



БІБЛІОТЕКА ДЕРЖАВНОГО ФОНДУ
ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ПРІОРИТЕТИ НАУКОВОЇ СПІВПРАЦІ ДФФД і БРФФД

Матеріали спільних конкурсних
проектів Державного фонду
фундаментальних досліджень
і Білоруського республіканського
фонду фундаментальних досліджень
("ДФФД–БРФФД – 2005")

Київ • 2007

№	Наукові напрями	Подано на конкурс					Подано на експертизу		Рекомендовано до фінансування					
		Кількість	У% до загальної кількості	Вищі навчальні заклади (кількість проектів / у%)	НАН України (кількість проектів / у%)	Інші (кількість проектів / у%)	Кількість	У% до поданих до направи	Кількість	У% до поданих до направи	У% до загальної кількості поданих на конкурс	Вищі навчальні заклади (кількість проектів / у%)	НАН України (кількість проектів / у%)	Інші (кількість проектів / у%)
1	Фізико-математичні науки	63	39	28/44	35/56	0	58	92	16	25	10	5/31	11/69	0
2	Технічні науки	44	27	22/50	20/45	2/5	39	89	10	23	6	4/40	6/60	0
3	Хімічні науки й науки про Землю	14	9	5/36	6/43	3/21	12	86	6	43	4	0	4/67	2/33
4	Біологічні науки	24	15	5/21	16/67	3/12	23	96	8	33	5	1/12,5	7/87,5	0
5	Гуманітарні науки	17	10	6/35	3/18	8/47	15	88	4	24	2	0	2/50	2/50
Всього		162	100	66/41	80/49	16/10	147	91	44	27	27	11/25	29/66	4/9

окремій країні. Активна участь вчених у другому конкурсі Фондів підтверджує доцільність та ефективність подальших спільних досліджень.

У збірнику опубліковано статті виконавців проектів в авторській редакції. У поданих матеріалах містяться результати досліджень природи магнітних взаємодій, впливу електронних спінів на властивості кристалів, поляризаційних характеристик випромінювання, ефектів фоторефракції, електричних і фотоелектричних характеристик тонкоплівкових бар'єрних структур, процесів формування покриттів, біосенсорів, аналіз шляхів формування трофічних і фізіологічних адаптацій, створення нових методів діагностики, дослідження нових алгебраїчних структур. Значна частина робіт присвячена створенню та дослідженню нових матеріалів, зокрема, наноматеріалів і нанотехнологій, біоматеріалів та біотехнологій, використанню оптичних методів у різних сферах.

Матеріалами цього збірника ми намагаємося не лише показати високий рівень фундаментальних досліджень у рамках спільних проектів, а й зацікавити отриманими результатами наукову спільноту, відомства та структури, які можуть скористатися ними як для продовження досліджень, так і для практичного використання. У цьому випадку будемо раді надати бажаним більш повну інформацію.

О. Токар,
кандидат технічних наук, куратор конкурсу,
завідувач відділу інформаційних та аналітичних систем ДФФД



**БІБЛІОТЕКА ДЕРЖАВНОГО ФОНДУ
ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

ПРІОРИТЕТИ НАУКОВОЇ СПІВПРАЦІ ДФФД І БРФФД

Матеріали спільних конкурсних проектів
Державного фонду фундаментальних досліджень
і Білоруського республіканського фонду
фундаментальних досліджень
("ДФФД–БРФФД — 2005")

Київ • 2007

УДК [004+51/53]:001,89; [504+55+57]; [62+66/68] (048)
ББК 20+22+26+28
Ф 94

Пріоритети наукової співпраці ДФФД і БРФФД: Матеріали спільних конкурсних проектів Державного фонду фундаментальних досліджень і Білоруського республіканського фонду фундаментальних досліджень ("ДФФД–БРФФД — 2005"). — К.: ДІА, 2007. — 408 с.

Збірник статей містить підсумкові огляди результатів наукових досліджень за найважливішими проектами спільного конкурсу Державного фонду фундаментальних досліджень і Білоруського республіканського фонду фундаментальних досліджень.

У поданих матеріалах містяться результати досліджень природи магнітних взаємодій, впливу електронних спінів на властивості кристалів, поляризаційних характеристик випромінювання, ефектів фоторефракції, електричних і фотоелектричних характеристик тонкоплівкових бар'єрних структур, процесів формування покриттів, біосенсорів, аналіз шляхів формування трофічних і фізіологічних адаптацій, створення нових методів діагностики, дослідження нових алгебраїчних структур. Значна частина робіт присвячена створенню та дослідженню нових матеріалів, зокрема, наноматеріалів і нанотехнологій, біоматеріалів та біотехнологій, використанню оптичних методів у різних сферах. Видання безкоштовно надається освітянським та академічним бібліотекам, зацікавленим організаціям і відомствам.

Priorities of scientific collaboration between SFRR and BRFFR: Materials of collaborative competitive projects of the State Fund for Fundamental Researches and Byelorussian Republican Fund for Fundamental Researches ("SFRR–BRFFR — 2005"). — K.: DIA, 2007. — 408 p.

Collection of articles contains the summarizing reviews of scientific researches on the most important projects of the collaborative competition of the State Fund for Fundamental Researches and Byelorussian Republican Fund for Fundamental Researches.

In the given materials there can be found the results of researches that concern the nature of magnetic interactions, influence of electronic spins on crystals properties, polarizing characteristics of radiation, photorefractive effects, electric and photoelectric characteristics of thin film barrier structures, processes of cover formation, biosensors, analysis of formation ways of trophic and physiological adaptation, creation of new methods of diagnostics, researches of new algebra structures. The significant part of the works is devoted to creation and researches of new materials, particularly, nanomaterials and nanotechnologies, biomaterials and biotechnologies, usage of optical methods in different spheres. Edition is given free of charge to educational and academic libraries, interested organizations and departments.

Збірник статей підготовлено до друку на виконання рішення Ради Державного фонду фундаментальних досліджень (протокол № 6 від 26.12.2006 р.)

Collection of articles is prepared to be published in accordance with the Decision of the Board of the State Fund for Fundamental researches (protocol № 6 from 26.12.2006)

ISBN 966-8311-26-4

© ДФФД, 2007

ЗМІСТ

Передмова	7
Механізм виникнення феромагнітного стану в системах зі змішаною валентністю іонів <i>Єременко В.В., Сіренко В.А., Шведун М.Ю., Ібулаєв В.В.</i>	9
Дослідження та використання гіперкомплексних числових систем в задачах динаміки, кінематики та кодування інформації <i>Синьков М.В., Боярінова Ю.Є., Каліновський Я.О., Постнікова Т.Г., Синькова Т.В., Федоренко О.В.</i>	21
Розробка нових принципів діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами дифузного відбивання (теоретичні і експериментальні дослідження) <i>Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Черноволик Г.О., Васильківський І.В., Павлов С.В., Іщенко В.А., Петрук Р.В.</i>	35
Неархімедів аналіз та його застосування <i>Кочубей А. Н., Горбачук М. Л., Кужель С. О., Косяк О. В., Торба С.М.</i>	48
Спіновий транспорт та магнітне впорядкування у гібридних нанорозмірних структурах <i>Гуржи Р.М., Калиненко О.М., Копелівич О.І., Яновський А.В.</i>	58
Розробка та дослідження функціональних нанокомпозитів на основі заліза та кобальту <i>Рево С.Л., Захаренко М.І., Куницький Ю.А., Наконечна О.І., Білявина Н.М., Семенько М.П., Бабич М.Г., Іваненко К.О., Шевченко І.П.</i>	73
Дослідження фізичних основ впливу зовнішніх полів (електричного, магнітного, електромагнітного) на механічні та електрофізичні властивості приповерхневих шарів легованих кристалів кремнію <i>Макара В.А., Стебленко Л.П., Весна Г.В., Науменко С.М., Кольченко Ю.Л.</i>	87
Поляризаційна анізотропія статистик вищих порядків оптичного випромінювання <i>Курашов В.Н., Коваленко А.В., Кисіль О.В.</i>	101
Квантові осцилятори та їх динаміка в лазерних полях: аналітичні методи <i>Бурбан І. М., Гаврилик О. М., Клімук А. У.</i>	111

*Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Черноволик Г.О.,
Васильківський І.В., Павлов С.В., Іщенко В.А., Петрук Р.В.*

**РОЗРОБКА НОВИХ ПРИНЦИПІВ
ДІАГНОСТИКИ СТАНУ НОРМАЛЬНИХ
І ПАТОЛОГІЧНИХ БІОТКАНИН ЗА СПЕКТРАМИ
ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ
(ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ)**

Проект ДФФД: 10.01/003

Керівник проекту:

*Петрук Василь Григорович,
доктор технічних наук, професор,
Вінницький національний технічний
університет*

ВСТУП

Для біомедичних апаратів в процесі діагностики чи не найважливішими характеристиками на сучасному етапі розвитку науки, є безболісність, неруйнівність, неінвазійність вимірювань. Серед методів, що можуть це забезпечити, чільне місце займають оптичні, зокрема, спектрофотометричні. Оптичним методам притаманні і ряд інших переваг, а саме: індиферентність оптичного сигналу до електромагнітних завад, потенційна багатоканальність проміння і найбільша у природі швидкість передачі інформації. Вони дозволяють досить точно визначати кількісні і якісні показники дослідного зразка. Розробка нових принципів діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами дифузного відбивання нових вимірювальних спектрофотометричних засобів служить справі подальшого розвитку науки і техніки, зокрема, в галузях криміналістики, біомедицини, оптичного приладобудування тощо.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування можливості створення нових методик діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами дифузного відбивання, розробка основних принципів діагностики та експериментальна їх перевірка, розробка спеціальних експертних методик на основі нечіткої логіки та засобів неінвазійної діагностики приповерхневих станів біотканин, дослідження їх спектрів дифузного відбивання.

Актуальність роботи полягає у необхідності розроблення спектрофотометричних інформаційно-вимірювальних систем для безболісної, неінвазійної діагностики біотканин, які можна використовувати в судово-медичній експертизі, криміналістиці, медицині катастроф тощо. Тому провідною ідеєю цієї роботи є застосування інтегровальної сфери, як унікального оптичного первинного перетворювача за способом Тейлора у складі інформаційно-ви-

мірювальної системи (ІВС) для реалізації неінвазійних методик вимірювання біологічних об'єктів.

На сучасному етапі розвитку оптики світлорозсіяння можна констатувати, що загальна теорія розсіяння знаходиться зараз у задовільному, хоча і далеко незавершеному стані, але окремі експериментальні методики, а особливо необхідна для їх реалізації вимірювальна техніка, розроблені ще досить слабо. І це також зумовлює відповідні наукові фундаментальні задачі, зокрема, ретельного врахування ефектів розсіяння в реальних об'єктах з допомогою математичних моделей, або в результаті безпосереднього вимірювання оптичних параметрів речовини за відомими принципами. Як наслідок, вирішуючи цю проблему, можна суттєво збільшити точність вимірювань та достовірність результатів контролю і діагностики біотканин.

1. ОГЛЯД СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНИХ БІОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАТОЛОГІЧНИХ БІОТКАНИН

Встановлено, що максимум поглинання гемоглобіну добре простежується на спектральних кривих відбиття шкіри в нормі, причому вони виражені більше, ніж максимум поглинання оксигемоглобіну [1–5]. Дослідження патологічних біотканин проводилось на прикладі синців. При виникненні синця в шкірі розвивається гостра місцева гіпоксія тканин, що призводить до різкого зростання перекисного окислення ліпідів, що стимулює автоокислення оксигемоглобіну і утворення метгемоглобіну. Інтенсивність спектру поглинання оксигемоглобіну при цьому поступово зменшується. Поряд з утворенням метгемоглобіну спостерігається підвищення рівня активних форм кисню і інших інтермедіаторів радикальної природи, які викликають наприкінці гемоліз еритроцитів [6–8].

Отже, якщо порівнювати стандартний розчин гемоглобіну і гемолізованої крові [9], то можна відмітити зниження світлопоглинаючої властивості останньої в оптичному діапазоні 530–570 нм більш, ніж на 50%, у порівнянні з стандартом, з паралельним зміщенням максимуму поглинання праворуч, тобто в більш довгохвильову частину спектру. Саме в цьому діапазоні проявляє свої оптичні властивості оксигемоглобін. В судовій медицині на дослідження процесу переходу гемоглобіну із окси- в метаформу, базуються методики встановлення давності утворення плям крові [14–20]. Метгемоглобін, як дериват гемоглобіну відрізняється від нього як валентністю заліза, яке переходить із двохвалентного в трьохвалентне, так і своїми оптичними властивостями. Найбільш виражена зона поглинання метгемоглобіну знаходиться в межах 632–634 нм [16,17].

Ряд вчених [18–20] довели, що зростання світлопоглинаючої здатності біотканин в оптичному інтервалі 620–670 нм обумовлено як збільшенням концентрації метгемоглобіну, так і переходом оксигемоглобіну в гемоглобін.

Необхідно також відмітити, що в даній спектральній ділянці від 620 нм до 670 нм, на думку ряду авторів [21, 22], проявляють свої оптичні власти-

вості гематопорфірин та його похідні, які утворюються при розпаді гемоглобіну, як в різних типах ран, так і в злоякісних пухлинах.

Кінцевим продуктом розпаду гемоглобіну є білірубін, який проявляє свої оптичні властивості в інтервалі 450–460 нм та 500–600 нм [22, 23]. Саме з ним пов'язують жовте забарвлення, що виникає в процесі розвитку синця. Але інші автори [24] на відміну від попередніх вважають, що жовте забарвлення обумовлене гемосидерином (залізовміщуючий білковий комплекс). Однак, самі ж вказують на його незначну кількість і на його наявність в більшості випадків тільки в глибоких синцях, що підтверджує також Suzyki [25].

Деякими дослідниками встановлено, що характерні спектри поглинання поряд із білірубіном в інтервалі 440–490 нм мають піридиннуклеотиди (НАД, НАДФ) і флавінові сполуки (ФАД, ФМН), які беруть участь в таких важливих клітинних процесах, як гліколіз, окислення жирних кислот, клітинне дихання. Визначено значне збільшення вмісту флавінів і піридиннуклеотидів в саднах, странгуляційних борознах та ранах, що виникли зажиттєво [26, 27].

В судовій медицині визначення кількісного складу гемоглобіну та його токсичних досить широко використовується для встановлення зажиттєвості та давності виникнення синців [28–30].

Klein A., Schweitzer D. [31] для визначення давності виникнення синців у живих людей проводили спектрографічне дослідження травмованої шкіри в оптичному інтервалі 430–700 нм. Найбільш інформативним виявився проміжок 560–580 нм, при терміні існування синців, що перевищує дві доби.

Trujillo O. з співавторами [32] для діагностики синця рекомендує використовувати тривимірний колориметр, який одночасно визначає колір та кольорову щільність травмованої шкіри. Вони довели відсутність впливу індивідуальних особливостей шкіри на цю діагностику.

При розробці проблеми встановлення зажиттєвості і давності виникнення ушкоджень спектральні методи широко використовуються як для якісного, так і для кількісного аналізу екстрагованих з різноманітних тканин речовин. Так, Туманова Н.А. [33] виявляла кількісний вміст нуклеїнових кислот і продуктів їх деградації в кислоторозчинній фракції м'язової тканини в ділянці зони довжин хвиль 240–320 нм.

Деякі дослідники [34] вважають перспективним подальше вивчення кількісного і якісного складу біогенних амінів — вільних гістаміну та сертоніну. Вони, як на їх думку, можуть служити об'єктивними критеріями при судово-медичному встановленні зажиттєвості пошкоджень шкіряних кровів, а їх балансний рівень у тканинах — критеріями для визначення давності виникнення ушкоджень.

2. СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ НОРМАЛЬНИХ І ПАТОЛОГІЧНИХ БІОТКАНИН

Розроблена комп'ютерно-вимірювальна система (КВС) діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами їх дифузного відбиван-

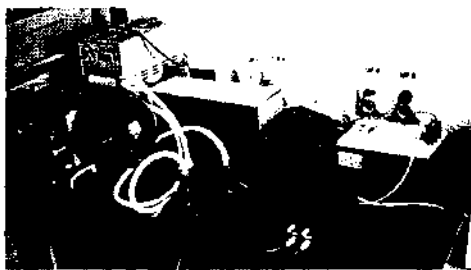


Рис.1. Комп'ютерно-вимірвальна система діагностики стану нормальних і патологічних біотканин

ня (рис. 1.), що складається з монохроматора (МУМ-2), довжина хвилі якого змінюється кроковим двигуном ШД-0,25А від 300 до 1200 нм. Випромінювання з монохроматора через оптоволокну подається на два вимірвальні зонди (інтегровальні сфери покриті всередині речовиною з відомим рівномірним коефіцієнтом дифузного відбивання, наприклад, оксидом магнію). Один із зондів є вимірвальним зразковим засобом і закритий заглушкою, а інший має отвір, який доторкається до шкіри. У якості давачів застосовуються фотодіоди ФД-256 (спектральний діапазон 0,4–1,1 мкм), у разі необхідності досліджень в ультрафіолетовій області — ФД-288В (200–500 нм), у ближній інфрачервоній області 700–5200 нм фотодіоди на основі сульфиду свинцю. Вимірвальний підсилювач виконаний за схемою неінвертуючого підсилювача напруги на операційному підсилювачі LM324N. Далі сигнал надходить на вбудований 10 розрядний АЦП мікроконтролера AT90S4433 та через СОМ-порт і адаптер ADM232LJN у комп'ютер. Контролер керування кроковим двигуном, що змінює довжину хвилі випромінювання монохроматора реалізовано на мікроконтролері AT90S8515. Програмне забезпечення для мікроконтролерів написано на мові ІАR С.

Перед початком роботи з КВС вимірювання спектрів відбивання біотканин необхідно виконати нормування її характеристик. КВС вмикається і прогрівається біля 15 хв. Далі при вимкненому джерелі випромінювання здійснюється вимірювання сигналів з АЦП, які створюються темновими струмами фотодіодів. Отримані значення записуються у файл і далі використовуються для корекції результатів усіх вимірів. За тим первинні оптичні вимірвальні перетворювачі обох каналів встановлюються заслінки покриті речовиною з відомою нормованою спектральною характеристикою коефіцієнту дифузного відбивання, наприклад, оксидом магнію. Здійснюється повний цикл вимірювань відповідно. Отримана залежність характеризує відношення коефіцієнтів передачі кожного з каналів та дозволяє врахувати це при подальших вимірюваннях спектрів коефіцієнтів дифузного відбивання біотканин.

Отримана нормувальна характеристика апроксимується у MathCAD з використанням кубічних сплайнів. За рахунок використання апроксимації є можливість використовувати нормувальну характеристику для корекції спектральних характеристик виміряних з іншим кроком. Оскільки нормувальна характеристика не має різких екстремумів, то доцільно знімати її з кроком 50 нм, а основні вимірювання спектрів дифузного відбивання біотканин з кроком 5–10 нм.

Установка дозволяє проводити вимірювання методом Тейлора двома способами:

- один первинний оптичний вимірювальний перетворювач щільно притискаються до ділянки шкіри пацієнта, а інший закритий заслінкою, що покрита з речовиною з відомою нормованою спектральною характеристикою коефіцієнту дифузного відбивання;
- другий первинний оптичний вимірювальний перетворювач притискається до здорової ділянки шкіри пацієнта, а інший до патологічної ділянки.

Вимірні спектри дифузного відбивання біотканин заносяться у банк даних із зазначенням дати проведення вимірювань, прізвища, віку та типу захворювання пацієнта, ряду додаткових медичних характеристик отриманих у ході інших аналізів для співставлення їх з спектральними даними. На кожній довжині хвилі проводиться 1000 вимірів та їх усереднення, що дозволяє суттєво зменшити рівень шумів фотодіода. Програмне забезпечення для попередньої обробки даних та керування спектрофотометричною системою складене на Delphi 5.0 для роботи під Windows 98. Планується продовження досліджень з використанням поляриметричної приставки, що дозволить вимірювати матриці Стокса для зразків біотканин та проб гуморальних рідин. Для однотипних вимірів здійснюється діагностика за допомогою нейромережі аналітичній платформі Deductor Studio 4.0. Нейромережа спочатку навчається за допомогою підібраних наборів даних для визначених діагностичних рішень та взяті для групи умовно здорових реципієнтів.

Обробка результатів вимірювань проводиться у програмі MathCAD таким чином. Безпосередні дані вимірювань корегуються за допомогою нормувальної характеристики $R_{\text{norm}}(\lambda)$, що враховує відмінності спектральних характеристик двох каналів:

$$R_1(\lambda) = \frac{R_X(\lambda)}{R_{\text{norm}}(\lambda)}, \quad (1)$$

де $R_{\text{norm}}(\lambda)$ — нормувальна характеристика, що враховує відмінності між спектральними характеристиками каналів; $R_X(\lambda)$ — безпосередні дані вимірювань спектрів; $R_1(\lambda)$ — нормований спектр.

Для зменшення випадкових похибок та впливу шумів у результатах експерименту використовують згладжування на основі розподілу Гауса (рис.1.), що дозволяє суттєво зменшити вплив шумів фотодіода:

$$R_2(\lambda) = k_{\text{smooth}}(\lambda, R_1(\lambda), \Delta\lambda), \quad (2)$$

де $k_{\text{smooth}}(\cdot)$ — функція згладжування на основі розподілу Гауса; $R_1(\lambda)$ — нормований спектр; $\Delta\lambda$ — ширина вікна згладжування.

Результати обробки показано на рис. 3–5.

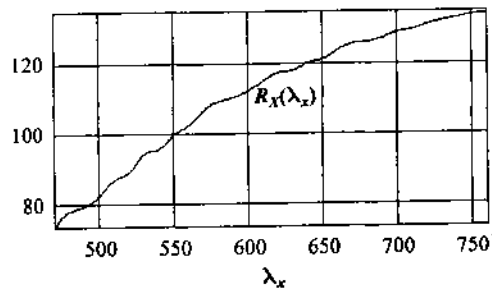


Рис. 2. Нормувальна характеристика отримана в результаті кубічної сплайн-апроксимації

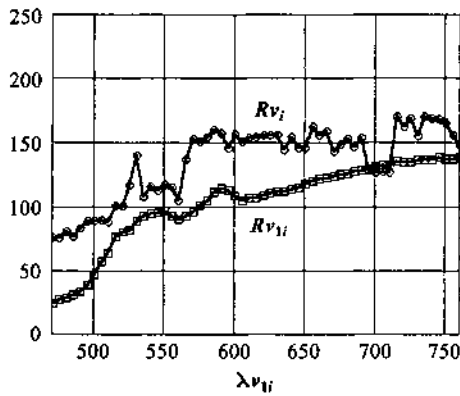


Рис. 3. Безпосередні дані вимірювань коефіцієнта дифузного відбивання шкіри руки (— без пошкоджень, - механічні пошкодження)

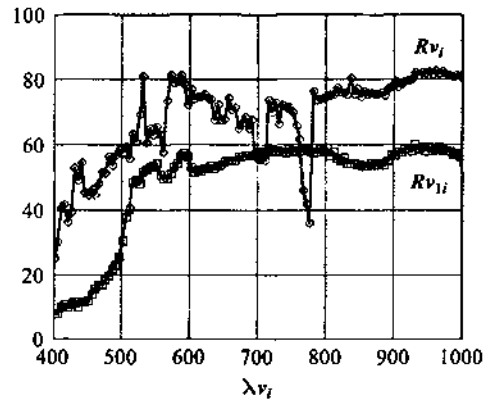


Рис. 4. Результати вимірювання, скориговані згідно з нормувальною характеристикою, що враховує відмінності у спектральних характеристиках вимірювальних каналів

Дослідження спектрів дифузного відбивання нормальних біотканин проводились на групі здорових реципієнтів — студентах-екологах ВНТУ у ході практичних робіт з дисципліни “Основи науково-дослідної роботи”, студентах ВНМУ ім. М. Пирогова у ході їх практики у Інституті реабілітації інвалідів [40–46]. Дослідження спектрів дифузного відбивання патологічних біотканин проводились на групі хворих системним червоним вовчаком, хворих з ампутованими кінцівками, хворих з травмами та гематомами різного роду. Досліджено особливості спектрофотометричних характеристик патологічних біотканин на прикладах кінетики деструкції гемоглобіну, онкопатології, поверхневих ушкоджень шкіри, давності нанесення травм, “Краш”-синдрому.

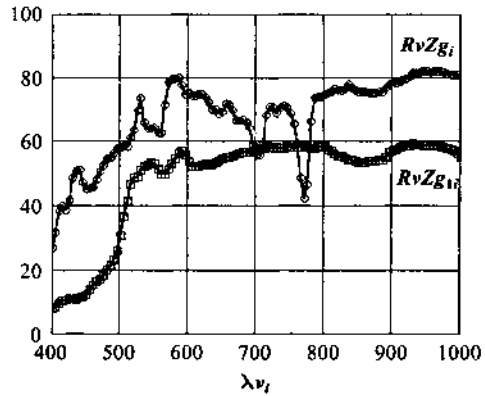


Рис. 5. Згладжений графік вимірювань

3. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОТКАНИН НА ОСНОВІ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Надзвичайно важливою проблемою сучасної травматології є вивчення наслідків ампутації нижніх кінцівок при травмах, судинних захворюваннях, опіках, відмороженнях, цукровому діабеті. Основною проблемою є діагностування больового синдрому, що виникає в ампутованих кінцівках, для подальшого проведення профілактики або лікування [36]. Одним із методів

проведення безболісної неінвазивної діагностики є дослідження спектрофотометричних характеристик ділянок шкіри кукси ампутованої кінцівки. Для цього за допомогою пристрою [37] проводять вимірювання коефіцієнту дифузного відбивання на певних довжинах хвиль та порівняння отриманих результатів із відповідними значеннями, що прийняті за норму (проведення вимірювального контролю). В даній роботі пропонується експертна система, яка приймає діагностичне рішення на основі аналізу показників стану хворого (у тому числі й спектрофотометричних характеристик патологічних ділянок шкіри). Математична модель системи базується на теорії нечітких множин [35, 38]. Така система може бути використана для інтелектуальної підтримки лікаря-травматолога при встановленні типу больового синдрому. Структура моделі прийняття діагностичного рішення експертною системою наведена на рис. 6 у вигляді дерева нечіткого логічного висновку.

Корінь дерева відповідає встановленому діагнозу і може приймати такі значення: d_1 — хронічний компартмент синдром; d_2 — мідидистрофічний синдром ампутаційної кукси; d_3 — ішемічний больовий синдром, обумовлений прогресуванням судинної патології.

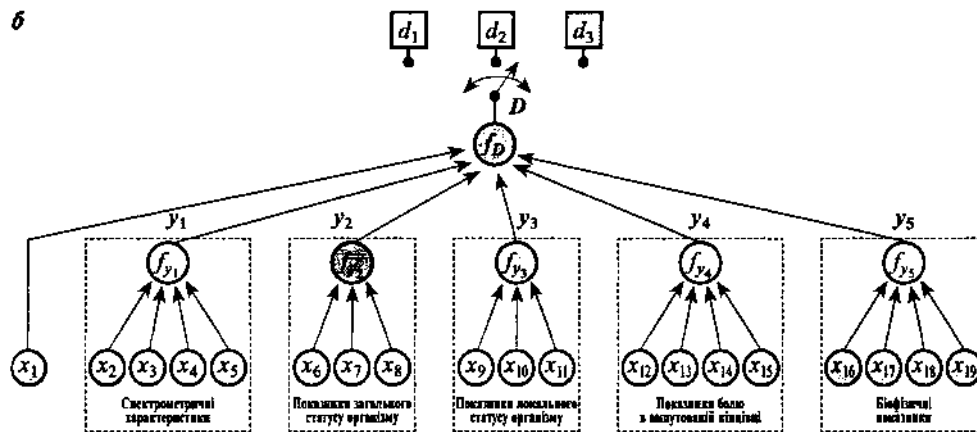


Рис. 6. Структура моделі прийняття діагностичного рішення експертною системою: а — модель прийняття діагностичного рішення, б — дерева нечіткого логічного висновку

Термінальними вершинами є показники стану об'єкту дослідження, на основі яких лікар приймає одне з можливих рішень d_1-d_3 . Показники стану розглядаються як лінгвістичні змінні x_1-x_{20} і є вхідними параметрами експертної системи. Вони приймають значення, що належать відповідним універсальним множинам, та оцінюються нечіткими термами. Вхідні параметри можуть бути кількісними (значення задаються числом, що належить універсальній множині) та якісними (значення параметра задається термом).

Дуги графу, що виходять з нетермінальних вершин відповідають укрупненим параметрам y_1-y_5 , які також є лінгвістичними змінними та інтерпретуються таким чином: y_1 — рівень загального статусу організму хворого; y_2 — рівень локального статусу організму хворого; y_3 — коефіцієнт показників болю; y_4 — коефіцієнт біофізичних показників; y_5 — коефіцієнт спектрофотометричних показників. Параметри y_1-y_5 оцінюють за допомогою лінгвістичних термів.

Залежності між діагностичним рішенням D , укрупненими параметрами Y та параметрами X задамо системою співвідношень:

$$D = f(x_1, y_1, y_2, y_3, y_4); \quad (3)$$

$$y_1 = f(x_2, x_3, x_4, x_5); \quad (4)$$

$$y_2 = f(x_6, x_7, x_8); \quad (5)$$

$$y_3 = f(x_9, x_{10}, x_{11}); \quad (6)$$

$$y_4 = f(x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}); \quad (7)$$

$$y_5 = f(x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}). \quad (8)$$

Співвідношення (3)–(8) задаються як нечіткі матриці знань. Кожен рядок такої матриці є лінгвістичним висловлюванням типу “ЯКЩО — ТО” і задається лікарем-фахівцем в даній області медицини (експертом).

Замінивши лінгвістичні терми з нечітких баз знань на відповідні функції належності, а логічні операції “ТА” (“АБО”) на операції “^” (“V”), запишемо систему нечітких логічних рівнянь:

$$\begin{aligned} \mu^{T_j}(y_p) &= \bigvee_{m=1}^n \left[\bigwedge_{k=1}^l \mu^{T_k^m}(x_k) \right], \quad p = \overline{1,5}; \\ \mu^{d_j}(D) &= \bigvee_{m=1}^n \left[\bigwedge_{k=1}^s \mu^{T_k^m}(y_k) \right], \end{aligned} \quad (9)$$

де $\mu^{T_j}(y_p)$ — функція належності значення параметра y_p нечіткій терм-множині T_j ; $\mu^{T_k^m}(x_k)$ — функція належності значення вхідного параметра x_k нечіткій терм-множині T_k^m ; $\mu^{d_j}(D)$ — функція належності значення діагностичного рішення d_j ; l — кількість вхідних параметрів, від яких залежить значення параметра y_p ; n — кількість рядків бази знань, які містять висловлювання про терм T_j ; s — кількість параметрів, від яких залежить значення діагнозу D .

Значення функцій належності можна визначити за допомогою методу парних порівнянь [39].

Таким чином, для того, щоб прийняти рішення про тип больового синдрому, необхідно:

1. Задати значення вхідних параметрів системи (показників стану хворого);
2. Знайти функції належності нечітких термів для заданих значень вхідних параметрів;
3. Користуючись системою нечітких логічних рівнянь (9), знайти функції належності параметрів y_1 – y_5 та діагнозів d_1 – d_3 , при цьому операція “ \vee ” відповідає знаходженню max, а операція “ \wedge ” min функцій належності.

У якості діагнозу обрати терм із множини $\{d_1, d_2, d_3\}$ з максимальним значенням функції належності.

Експертна система реалізована у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB 5 [40]. Елементи системи на основі нечіткої логіки (визначення коефіцієнту спектрофотометричних показників, рівня загального статусу хворого, рівня локального статусу хворого, коефіцієнту показників болю, коефіцієнту біофізичних показників, загального діагностичного рішення) реалізовані окремими FIS-файлами.

Фазифікація вхідних даних здійснюється симетричними гаусівськими функціями належності (gaussmf), що описуються аналітичною формулою:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (10)$$

де b — параметр, який визначає зміщення вершини функції; c — параметр, який визначає ширину функції належності.

Використання цієї функції має такі переваги — функція у всій області визначення гладка і має ненульові значення. Дефазифікація для системи типу

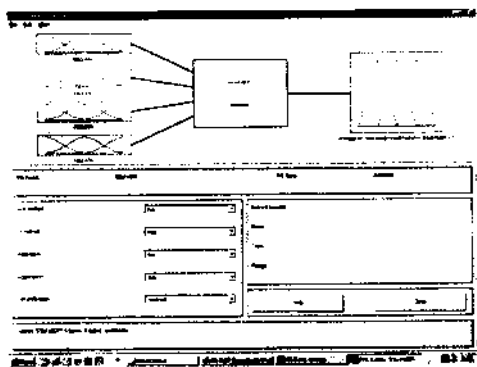


Рис. 7. Елемент експертної системи на основі нечіткої логіки (спектрофотометричні характеристики)

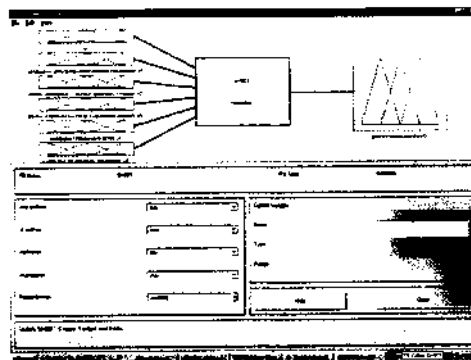


Рис.8. Об'єднана експертна системи на основі нечіткої логіки

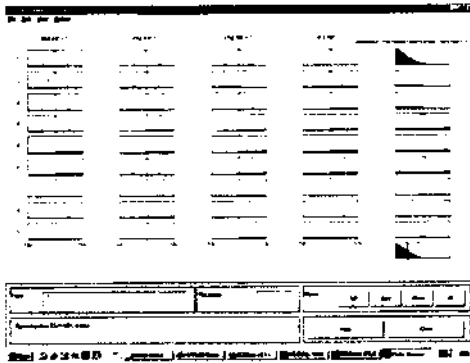


Рис. 9. Вигляд системи нечітких правил експертної системи у Matlab

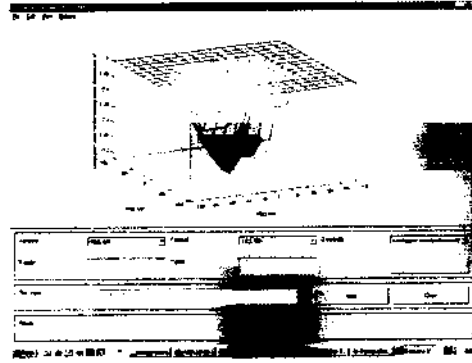


Рис. 10. Поверхня залежності вихідних змінних від вхідних

Мамдамі здійснена методом центру ваги. База даних спектрів дифузного відбивання біотканин та додаткових біомедичних показників підключається до експертної системи за допомогою інтерфейсної програми на Delphi, що перетворює табличні дані з бази даних до формату файлів *.mat. Введення та виведення даних, об'єднання різних блоків нечіткої логіки здійснено у пакеті Simulink. Синтез нечітких правил та настройка вагових коефіцієнтів здійснюється за допомогою неймереж у програмі Deductor Studio 4.2.

ВИСНОВКИ

1. Проведено комплекс експериментальних досліджень спектрів дифузного відбивання нормальних та патологічних біотканин, а також синтез методик контролю основних оптичних параметрів та діагностики їх стану.
2. Досліджено особливості спектрофотометричних характеристик патологічних біотканин на прикладах кінетику деструкції гемоглобіну, онкопатології, поверхневих ушкоджень шкіри, давності нанесення травм, "Краш"-синдрому.
3. На основі експериментальних досліджень та розроблених методик здійснено діагностику нормальних та патологічних біотканин на основі апарату нечіткої логіки, що дозволило підвищити достовірність неінвазійної діагностики біотканин.
4. Розроблена методика спектрофотометричної неінвазійної діагностики нормальних та патологічних біотканин є основою для нових принципів діагностики стану біотканин, що дасть можливість їх застосовувати у відповідних галузях сучасної медицини.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ильина А.А.* Спектры отражения кожи человека. — М.: ДАН СССР, 1947. — 49 с.
2. *Герсков И.А., Сидько Ф.Я.* Связь спектров отражения от тела человека со спектрами поглощения и отражения взвеси эритроцитов // *Вопр. биофизики, биохимии и патологии эритроцитов.* — Красноярск. — 1960. — С. 47–49.

3. *Buck C.B., Froelich H.C.* Color characteristics of human complexions — // *Illum. Engng.* — 1948. — Vol. 53.
4. *Edwards E.A., Duntley S.Q.* The pigments and color of living human skin // *Amer. J. Anat.* — 1939. — Vol. 65, № 1. — P. 1–33.
5. *Goldzieher J.W., Roberts J.S., Rawis W.B.* “Chemical” analysis of the intact skin by reflectance spectrophotometry // *Arch. Dermat. Syph.* — 1951. — Vol 64. — P. 533–548.
6. *Андреюк Г.М., Кисилев П.А.* Иницирование перекисного окисления липидов в результате превращения гемоглобина в гемохром под действие свободных жирных кислот // *Биохимия.* — 1988. — Т. 53, № 6. — С. 1017–1024.
7. *Владимиров Ю.А., Арчаков А.И.* Перспективное окисление липидов в биологических мембранах. — М.: Медицина, 1972. — 217 с.
8. *Филев Л.В., Емохин С.Ф., Захаров И.И. и др.* Цитоспектрофотометрическое исследование гемоглобина в эритроцитах человека // *Цитология.* — 1989. — Т. 31, № 4. — С. 465–468.
9. *Файн М.А.* Морфологические особенности прижизненных и посмертных повреждений кожи // Сб. IX расширенной конф. Ленинградского отд. ВНОСНИК. — Л., 1955. — С. 105–107.
10. *Логвиненко А.Г., Туребаев О.Н.* Исследование пятен крови методом колориметрии // *Труды I Всесоюзного съезда судебных медиков.* — К., 1976. — С. 485–486.
11. *Логвиненко А.Г.* Спектры поглощения дериватов гемоглобина пятен крови // *Суд.-мед. экспертиза.* — 1986. — № 4. — С. 35–38.
12. *Логвиненко А.Г., Логвиненко С.И.* Спектрофотометрический метод определения оксигемоглобина в крови // *Лаб. дело.* — 1990. — № 3. — С. 42–43.
13. *Туманов А.К., Гуров Ф.И.* К возможности применения спектроотражения для решения вопроса о давности следов крови // *Суд.-мед. Экспертиза.* — 1973. — № 4. — С. 25–29.
14. *Туребаев О.И.* К установлению давности образования пятен крови // *Суд.-мед. экспертиза.* — 1985. — № 4. — С. 29–30.
15. *Туребаев О.И.* Определение давности образования пятен крови по спектрам поглощения метгемоглобина // *Суд.-мед. Экспертиза.* — 1986. — № 4. — С. 44–45.
16. *Chisolm J.J.* Defects in hem pigment metabolism // *Nelson textbooh of pediatrics.* — 14 th ed New York, 1992. — p. 384 — 900.
17. *Trbojeric-Cepe M., Vogrinc Z., Brinam V.* Diagnostic significance of metphaemoglobin determination in colories cerebrospinal fluid // *Clinical Chemistry.* — 1992. — Vol. 38 (8 pt 1). — P. 1404–1408.
18. *Королевич А.Н., Олейник Т.В., Севковский Я.И.* Особенности спектров диффузного отражения и пропускания нормальных и опухолевых тканей // *Журнал прикладной спектроскопии.* — 1993. — Т. 18, № 5 (6). — С. 555–559.
19. *Науменко Е.И.* Выбор длин волн для устойчивого определения концентраций производных гемоглобина по спектрам поглощения эритроцитов // *Журнал прикладной спектроскопии.* — 1996. — Т. 63, № 1. — С. 60–66.
20. *Хайруллина А.Я.* Оптические и биофизические параметры биотканей в норме и патологии, методы их определения в видимой и ближней ИК-областях спектра, основанные на миократном рассеянии // *Инж.-физ. Журнал.* — 1996. — Т. 69, № 3. — С. 390–398.
21. *Гладков А.А.* Люминисцентный анализ в медицине. — Кишинев, 1958. — 302 с.
22. *Черницкий Е.А., Слобожанина Е.И.* Спектральный люминисцентный анализ в медицине. — Минск: Наука и техника, 1989. — 142 с.

23. *Мецлер Д.* Биохимия: Химические реакции в живой клетке. — Т. 3 — М.: Мир, 1980.
24. *Громов А.П., Науменко В.Г.* Судебно-медицинская травматология. — М.: "Медицина", 1977. — 368 с.
25. *Suzuki T.* Application of Microspectrophotometric method for Estimating the Survival Time After Receiving injury to Medicolegove Practice // J. exp. Med., Tohoku. — 1973. — Vol. III, 2. — P. 201–202.
26. *Моканюк А.И., Козлова С.А.* Установление прижизненности странгуляционной борозды методом абсорбционной спектрофотометрии // Актуальные вопросы теории и практики судебной медицины. — К., 1991. — С. 58–59.
27. *Моканюк А.И., Козлова С.А., Смолинский Е.С.* Диагностика прижизненности возникновения ран по оптическим характеристикам травмированной кожи // Криминалистика и судебная экспертиза. — К., 1990. — Вып. 42 — С. 120–123.
28. *Ломовцева Л.М.* Диагностика прижизненности повреждений мягких тканей методом ИК-спектроскопии // Вопросы суд.-мед. экспертизы и практики. — Чебоксары; Горький, 1980. — С. 79–80.
29. *Назаров Г.П.* О диагностике прижизненных и посмертных кровоподтеков методом ИК-спектроскопии // Сб. трудов науч. общества судебных медиков Литовской ССР. — Каунас., 1973. — № 3. — С. 184–186.
30. *Barsley R.E., West M.H., Fair J.A.* Forensic photography. Ultraviolet imaging of wounds on skin. // Am. J. Forensic Med. Pathol. — 1990 Dec. — Vol. 11 (4). — P. 300–308.
31. *Klein A., Schweitzer D., Schotte J., Wol F.C.* Spektrometrie zur Hamotomaltersbestimmung beim Lebenden // Beitrage rw Gerichtlichen Medizin. — 1992. — T. 50. — S. 235–240.
32. *Trujillo O., Vanezis P., Cermignani M.* Photometric assessment of skin colour and lightness using a tristimulus colorimeter: reliability of inter and intra-investigator observations in healthy adult volunteers // Forensic Sci. Int. — 1996, Jul. 31. — Vol. 81 (1). — P. 1–10.
33. *Туманова Н.А.* Диагностика прижизненности травматизации меченых тканей при экспертизе гнилобно измененного трупа / Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 1983. — 24 с.
34. *Концевич И.А., Михайличенко Б.А.* Перспективы дальнейшей разработки проблемы диагностики прижизненности травмы по физиологически активным веществам // Актуальные вопросы теории и практики судебной медицины. — Киев., 1991. — С. 19–20.
35. *Ротштейн А.П.* Медицинская диагностика на нечеткой логике. — Винница: Континент-ПРИМ, 1996. — 132 с.
36. *Бенсман В.М., Галенко-Ярошевский П.А., Мехта С.К., Триандафилов К.В.* Предотвращение ампутации конечностей у больных с осложнением диабетической стопы // Хирургия. — 1999. — № 10. — С. 49–52.
37. Патент України № 46340А. Пристрій для неінвазивної оптичної діагностики матеріалів біомедичного походження / В.Г. Петрук, Г.О. Черноволик, І.В. Васильківський, М.А. Томчук // Бюл. Держпатенту України. — 2002 р.
38. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. — М.: Радио и связь, 1982. — 432 с.
39. *Ротштейн О.П., Черноволик Г.О., Ларюшкин С.П.* Метод побудови функцій належності нечітких множин // Вісник ВПІ. — 1996. — № 3. — С. 30–37.
40. *Петрук В., Іванов А., Барун В., Кватернюк С., Черноволик Г.* Комп'ютерно-визірвальна система діагностики стану нормальних і патологічних біотканин

- за спектрами їх дифузного відбивання. ІНТЕРНЕТ–ОСВІТА–НАУКА — 2006, п'ята міжнародна конференція ІОН-2006, 10–14 жовтня, 2006. Збірник матеріалів конференції. Том 1. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — С. 118–120.
41. *Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Черноволик Г.О., Иванов А.П., Барун В.В.* Модернізація інтерактивних оптичних засобів для діагностики фізіологічного стану людини на основі спектрофотометрії та лазерної поляриметрії // Збірник матеріалів МНПК “І-й Всеукраїнський з'їзд екологів”, 4–7 жовтня 2006 р. — С.181.
 42. *Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Черноволик Г.О.* Методика нормування експериментальних результатів вимірювань спектрів дифузного відбивання // Збірник матеріалів XIII міжнародної конференції з автоматичного управління, 25–28 вересня 2006 р. — С. 177.
 43. *Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Черноволик Г.О., Иванов А.П., Барун В.В.* Розробка нових принципів діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами їх дифузного відбивання // Збірник матеріалів XIII міжнародної конференції з автоматичного управління, 25–28 вересня 2006 р. — С. 178.
 44. *Петрук В.Г., Барун В.В., Иванов А.П., Кватернюк С.М.* Разработка портативного измерителя коэффициента диффузного отражения света биологическими тканями // Альманах клинической медицины. — 2006. — Т. XII. — С. 27.
 45. *Петрук В.Г., Черноволик Г.О., Кватернюк С.М., Иванов А.П., Барун В.В.* Контрольно-вимірювальна система для дослідження оптичних параметрів біотканин // Вісник ВПІ. — 2006. — № 5.
 46. *Петрук В., Кватернюк С., Черноволик Г., Иванов А., Барун В.* Розробка нових принципів діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами їх дифузного відбивання // Вісник ВПІ. — 2006. — № 6.