

УДК 535.3

Д.В. Бондарєв

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

## МЕТОДИ АНАЛІЗУ РОЗСІЮВАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

D.V. Bondariev

### SCATTERING MEDIA ANALYSIS METHODS

Дослідження властивостей розсіювальних середовищ відноситься до одного з розділів фізичної оптики, що найбільш швидко розвиваються. Зокрема це обумовлене тим, що існує велика кількість приладів, у яких використовуються розсіювальні матеріали. До таких можна віднести, наприклад, світлопровідні системи для рідкокристалічних екранів, автомобільні приладові панелі, світлодіодні світильники та інше. Також ця тема є важливою і для медико-біологічних досліджень.

Якість і технічні характеристики пристроїв постійно покращуються. Проте існує проблема коректного фізичного моделювання оптичних систем зі світлорозсіювальними компонентами. Помилки при розробці та апробації моделей поширення світла в розсіювальних середовищах призводять до некоректної оцінки роботи проектованої оптико-електронної системи в цілому, що, як правило, призводить до відхилення від технічних вимог.

Розсіяння відбувається, коли фотони стикаються з компактним об'єктом, що має відмінний від оточуючого середовища показник заломлення. Існує велика кількість різноманітних розсіювальних матеріалів, вони можуть бути різні за своїм походженням: аерозолі, рідини, кристали, оптично мутне скло та біологічні тканини.

На практиці для опису поширення світла в розсіювальних середовищах найчастіше використовують теорію переносу випромінювання (ТПВ). Однак для застосування ТПВ і вирішення її основного рівняння у стаціонарній чи нестационарній формі необхідна інформація, що дозволяє адекватно врахувати розсіяння світла у такому середовищі. Ця інформація навряд чи може бути отримана на основі даних про фізико-хімічні властивості складових застосовуваного матеріалу та відомості про процес його виготовлення. Як правило, точний фізико-хімічний механізм виготовлення такого матеріалу дуже складний. Окрім цього, відомості про процес виготовлення становлять комерційну таємницю виробника.

Унаслідок цього виникає актуальне завдання, яке полягає в отриманні інформації, що описує поширення світла в розсіювальних середовищах, за допомогою доступних оптичних вимірювань та подальшої математичної обробки їх результатів.

Для дослідження особливостей поширення оптичного випромінювання в розсіювальних середовищах найчастіше використовуються чисельні методи вирішення рівнянь ТПВ, зокрема метод Монте-Карло [1, 2]. Ускладнення топології досліджуваного середовища призводить до значного збільшення кількості ітерацій, необхідних для отримання коректного результату. Цей процес вимагає постійного контролю збіжності чисельних результатів та суттєвих затрат машинного часу, проте дозволяє мати високу достовірність, особливо в біомедичному застосуванні.

У роботі [3] представлений метод наближеного вирішення стаціонарного рівняння переносу випромінювання для розсіювального середовища, що описується фазовою функцією Хені-Грінштейна. Аналіз рішень для однорідного середовища показав, що поблизу осі падаючого випромінювання найбільший внесок (70%) у сумарну величину поглиненої енергії вносить потік колімованого випромінювання. Відповідно, нульовий порядок дифузної компоненти становить близько 25 % сумарного потоку, а перший порядок дифузної частини не перевищує 2 %. При віддаленні джерела випромінювання від осі внесок від колімованої

частини зменшується по експоненті, а співвідношення між порядками дифузного потоку повільно перерозподіляється між нульовим та першим порядком.

Ще одним із способів дослідження оптичних властивостей матеріалів, що розсіюють, є використання двонаправленої функції розсіяння світла (BDF). Ця функція визначає кутову залежність дифузного розсіяння на поверхні. Двонаправлена функція розсіяння світла має досить складний вираз і за сутністю є суперпозицією та узагальненням двох функцій: двонаправленої функції відбиття (BRDF) та двонаправленої функції пропускання (BTDF). Існує чимало способів відновлення однієї з частин BDF. Вони застосовуються переважно в комп'ютерній графіці та задачах з моделювання поширення світла, однак, вони не застосовні для вирішення завдань, пов'язаних з дифузними матеріалами. У роботі [4] запропоновано метод відновлення оптичних характеристик зразків розсіювальних середовищ, що добре узгоджуються з результатами вимірювань BDF відповідних зразків. Застосування даного методу забезпечує швидке та фізично коректне відновлення окремих оптичних параметрів для зразків зі складними оптичними властивостями.

Розглянуті методи дослідження розсіювальних середовищ цілком доцільно використовувати при роботі і з біологічними матеріалами. Дещо з наведеного вже використовується в цій сфері, наприклад, визначення оптичних властивостей методом Монте-Карло [1]. Метод, розглянутий у роботі [2], використовують при симуляції розсіяння світла у фотометрі з еліпсоїдальними рефлекторами. Цей вид фотометрії [5, 6] знаходиться на стадії розробки тому потребує пошуку сучасних методів аналізу з акцентом на світлорозсіювальні еталони.

Теоретичне моделювання дозволяє досліджувати сукупність різних початкових умов та вільно інтерпретувати експериментальні результати в режимі реального часу. Тому розглянута інформація може бути використана для подальших досліджень особливостей поширення лазерного випромінювання в біологічних тканинах та вирішення завдань їх діагностики оптичними методами.

### Література:

1. Н.В. Безугла, М.О. Безуглий, Г.С. Тимчик, та К.П. Вонсевич, "Вплив осьової анізотропії розсіяння біологічних середовищ на точність визначення оптичних коефіцієнтів методом Монте-Карло", Наукові вісті НТУУ "КПІ", том 99, №1, с. 85 – 91. 2015.
2. Bezuglyi M., Bezuglaya N., Viruchenko A. On the possibility of ellipsoidal photometry and Monte Carlo simulation to spatial analysis of biological media. *Electronics and Nanotechnology : proc. IEEE 37th International Conference*, 2017. P. 321 – 324.
3. Братченко И.А., Захаров И.П. Приближенный метод расчета распределения энергии оптического излучения в многократно рассеивающих средах. *Компьютерная оптика*. 2008. № 4. С. 370–374.
4. Соколов В.Г., Жданов Д.Д. Восстановление двунаправленной функции рассеяния света для среды с объемным рассеянием. *GraphiCon 2018: материалы 28-й междунар. конференция по компьютерной графике и машинному зрению*. м. Томск, 2018. С. 56-60.
5. М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, A.V. Ventsuryk, and K.P. Vonsevych, "Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method", *Devices and Methods of Measurements*, vol.10, no. 2, pp. 160 – 168, 2019.
6. М.А. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, "Ellipsoidal reflectors in biomedical diagnostic", in *Proc. SPIE Biophotonics—Riga 2013, Riga, 2013, 90320V*.