УДК 004.925.8; 514.8

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В МОДЕЛЮВАННІ ВЗАЄМОДІЇ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З СЕРЕДОВИЩЕМ

Шоман О.В., д.т.н.,
Даниленко В.Я.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Статтю присвячено проблемі розширення діапазону впровадження методів геометричного моделювання для об'єктів, які беруть участь в енергообміні випромінюванням. Актуальним є розгляд різних систем об'єктів променевого енергообміну та аналіз геометричної інформації, що використовується в розв'язуванні науково-практичних задач. Розширення меж застосування методів і способів моделювання об'єктів, явищ і процесів завжди сприяє їх розвитку та удосконаленню. Через зміну об'єкта досліджень або через нові впровадження вже розроблених методик виникають нові завдання та умови для розв'язання задач. Це спонукає до перегляду існуючих підходів до моделювання і визначення нових напрямків досліджень. Те ж саме стосується використання геометричних методів і моделей. Наприклад, розроблений та розвинутий метод геометричного моделювання, який дозволяє розв'язувати задачі оцінювання часток енергії випромінювання, що передається від джерела в певну точку поверхні приймача, для практичних задач є доцільним за умови наявності однорідного середовища в шарі речовини (тканини), якщо неважливо, як саме подано фізичну природу оптичного випромінювання, і якщо визначено границі ділянок на поверхнях приймача і джерела. В багатошаровій оптичній системі в цьому методі ділянка однієї граничної поверхні шару буде розглядатися як джерело випромінювання, а ділянка другої граничної поверхні цього ж шару – як приймач. В роботі виконано аналіз геометричної інформації, яка лежить в основі науково-практичних задач моделювання систем об'єктів оптичного випромінювання, що поширюється у фізичному середовищі, на прикладі біотканини як багатошарового, неоднорідного оптичного середовища. Під час геометричного аналізу науково-практичних задач поширення оптичного випромінювання через багатошарове оптичне середовище (на прикладі біотканини) було сформовано геометричні схеми для застосування способів геометричного моделювання систем об'єктів не тільки передачі, а й багатократного відбиття випромінювання.

Ключові слова: геометричне моделювання, оптичне середовище, оптичне випромінювання, граничні поверхні.

Постановка проблеми. Розширення меж застосування методів і способів моделювання об'єктів, явищ і процесів завжди сприяє їх розвитку та удосконаленню. Через зміну об'єкта досліджень або через нові впровадження вже розроблених методик виникають нові завдання та умови для розв'язання задач. Це спонукає до перегляду існуючих підходів до моделювання і визначення нових напрямків досліджень. Те ж саме стосується використання геометричних методів і моделей. Так, в Харківській науковій школі прикладної геометрії, яку очолює професор Л. М. Куценко, одним з багатьох відомих напрямків наукових досліджень завжди виступали дослідження методів визначення геометричних факторів теплового випромінювання, що впливають на параметри систем променевого теплообміну з різною конфігурацією об'єктів [1–4]. Слід відмітити ще один напрям цієї наукової школи, пов'язаний з геометричним моделюванням перебігу променів у відбивальних системах. Завдяки візуалізації графічних картин променів результати досліджень мали практичну прийнятність, наприклад, при профілюванні відбивачів та моделюванні їх дії [5–8]. Як бачимо, розвиток зазначених напрямів досліджень ґрунтується на прикладних аспектах теорії теплообміну випромінюванням як феноменологічної теорії, де потік теплового випромінювання являє собою міру нескінченної множини геометричних променів, хід яких підпорядкований законам геометричної оптики [9]. Таким чином, актуальним є розгляд різних систем об'єктів променевого енергообміну та аналіз геометричної інформації, що використовується в розв'язуванні науково-практичних задач зазначеної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прикладними аспектами для робіт [2–4,10] стали системи об'єктів різної геометричної форми, що випромінювали та приймали теплову променеву енергію в однорідному середовищі (в теплообмінних апаратах, у виробництві флоат-скла, у теплопередачі від фронту лісової пожежі). Моделюванням рівномірного розподілу теплової енергії в об'ємі ІЧ-печей займався професор Ю.М. Тормосов [11]. Практичною галуззю в роботі [12] були газорозрядні джерела світла (компактна люмінесцентна лампа). Моделюванню ходу променів у відбивальних системах присвячено роботи [5–8].

Формулювання цілей статті. Проаналізувати геометричну інформацію, яка лежить в основі науково-практичних задач моделювання систем об'єктів оптичного випромінювання, що

поширюється у фізичному середовищі, на прикладі біотканини як багатошарового, неоднорідного оптичного середовища.

Основна частина. Під час розробки пристроїв реєстрації оптичного випромінювання та діагностування стану кровообігу [13] проводяться розрахунки і вимірювання оптичного випромінювання, що відбивається, поглинається або розсіюється тканинами шкіри та судинами. В таких задачах шкіру представляють як багатошарову структуру і проводять дослідження взаємодії оптичного випромінювання (що опромінює певну ділянку шкіри) з різними шарами (поверхнями шарів). Спрощену схему такої багатошарової системи ілюструє рис. 1. На характер поширення оптичного випромінювання впливають різні характеристики шкіри (неоднорідності, покриття волосками і навіть колір) [13].

В математичних і фізичних моделях [13,14] беруть до розгляду теорію Максвелла або теорію переносу. Остання саме застосовується в дослідженнях взаємодії оптичного випромінювання з біотканиною [13,14]. У розрахунках оптико-електронних пристроїв реєстрації випромінювання [13] застосовують метод Монте-Карло [13,15], оскільки для визначення взаємодії оптичних середовищ з випромінюванням важливо відслідковувати траєкторію «руху» фотону від точки «входу» в середовище до точки «виходу» з нього або до точки поглинання. На рис. 2 наведено загальну схему поширення часток оптичної енергії в неоднорідному багатошаровому середовищі (стрілками показано напрями проходження випромінювання).

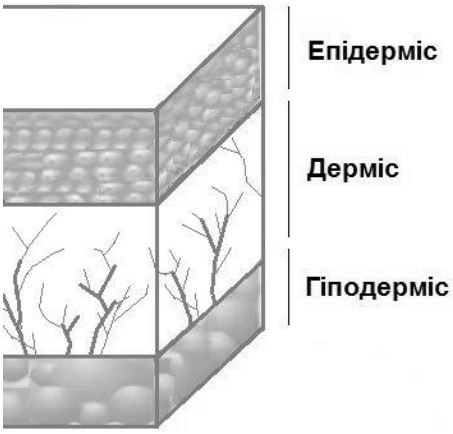

Рис. 1. Спрощена схема шарів шкіри

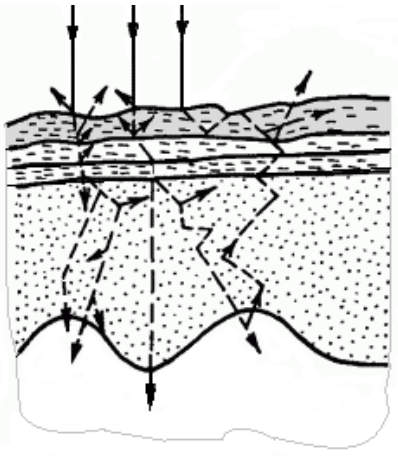

Рис. 2. Загальна схема поширення часток оптичної енергії в багатошаровому середовищі

В сучасних дослідженнях оптико-електронних систем застосовують імітаційне моделювання саме на основі методу Монте-Карло [13]. Однак, цей метод має основний недолік – це довготривалість і ємність розрахунків, особливо за умови складної

геометричної форми поверхонь шарів оптичного середовища та елементів («домішок») всередині середовища.

В подібних системах під час моделювання процесу поширення випромінювання підґрунтям для розгляду стають закони оптики, де розглядаються траєкторії проходження часток енергії світла, тобто насамперед теоретичною основою розгляду є принцип Ферма [16].

Для аналізу процесів випромінювання застосування методів геометричного моделювання обмежується низкою умов: кількістю шарів, геометричною формою поверхонь їх розділу, товщинами, напрямом-вектором, що в кожній точці середовища є дотичним до траєкторії «руху» фотонів (кривої, по якій здійснюється передача енергії випромінювання). Ця траєкторія, до речі, необов'язково є прямою (згідно з принципом Ферма) [16]. Розв'язання такого виду задач пов'язано з вивченням властивостей і характеристик просторових кривих (пучків кривих) та «підрахунком» кількості перетинів цих кривих («променів») з визначеними точками на граничних поверхнях. Чим більше проводиться розрахунків ділянок поверхонь, в точках яких криві (промені) перетинають ці поверхні, тим більшим буде наближення до розв'язку задачі [5–8,11].

В ряді робіт [2–4,10,12,17] розроблено та розвинуто метод геометричного моделювання, який дозволяє розв'язувати задачі оцінювання часток енергії випромінювання, що передається від джерела в певну точку поверхні приймача. Для описаного вище виду практичних задач такий метод є доцільним за умови наявності однорідного середовища в шарі речовини (тканини), якщо неважливо, як саме подано фізичну природу оптичного випромінювання, і якщо визначено границі ділянок на поверхнях приймача і джерела. Наприклад, в багатошаровій оптичній системі в цьому методі ділянка однієї граничної поверхні шару буде розглядатися як джерело випромінювання, а ділянка другої граничної поверхні цього ж шару – як приймач. А потім послідовно точки ділянки відбиття стають джерелом випромінювання по відношенню до наступної ділянки поверхні шару, куди потрапляють відбиті промені (рис. 3). Нагадаємо, що саме середовище шару тут має бути однорідним і прозорим з позицій геометричної оптики.

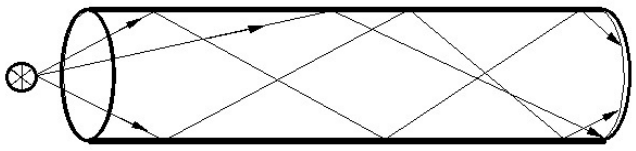

Рис. 3. Схема проходження променів в шарі

Результати моделювання, геометричні схеми яких прийнятні для розгляду систем «джерело–приймач» на паралельних шарах

середовища, наведено на рис. 4 і 5 [17]. Границю шару в перерізі можна подати як сукупність ділянок кривої. Із середин відрізків, що апроксимують відповідні ділянки, встановлено вектори нормалей однакової довжини. Границю паралельного шару (в перерізі) також апроксимовано ламаною. Графіки значень геометричних факторів (коефіцієнтів) на рис. 5 характеризують частку енергії випромінювання, якою «обмінюються» ділянки поверхонь шарів.

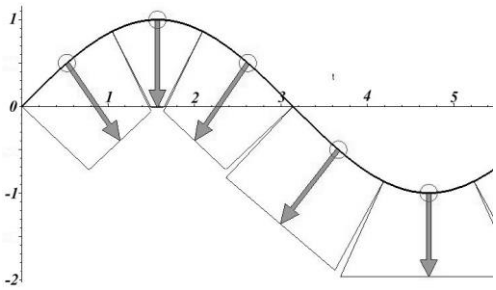

Рис. 4. Сукупність ділянок кривої

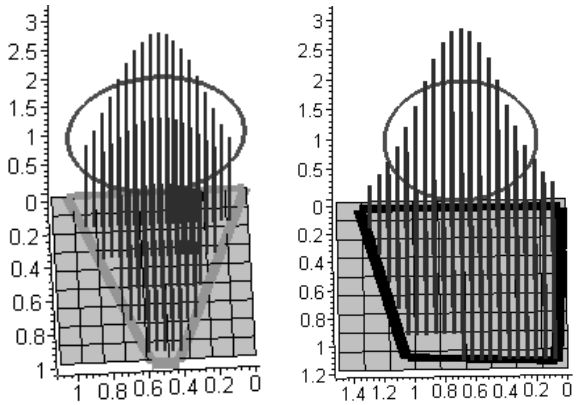

Рис. 5. Розподіл значень геометричних факторів випромінювання

Висновки. Під час геометричного аналізу науково-практичних задач поширення оптичного випромінювання через багатошарове оптичне середовище (на прикладі біотканини) було сформовано геометричні схеми для застосування способів геометричного моделювання систем об’єктів не тільки передачі, а й багатократного відбиття випромінювання.

Література

1. Куценко Л.Н. Машинная графика в задачах проекционной природы. *Новое в жизни, науке и технике. Сер. «Математика, кибернетика»*. М.: Знание, 1990. № 8. 48 с.
2. Куценко Л.Н., Шоман О.В. Приближенный метод вычисления локальных угловых коэффициентов излучения. *Прикладна геометрія та інженерна графіка.* Київ: КДТУБА, 1996. Вип. 60. С. 46–49.
3. Шоман О.В., Самарін В.О., Легета Я.П. Самоопромінення каналової поверхні. *Прикладна геометрія та інженерна графіка.* Київ: КНУБА, 2009. Вип. 82. С. 73–79.
4. Кукуруза Д.В. Геометричне моделювання розподілу значень локальних кутових коефіцієнтів випромінювання на множині точок площини : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 2007. 20 с.

5. Середа Н.І. Геометричне моделювання перебігу променів в еліптичних та параболічних відбивальних системах : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 1999. 20 с.
6. Сітабдієва О.Л. Геометричне моделювання квазіеліпсоїдів з неточковими фокусами, що спираються на задані просторові лінії : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 2005. 20 с.
7. Білецький С.В. Геометричне моделювання багатократних відбиттів світлових і теплових променів в еліптичних областях : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 2006. 20 с.
8. Шевченко С.М. Розрахунок геометричної форми профілю відбивача пожежного сповіщувача диму. *Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів*: Матеріали Всеукраїнської науково-практич. конф. 19–21 жовтня 2016 р. Миколаїв: МНУ імені В.О.Сухомлинського, 2016. С. 61–63.
9. Рубцов Н.А., Лебедев В.А. Геометрические инварианты излучения. Новосибирск: ИТ АН СССР (СО), 1989. 242 с.
10. Анісімов К. В. Геометричне моделювання сім'ї кривих з урахуванням впливу попередніх елементів на наступні : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 2011. 20 с.
11. Тормосов Ю.М. Геометричне моделювання та оптимізація процесу теплової променевої обробки харчових продуктів : автореф. дис... докт. техн. наук: 05.01.01 / Київський нац. унів. будівництва і архітектури. Київ, 2004. 34 с.
12. Шоман О.В., Дашкевич А.О., Даниленко В.Я. Визначення форм-факторів передачі променевої енергії. *Комп'ютерно-інтергровані технології: освіта, наука, виробництво.* 2015. № 19. С. 167–172.
13. Павлов С.В., Козловська Т.І., Василенко В.Б. Оптико-електронні засоби діагностування патологій людини, пов'язаних із периферичним кровообігом : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 140 с.
14. Павлов С.В., Думенко В.П., Козловська Т.І., Марков С.М. Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами та шляхи їх удосконалення. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.* Хмельницький,2008. №2(32). С.129–135.
15. Wang L., Steven L.J., Ligiong Z. MCML – Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues. *Computer methods and programs in biomedicine.* № 47, 1995. P. 131–145.
16. Арнольд В.И. Математические основы классической механики. М.: Наука, 1974. 432 с.

17. Шоман О.В., Анісімов К.В. Спосіб побудови геометричної моделі контурів вигоряння з урахуванням геометричних інваріантів випромінювання. *Прикладна геометрія та інженерна графіка.* Київ: КНУБА, 2011. Вип. 87. С. 440–446.

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СРЕДОЙ

Шоман О.В., Даниленко В.Я.

Статья посвящена проблеме расширения диапазона внедрения методов геометрического моделирования для объектов, которые участвуют в энергообмене излучением. Актуальным является рассмотрение разных систем объектов лучевого энергообмена и анализ геометрической информации, используемой при решении научно-практических задач. Расширение границ применения методов и способов моделирования объектов, явлений и процессов всегда способствует их развитию и усовершенствованию. В результате изменения объекта исследований или новых внедрений уже разработанных методик возникают новые задания и условия для решения задач. Это приводит к пересмотру существующих понятий в моделировании и определению новых направлений в исследованиях. То же самое касается использования геометрических методов и моделей. Например, разработанный и развитый метод геометрического моделирования, который позволяет решать задачи оценивания долей энергии излучения, передающейся от источника в некоторую точку поверхности приемника, для практических задач является целесообразным при условии наличия однородной среды в слое вещества (ткани), если неважно, как именно подается физическая природа оптического излучения, и если определены границы участков на поверхностях приемника и источника. В многослойной оптической системе в этом методе участок одной граничной поверхности слоя будет рассматриваться как источник излучения, а участок другой граничной поверхности этого ж слоя – как приемник. В работе проведен анализ геометрической информации, лежащей в основе научно-практических задач моделирования систем объектов оптического излучения, которое распространяется в физической среде, на примере биоткани как многослойной, неоднородной оптической среды. В результате геометрического анализа научно-практических задач распространения оптического излучения сквозь многослойную оптическую среду (на примере биоткани) были сформированы геометрические схемы для применения способов геометрического

моделирования систем объектов не только передачи, но и многократного отражения излучения.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, оптическая среда, оптическое излучение, граничные поверхности.

ANALYSIS OF GEOMETRIC INFORMATION USED IN MODELING THE INTERACTION OF OPTICAL RADIATION WITH THE MEDIUM

Shoman O., Danylenko V.

The article is devoted to the problem of expanding the range of implementation of geometric modeling methods for objects that are involved in energy exchange by radiation. It is relevant to consider different systems of objects of radiation energy exchange and analysis of geometric information used in solving scientific and practical problems. Expanding the boundaries of the application of methods for modeling objects, phenomena and processes always contributes to their development and improvement. As a result of changes in the research object or new implementations of already developed methods, new tasks and conditions for solving problems arise. This leads to a review of existing concepts in modeling and the definition of new directions in research. The same goes for using geometric methods and models. For example, the developed method of geometric modeling, which allows us to solve the problem of estimating the fraction of radiation energy transmitted from a source to a certain point on the surface of the receiver, is practical for practical tasks provided that there is a homogeneous medium in the layer of substance (tissue), if it does not matter how it is delivered the physical nature of optical radiation, and if the boundaries of the areas on the surfaces of the receiver and source are determined. In the multilayer optical system in this method, a portion of one boundary surface of a layer will be considered as a radiation source, and a portion of another boundary surface of this layer will be considered as a receiver. The paper analyzes the geometric information that underlies the scientific and practical problems of modeling systems of objects of optical radiation, which is distributed in the physical medium, using the example of biological tissue as a multilayer, inhomogeneous optical medium. As a result of a geometric analysis of the scientific and practical problems of the passing of optical radiation through a multilayer optical medium (using the example of biological tissue), geometric patterns were formed for applying methods of geometric modeling of systems of objects not only of transmission, but also of multiple reflection of radiation.

Key words: geometric modeling, optical medium, optical radiation, boundary surfaces.