

УДК 543.43:535.312

В. Г. Петрук, д. т. н., проф.;

Г. О. Черноволик;

С. М. Кватернюк;

А. П. Іванов, д. ф.-м. н., проф.;

В. В. Барун

## КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОТКАНИН

*В роботі розвинуті аспекти проектування спектрофотометричних комп'ютерно-вимірювальних систем для неінвазійної діагностики стану нормальних і патологічних біотканин за спектрами їх дифузного відбивання. Розглянуто структуру та принцип функціонування комп'ютерно-вимірювальної системи діагностики стану нормальних і патологічних біотканин. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення для керування роботою системи та попередньої обробки даних. Проведено дослідження спектрів дифузного відбивання нормальних та патологічних біотканин у різних групах реципієнтів.*

### Вступ

При вирішенні багатьох проблем сучасної медицини виникають ситуації, коли необхідно провести дослідження стану біотканини неінвазійними методами, застосування яких не ушкоджує об'єкт дослідження. Результатом досліджень є висновок про наявність та ступінь відхилень стану біотканини від норми. Такі дослідження доводиться проводити в судово-медичній експертизі, при діагностиці злоякісних та доброякісних новоутворень, опіків шкіри, при вирішенні косметологічних та дерматологічних проблем тощо. Одним з перспективних напрямків є використання оптичних методів, оскільки це дозволяє діагностувати стан різноманітних біологічних тканин без руйнування та шкідливого впливу.



Рис. 1. Контрольно-вимірювальна система

Для проведення зазначених досліджень створено систему [1], що дозволяє приймати діагностичні рішення на основі аналізу параметрів стану об'єкта контролю, в тому числі параметрів, які отримані за допомогою спектрофотометричних вимірювань (рис. 1).

Математичним обґрунтуванням таких досліджень є модель перетворення випромінювання ділянками патологічних біотканин, що базується на теорії переносу випромінювання [2—4].

Структурна схема та принцип роботи контрольно-вимірювальної системи

### Структурна схема та принцип роботи контрольно-вимірювальної системи

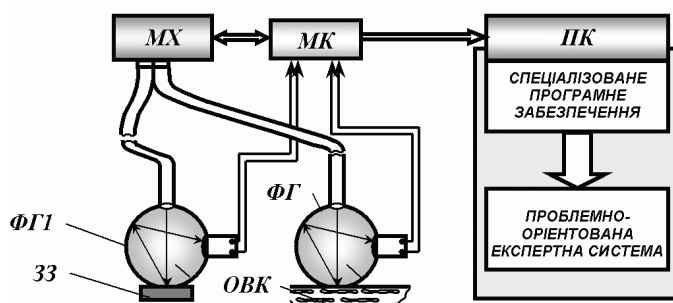


Рис. 2. Структурна схема контрольно-вимірювальної системи

Структурна схема системи показана на рис. 2. Основними вузлами системи є: монохроматор (МХ), мікроконтролер (МК), вимірювальні зонди у вигляді виносних фотометричних головок (ФГ1 та ФГ2), які зсередини покриті плівкою оксиду магнію, персональний комп'ютер (ПК) із спеціалізованим програмним забезпеченням, що дозволяє здійснити аналіз отриманих опти-

В. В. Барун, 2001

чних характеристик та проблемно-орієнтованої експертної системи для прийняття діагностичного рішення.

Інформативними оптичними параметрами є значення коефіцієнтів дифузного відбивання, які вимірюють на характеристичних довжинах хвиль.

Контрольно-вимірювальні операції здійснюються таким чином. З монохроматора на вхід фотометричних головок через волоконно-оптичні світловоди подається випромінювання певної довжини хвилі, яке спрямовується на робочі отвори. При проведенні вимірювань робочий отвір однієї фотометричної головки закривається спеціальною заглушкою, яка теж покрита оксидом магнію (зразковим засобом ЗЗ). Якщо ж потрібно провести операцію контролю, фотометричну головку прикладають до ділянки неушкодженої біотканини, яку прийнято за норму. Робочий отвір іншої головки прикладається до поверхні патологічної біотканини, яку потрібно дослідити (об'єкта вимірювального контролю ОВК). При цьому випромінювання, яке відбивається від досліджуваної біотканини або зразкового засобу, інтегрується у сферичних порожнинах та сприймається фотоприймачами, що розміщені у вихідних отворах фотометричних головок. Інформаційний сигнал з виходу фотоприймача обробляється мікроконтролером, після чого подається до персонального комп'ютера. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення результати досліджень відображаються у вигляді залежності коефіцієнта дифузного відбивання ділянки біотканини від довжини хвилі випромінювання

$$R_{\lambda} = \frac{N_{1(\lambda)}}{N_{0(\lambda)}}, \tag{1}$$

де  $N_{1(\lambda)}$  — сигнал, який зумовлений відбиванням від патологічної або ушкодженої ділянки біотканини,  $N_{0(\lambda)}$  — сигнал, зумовлений відбиванням від ділянки біотканини, прийнятої за норму, або у випадку вимірювань, сигнал, який відбився від зразкового засобу.

Така методика проведення контрольно-вимірювальних операцій дозволяє одночасно вимірювати спектри дифузного відбивання зразкового засобу та досліджуваної ділянки біотканини або ділянок нормальної і патологічної біотканин під час контролю та діагностування. За рахунок виключення періодичного переставляння фотометричної головки від патологічної поверхні шкіри до зразкового засобу або ділянки з нормальною шкірою і навпаки на різних довжинах хвиль скорочується тривалість досліджень та зменшується значення методичної похибки вимірювань.

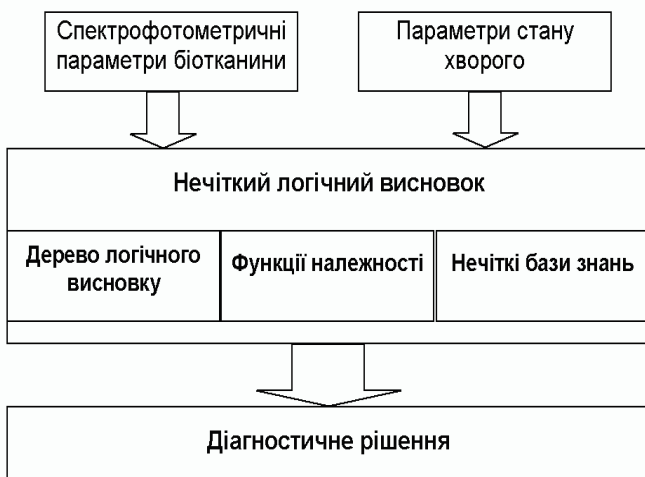


Рис. 3. Модель прийняття діагностичного рішення (визначення коефіцієнта спектрофотометричних показників, рівня загального статусу хворого, рівня локального статусу хворого, коефіцієнта показників болю, коефіцієнта біофізичних показників, загального діагностичного рішення) реалізовані окремими FIS-файлами. Фазифікація вхідних даних здійснюється симетричними гаусівськими функціями належності (gaussmf), що описуються аналітичною формулою

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

Прийняття діагностичного рішення на основі аналізу отриманих спектрофотометричних характеристик та параметрів стану хворого, які традиційно використовують при встановленні діагнозу, здійснюється за допомогою експертної системи. Математична модель прийняття діагностичного рішення базується на теорії нечітких множин [5—7] (рис. 3).

Використання експертної системи підвищує об'єктивність та експресність прийняття діагностичного рішення за рахунок знань спеціаліста високої кваліфікації у даній предметній області.

Експертна система реалізована у пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB 5. Елементи системи на основі нечіткої логіки

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 Мамдамі здійснена методом центра 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.

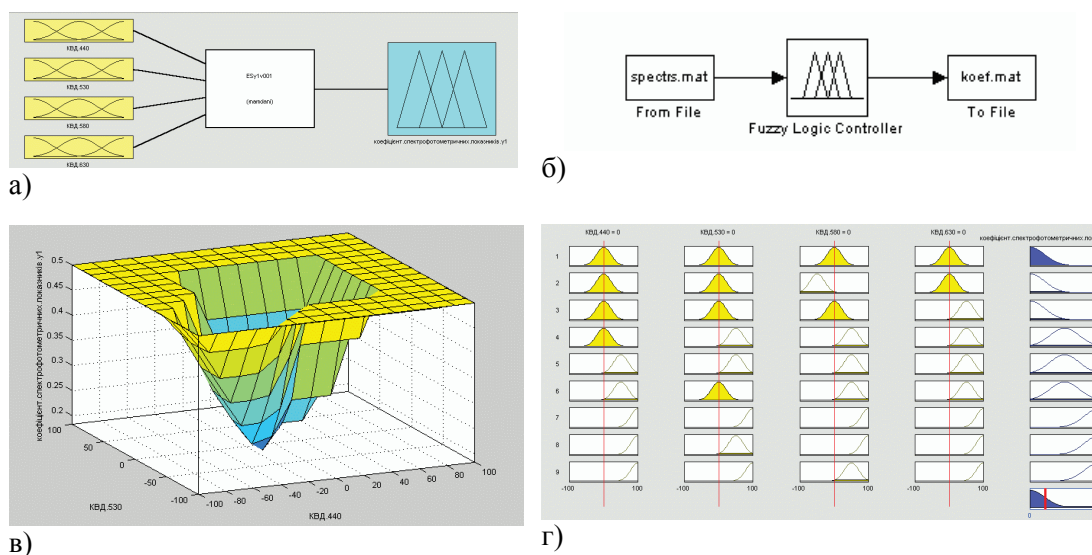


Рис. 4. Обробка даних у експертній системі (а – елемент експертної системи на основі нечіткої логіки,

### Аналіз отриманих спектрів дифузного відбивання

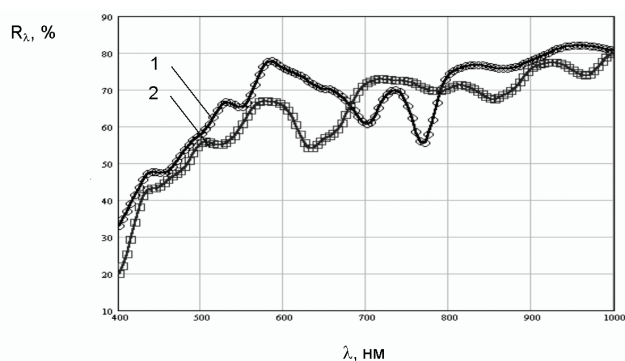


Рис. 5. Спектри дифузного відбивання:

1 – ділянки нормальної біотканини; 2 – ділянки біотканини, ураженої системним червоним вовчаком

бівання на довжинах хвиль 500...680 нм та збільшення на довжинах хвиль 680...790 порівняно із нормою.

Аналізуючи спектри дифузного відбивання патологічних біотканин, було встановлено, що найбільш інформативними є довжини хвиль 440, 530, 580, та 630 нм, оскільки коефіцієнти дифузного відбивання на цих довжинах хвиль при різних ступенях патології найбільше відрізняються за абсолютним значенням. Тому значення  $R_\lambda$  на вказаних довжинах хвиль є одними з вхідних параметрів експертної системи.

За допомогою контрольно-вимірювальної системи проведено визначення коефіцієнтів дифузного відбивання нормальної та патологічної ділянок біотканин при захворюванні на системний червоний вовчак, а також дослідження ділянок шкіри на ампутованих та неушкоджених кінцівках. Результатами є спектри дифузного відбивання на довжинах хвиль 400—1000 нм.

На рис. 5 зображено спектри дифузного відбивання ділянок біотканин (приповерхневим шаром шкіри): 1 – без патологій, 2 – ураженої системним червоним вовчаком.

Наявність у патологічних біотканинах характерних включень (васкулітів) призводить до зменшення значення показника дифузного від-

## Висновки

Запропонована в роботі контрольно-вимірювальна система дозволяє підвищити об'єктивність та швидкість встановлення діагнозу, а також уникнути інвазійного втручання в функціонуючу (живу) біотканину. При цьому отримані спектри дифузного відбивання поверхні біотканини підвищують вірогідність правильного прийняття діагностичного рішення.

*Робота виконана за сприяння Державного фонду фундаментальних досліджень Міністерства освіти і науки України відповідно спільному україно-білоруському проекту Ф10/27-003.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України № 46340А. Пристрій для неінвазивної оптичної діагностики матеріалів біомедичного походження / Петрук В. Г., Черноволик Г. О., Васильківський І. В., Томчук М. А. // Бюл. Держпатенту України. — 2002 р.
2. Петрук В. Г., Черноволик Г. О., Шевчук С. В., Безмертний Ю. О. Математична модель перетворення проміння при поверхневим шаром біотканини з системною патологією // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології — 2002. — № 2. — С. 154—158.
3. Иванов А. П. Оптика рассеивающих сред. — Мн.: Наука і тэхника, 1969. — 592 с.
4. Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика вимірювального контролю). — «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2000. — 208 с.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 167 с.
6. Ротштейн А. П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. — Винница: Континент-ПРИМ, 1996. — 132 с.
7. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. — 320 с.

**Петрук Василь Григорович** — завідувач кафедри; **Кватернюк Сергій Михайлович** — молодший науковий співробітник.

Кафедра хімії та екологічної безпеки;

**Черноволик Галина Олександрівна** — асистент кафедри вищої математики;

Вінницький національний технічний університет;

**Іванов Аркадій Петрович** — завідувач лабораторії; **Барун Володимир Володимирович** — старший науковий співробітник.

Інститут фізики ім. Степанова Національної академія наук Білорусі, Мінськ