

**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ТОМЧУК МИКОЛА АНТОНОВИЧ**

УДК 681.518.3:535.243.2

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ НЕІНВАЗІЙНОЇ  
СПЕКТРОФОТОМЕТРІЇ БІОТКАНИН**

*Спеціальність 05.11.16 – Інформаційно-вимірювальні системи*

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця - 2001

Дисертацією є рукопис

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

*Науковий керівник:* доктор технічних наук, професор  
**Петрук Василь Григорович,**  
Вінницький державний технічний університет, завідувач кафедри хімії та екологічної безпеки

*Офіційні опоненти:* доктор технічних наук, професор  
**Назаренко Леонід Андрійович,**  
Державний науково-дослідний інститут  
“Метрологія” (м.Харків), керівник відділу термометрії, фотометрії та теплофізичних вимірювань

доктор технічних наук, доцент  
**Злепко Сергій Макарович,**  
Вінницький державний технічний університет,  
професор кафедри “Проектування комп’ютерної, біомедичної та теле-  
комунікаційної апаратури”

Провідна установа: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, кафедра інформаційно-виміральної техніки, Міністерства освіти і науки України, м.Київ

Захист відбудеться “27” жовтня 2001 р. о 9<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому державному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Вінницького державного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

Автореферат розісланий “25” вересня 2001 р.

*Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради*

**Павлов С.В.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми.** Робота викликана необхідністю розроблення спектрофотометричних інформаційно-вимірювальних систем для безболісної, неінвазійної діагностики біотканин, які можна використовувати в судово-медичній експертизі, криміналістиці, медицині катастроф тощо.

Для біомедичних апаратів та інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) чи не найважливішими характеристиками є безболісність, неруйнівність, неінвазійність вимірювань в процесі діагностики. Такі ІВС необхідні як при визначенні діагнозу багатьох захворювань так і для розв'язку важливих задач, особливо в судово-медичній експертизі, криміналістиці, де до цього часу в значній мірі використовуються суб'єктивні та метамірні методи. У зв'язку з цим, розробка та впровадження в практику спектрофотометричних ІВС, зокрема, для неінвазійної діагностики, є завданням досить важливим і має велике значення як для розвитку оптичних засобів вимірювань, так і діагностики в медичній галузі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась відповідно з програмами наукових досліджень Держкомітету у справах науки і технологій та координаційного плану науково-дослідних робіт на 1997-1999 рр. Міносвіти України "Науково-технічні основи створення медичних засобів" по держбюджетних темах за номерами їх держреєстрації: №0197U012591, №0298U000538, №0299U001666 та №0199U003429, у виконанні яких автор приймав безпосередню участь в якості відповідального виконавця.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є застосування спектрофотометричного методу та інтегровального резонатора як первинного перетворювача інформаційно-вимірювальної системи для неінвазійної діагностики біотканин, а також удосконалення характеристик ІВС та вивчення спектральних закономірностей поверхневих патологій з її допомогою. Відповідно до цієї мети необхідно було розв'язати такі основні задачі:

- на основі спектрофотометричного методу розробити нові вимірювальні засоби для неінвазійної діагностики біотканин;
- вдосконалити існуючі методики спектрофотометричних вимірювань живих та неживих біотканин;
- синтезувати математичні моделі давачів та об'єктів вимірювань;
- дослідити можливі реалізації інформаційно-вимірювальної системи та створити програмне забезпечення для трьох основних режимів її роботи;
- для підтвердження теоретичних розробок та положень здійснити ряд експериментальних досліджень з різними біооб'єктами вимірювань різноманітної природи та походження.

**Об'єкт дослідження** – процес вимірювання оптичних характеристик за допомогою ІВС для неінвазійної спектрофотометрії біотканин.

**Предмет дослідження** – оптичні та метрологічні характеристики первинного перетворювача спектрофотометричної ІВС і спектральні закономірності відбивання випромінювання біотканинами.

**Методи дослідження** – при розв'язанні поставлених задач використовувались методи теорій вимірювань, похибок, теорії планування експерименту, переносу випромінювання, нечітких множин, математичної статистики і математичного моделювання, а також методи оптики світло-розсіювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В роботі одержані такі наукові результати:

- удосконалено математичну модель перетворення оптичного інформативного сигналу у сферичному первинному перетворювачі як основному елементі вимірювального каналу ІВС за способом Тейлора, що дало можливість врахувати тіньові ефекти в фотометричній головці, оптимізувати її оптико-геометричні та енергетичні характеристики для розв'язання конкретних діагностичних задач і зменшити похибку вимірювань спектрофотометричних параметрів біотканин до 3,5-4,8%;
- отримали подальший розвиток методи інтегровального резонатора та дифузного відбивання, які на відміну від існуючих реалізацій відрізняються застосуванням виносних інтегровальних зондів з волоконно-оптичним хвилеводом, що дозволило поширити отримані результати на неінвазійну спектрофотометрію біотканин;

- вперше розроблена математична модель перетворення випромінювання приповерхневим прошарком біотканини як неоднорідного середовища, яка дозволяє враховувати розсіювальні ефекти, визначати її поглинальні характеристики за інтегральним коефіцієнтом відбивання, що дало можливість підвищити чутливість первинного перетворювача;
- вперше отримати аналітичні залежності для оцінки статичних метрологічних характеристик розробленої ІВС, які дозволили оптимізувати процес вимірювання спектрофотометричних параметрів біотканин за швидкістю і необхідною точністю. При цьому одержані значення інструментальної ( $\sigma=0,0155$ ) і сумарної методичної ( $\delta=0,0325$ ) похибок свідчать про підвищення точності вимірювань з допомогою розробленої ІВС і необхідну надійність одержаних експериментальних результатів.

*Достовірність та обґрунтованість* положень і висновків підтверджена співставленням і задовільним збігом результатів експериментальних досліджень та відповідних математичних моделей (8-12%), а також патентами на винаходи.

**Практичне значення одержаних результатів.** Полягає у розробці інформаційно-вимірювальної системи для неінвазійної діагностики біотканин на базі спектрофотометричного методу. До одержаних в дисертації результатів, які мають важливе значення і знайшли практичну реалізацію, належать:

- реалізований і впроваджений спектрофотометричний метод неінвазійного вимірювання оптичних характеристик поверхні біотканин з використанням переваг по чутливості інтегрувального резонатора, що дозволяє його застосовувати для діагностичних задач в медицині, а також визначати термін нанесення ушкоджень для травмованих біотканин в судмедекспертизі;
- розроблені методики проектування спектрофотометричних ІВС, а також методики вимірювання оптичних параметрів біотканин, зокрема коефіцієнтів дифузного відбивання та індикатрис розсіювання;
- розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення, що реалізоване в одній інтегрованій програмній оболонці, яка дозволяє, використовуючи глобальні інформаційні мережі, проводити наукові дослідження та судово-медичну діагностику поверхні біотканин на відстані. Серед них – розроблена проблемно-орієнтована експертна система СЕД1 для роботи з ІВССД-1, в складі якої є підсистема, реалізована на логіці правил СНЕД-1 і на нечіткій логіці СЕНОД+. В реалізації останньої запропоновано функції належності і неналежності нечітких термів;
- розроблена і впроваджена вимірювальна система спектрофотометричної діагностики біотканин, що використовує за принципом Сумпнера сферичний первинний перетворювач із зразком на стінці фотометричної головки та виносні інтегрувальні зонди, що дозволяють проводити неінвазійну діагностику живих тканин. При цьому за допомогою математичних пакетів MapleV, MathCad 8.0 отримано ряд залежностей, які дозволяють гнучко розв'язувати практичні задачі ефективного проектування і конструювання таких вимірювальних перетворювачів;
- вперше експериментально досліджені спектральні закономірності процесів деструкції гемоглобіну в травмованих біотканинах і отримано відповідні залежності коефіцієнтів переходу, що дають можливість підвищити експресність до 10 хв. при визначенні терміну нанесення ушкоджень в межах 6 діб.

Основний зміст роботи складають результати досліджень на кафедрі хімії та екологічної безпеки, а також кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького державного технічного університету за період з 1995 по даний час. За безпосередньою участю автора розроблені і впроваджені окремі результати дисертаційної роботи: 1) у науково-дослідний експертно-криміналістичний центр УМВС України; 2) у Вінницькому обласному бюро судово-медичних експертиз; 3) на кафедрі патанатомії та судово-медичної експертизи Вінницького державного медичного університету ім. М. І. Пирогова; 4) в навчально-методичний процес Вінницького державного технічного університету; 5) у науково-виробничому підприємстві "Гіперборей".

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом у [3,15,10,7,11,17] – запропоновані структурні схеми спектрофотометричної скануючої системи за її відбивальними характеристиками зразка, давачі. Розроблені методики інвазійної і неінвазійної діагностики біотканин; [1,2,21] – запропоновано математичні моделі трансформації світлового поля у інтегрувальному резонаторі біотканини

при вимірюванні значення інтегрального коефіцієнта дифузного відбивання неінвазивним методом. Досліджено індикатриси відбитої компоненти випромінювання на 15 довжинах хвиль; [5,13] – запропоновано механізм зміни площі входної щілини нормуючим пристроєм для спектрофотометричних приладів. Приймав участь у розробці математичних моделей; [9] – досліджено динаміку спектральних характеристик травмованих біотканин від часу; [14,18,8] – запропоновано використати сфери для онкодіагностики гуморальних середовищ по антитілам та разом з волоконо-оптичним хвилеводом чи системою світлофільтрів для діагностики в онкології, гематології та для диференційної діагностики "КРАШ" -синдрому; [6,16,7] – запропоновано метод зняття спектральних характеристик блоку спряження і управління кроковими двигунами та структури, алгоритми програмного забезпечення і управління спектрофотометричними вимірювальними системами. Розроблено мікропроцесорний контролер для вирішення даної задачі; [12, 20] – запропоновано в якості інформативного параметра використовувати коефіцієнти переходу та різницю між показниками відбивання випромінювання інтактним і травмованим зразком. Розроблено блок оптичного зв'язку волоконо-оптичного хвилеводу і інтегрованої сфери; [19] – запропоновано порівнювати спектр дифузного відбивання патологічної ділянки з відповідним спектром здорової тканини.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 11 науково-технічних конференціях міжнародного, республіканського та відомчого рівнів, у тому числі: 1) НК з міжнародною участю (Хмельницький, 1995); 2) III Міжнародна НТК "Контроль і управління в технічних системах" (Вінниця, 1995); 3) НТК з міжнародною участю "Приладобудування-95" (Вінниця-Львів, 1995); 4) I-а Укр. НМК "Комп'ютерні програми навчального призначення" (Донецьк, 1995); 5) Міжнародна НТК "Леотест-97" (Київ-Львів, 1997); 6) Міжнародний симпозиум молодих учених (Зелена Гура, Польща, 1998); 7) II Міжнародний молодіжний форум "Радіоелектроніка і молодь у XXI віці" (Харків, 1998); 8) 6-й Всеросійський студентський семінар "Проблеми управління" (Москва, 1998); 9) VI НТК "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (Хмельницький, 1999); 10) 7-а Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини" (Вінниця, 2000); 11) Міжнародна конференція по оптоелектронних інформаційних технологіях "PHOTONICS-ODS 2000" (м. Вінниця, 2000).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи висвітлені у 26 наукових публікаціях, у тому числі: 7 статтях у наукових журналах, що входять до переліку ВАК України, 4 патентах України, 11 тезах доповідей та ін.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, що містять 55 рисунків і 9 таблиць, основних висновків по роботі, списку використаних джерел (201 бібліографічне посилання) і шести додатків. Загальний обсяг дисертації складає 197 сторінок, з яких основний зміст викладено на 142 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**У вступній частині** зазначена актуальність теми дослідження, відмічено зв'язок роботи з науковими темами, вказана мета досліджень і сформульовані основні задачі дисертації, показана наукова новизна та її практичне значення, розглянуто особистий внесок автора у друкованих працях із співавторами.

**У першому розділі** розглянуто сучасний стан і розвиток вітчизняних та зарубіжних спектрофотометричних інформаційно-вимірювальних систем для неінвазивної діагностики біотканини. Проаналізовані сучасні вимоги та методологічні проблеми спектрофотометричних вимірювань в процесі біомедичної діагностики. Проведений аналіз показав, що сучасний стан методів і засобів оптичних вимірювань біомедичних об'єктів вимагає подальшого розвитку і розробки експериментальних методик і неінвазивних методів вимірювань, що дасть можливість проводити якісну експертно-криміналістичну та судово-медичну експертизу і підвищить достовірність діагностики ряду захворювань. Особливим при цьому є уніфікація первинних перетворювачів світлового поля, зокрема, за принципом інтегрованої сфери, що дозволяє у повній мірі враховувати на відміну від існуючих методик, кооперативні та ефекти розсіювання, а, відтак, збільшити точність і достовір-

ність результатів та ефективність прямих експериментальних методів. На даному етапі розвитку спектрофотометричних ІВС для медицини однією з найактуальніших задач є проблема неінвазійності вимірювань. Особливо це стосується тих задач, де для їх розв'язання доводиться стикатися з особливостями живих тканин, організмів, наприклад, діагностичні задачі чи задачі судово-медичної діагностики тощо. Приведена класифікація спектрофотометричних вимірювань та визначена специфіка біомедичних об'єктів вимірювань як світлорозсіювальних середовищ.

*У другому розділі* розроблена математична модель інтегрувального резонатора як первинного перетворювача і базового вузла розробленої спектрофотометричної ІВС та проведено детальний аналіз трансформації світлового випромінювання в первинному перетворювачі. Доведено, що сферичний інтегрувальний резонатор є унікальним первинним перетворювачем світлового сигналу, в якому в повній мірі реалізується закон збереження променистої енергії, що дає змогу при його застосуванні, як наслідок, суттєво збільшити точність вимірювань та достовірність результатів діагностики неоднорідних середовищ, зокрема, поверхневих станів біосистем. В цілому, за оптичними і енергетичними параметрами ефективність методу Рвачова-Сахновського не перевищує метод Тейлора (Рис.1), однак, саме для неінвазійної діагностики поверхневих станів за коефіцієнтами дифузного відбивання переваги другого із них беззаперечні і обґрунтовані. Математична модель в такому випадку може бути представлена виразом (1). Взавши відношення значення сигналу від зразкового засобу вимірювання до сигналу від зразка і, виразивши вимірювальне значення, отримаємо робоче рівняння по даному методу (2).

Рис.1. Хід променів в інтегрувальному резонаторі при неінвазійних вимірюваннях

$$E_{\Sigma}^R = \frac{R \cdot \Phi_0}{S} \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \frac{f(\Theta_i) \cdot S_i}{4\Omega r^2 \cdot \cos \Theta_i} \right] \frac{\rho}{1 - \rho'}, \quad (1)$$

$$e = \frac{R(1 - \frac{S_i}{S})[(1 - \rho)(S - S_i) + S_1 + (1 - \rho_{\text{фе}})S_3]}{(1 - \rho)(S - S_i) + S_1 + (1 - \rho_{\text{фе}})S_3 + RS_2(1 - \frac{S_i}{S})}, \quad (2)$$

де  $e$  – результуюча просторова освітленість;  $\Omega$  та  $\Omega'$  – відповідні тілесні кути випромінювання, створеного внаслідок відбивання і пропускання зразком відповідно,  $S_1$ – площа вхідного отвору зразка;  $S_2$ – площа зразка;  $S_3$ – площа фотоприймача;  $S_i$  – площа всіх робочих отворів;  $S$  – площа сфери;  $f(\Theta)$  і  $f(\Theta_i)$  – індикатриса розсіювання відповідно відбитого та пройденого через зразок випромінювання;  $\rho$ –коефіцієнт дифузного відбивання стінок сфери,  $\rho'$ – ефективний коефіцієнт відбивання сфери,  $\Phi_0$ – світловий потік.

Застосування програмного пакету Maple V та MathCAD8.0 дозволило одержати математичні моделі функціональних залежностей опроміненості сфери від багатьох факторів і крайових умов, в тому числі і тривимірній системі координат (Рис.2), що дозволило знаходити найефек-

а)

б)

Рис. 2. Залежність  $E''$  від радіуса сфери  $r$  і коефіцієнта дифузного відбивання  $\rho$  (а) та залежність коефіцієнта відбивання зразка  $R$  від його площі  $S_2$  та просторової освітленості  $E(б)$

тивніші оптико-геометричні та енергетичні характеристики фотометричної головки для вирішення конкретних прикладних задач. Детальний аналіз вказаних аналітичних залежностей в трьохмірному просторі показав, що існують умови оптимального застосування сфери в якості давача. Так, друга похідна освітленості по радіусу сфери має пік максимуму в робочих межах інтегрувального резонатора (див. рис. 2 а). Це дозволяє вибирати оптимальні геометричні розміри сфери для різних умов застосування з метою збереження її максимальної світлосили ( $\rho/(1-\rho')$ ). Визначено, що одним з головних факторів в цьому є розмір самого зразка, або точніше – відношення суми площ робочих отворів і зразка до площі всієї сфери ( $S_i/S_{\text{сф}}$ ). Таке співвідношення обернено пропорційне світлосилі сфери. Проаналізовано також вплив розміру зразка на вихідний сигнал (рис.2б).

Для розв'язку задачі побудови математичної моделі об'єкта вимірювання використано шарову будову біотканини. При цьому запропонований підхід, що базується на методах інваріантності Амбарцумяна (3) або інваріанта Стокса.

$$\left. \begin{aligned} \bar{R}' &= r_1 + \frac{(1-r_1)^2 r_1 \exp(-2\bar{m}_\alpha \ell)}{1-r_1^2 \exp(-2\bar{m}_\alpha \ell)} \\ \bar{T} &= \frac{(1-r_1)^2 \exp(-\bar{m}_\alpha \ell)}{1-r_1^2 \exp(-2\bar{m}_\alpha \ell)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Якщо друге рівняння цієї системи розв'язати відносно першого відбивання  $r_1$  і отриманий вираз підставити в перше рівняння, то отримаємо зручний, але складний вираз, який зв'язує показник питомого поглинання  $\bar{m}_\alpha$  з кооперативним коефіцієнтом дифузного відбивання  $\bar{R}'$  і пропускання

$$\bar{m}_\alpha = -\frac{1}{\ell} \ln\left(\frac{\bar{T}}{\bar{R}' \cdot Z - 2 \cdot Z + 1}\right), \quad (4)$$

де  $Z = \frac{1}{2(\bar{R}' - 2)} \cdot ((\bar{R}')^2 - 1 - \bar{T}^2 - 2 \cdot \bar{R}' + \sqrt{(\bar{R}')^4 + 6(\bar{R}')^2 - 2(\bar{R}')^2 \bar{T}^2 - 4(\bar{R}')^3 + 1 + 2\bar{T}^2 - 4\bar{R}' + \bar{T}^4 + 4\bar{T}^2})$ .

Особливу цінність така модель має в тому, що дає можливість визначити значення інформаційного сигналу в залежності від зразка вимірювання за відомими характеристиками – питомим показником поглинання середовища  $\bar{m}_\alpha$  його кооперативним коефіцієнтом пропускання  $\bar{T}$  і товщиною  $\ell$  самого зразка.

$$\bar{R}_\lambda = 32 \cdot Z^2 \cdot (Z - \bar{T}(j, \lambda, \ell)) + 32 \cdot \left[1 - 1024 \cdot Z^4 \cdot (\bar{T}(j, \lambda, \ell) - Z)^2\right]^2 \cdot Z^3 \cdot \frac{(Z - \bar{T}(j, \lambda, \ell))}{\left[1 - 1024 \cdot Z^5 \cdot (\bar{T}(j, \lambda, \ell) - Z)^2\right]}, \quad (5)$$

де  $Z = \exp(-2m_\alpha \ell)$ ;  $j = f(\theta, \varphi)$  – альbedo зразка;  $\lambda$  – довжина хвилі скануючого випромінювання;  $\varphi$  – азимутальний кут. Як видно, ця модель суттєво відрізняється від класичного закону Бугера і може використовуватись для таких шарово-неоднорідних середовищ як біотканини. На рис. 3 представлено тривимірні поверхні даної математичної моделі, отримані за допомогою стандартних математичних пакетів. Верифікація цієї математичної моделі показана на розходження з экс-

Рис. 3. Просторові залежності кооперативного коефіцієнта дифузного відбивання від  $\bar{m}_\alpha$  і  $\ell$  при  $\bar{T}=0.01$  (а) та показника питомого поглинання  $\bar{m}_\alpha$  від  $\bar{R}'$  і  $\bar{T}$  при  $\ell = const$  (б)

периментальними результатами, що не перевищує 12% у видимому спектральному діапазоні.

Проведені аналізи математичних моделей біотканини як об'єкта вимірювань і інтегровального резонатора показали такі результати.

1. Проаналізовані фактори, які впливають на досягнення максимальної чутливості інтегровального резонатора, а також його ефективні розміри. Чутливість сферичного первинного перетворювача у значній мірі визначають: а) інтенсивність падаючого вхідного потоку; б) співвідношення площ робочих отворів і зразка до площі всієї сфери; в) світлосила сфери та внутрішньорезонаторні тіньові ефекти; г) чутливість фотоприймача; д) індикатриса розсіяння об'єкта вимірювання; ж) кут падіння  $\Theta$  і поляризація падаючого пучка випромінювання.
2. Визначено спектральну функцію передачі оптичного сигналу через первинний перетворювач, що включає і математичну модель об'єкта вимірювань.
3. Синтезована передатна функція сферичного інтегровального резонатора та одержано коректне рівняння перетворення сигналу, що враховує оптико-геометричні та енергетичні характеристики інтегровального резонатора в сукупності з об'єктом вимірювань.
4. Розроблена модель прийняття рішення, що використовує поряд з функціями належності і функції неналежності нечітких термів, що дало можливість підвищити вірогідність прийняття рішення експертною системою.

Таким чином, представлені математичні моделі та розробки інтегровального резонатора дозволять ефективно його практично застосовувати для багатьох задач, зокрема, у діагностиці поверхневих патологій, у спектрофотометрії, у фотоколориметрії, у фундаментальних дослідженнях світлорозсіювальних об'єктів.

**У третьому розділі** розроблені теоретичні засади побудови спектрофотометричної інформаційно-вимірювальної системи для неінвазійної діагностики біотканини, структурна схема спектрофотометричної ІВС (рис.4а) для біомедичної діагностики. Схема працює на базі монохроматора (МНХ), що керується універсальним мікропроцесорним контролером (УМК) за допомогою крокових двигунів  $D_1$ – $D_4$  і подає монохроматичне випромінювання через волоконно-оптичний хвилевод на біотканину. При цьому в МНХ застосовано вертикальне регулювання монохроматичного світлового пучка, що дозволяє підвищити спектральну чистоту випромінювання і зменшити інструментальну похибку.

Інтегральна відбита компонента випромінювання всередині резонатора створює просторову

а)

б)

Рис. 4. Структурна схема ІВС з виносним (а) зондом та схема роботи автономного інтегровального зонда(б)



освітленість (див. (2)), за якої і визначається  $R$ . Доведено, що вимірне значення залежить від внутрішніх тінювих ефектів у сфері. При цьому для мінімізації їх впливу запропоновано без екранні конструкції сферичних перетворювачів.

Струмовий сигнал перетворюється в напругу і частоту, а далі обробляється процесором контролера. Для єдності вимірювань і діагностичних процедур проводиться температурний контроль зразка за допомогою цифрового термометра. Обробка інформації, зберігання і діагностичні процедури проводяться ПК з допомогою програмного забезпечення. Для вирішення конкретних діагностичних задач були розроблені три різновиди виносних первинних перетворювачів. Це дозволяє використовувати ІВС з автономним інтегровальним зондом (рис.4 б), тобто без монохроматора, для розв'язку деяких діагностичних задач, наприклад виявлення “Краш”– синдрому. В даному розділі також приводяться розроблені три різні режими роботи системи. Вони реалізуються окремими процедурами програми kvs і дозволяють проводити вимірювання вручну, автоматизовано (покроково) і в автоматичному режимі. Алгоритм роботи програми вимірювань представлений на рис.5 а. Для виділення екстремумів на певних діапазонах спектра існує також відповідна процедура, що полегшує знаходження ізобестичних точок. Послідовність роботи підпрограми сканування представлена на рис.5 б. Для її роботи необхідні точка початку і кінця сканування, а також крок сканування, які задаються перед початком вимірювань.

а)

б)

Рис.5. Блок-схеми алгоритмів функцій з меню “Вимірювання” (а) і підпрограми автоматичних вимірювань (б)

В іншому випадку, замість кроку можна задати кількість вимірювальних точок, тоді програма розраховує крок самостійно. Розроблені і методики роботи ІВС в цих режимах. Відпрацьована методика інженерного проектування таких систем, що дасть змогу практикам-спектроскопістам в подальшому використовувати даний досвід при розробці подібних систем. Детально описані принципи побудови та взаємодії програмного забезпечення, що використовується в ІВС. Розроблений і адаптований інтерфейс системи для користувача у вигляді інтегрованої програмної оболонки (ППО) з проблемно-орієнтованою експертною системою (ЕС) для потреб судово-медичної експертизи, що дозволяє на практиці більш широко використовувати ІВС. Приведені структури меню та ієрархії об'єктів ППО, а також структури ЕС для діагностики біотканин. Також запропоновано можливі варіанти подальшого розвитку програмних засобів, наприклад на основі нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів, що при взаємодії користувачів через мережу Internet

дозволить використати і мати спільні бази даних, реалізувати переваги розподіленого інтелекту, а в подальшому розвиватись подібним системам в цьому напрямку.

У *четвертому розділі* досліджено метрологічні характеристики вимірювального каналу, оцінено впливові величини на результат вимірювання. Оцінка метрологічних характеристик проводилась комплексним методом. Так, проведений аналіз фотометричної головки показав, що найвпливовішими факторами на похибку вимірювання являються коефіцієнт відбивання стінок сфери, об'єкт вимірювання, температура і похибки встановлення об'єкта вимірювання. На рис.6 а

Рис. 6. Статична характеристика (а) і похибка нелінійності перетворення (б)

приведено статистичну характеристику  $Y$  фотометричної головки, на рис.6 б –похибка нелінійності. Досліджено вплив температури на результати вимірювання, їх залежності для чотирьох довжин хвиль представлені на рис.7, які мають як мультиплікативну, так і адитивну складові похибки. Тому, для отримання точних результатів необхідно проводити вимірювання тільки при одній і тій же температурі, що і реалізується розробленою ІВС для живих біосистем. Залежність адитивної складової похибки приведена на рис.8.

Результуючий закон розподілу похибки вимірювання інтегрального коефіцієнта відбивання є композицією законів розподілу похибки квантування (рівномірний), а похибки, які зумовлені неточністю встановлення фотометричної головки на зразок та випадковими завадами (нормальний). Експериментально підтверджено правильність прийнятих теоретичних гіпотез.

В цьому розділі також проведена оцінка вірогідності вимірювального контролю характеристик біотканин, який здійснюється в задачах діагностики біотканин. Для цього розраховані помилки першого і другого роду та отримано їх залежності,

Рис. 7. Апроксимовані залежності інтегрального коефіцієнта відбивання від температури

а також і залежність загальної вірогідності помилки (рис. 9) від відносного середнього квадратичного відхилення похибки вимірювання. Отримано аналітичні залежності для оцінки основних статичних метрологічних характеристик, які наведено в табл.1.

Таблиця 1

## Метрологічні характеристики первинного перетворювача

№ п/п	Найменування характеристики	Аналітична залежність
1	Чутливість	$S = 1,2kR^2$ (6)
2	Похибка нелінійності	$\delta_Y = 0.8799kR^{1.2}$ (7)
3	Адитивна складова похибки	$Y_A = 0.27\delta$ (8)
5	Номинальна функція перетворення	$Y_{\text{ном}} = 0.625k\lambda R^{1/2}$ (9)

Аналіз отриманих залежностей дозволяє дійти таких висновків: номінальна функція перетворення – майже лінійна; похибка нелінійності перетворення незначна; мультиплікативна складова похибки – відсутня, а адитивна похибка враховується за формулою (8). В результаті експериментальних досліджень розробленої ІВС визначено основні метрологічні характеристики, які приведені в табл.2.

Таблиця 2

## Основні метрологічні характеристики розробленої ІВС

№ п/п	Параметр	Значення (діапазон)
1	Діапазон довжин хвиль:	300-1200 нм
2	Величина зворотної лінійної дисперсії;	4,8 нм/мм
3	Роздільна здатність;	0,6 нм
4	Швидкодія;	0,5-3 сек/точка
5	Абсолютна похибка по $R_{\text{диф}}$ :	0,048
6	Методична похибка: монохроматора; вол.-опт. хвилевода; відбивання міри.	$\sigma_M = 0,013$ ; $\sigma_{\text{вох.}} = 0,0015$ ; $\sigma_{\text{відб.}} = 0,018$
7	Інструментальна похибка:	$\delta_H = 0,0155$

Рис. 8. Адитивна складова загальної похибки

Рис.9. Залежність загальної вірогідності помилки від відносного середнього квадратичного відхилення похибки вимірювання

Таким чином, на основі аналізу метрологічних характеристик та досліджень отримані такі результати: проаналізовано та отримано закони розподілу похибки вимірювання інтегрального коефіцієнта відбивання; проведено аналіз похибок первинного перетворення інтенсивності світлового потоку, що зумовлена певною кількістю складових загальної похибки і властивостями фотоприймачів; для уникнення впливу спектральної похибки необхідно і доцільно використання розробленої ФГ із покроковим алгоритмом вимірювання; отримано аналітичні вирази для температурної похибки та для оптимальної чутливості вхідного сигналу ФГ, що дає змогу зменшити похибку вимірювання та помилки контролю інтегрального коефіцієнта дифузного відбивання; оцінено ві-

рогідність контролю коефіцієнта відбивання; отримано композицію законів розподілу складових похибки вимірювання інтегрального коефіцієнта відбивання. Це дало змогу розрахувати помилки його контролю і отримати залежності цих помилок від співвідношення їх середньоквадратичних відхилень.

*У н'ятому розділі* представлені результати проведених експериментальних досліджень на реальних біомедичних зразках, а саме: вивчалися значення спектрів інтактної шкіри. Отримані характеристичні спектри нормованого коефіцієнта дифузного відбивання меланобластоми ранніх стадій, базально-клітинного раку, ліпосаркоми та лімфоаденіта, які дозволяють диференціювати дані види поверхневих паталогій експресно та безболісно, а для меланобластоми і визначення стадійності захворювання. Завдяки дослідженій динаміці зміни значень  $R_q$  вирішена проблема визначення давності, а в сукупності з характеристиками кольору і прижиттєвості нанесення травми за допомогою зняття спектрів дифузного відбивання синців для судово-медичної експертизи. При цьому розроблена відповідна методика діагностики по значеннях коефіцієнтів переходу дериватів гемоглобіну, апроксимовані залежності яких від часу представлені на рис. 10, де В1 – відношення значення на довжині хвилі 540 нм до 490 нм, Е3 – 590 нм до 550 нм, В4 – 540 нм до 580 нм, А7 – 490 нм до 670 нм.

Базуючись на даних дослідженнях, розроблено методику визначення стадійності “Краш”-синдрому, що є актуальним в медицині катастроф. За допомогою розробленої ІВС вивчалась і можливість встановлення точного терміну крововиливу на текстильні тканини для розв’язку експертно-криміналістичних задач. При цьому отримані інформативні залежності коефіцієнтів переходу дериватів гемоглобіну для кров’яних залишків на текстильних тканинах в часі, які дозволяють це зробити з похибкою не більше 12%. Це дає можливість визначати термін крововиливу та встановлення часу злочину для експертно-криміналістичних лабораторій. Також в цьому комплексі проводились дослідження індикатрис розсіяння відбитої компоненти випромінювання для синця та

Рис. 10. Лінійно апроксимовані залежності коефіцієнтів переходу дериватів гемоглобіну від часу в травмі: а) спадаючі В1 і Е3; б) зростаючі залежності В4 і А7

інтактної тканини. При цьому було виявлено різницю між ними на різних довжинах хвиль у робочому діапазоні (рис.11). Це доводить правильність підходу щодо побудови математичної моделі об’єкту вимірювання. Інтерференційні піки, що спостерігаються під певними кутами, підтверджують шарову структуру нормальної тканини. При травмі (крововиливу) така структура змінюється на майже однорідну, в результаті чого зникають і відповідні піки. Тому для первинних перетворювачів визначено ефективні кути розташування фотоприймача (10-25°), що підвищує чутливість роботи ІВС в цілому. Вказані експериментальні дослідження дали змогу внести уточнення і в отриману математичну модель біотканини, розходження з якою не виходить за межі 8-12%.

Рис. 11. Індикатриси розсіяння відбитого випромінювання інтактної біотканини (а) і травмованої (б) на довжині хвилі 570 нм.

*У додатках* наведено результати математичних експериментів по отриманню моделі біотканини у середовищі Maple V, фотографію розробленої ІВС, вигляд інтерфейсу інтегрованої програмної оболонки та експертної системи, принципові схеми блоків управляючого мікропроцесорного контролера та управління кроковими двигунами, фрагменти розроблених прикладних програм, акти та висновки впровадження дисертаційної роботи.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В дисертаційній роботі на основі виконаних автором досліджень розвинуті теоретичні, методологічні та метрологічні аспекти проектування спектрофотометричних ІВС для неінвазійної діагностики біотканин, завдяки чому розв'язана значна науково-технічна задача, яка має важливе народногосподарське значення для підвищення ефективності проектування та застосування таких систем. Результати математичного моделювання дозволяють здійснювати проектування первинних перетворювачів із заданими оптичними та метрологічними характеристиками, застосування яких на практиці показало можливість досягнення необхідного рівня точності і достовірності в процесі неінвазійної діагностики у порівнянні з існуючими вимірювальними процедурами. При цьому експериментальні дослідження спектральних закономірностей біооб'єктів, здійснені на базі розробленої ІВС, дозволили виявити і обґрунтувати ряд фізичних явищ, що мають як фундаментальне, так і прикладне значення в інформаційно-вимірювальній техніці, медичній діагностиці тощо.

Отже, основні наукові і практичні результати та висновки роботи є такими.

1. Проведено порівняльний аналіз оптичних методів вимірювань спектральних характеристик біооб'єктів та методів розв'язку зворотної задачі оптики світлорозсіяння, сучасного стану спектрофотометричних засобів вимірювання оптичних характеристик біотканин. Обґрунтовано можливість розв'язання зворотної задачі для діагностики біотканин неінвазійним способом. Встановлено особливості і специфіку біологічних тканин як неоднорідних об'єктів вимірювання.

2. За результатами аналізу відбивальних характеристик об'єктів вимірювань вперше розроблена математична модель перетворення випромінювання приповерхневим прошарком біотканини як неоднорідного середовища, яка враховує розсіювальні та кооперативні ефекти, визначає її поглинальні характеристики за інтегральним коефіцієнтом відбивання, а також підвищує чутливість первинного перетворювача. Ступінь розбіжності теоретичних та експериментальних результатів складає не більше 12%.

3. Синтезовано математичну модель інтегровального резонатора для випадку скануючого режиму роботи ІВС з урахуванням розробленої методики діагностики біотканин для неінвазійного способу вимірювань. Ступінь її розбіжності з результатами експерименту не перевищує 8%.

4. Розроблено новий спосіб неінвазійної спектрофотометричної діагностики поверхні біотканин на основі удосконалення методів інтегровального резонатора та дифузного відбивання з використанням виносного фотометричного зонда з волоконно-оптичним хвилеводом, що дозволяє експресно розв'язувати експертно-криміналістичні задачі та задачі судово-медичної експертизи, а також безболісно проводити ранню діагностику ряду поверхневих онкозахворювань.

5. Отримані математичні моделі для оцінки статичних характеристик вимірювального каналу. Проаналізовані методичні, інструментальні та алгоритмічні похибки. Встановлено найбільш оптимальний спектральний діапазон вимірювань (560–630 нм) в діагностиці поверхневих онкопатологій біотканин.

6. Розроблено алгоритмічне забезпечення для роботи ІВС в трьох основних режимах: автоматичному, автоматизованому і ручному, для чого реалізовано три різновиди первинного перетворювача (виносний, автономний, уніфікований). При цьому розроблено оболонку для роботи ПК з інформаційно-вимірювальною системою спектрофотометричної діагностики, що здійснює основні сервісні функції і дозволяє експресно проводити процес вимірювання і гнучко змінювати його алгоритм.

7. Розроблено і реалізовано проблемно-орієнтовану експертну систему спектрофотометричної неінвазійної і інвазійної діагностики для роботи в складі ІВС, яка дає можливість використовувати логічні правила для встановлення діагнозу за допомогою підпрограми СНЕД-1 та апарат нечіткої логіки на основі розробленої підпрограми СЕНОД+ з відповідними функціями настройки.

8. На базі розробленої ІВС запропонована методика проектування аналогічних вимірювальних спектрофотометричних систем, а також автоматизовані методики діагностики поверхневих онкопатологій та визначення стадійності і давності нанесення травм, що дає змогу вирішувати конкретні експертно-криміналістичні та судмедекспертні задачі.

9. На основі спектрофотометричного методу розроблені структурні схеми ІВС, що реалізують можливість роботи з виносним первинним перетворювачем. Це дозволило підвищити їх спектральну чутливість до рівня 0.2 А/Вт, точність неінвазійних 4,8%, досягти роздільної здатності діапазону 0,6 нм. При цьому методична похибка складає 0.013, а інструментальні – 0.0155 для неінвазійних вимірювань.

Таким чином, розроблення інформаційно-вимірювальної системи для неінвазійної спектрофотометрії біотканин, її програмного та методичного забезпечення, алгоритмів роботи і експертної системи дало можливість підвищити точність прямих вимірювань інформативного параметру, вирішити проблеми діагностики біооб'єктів і визначення посмертності травм в судмедекспертизі, розв'язати конкретні задачі судмедекспертного і криміналістичного характеру, дослідити специфіку “Краш”-синдрому в медицині катастроф та неінвазійної діагностики поверхневих онкопатологій, задачі науково-практичного характеру в процесі дипломного та курсового проектування Вінницького державного технічного університету.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петрук В.Г., Томчук М.А., Гаркушевський В.С. Аналіз трансформації світлового поля у інтегровальному резонаторі // Вісник ВПІ.– ВДТУ, 1997.– №1.– С.88–93.
2. Петрук В.Г., Томчук М. А., Чорноволик Г. О., Бозняк Ю. А. Розробка та аналіз математичної моделі трансформації випромінювання біотканиною // Вісник ВПІ.–2000.–№2.–С.18–22.
3. Петрук В.Г., Томчук М.А., Моканюк О.І. Аналіз спектрів дифузного відбивання інтактної і травмованої біотканини // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.–1998.–№2–С.149–151.
4. Томчук М.А. Експертна система визначення терміну нанесення ушкоджень в судово–медичній діагностиці // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.–1998.–№4.–С.122–126.
5. Слободяник А.Д., Гаркушевський В.С., Смолінський Є.С., Томчук М.А. Аналіз розподілу світлового потоку при спектрофотометричних дослідженнях // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технічних процесах. –1998.–№2.– С.47-50.
6. Слободяник А.Д., Томчук М.А., Гаркушевський В.С., Петрук В.Г. Комп'ютерно-вимірювальна система для вивчення оптичних характеристик світлорозсіювальних середовищ// Управляючі системи і машини.–1998. –№3. –С.64-67.

7. Азаров О.Д., Томчук М.А., Іванов В.С., Скрипнік О.С. Аналогово-цифрове перетворення в задачах наукових досліджень // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – №3. –1998. – С.5-8.
8. Петрук В.Г., Томчук М.А., Столяр В.В., Мельник В.В. Неінвазивна експрес-діагностика "КРАШ"-синдрому на основі вимірювального контролю спектрів дифузного відбивання біотканин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ТУП. – Вип. №3. –1999. – С.147 – 151.
9. Petruck V., Tomchuck M., Bilenky O., Bilyaga R. Method of diagnostic of absorption characteristics of humoral media // 20<sup>th</sup> International scientific symposium of students and young research workers.- Zielona Gora: Politechnika Zielonogorska: 1998.–Vol. IV.–P.72–76.
10. Пат. 33078А Україна, МКИ G 01N 21/47, 21/55. Пристрій для неінвазивної оптичної діагностики матеріалів біомедичного походження/ В.Г. Петрук, М.А. Томчук, О.А. Біленький, Р.В. Біляга; Заявл. 03.11.98; Опубл. 15.02.01, Бюл. №1.–5 с.
11. Пат. 33082А Україна, МКИ G 01N 21/47, 21/55. Пристрій для неінвазивної оптичної діагностики матеріалів біомедичного походження/ М.А. Томчук, В.Г. Петрук; Заявл. 03.11.98; Опубл. 15.02.01, Бюл. №1. –4 с.
12. Пат. 20379А Україна, МКИ G 01N21/47, 21/55. Пристрій для визначення відбиваючої здатності матеріалів біомедичного походження/ В.Г. Петрук, І.В. Васильківський, М.А. Томчук, Г.А. Корчинський; Заявл. 19.05.95. Опубл. 27.02.98, Бюл. №1. –4 с.
13. Пат. 32696А Україна, МКИ G 01J 3/00, 3/40. Спосіб нормування світлового потоку в однопроменевих спектрофотометрах/ А.Д. Слободяник, Є.С. Смолінський, В.Г. Петрук, В.С. Гаркушевський, М.А. Томчук; Заявл. 04.02.98; Опубл. 15.02.01, Бюл. №1. –2 с.
14. Моканюк А.И., Томчук М.А., Петрук В.Г. Изучение деструкции гемоглобина травмированных тканей с помощью спектрофотометрической ИИС//Матер. НТК „Леотест-97”. –Славське, 1997. –С.80.
15. Петрук В.Г., Томчук М.А., Моканюк О.І. Оптичний метод та ІВС неінвазивної діагностики поверхневих патологій і давності тілесних ушкоджень // Матер. НТК “Фізичні методи та засоби контролю матеріалів і виробів “Леотес-97”.–Славське, 1997. –С.81-82.
16. Томчук М.А., Беяга Р.В., Беленький А.А. Управление контрольно-измерительной системой неинвазивной диагностики.// Матеріали 6-го Всероссийского студенческого семинара “Проблемы управления”. Вып.3.–Москва, 1998. –С. 10–12.
17. Томчук М.А., Петрук Г.Д. Експертна система комп’ютерно-вимірювальних досліджень спектральних характеристик кристалофосфорів // Праці II Української науково-методичної конференції “Комп’ютерні програми навчального призначення з хімії”. – Донецьк: ДонДУ, 1996. – С.29.
18. Петрук В.Г., Томчук М.А., Болюх Б.А., Васильківський І.В. Експресний контрольно-вимірювальний комплекс інфрачервоних спектрів поглинання гуморальними тканинами // Матер. III Міжнар. НТК “Контроль і управління в техн. сист.” –Вінниця, 1995. –С. 565.
19. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Томчук М.А., Погорілий В.В. Метод біомедичної експрес-діагностики за спектрами дифузного відбивання з застосуванням виносного інтегруючого зонда // Матер. НК з Міжнар. участю. – Хмельницький: ТУП. – 1995. –С.237.
20. Петрук В.Г., Томчук М.А., Гаркушевський В.С. Поляризаційно-вимірювальна система неінвазивної діагностики // Матер. НТК з Міжнар. участю “Приладобудування-95”. –Вінниця-Львів, 1995. –С.129.
21. Томчук М.А., Петрук В.Г. Діагностика поверхневих патологій шкіри за індикатрисами розсіяння // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. –Київ: ФАДА, ЛТД. –2000. –С.430–433.

## АНОТАЦІЇ

**Томчук М.А. Інформаційно-вимірювальна система для неінвазивної спектрофотометрії біотканин. – Рукопис.**

**Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.16 – інформаційно-вимірювальні системи. – Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 2001.**

Дисертація присвячена питанням розробки, дослідження і застосування спектрофотометричної інформаційно-вимірювальної системи для діагностики біотканин неінвазивним методом. Вдосконалено метод дифузного відбивання, який відрізняється тим, що для вимірювання спектрального значення інтегрального коефіцієнта використовується інтегрувальний зонд, який оптично зв'язаний з монохроматором через волоконно-оптичний хвилевод. Розроблено математичну модель трансформації випромінювання приповерхневим прошарком біотканини як зразка вимірювання, що дозволяє враховувати розсіювальні ефекти і визначати інформативні характеристики за спектральними значеннями інтегрального коефіцієнта дифузного відбивання. Вдосконалено математичну модель трансформації випромінювання у сферичному первинному перетворювачі, що дало можливість врахувати тіньові ефекти в зонді, а також визначати його оптимальні оптико-геометричні та енергетичні характеристики. Це дало можливість зменшити похибку до 4.8% для неінвазивних вимірювань. Розроблені схеми інформаційно-вимірювальної системи. Проаналізовані похибки вимірювального каналу. Створені методики інженерного проектування і проведено значну кількість експериментальних досліджень із застосуванням розробленої вимірювальної системи.

*Ключові слова:* інформаційна вимірювальна система, вимірювання, спектральний інтегральний коефіцієнт відбивання, інтегрувальний резонатор, виносний зонд.

**Томчук Н.А. Информационно-измерительная система для неинвазивной спектрофотометрии биотканей. – Рукопись.**

**Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – информационно-измерительные системы. – Винницкий государственный технический университет, Винница, 2001.**

Диссертация посвящена вопросам разработки, исследования и использования спектрофотометрической информационно-измерительной системы для диагностики биотканей неинвазивным методом. Усовершенствовано метод диффузного излучения, который отличается тем, что для измерения спектрального значения интегрального коэффициента отражения используется выносной зонд в виде интегрирующей сферы, который оптически связан с монохроматором через волоконно-оптический волновод.

Разработано математическую модель трансформации излучения приповерхностным слоем биоткани как образца измерения, что позволяет учитывать рассеивающие эффекты и определить информативные характеристики за спектральными значениями интегрального коэффициента диффузного отражения.

Усовершенствовано математическую модель трансформации излучения в сферическом первичном преобразователе, что дало возможность учесть теневые эффекты в зонде, а также определить его оптимальные оптико-геометрические и энергетические характеристики. Это также привело к уменьшению общей погрешности до 4.8% для неинвазивных измерений. Для формирования монохроматического пучка использовано новый способ формирования светового потока, который ограничивает его в вертикальной плоскости, что дает возможность повысить чистоту падающего на образец излучения и сократить инструментальную погрешность.

Реализован новый метод неинвазивной спектрофотометрической диагностики поверхности биотканей с использованием выносного интегрирующего зонда. На его основе разработаны структурные схемы спектрофотометрической информационно-измерительной системы ИВССД-1, которые реализуют возможность работы с выносными первичными преобразователями в трех разных режимах. Отработаны методики инженерного проектирования подобных информационно-



измерительных систем. При этом исследованы вопросы методик измерения коэффициента диффузного отражения и индикатрис рассеивания биотканей.

Также разработано алгоритмическое обеспечение для работы в этих режимах, для которых предложено три вида первичных преобразователей. Впервые получены аналитические зависимости для статических метрологических характеристик разработанной измерительной системы, которые дали возможность оптимизировать процесс измерения по скорости и точности. Проведенные исследования характеристик биотканей, в частности ее альbedo, помогли внести коррективы в математическую модель и дали реальную возможность оптимизировать конструкцию фотометрической головки, расположив фотоприемник под эффективным углом по отношению к объекту измерения.

Реализована проблемно-ориентированная экспертная система для неинвазивной медицинской диагностики СЕД1, которая дает возможность использовать для установления диагноза логику правил при помощи подпрограммы СНЕД-1 и аппарат нечеткой логики с помощью подпрограммы СЕНОД+, что использует наряду с функциями принадлежности и функции непринадлежности. Проанализированы погрешности измерительного канала. Проведено значительное количество экспериментальных исследований с использованием разработанной системы для решения экспертно-криминалистических и судебно-медицинских задач.

*Ключевые слова:* информационная измерительная система, измерения, спектральный интегральный коэффициент отражения, интегрирующий резонатор, выносной зонд.

**Tomtchuk M. A. Informational measuring system for non-invasive spectrophotometric of biotissue. – Manuscript.**

**Thesis for candidate's degree on specialty 05.11.16 – informational measuring systems. - Vinnytsia State Technical University, Vinnytsia, 2001.**

The thesis deals with development, analysis and use of the spectrophotometric information-measuring system for diagnostics of living tissue using non-invasive method. There has been improved the diffused beaming method, which is characterized by using an exterior probe optically connected with a monochromator by means of the fiber-optical wave-conductor to measure spectral values of integral factor. A mathematical model for transformation of radiation by near-surface layer of living tissue being a pattern for measuring has been developed. The model makes it possible to take into account dissipating effects and determine informative characteristics by spectral values of integral factor of diffuse reflection. A mathematical model for transformation of radiation in spherical sensing device has been improved. This allows to take into account shady effects in the probe as well as to determine optimum optical geometric and energetic characteristics. This enabled to decrease error to 4,8% for non-invasive measuring. There has been developed the patterns of information-measuring system. Errors of the measuring channel have been analyzed. Design engineering methods have been suggested. There has been conducted large quantity of experimental investigations using developed measuring system.

*Key words:* informational measuring system, measurement, spectral integral reflection factor, integrating resonator, exterior probe.

Підписано до друку 12.09.2001. Формат 29,7×42 1/4  
Наклад 100 прим. Зам. №2001-181  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету.  
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.(0432) 44-01-59