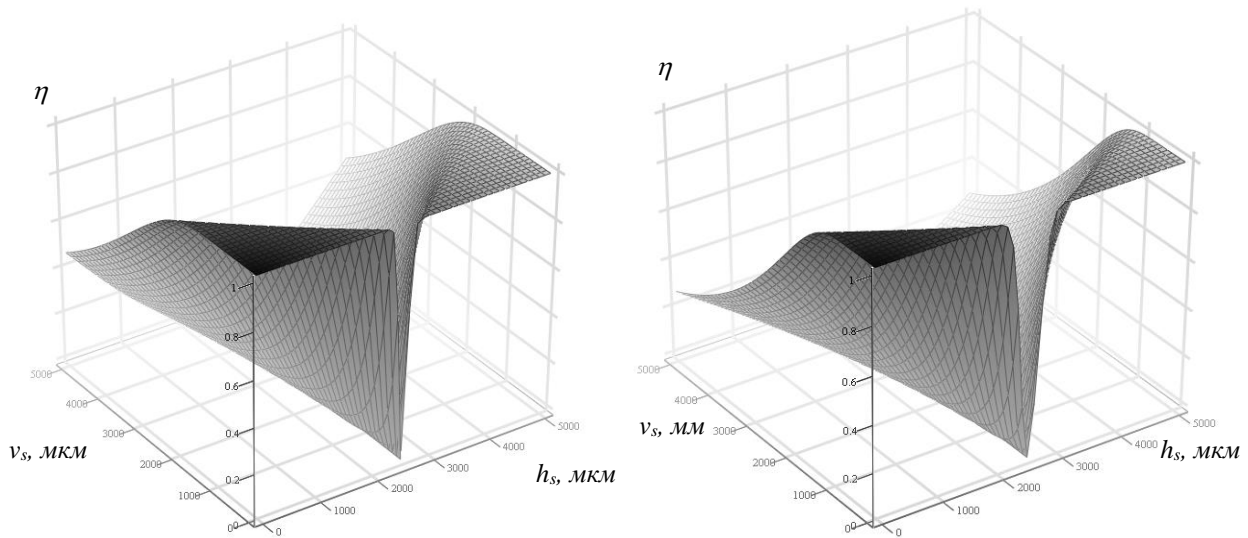


Рис. 5. Функціональна залежність розподілу гаусового пучка при віддаленні випромінюючого ОВ від поверхні біотканини для волокон типу 1 (зліва) та 2 (справа)

При розрахунку ефективності розташування приймаючого ОВ необхідно врахувати 4 можливі випадки перетину перетяжки гаусового пучка полем направлено випромінювання.

По результатам моделювання форм фігур при зміщенні оптичних волокон відносно поверхні біоб'єкту (рис. 6) можна встановити допустимі межі горизонтального та вертикального зміщення випромінюючих та приймаючих ОВ.

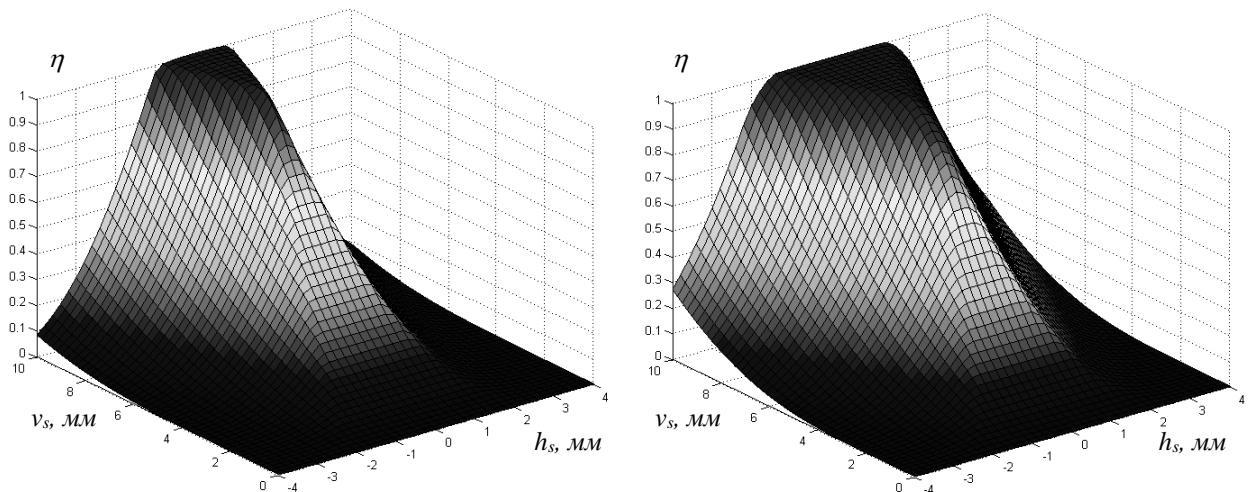


Рис. 6. Графік залежності кількості випромінювання, що потрапила у приймаюче ОВ типу 1 (зліва) та 2 (справа) від горизонтального та вертикального зміщення волокна відносно поверхні біооб'єкту

На рис. 7 представлений графік залежності кількості випромінювання, що потрапила у приймаюче ОВ типу 1 та 2, у залежності від зміщень волокна у просторі відносно поверхні досліджуваного біооб'єкту.

У **третьому розділі** представлені рекомендації щодо розробки системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів. Представлені у роботі методики дозволили провести розрахунок основних параметрів волоконно-оптичних сенсорів, а також зміни характеристик оптичного сигналу в залежності від зміни параметрів розташування ОВ у просторі відносно поверхні досліджуваної біотканини.

Відповідно до представлених результатів моделювання було розроблено сенсори на базі групи оптичних волокон, рис. 7.

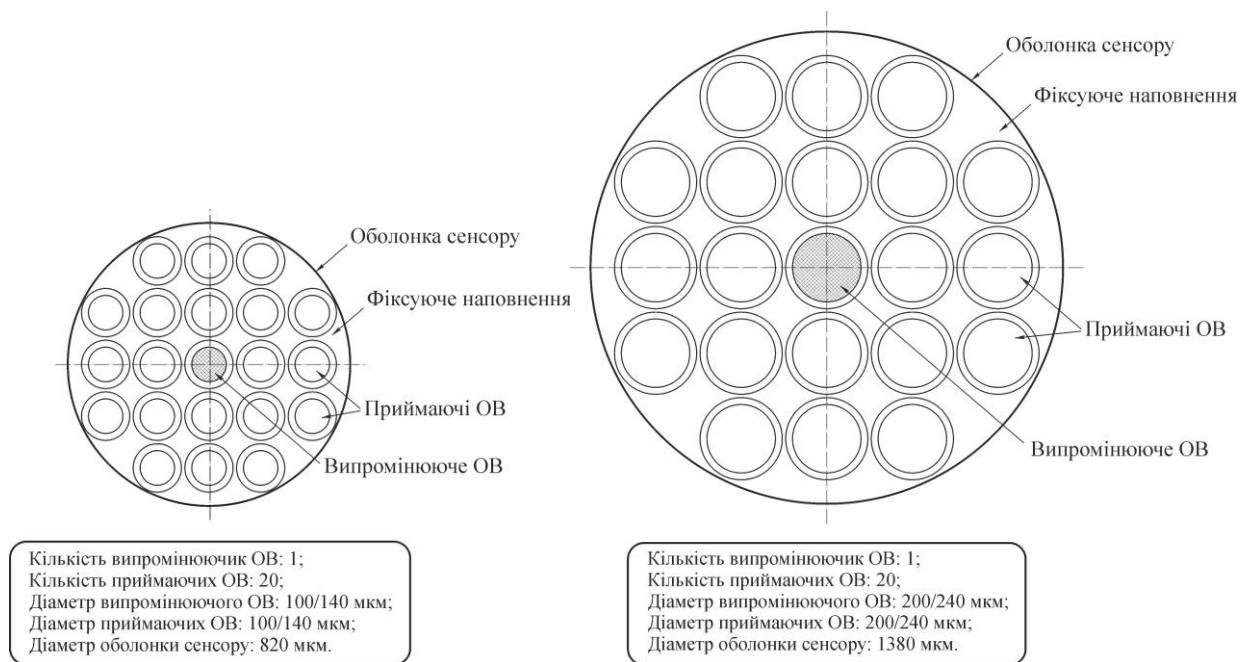


Рис. 7. Розташування випромінюючого та приймаючих ОВ типу 1 (зліва) та 2 (справа) у сенсорі

На базі отриманих результатів була запропонована структурна схема системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів.

Для побудови системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів (рис. 8) необхідно здійснено реалізацію наступних чотирьох складових програмного та апаратного забезпечення: АЗ для модуля ПЛІС; АЗ для модуля ЦСП; ПЗ драйверу; ПЗ користувача.

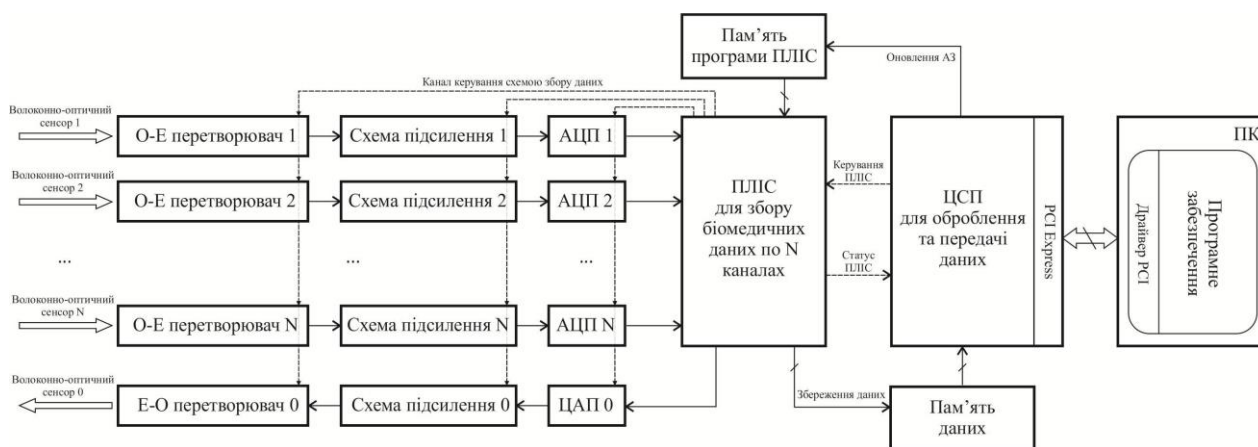


Рис. 8. Структурна схема системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів

Представлена структурна схема системи для дослідження периферійного кровообігу враховує результати моделювання розповсюдження випромінювання у волоконно-оптичних сенсорах та у біооб'єктах. Приведена архітектура дозволяє проводити паралельну обробку біомедичних даних з групи волокон, і це досягається за рахунок використання групи розподілених оптико-електронних перетворювачів, яка з'єднується з модулем ПЛІС. Архітектура і функціональні можливості модуля ПЛІС дозволяє нарощувати кількість приймаючих елементів без подальших змін в архітектурі, а зовнішній модуль пам'яті програми дозволяє здійснювати переадаптацію і налаштування системи до будь-яких вхідних параметрів.

У **четвертому розділі** представлено оцінювання достовірності вимірювань оптико-електронної системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів, яка є абсолютною достовірністю і розраховується як ймовірність правильного рішення при визначенні величини досліджуваного параметру:

$$D_{abc} = 1 - P_{ном}, \quad (5)$$

де $P_{ном}$ – ймовірність помилкового рішення внаслідок похибок вимірювання, що визначається сумою помилок першого (α) і другого (β) роду

$$P_{ном} = \alpha + \beta = \int_{-k\Delta_0}^{\Delta_0} \left[\int_{-\infty}^{\bar{X}_2 - y} p(y, t) dt + \int_{\bar{X}_1 - y}^{\infty} p(y, t) dt \right] dy + \int_{-\infty}^{-k\Delta} \int_{\bar{X}_2 - y}^{\bar{X}_1 - y} p(y, t) dt dy + \int_{\Delta}^{\infty} \int_{\bar{X}_2 - y}^{\bar{X}_1 - y} p(y, t) dt dy, \quad (6)$$

де y – центроване значення підконтрольного параметру; t – випадкова похибка вимірювання; Δ – допустиме відхилення параметра від номінального значення; k – коефіцієнт асиметрії поля допуску; $\bar{X}_2 = -k\Delta - \bar{c}'_2 - \bar{c}_1$; $\bar{X}_1 = \Delta + \bar{c}''_2 - \bar{c}_1$; \bar{c}''_2 – контрольний приріст поля допуску по нижній границі; \bar{c}'_2 – контрольний приріст поля допуску по верхній границі; \bar{c}_1 – математичне сподівання похибки вимірювання.

При розташуванні волоконно-оптичного сенсора виникає похибка встановлення, яка відноситься до випадкових похибок і зумовлена різницею у встановленні об'єкта дослідження по відношенню до падаючого випромінювання. Вона має нормальний закон розподілу з нульовим математичним сподіванням, що описується виразом

$$p(\delta_{вст}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{вст}} \exp\left(-\frac{\delta_{вст}^2}{2\sigma_{вст}^2}\right), \quad (7)$$

де $\delta_{вст}$ – похибка встановлення зразка, $\sigma_{вст}$ – середнє квадратичне значення вказаної похибки.

У результаті проведення дослідження обчислена достовірність оптико-електронної системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичного сенсору складає 0,88. Таким чином, достовірність оптико-електронної системи, що розробляється, збільшилась на 12%.



Рис. 9. Схема логічної взаємодії модулів АЗ та ПЗ системи для дослідження периферійного кровообігу, що розробляється

Представлено розробку програмного забезпечення для розробленої схеми системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів, яка представляє собою складне програмно-апаратне рішення, яке складається з наступних циклів: розрахунок параметрів оптичної системи на базі оптичного волокна; розробка апаратного забезпечення (АЗ) для програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС); розробка апаратного забезпечення для цифрового сигнального процесору (ЦСП); розробка програмного забезпечення (ПЗ) складається з двох основних етапів, драйвера шини PCI та аплікації високого рівня. На рис. 9 представлена схема логічної взаємодії модулів АЗ та ПЗ системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів, що розробляється у даній дисертаційній роботі.

Проведена практична реалізація пристрою для дослідження периферійного кровообігу в рамках впровадження дисертаційної роботи (рис. 10). Пристрій являє собою частковий випадок реалізації системи для дослідження периферійного кровообігу, яка представлена у даній дисертаційній роботі.

В **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, експериментально визначені дані, основний код для програмного і апаратного забезпечення пристрою, а також результати комп'ютерного моделювання в програмі MATLAB.

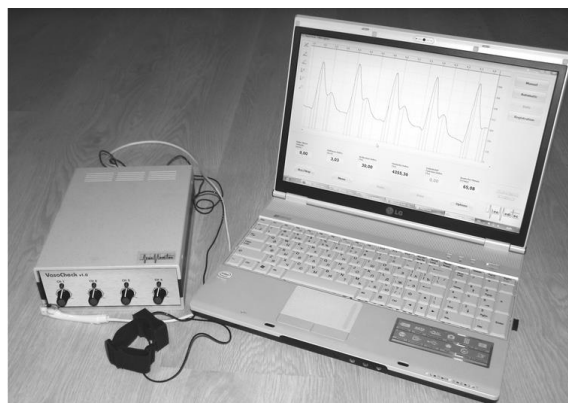


Рис. 10. Пристрій для дослідження периферійного кровообігу

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі проведено огляд, моделювання, дослідження та розробка оптико-електронної системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів.

Відповідно до поставленої задачі, отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз оптико-електронних пристроїв і систем для дослідження периферійного кровообігу, методів використання оптичних волокон у волоконно-оптичних сенсорах в біомедицині, та аналіз типів оптичних волокон і перспектив їх використання у біомедичних сенсорах.
2. Представлено модель розповсюдження тестуючого випромінювання, яке проходить по випромінюючому ОВ на основі методу Монте-Карло. Модель враховує зміну відразу декількох параметрів: вертикальне зміщення випромінюючого ОВ відносно поверхні біотканини (наближення та віддалення сенсору), горизонтальне зміщення випромінюючого ОВ відносно вісі симетрії, тип випромінюючого ОВ.
3. Розроблено метод для розрахунку основних параметрів випромінювання при розповсюдженні по передаючому оптичному волокні, проведено розрахунки згасання випромінювання, побудовано моделі зміни характеристик при зміщеннях випромінюючого та приймаючого оптичних волокон відносно поверхні біооб'єкту.
4. Представлено аналіз моделі розрахунку внесених згасань біомедичного сигналу при розповсюдженні в оптичній системі на базі оптичного волокна. Рівень згасань, що вноситься в оптичний сигнал,
5. Проведено вдосконалення архітектури системи для дослідження периферійного кровообігу на основі групи волоконно-оптичних сенсорів, яка враховує результати моделювання розповсюдження випромінювання у волоконно-оптичному тракті а також взаємодію випромінювання з поверхнею та шарами біотканини.
6. Отримано залежності щодо аналізу ефектів розповсюдження випромінювання через біооб'єкт, представлена оцінка характеру розповсюдження випромінювання у біооб'єктах.
7. Розроблено оптико-електронну систему для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів.
8. Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для реєстрації, оброблення та збереження біомедичних даних в режимі реального часу.
9. Проведена метрологічна оцінка інструментальної похибки вимірювання системи для дослідження периферійного кровообігу на основі оптичних волокон, що розробляється. Результат показав, що для представленої структурної схеми системи максимальна відносна похибка, яка може бути внесена у результати вимірювання складає 1,5%.

Результати досліджень, що представлені у дисертаційній роботі впроваджено: на фірмі NMT, Lda, Португалія; у Вінницькому медичному центрі реабілітації та спортивної медицини; у навчальному процесі кафедри лазерної та оптоелектронної техніки

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Просоловський Р.В. Аналіз та перспективи використання волоконно-оптичних сенсорів в біомедицині / Павлов С.В., Азаров О.Д., Просоловський Р.В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – №1(17). – С. 5-15.
2. Просоловський Р.В. Проектування волоконно-оптичних сенсорів в контексті побудови оптико-електронних приладів дослідження периферійного кровообігу / Павлов С.В., Азаров О.Д., Василенко В.Б., Просоловський Р.В. // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – №1 (19). – С. 124-133.

3. Просоловський Р.В. Система контролю оптичного кабелю / Лисенко Г.Л., Просоловський Р.В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2004. – №1. – С. 33-40.
4. Просоловський Р.В. Аналіз інформаційних технологій моніторингу та контролю оптичних волокон / Павлов С.В., Просоловський Р.В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №3(10). – С. 144-154.
5. Просоловський Р.В. Використання волоконно-оптичних сенсорів у біомедичних дослідженнях / Павлов С.В., Просоловський Р.В., Козловська Т.І. // Оптиелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – №15. – С. 154-159.
6. Просоловський Р.В. Автоматичний аналіз рефлекторами оптичного часово-імпульсного рефлектометра методом кореляцій / Лисенко Г.Л., Просоловський Р.В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, Міжнародний науково-технічний журнал. – 2005. – №3. – С. 209-215.
7. Деклараційний патент на корисну модель 5085 Україна, G01N21/55. Пристрій для контролю оптичного кабелю // Лисенко Г.Л., Просоловський Р.В., Тютюнник І.І.; заявл. 01.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.
8. Деклараційний патент на корисну модель 38731 Україна, МПК(2006) A61B 5/0205, G01N 21/01. Волоконно-оптичний пристрій для дослідження периферійного кровообігу // Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Просоловський Р.В.; заявл. 19.05.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
9. Просоловський Р.В. Використання волоконно-оптичних сенсорів у біомедичних дослідженнях / Павлов С.В., Просоловський Р.В. // Abstracts. IV International Conference on Optoelectronic Information Technologies "Photonics-ODS 2008". – Ukraine, Vinnitsa, VNTU, 2008. – P. 66-67.
10. Просоловський Р.В. Біомедичний оптоволоконний сенсор для просторової діагностики біотканини / Павлов С.В., Василенко В.Б., Просоловський Р.В. // Матеріали XXXII Міжнародної науково-практичної конференції „Применение лазеров в медицине и биологии. IV Шахбазовские чтения”. – Гурзуф, 2009. – С. 200-201.
11. Просоловський Р.В. Оптичні технології в контексті реалізації інтелектуальних біокопроцесорних оптико-електронних систем / Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Просоловський Р.В., Козловська Т.І. // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)”, Ч.1. – Вінниця, 2009. – С. 21.
12. Просоловський Р.В. Волоконно-оптичний сенсор для просторового дослідження ділянок біотканини / Павлов С.В., Просоловський Р.В. // I Всеукраїнський з'їзд «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» з міжнародною участю. Збірник праць. – Київ, 2010. – С. 281.
13. Просоловський Р.В. Волоконно-оптичний сенсор для просторового дослідження периферійного кровообігу на базі групи волокон / Павлов С.В., Василенко В.Б., Просоловський Р.В. // V International Conference on Optoelectronic Information Technologies, "Photonics-ODS 2010". – Ukraine, Vinnitsa, VNTU, 2010. – P. 109.
14. Prosolovskyi Ruslan. Novel four channel photoplethysmographic apparatus for arterial stiffness assessment / Vassilenko Valentina, Pavlov Sergey, Silva Ana Catarina, Prosolovskyi Ruslan // V International Conference on Optoelectronic Information Technologies, "Photonics-ODS 2010". – Ukraine, Vinnitsa, VNTU, 2010. – p. 164.
15. Просоловський Р.В. Волоконно-оптичний сенсор для дослідження ділянок біотканини / Павлов С.В., Василенко В.Б., Колісник П.Ф., Просоловський Р.В. // Матеріали XXXIV міжнародної науково-практичної конференції Применение лазеров в медицине и биологии. – Судак, 2010. – С. 226-227.
16. Просоловський Р.В. Квантова діагностика і терапія в біомедицині / Кожем'яко В.П., Тютюнник І.І., Просоловський Р.В. // «Оптиелектронні інформаційно-енергетичні технології – 2002». Збірник тез доповідей другої міжнародної науково-технічної

- конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Вінниця, 23-25 квітня 2002 року. – Вінниця, 2002. – С. 63.
17. R.V. Prosolovskyy. Automatic reflectogram analysis for optical time-domain reflectometer with correlation method / H.L. Lysenko, R.V. Prosolovskyy, I.I. Tyutyunyk // SPIE International Conference “Optics and Photonics - 2006”. – San Diego, California, USA, 13-17 August 2006. – P. 122.
 18. Просоловський Р.В. Optical Cable Control System / Лисенко Г.Л., Просоловський Р.В. // «Інтернет-Освіта-Наука-2004», четверта міжнародна конференція ІОН-2002, 28 вересня – 16 жовтня, 2004 р. Збірник матеріалів конференції. Том 2. – Вінниця, 2004. – С. 719.
 19. Просоловський Р.В. Оптичний рефлектометр для ВОЛЗ / Лисенко Г.Л., Тютюнник І.І., Просоловський Р.В. // Тези студентських доповідей, рекомендованих до опублікування оргкомітетом XXXIII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, присвяченої 80-річчю проф. Кузьміна. – Вінниця, 2004. – С. 169.
 20. Просоловський Р.В. Система контролю захисту інформації в швидкісних магістральних волоконно-оптичних мережах / Доц., к.т.н. Лисенко Г.Л., Просоловський Р.В. // Abstracts of International Conference on Optoelectronic Informational Technologies “PHOTONICS – ODS 2005”. – Вінниця, 2005. – С. 54.

АНОТАЦІЯ

Просоловський Р.В. Оптико-електронна система для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичних сенсорів. – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця – 2010.

Дисертація присвячено покращенню пристрою для дослідження периферійного кровообігу за рахунок використання нових типів сенсорів на базі оптичних волокон, що дозволило вирішити відразу дві принципові задачі у біомедицині: покращити достовірність результатів дослідження біооб'єктів та зменшити розміри сенсору. У відповідності до удосконалення принципу збору біомедичних даних було проведено удосконалення елементної бази системи для дослідження периферійного кровообігу для забезпечення можливості збору, підсилення, накопичення та первинної обробки результатів.

Представлено дві моделі побудови волоконно-оптичних сенсорів на базі групи волокон для дослідження периферійного кровообігу в щелепо-лицьовій області.

Проведена розробка системи для дослідження периферійного кровообігу на основі волоконно-оптичного сенсору, а також представлена реалізація програмного та апаратного забезпечення.

Ключові слова: біомедицина, дослідження периферійного кровообігу, волоконно-оптичний сенсор, біомедицина, щелепо-лицьова область.

АННОТАЦИЯ

Просоловский Р.В. Оптико-электронная система для исследования периферийного кровообращения на основе волоконно-оптических сенсоров. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за специальностью 05.11.17 – Биологически и медицинские приборы и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница – 2010.

Диссертация посвящена улучшению прибора для исследования периферийного кровообращения за счет использования новых типов сенсоров на базе оптических волокон.

Обоснована актуальность использования исследования периферийного кровообращения для диагностики и контроля состояния пациентов, которые принимают препараты или страдают на заболевание сердечнососудистой системы. Также обозначена необходимость усовершенствования методики, а также средств для проведения диагностики, в частности, путем увеличения информативности и уменьшения размеров измеряющей части прибора, что позволило бы проводить диагностику в челюстно-лицевой области.

Проведен анализ существующих средств и методов диагностики, которые основаны на использование оптических волокон или волоконно-оптических кабелей. Методы классифицированы, а также отобраны по уровню точности и достоверности результатов.

Представлена опытная часть, которая состоит из исследования характеристик биообъектов на примере тканей кожи мыши и крысы. Проведен анализ исследования, а также расчет параметров оптического сенсора на базе оптического волокна с учетом полученных результатов.

Представлен расчет главных параметров разрабатываемого волоконно-оптического сенсора, а также разработана и представлена модель изменения характеристик оптического сигнала в зависимости от изменения параметром расположения оптического волокна сенсора в пространстве относительно поверхности биообъекта.

Представлено разработку системы для исследования периферийного кровообращения на базе волоконно-оптического сенсора как сложного программно-аппаратного решения, состоящего из следующих циклов: расчет параметров оптической системы на базе оптического волокна; разработка и отладка аппаратного обеспечения для программируемых логических интегральных схем; разработка и отладка аппаратного обеспечения для цифрового сигнального процессора; разработка высокоуровневого программного обеспечения.

Представлен расчет и анализ основной погрешностей измерения.

Большое внимание в диссертационной работе уделено проектированию и разработке оптических сенсоров на базе оптического волокна, а также разработке программно-аппаратного комплекса системы, которая бы своим быстродействием удовлетворяла тому массиву данных, который позволяет переносить волоконно-оптический тракт.

Практическая ценность полученных результатов диссертационной работы состоит в том, что предложено две модели использования оптического волокна в составе оптической системы сенсора для прибора для диагностики периферийного кровообращения в биообъектах: на базе единственного излучающего и принимающего оптического волокна, и на базе одного излучающего и группы принимающих оптических волокон, что соответствовало задачам уменьшения размеров и увеличения информативности системы соответственно.

Впервые представленная методика и проведено моделирование взаимодействие оптического излучение с биообъектом, что позволило провести анализ использования оптических волокон различных характеристик, а также определить наиболее эффективные методики размещения оптических волокон в сенсоре для решения двух задач: высокой точности и информативности полученных биомедицинских данных.

Результаты диссертационной работы внедрены на фирме NMT, Lda., Португалия. Внедрена методика неинвазивного исследования периферийного кровообращения на базе волоконно-оптического сенсора, а также прибора для выполнения васкулярной диагностики.

Ключевые слова: биомедицина, исследование периферийного кровообращения, волоконно-оптический сенсор, челюстно-лицевая хирургия.

ANNOTATION

Prosolovskyi R.V. Opto-Electronic System for Peripheral Blood Circulation Investigation on Fiber-Optic Sensor. – A manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences for the specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia – 2010.

This thesis is dedicated to improve the device for peripheral blood circulation investigation with use of new types of sensors on basis of optical fibers which helped to solve two principal tasks of biomedicine: to improve the reliability of bioobjects investigations and to reduce the size of the sensor. In accordance with the improvement of biomedical data gathering, it was improved the element base of the device in order to allow gathering, amplifying, storing and previous processing of the results.

Presented two models of the development of fiber-optic sensors on the basis of group of fibers for peripheral blood circulation investigation in maxillofacial area.

Presented development of system for peripheral blood circulation investigation on fiber-optic sensor as well as software and hardware development.

Keywords: biomedicine, peripheral blood circulation investigation, fiber-optic sensor, maxillofacial surgery.

Підписано до друку 07.12.2010 р. Формат 29.7×42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. № 2010-189
Надруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: (0432) 59-81-59