

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.372

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗСІЮВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Кириченко В.В., Богомолов М.Ф.

Для визначення глибини патологічного процесу в людині має велике значення діагностика. Тому актуальним є створення нових методів і пристроїв, які дозволять провести обстеження пацієнта для попередження захворювань. У останні десятиліття, у зв'язку з розвитком обчислювальної техніки, з'явилася можливість вивчати малі частинки (клітини крові, віруси і т. п.) за даними світлорозсіяння. Перспективними і відносно недорогими є оптичні методи дослідження біологічних об'єктів. Метод лазерної дифракції, заснований на явищі дифракції лазерного випромінювання на поодиноких і множинних біологічних мікрооб'єктах, характеризується високою точністю, чутливістю, швидкодією, мінімальною дією на об'єкт дослідження, можливістю одночасної реєстрації великої кількості малих часток. Оскільки аналіз дифракції є добре відомим фізичним завданням, комп'ютерна обробка отриманого зображення дозволяє підвищити точність вимірювань. Кров складається з рідкої частини плазми й зважених у ній формених елементів: еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів. На частку формених елементів доводиться 40 - 45%, на частку плазми - 55 - 60% від обсягу крові. Для застосування цих методів необхідні адекватні теоретичні моделі, розробка яких пов'язана з подоланням істотних труднощів.

Найбільш повною теорією, що описує поглинання й розсіювання лазерного випромінювання однорідними частинками, є теорія Мі [1]. Вона дозволяє знайти відповідь на питання про те, як поглинає і розсіює світло сферична частинка даного радіусу з відомими оптичними властивостями. Рішення Мі отримано в результаті застосування теорії електромагнітного поля Максвела до задачі розсіювання світла однорідною сферичною частинкою, на яку в певному напрямку падає плоска хвиля.

В даній роботі проведено розробку математичної моделі (ММ) процесів розсіювання лазерного випромінювання від біооб'єктів. Біооб'єктом дослідження був еритроцит. Форма еритроциту крові має залежність від патологічного стану людини. Точне рішення задачі про розсіювання випромінювання еритроцитами такої складної і нерегулярної форми не має відпрацьованих алгоритмів пошуку, тому доводиться будувати деяку модель еритроцита, а розрахунок розсіювання вести за допомогою наближених методів. Форма частинок передбачалась сферичною. При побудові ММ вирішальне значення мають характеристики самого об'єкту дослідження. Від них залежать принципи побудови ММ, її параметри, методика проведення експерименту тощо. При побудові ММ використовуються на-

ступні основні параметри [1]: $x = \frac{k}{r}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $m = n - i\chi$, де x - розмір частинки, k - хвильове число, r - радіус сферичної частинки (радіус сфери становив 4 мкм), λ - довжина хвилі (довжини хвиль, при яких відбувалось дослідження, коливалися від 400 до 1060 нм), n - дійсна частина показника заломлення ($n = 1.037 \dots 1.055$), χ - уявна частина показника заломлення ($\chi = 10^{-5} \dots 10^{-4}$) [2].

Поле розсіяного випромінювання, можна виразити через дві скалярні складові A_1 і A_2 амплітуди вектора електричного поля:

$$kA_1 \equiv S_1(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \pi_n + b_n \tau_n), \quad kA_2 \equiv S_2(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n \pi_n + a_n \tau_n),$$

де S_1 і S_2 – безрозмірні комплексні амплітуди, n - додатні цілі числа

Коефіцієнт розсіявання, віднесений до геометричного поперечного перерізу частинки, що розсіює, - $K_{роз}(m, x) = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2 \cdot n + 1) \cdot (|a_n|^2 + |b_n|^2)$

Значення основних функцій розсіявання повністю визначаються точністю обчислення коефіцієнтів Мі a_n і b_n [1].

Одним з важливих параметрів в теорії Мі є інтенсивність розсіявання для неполяризованого падаючого променя, яка визначається за формулою [2]: $I = |S_1|^2 + |S_2|^2$. Результати моделювання подано в графічному вигляді.

Проаналізувавши отримані дані можемо сказати, що із збільшенням розміру частинки спостерігаємо зменшення досліджуваного коефіцієнта (рис.1). Важливим параметром, який необхідно проаналізувати є інтенсивність розсіявання (рис.2). Порівнюючи з експериментальними даними можна зробити висновок що отримана характеристика залежності інтенсивності від кута розсіяння подібна до експериментальних даних [3], які були проаналізовані під час дослідження ММ і використовуються як перевірка. Інтенсивність зменшується при збільшенні кута θ . Більш детальну залежність можна отримати при зменшенні кроку кута θ .

При розробці ММ було визначено оптичні характеристики моделі еритроциту: коефіцієнт розсіявання, інтенсивність розсіявання. Знання оптичних характеристик крові, зокрема їх індикатрис розсіявання, показників поглинання та розсіявання дає можливість визначати середній розмір частинок, їх концентрацію та кількість в одиниці об'єму. Це дає змогу визначити патології які виникають при порушенні мікроциркуляції крові локального, регіонального або системного характеру. На основі досліджень крові цим методом можна проводити експрес-діагностику захворювань, що дозволяє швидко (протягом години) реєструвати багато хвороб.

Відхилення від нормальних розмірів еритроцитів (діаметр від 6 до 9 мкм, а товщина 1 мкм зі збільшенням до країв до 2,2 мкм) свідчить про можливу їхню можливу загибель, наприклад, згуртування чи розриву при набуханні в разі перенасичення солями чи їх недостатчею.

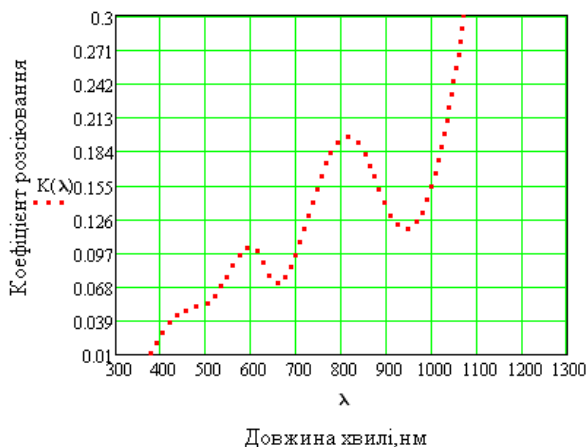


Рис.1. Залежність коефіцієнта розсіювання від довжини хвилі

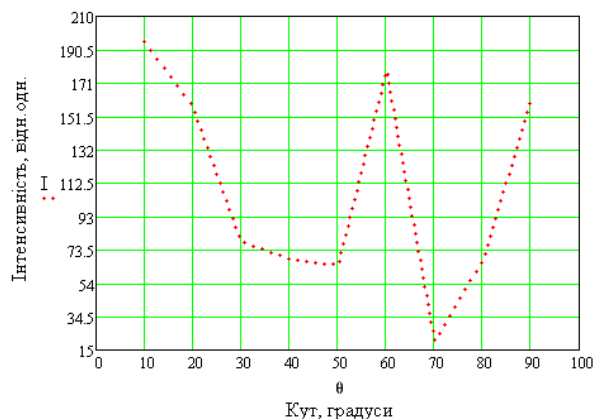


Рис.2. Залежність інтенсивності випромінювання від кута розсіювання

При відхиленні від нормальних розмірів тромбоцитів, що являють собою дрібні різної форми плазматичні утворення величиною 2-4 мкм з голубувато-розовато-зернистою протоплазмою, можна попередити інфаркт при четвертому та п'ятому ступеню агрегації.

Література

1. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. – 1971. — 164 с.
2. Лопатин В.Н., Приезжев А. В. Методы светорассеяния в анализе дисперсных биологических сред. — М.: Физматлит. — 2004. — 384 с.
3. Васильківський І.В., Петрук В.Г. Автоматизований контроль оптичних параметрів водно-дисперсних середовищ. – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця. — 2007. – 171 с.

Кириченко В.В., Богомолів М.Ф. Математичне моделювання процесів розсіювання випромінювання від біологічних об'єктів. Розглянута методика аналізу крові та її складових елементів – еритроцитів. Розробка математичної моделі процесів розсіювання лазерного випромінювання від біоб'єктів за теорією Мі. Інформація отримана від виду змін еритроцитів причиною яких є патологічний стан, дає змогу провести експрес-діагностику та визначити розповсюджені захворювання.

Ключові слова: лазерне випромінювання, експрес-діагностика.

Кириченко В.В., Богомолів Н.Ф. Математическое моделирование процессов рассеяния излучения от биологических объектов. Рассмотрена методика анализа крови и ее составных элементов - эритроцитов. Разработка математической модели процессов рассеяния лазерного излучения от биобъектов по теории Ми. Информация, полученная от вида измененных эритроцитов, причиной которых является патологическое состояние, дает возможность провести экспресс-диагностику.

Ключевые слова: лазерное излучение, экспресс-диагностика.

Kyrychenko V.V., Bogomolov M.P. Mathematical design of processes of dispersion of radiation from biological objects. There are the considered methods of blood and her component elements test - red corpuscles. Development of mathematical model of processes of dispersion of laser radiation from биобъектов on теориеу Ми. Information is got from the type of changes of red corpuscles reason of which there is a pathosis, enables to conduct express-diagnostics and define widespread diseases.

Keywords: laser radiation, express-diagnostics.