

---

---

## ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

---

---

УДК 681.518.3: 535.243.2

В.Г. ПЕТРУК<sup>а</sup>, С. КВАТЕРНЮК<sup>а</sup>, І. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ<sup>а</sup>, А.П. ІВАНОВ<sup>б</sup>, В.В. БАРУН<sup>б</sup>

### СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГУМОРАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

<sup>а</sup>*Вінницький національний технічний університет,  
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21010, Україна,  
тел.: +380 (432)59 -84-43, E-mail: petruk@vstu.vinnica.ua*

<sup>б</sup>*Інститут фізики НАН Білорусі,  
пр. Ф. Скоріни, 70, Мінськ, 220072, Білорусь,  
тел.: +375 (17)284 -07-91, E-mail: ivanovap@dragon.bas-net.by*

**Анотація.** В даній роботі запропоновані спектрополяриметричні методи та засоби дослідження параметрів гуморальних середовищ дозволяють підвищити достовірність та швидкодію медичної діагностики. Показано, що поєднання спектральної, поляриметричної та просторової інформації у спектрополяриметрії зображень дозволяє у багато разів збільшити масив вимірювальної інформації. Дослідження виконуються науковими колективами кафедри екології та екологічної безпеки ВНТУ та лабораторії оптики світлорозсіювальних середовищ Інституту фізики ім. Степанова НАН Республіки Білорусь.

**Ключові слова:** гуморальні рідини, неінвазивна онкодіагностика, ефект антистоксового поглинання.

#### ВСТУП

Гуморальні рідини, та, зокрема, кров, при різних захворюваннях має особливості оптико-фізичних параметрів, що обумовлено формою, орієнтацією, спектральними та поляризаційними властивостями її частинок.

Особливо актуальним у наш час є неінвазивна онкодіагностика, що може здійснюватись за рахунок вивчення характеристичних довжин хвиль флуоресценції протопорфіронів у плазмі крові та злоякісних пухлинах онкохворих. Це так званий «ефект антистоксового поглинання» [1]. Відповідне вимірювання концентрації таких онкомаркерів може бути інтерпретоване для діагностики стану пухлин. Виявлений раніше ефект антистоксового поглинання вимагає подальших досліджень та наукового обґрунтування фізико-хімічної та біофізичної природи явища, аналізу критеріїв відмінності між нормальними і патологічними зразками крові для об'єктивної діагностики онкозахворювань.

Результати теоретичних досліджень та практичної реалізації дозволять вивчити особливості оптико-фізичних характеристик крові та її дериватів, а також оптико-фізичні параметри частинок крові, що дозволить створювати системи медичної діагностики, зокрема, ранньої діагностики онкозахворювань. Теоретичні ж результати, одержані при цьому, доповнять деякі не вивчені раніше аспекти, зокрема в оптиці розсіяння, теорії переносу випромінювання та в інформаційно-вимірювальній і діагностичній техніці в цілому.

#### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГУМОРАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

Основними методами неінвазивного дослідження біотканин та гуморальних середовищ є спектрофотометричні. Зокрема, на основі дослідження спектрів дифузного відбивання шкіри можна неінвазивно досить точно визначати кількісні і якісні показники дослідного зразка приповерхневого шару біотканини. Математична обробка результатів досліджень спектрів дифузного відбивання шкіри

дозволяє визначити рівень білірубіна, гемоглобіну та його похідних, концентрації глюкози та спирту у крові, насиченість тканин киснем тощо. Спектри відбивання біотканин та гуморальних середовищ мають ряд характеристичних довжин хвиль, що відповідають біохімічним сполукам у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні. Наприклад, дослідження концентрації глюкози у крові дозволяє вибрати ту довжину хвилі, на якій забезпечується найкраще співвідношення сигнал-шум, а також менше впливають спектри інших біохімічних сполук, що відповідно забезпечує меншу похибку вимірювань. Окрім того, при неінвазивних вимірюваннях виникають проблеми пов'язані зі складною дією шкіри на перенос світла та складним поширенням випромінювання у біотканині. Математичне моделювання поширення світла у біотканинах проводиться методом Монте-Карло.

Калібрування пристрою неінвазивного вимірювання концентрації досліджуваної речовини у крові та перевірка його працездатності здійснюється на основі порівняння з даними вимірювання традиційними лабораторними методами. За рахунок багатовимірного калібрування сформовано емпіричні залежності для переведення спектральних даних у аналітичні концентрації досліджуваних речовин. Математично це означає множення спектральних даних на градувальні коефіцієнти для отримання підсумкового значення концентрації по всім довжинам хвиль. Градувальні коефіцієнти можуть визначатись на основі методу найменших квадратів на основі співставлення спектрів та лабораторних вимірювань концентрації. Аналогічне перетворення можна здійснити за рахунок нейромережі, вагові коефіцієнти якої формуються за допомогою нечіткої логіки. Описаний метод реалізовано у контрольно-вимірювальній системі для дослідження оптичних параметрів біотканин [2].

Досягнуто роздільної здатності 0,5мМоль/л при вимірюваннях у водних розчинах глюкози у кварцовій кюветі. Таких же показників роздільної здатності досягнуто при використанні неінвазивного методу. Крім того, враховано вплив температури на спектр та розсіювання світла у шкірі. Проводиться аналіз похибок вимірювання та співвідношення сигнал-шум. За рахунок впливу шкіри та інших біотканин співвідношення сигнал-шум при неінвазивному вимірюванні (*in vivo*) менше ніж при вимірюванні на зразку крові (*in vitro*). Для підвищення достовірності можливо збільшувати потужність джерела випромінювання, збільшувати час вимірювань з усередненням результатів, використовувати цифрову фільтрацію вихідного сигналу.

Для спрощення і здешевлення апаратури, а також забезпечення вимог портативності замість монохроматора перестроюваного кроковим двигуном у якості джерел випромінювання використовуються світлодіоди з різним спектром випромінювання чи джерело білого світла з набором світлофільтрів, що орієнтовані на такі пігменти шкіри.

Прилади обладнано спеціалізованим програмним забезпеченням, що здійснює калібрування, попередній аналіз даних та обчислення результуючих показників меланін, окси- те деоксигемоглобіну, білірубіну. Визначено колориметричні особливості біотканин різних рас, що дозволяє підвищити достовірність діагностики захворювань, точність виміру вмісту меланіну чи гемоглобіну за рахунок їх врахування. Аналогічні дослідження проведено для спектрометричних вимірювань волосся [3].

Для врахування анізотропії біотканин та гуморальних середовищ необхідно враховувати поляризаційні характеристики, зокрема вимірювати матриці Стокса та Мюллера. Разом спектральні та поляризаційні результати вимірювань формуються у спектрополяриметричний масив вимірювальної інформації який характеризує оптичні параметри для однієї досліджуваної точки, або інтегровані дані для певної ділянки, розміри якої визначається використовуваним первинним перетворювачем.

Інтерактивна інформаційно-вимірювальна спектрополяриметрична система для діагностики біотканин та гуморальних середовищ представлена на рис.1. Система складається з таких основних частин: джерела світла - монохроматора 300-900 нм чи напівпровідникового лазера з довжиною хвилі 632,8 нм; вхідної системи колімуючого трансфера з діафрагми, поляризатора, чверть-лямбда платівки; кюветної камери; вихідної оптичної системи з чверть-лямбда платівки, аналізатора, діафрагми; фотоелектронного помножувача. Оптична система закріплена на плечах гоніометра. Сигнал з фотоелектронного помножувача надходить на вимірювальний блок на основі мікроконтролера AT90S4433. Для того щоб подати цей сигнал на вхід 10-розрядного АЦП мікроконтролера його необхідно перетворити за допомогою вхідного підсилювача до рівня 0-2,5 В та обмежити максимальний рівень, щоб не пошкодити АЦП. Далі сигнал через СОМ-порт і адаптер ADM232LJN надходить у комп'ютер. Контролер керування кроковими двигунами, що змінюють довжину хвилі випромінювання монохроматора, замінюють компенсуючі платівки, повертають поляризатор, повертають гоніометр реалізований на мікроконтролері AT90S8515 з подачею керуючих сигналів з комп'ютера через другий СОМ-порт. Програмне забезпечення для мікроконтролерів написано на мові IAR C. На початку роботи здійснюється нормування спектральної характеристики вимірювального каналу відносно вимірювального зразкового засобу, компенсація темнових струмів. Спеціалізоване програмне

забезпечення дозволяє визначати матриці Мюллера, що дає інформацію про внутрішній стан біотканин та може бути передумовою для об'єктивної медичної діагностики біооб'єктів за допомогою експертної системи на основі нечіткої логіки. Накопичення банку даних спектрополяризаційних характеристик біотканин дозволяє експертній системі з більшою вірогідністю виносити вірний діагноз. При застосуванні у якості джерела випромінювання лазера на основі визначених матриць Мюллера можна проводити імунологічні дослідження сироватки крові, визначення розмірів частинок у гуморальних середовищах у діапазоні 0,02-0,2 мкм методом асиметрії індикатрис розсіяння тощо.

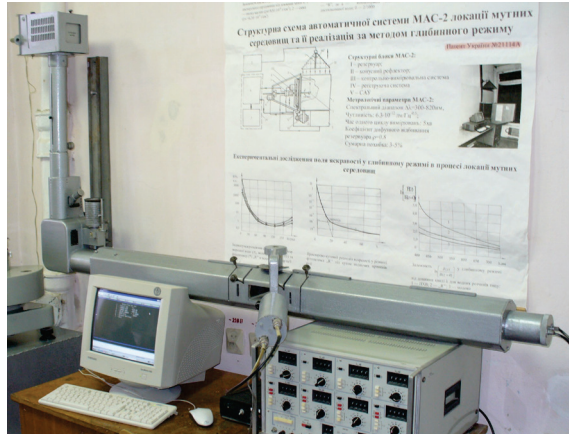


Рис.1. Інтерактивна інформаційно-вимірювальна спектрополяриметрична система для діагностики біотканин та гуморальних середовищ

Більш інформативним для медичної діагностики є використання спектрополяриметрії зображень, що полягає у отриманні ряду зображень зразка біотканини чи гуморального середовища у кюветі при різних довжинах хвиль ( $\lambda_{\min} \dots \lambda_{\max}$ ) та різних кутах обертання азимуту поляризатора і аналізатора. Отримані зображення комплексно обробляються на комп'ютері із спеціалізованим програмним забезпеченням та проблемно-орієнтованою системою прийняття діагностичних рішень на основі нечіткої логіки за рахунок їх співставлення з бібліотекою інтактних та патологічних зразків [4].

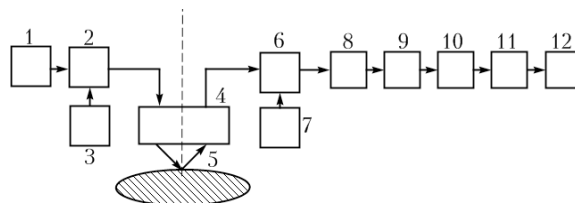


Рис.2. Спектрополяриметр зображення для діагностики матеріалів біомедичного походження

Випромінювання від монохроматора 1 проходить через плівковий лінійний поляризатор 2, який розміщений на поворотному пристрої 3 з фіксованими кутами обертання азимуту з кроком  $45^\circ$ . Система об'єтивів 4 спрямовує випромінювання на досліджуваний зразок біотканини 5 та формує відбите зразком випромінювання. Далі світло проходить через плівковий лінійний аналізатор 6 розміщений на поворотному пристрої 7 з фіксованими кутами обертання азимуту з кроком  $45^\circ$  та потрапляє на CCD-камеру 8, підключену до комп'ютера 10 через мікроконтролерний реєструючий пристрій 9. Отримані зображення обробляються спеціалізованим процесором обробки зображень 11. За допомогою проблемно-орієнтованої експертної системи на основі нечіткої логіки 12 приймається діагностичне рішення.

Іншим напрямком спектрополяриметричних досліджень гуморальних рідин є вимірювання просторових індикатрис розсіяння (тіл яскравості) на різних довжинах хвиль та кутах поляризації, що дозволяє визначати такі їх основні параметри, як середні розміри частинок, їх форму, орієнтацію, анізотропність, динамічні та кінетичні властивості.

## ВИСНОВКИ

Запропоновані у роботі спектрополяриметричні методи та засоби дослідження параметрів гуморальних середовищ дозволяють підвищити достовірність та швидкодію медичної діагностики.

Поєднання спектральної, поляриметричної та просторової інформації у спектрополяриметрії зображень дозволяє у багато разів збільшити масив вимірювальної інформації. Спеціалізоване програмне забезпечення виділяє з цього багатовимірного масиву найбільш інформативну для лікаря частину, що подається у виді кольорових зображень, та дозволяє об'єктивно вирішувати складні діагностичні задачі.

Дослідження виконуються науковими колективами кафедри екології та екологічної безпеки ВНТУ та лабораторії оптики світлорозсіювальних середовищ Інституту фізики ім. Степанова НАН Республіки Беларусь. Робота виконана за сприяння Міністерства освіти і науки України відповідно спільному україно-білоруському проекту.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрук В.Г. Фізико-хімічний механізм антистоксового поглинання гуморальними середовищами з позиції координаційної теорії кристалічного поля / В.Г. Петрук // Вісник ВПІ. –1995. – №2.– С. 78–82.
2. Петрук В.Г. Контрольно-вимірювальна система для дослідження оптичних параметрів біотканин / В.Г. Петрук, Г.О. Черноволик, С.М. Кватернюк, А.П. Іванов, В.В. Барун // Вісник ВПІ. – 2006. – №5.– С. 18–21.
3. Mark D. Shriver. Comparison of Narrow-Band Reflectance Spectroscopy and Tristimulus Colorimetry for Measurements of Skin and Hair Color in Persons of Different Biological Ancestry /Mark D. Shriver, Esteban J. Parra// American journal of physical anthropology. – 2000. – №112. – P. 38–45.
4. Спектрополяриметр зображення для діагностики матеріалів біомедичного походження [Текст] : патент 35499 : G01N 21/21 / Петрук В.Г., Кватернюк С.М., Іванов А.П., Барун В.В. ; власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u2008 04100, заявл. 01.04.08 ; опубл. 25.09.08, Бюл. № 18. — 4 с. : іл.

Надійшла до редакції 20.11.2008р.

**ПЕТРУК В. Г.** – декан факультету екології та екологічної кібернетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**КВАТЕРНЮК С. М.** – науковий співробітник кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ І. В.** – доцент, старший науковий співробітник кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ІВАНОВ А. П.** – головний науковий співробітник лабораторії оптики розсіювальних середовищ, Інститут фізики ім.Степанова НАН Білорусі, Мінськ, Білорусь.

**БАРУН В. В.** – старший науковий співробітник лабораторії оптики розсіювальних середовищ, Інститут фізики ім.Степанова НАН Білорусі, Мінськ, Білорусь.