

УДК 681.7.012:681.785.4

*І.В. Геліч, студент гр. ПБ-72мп*  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

## ВПЛИВ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ФОКАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ НА ФУНКЦІОНАЛ ЕЛІПСОЇДАЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА

**Анотація.** У роботі на основі модельного експерименту проаналізовано вплив дискретизації першої фокальної площини еліпсоїдального рефлектора на функціональні можливості при побудові фотометричних зображень плями розсіяння у другій фокальній площині. Розглянуто вплив кількості запущених променів на відносне відхилення.

**Ключові слова:** еліпсоїд обертання, рефлектор, фотометрія, асферична поверхня.

### ВСТУП

Використання елементів з несферичними поверхнями в оптичних системах для побудови зображень виявилось доцільним з точки зору абераційної якості зображення та функціонування системи. У той же час номенклатура незображуючих оптичних систем з асферичними поверхнями стрімко збільшується. Широко використовуються дзеркальні або дзеркально-лінзові системи, що містять щонайменше один еліпсоїдальний рефлектор (ЕР) з внутрішньою або зовнішньою поверхнею відбиття. Було доведено доцільність використання не тільки фокальної, але і бічної поверхні рефлектора. Наприклад, фотометри з еліпсоїдальними відбивачами з внутрішньою дзеркальною поверхнею представлені як сучасний клас систем для дослідження оптичних властивостей середовищ. Вони працюють з відбитим, пропущеним або відбитим та пропущеним світлом і дозволяють на підставі вимірних коефіцієнтів дифузного та колімованого пропускання (відбиття) визначати оптичні властивості розсіювальних середовищ при біомедичній діагностиці [1]. Використовуючи пристрої з ЕР переважно мають справу з реєстрацією повного пропускання, дифузного пропускання та дифузного відбиття, а також колімованого пропускання. При виготовленні ЕР з внутрішньою відбиваючою поверхнею необхідно враховувати численні чинники, зокрема: фізичні (оптичні), механічні, технологічні, вартісні тощо. Основною характеристикою для рефлектора є коефіцієнт відбиття його робочої поверхні. Найбільш високі показники за цими параметрами мають: срібло, золото, алюміній, паладій, хром, марганець і т.д. При використанні дзеркального еліпсоїда обертання кількість діючих оптичних відбиваючих поверхонь зменшується до однієї. Такі оптичні елементи можуть бути використані при побудові приладів для контролю шорсткої поверхні або вимірювальних систем біомедичного призначення.

Незалежно від технології виготовлення ЕР [2] правильність функціонування фотометрів з їх використанням потребує контролю точності отриманої форми [3], а також оцінки її відхилення від номінальної, що задається рівнянням еліпсоїду обертання. Деякі типи фотометрів мають конструкцію, що забезпечує можливість реєстрації, крім зазначених, ще й колімованого відбиття. Це підтверджує той факт, що даний клас пристроїв дозволяє отримати більш ніж необхідну інформацію для дослідження оптичних властивостей біологічного середовища. Фотометри з еліпсоїдальним рефлектором представлені як нові вимірювальні засоби для оптичної

діагностики розсіювальних середовищ при визначенні шорсткості, а також при дослідженні оптичних властивостей біологічних тканин. Основною конструктивною особливістю таких фотометрів є його технічне виконання, яке базується на використанні відбивача з внутрішньою відбиваючою поверхнею у вигляді усіченого по фокальним площинам еліпсоїда обертання. Спектральний діапазон роботи фотометра з ЕР залежить від параметрів лазера і відбиваючих властивостей внутрішньої дзеркальної поверхні еліпсоїда обертання. З огляду на функціональні особливості роботи таких вимірювальних засобів та фізико-математичну модель поширення оптичного випромінювання в біологічному середовищі необхідно враховувати розподіл енергії в поперечному перетині падаючого пучка променів [4]. Окрім цього аналогічний вплив здійснюється і на просторовий розподіл розсіяного випромінювання в зразку досліджуваного середовища, що може бути оцінено, наприклад, при симуляції Монте Карло [5] або в рамках модельного експерименту [6].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даній роботі проведено аналіз абераційних властивостей при проектуванні фотометричного зображення в еліпсоїдальному рефлекторі з першої фокальної площини в другу в залежності від кількості запусканих променів. Оцінка здійснена на основі середнього відхилення в залежності від координат запуску фотонів. Для дослідження було обрано еліпсоїд (рис.1) з наступними параметрами: фокальний параметр – 11; ексцентриситет – 0,65; велика напів-вісь – 19,05; мала напів-вісь – 14,47. Точки запуску були наступні (рис.2): А(10,9; 0), Б(9,44; -5,45), В(7,71; -7,71), Г( 5,45; -9,44), Д(0; -10,9).

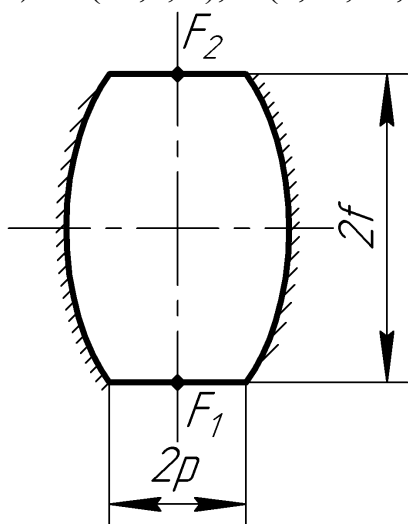


Рисунок 1. Еліпсоїдальний рефлектор

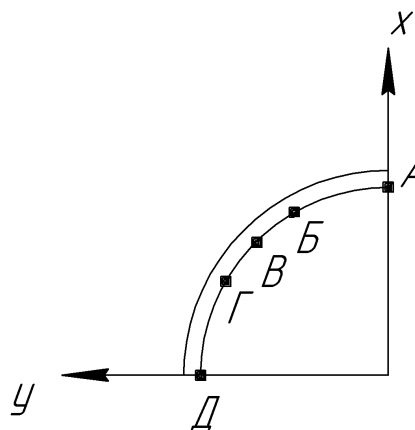


Рисунок 2. Схема розміщення точок запуску

У відповідності для кожної з точок було проведено запуск різної кількості променів, а саме: 500, 2001, 3001, 4001, 10001, 50000, 200000, 500000. Для більш розширеного уявлення про якісні характеристики еліпсоїда, було виконано розподіл по відбиттях і відповідно розраховано відносне середнє відхилення для різних порядків відбиття.

Проаналізувавши результати, отримані шляхом рей-трейсингу в ЕР [7], було побудовано графік залежності загального відхилення для різного порядку відбиття, що залежать від траєкторії руху променів всередині ЕР та від кількості запущених променів (рис.3).

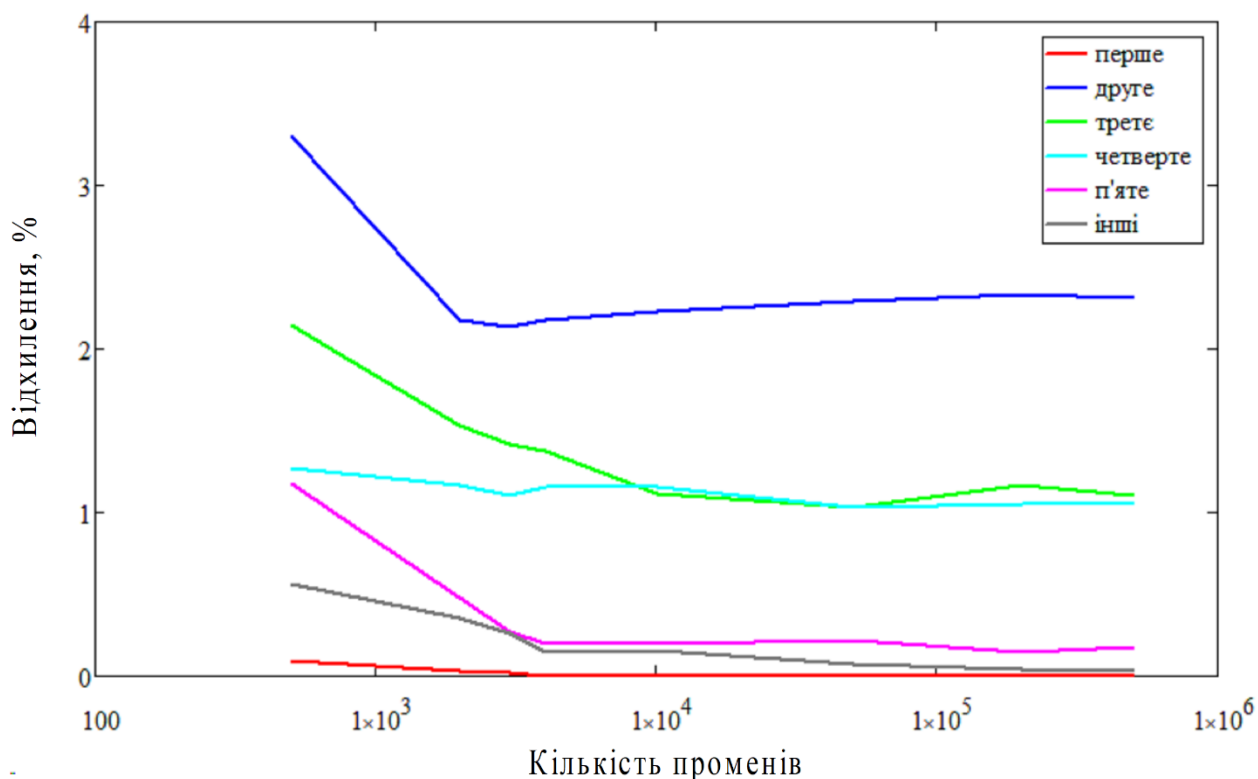


Рисунок 3. Відносне середнє відхилення відбиття різних порядків у залежності від кількості запущених променів

Зауважимо, що кількість запущених променів визначає кількість розбиття радіально-симетричної системи координат фокальної площини, що містить перший фокус еліпсоїдального рефлектора.

Як бачимо на рис.3 для першого відбиття відхилення практично відсутнє, це свідчить про те, що при будь якій кількості запущених променів не залежно від обраної точки запуску, на перше відбиття припадатиме завжди майже однакова кількість променів.

Найбільше числове значення відхилення спостерігається для відхилення другого, третього та четвертого порядку. Безпосередньо на такий результат впливає факт того, кількість променів що зазнали відбиття цих порядків є набагато більшою, а також особливості розрахунку програмного забезпечення.

## ВИСНОВОК

Аналіз отриманих результатів показав що відхилення кількості променів для відбиття різних порядків пропорційно зменшується при збільшенні загальної кількості запущених променів. Також показано що запуск променів у кількості більше 10 000 є недоцільним, оскільки при наступному збільшенні їх

кількості, відхилення коливається в межах статистичної похибки, а затрати машинного часу на обрахунок та аналіз збільшуються суттєво.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. M. A. Bezuglyi and N. V. Pavlovets, “Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors,” Proc. SPIE 8798, 87980Q (2013).
2. Безуглий М.О. Особливості виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів фотометрів / М.О. Безуглий, І.І. Синявський, Н.В. Безугла, А.Г. Козловський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2016, №2 (52). – С.76-81.
3. Безуглий М.О. Контроль форми еліпсоїдальних рефлекторів біомедичних фотометрів / М.О. Безуглий, Лінючева О.В., Безугла Н.В., Бик М.В., Костюк С.А // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017, №1 (53). – С.62-69.
4. M. A. Bezuglyi, N. V. Bezuglaya, S. Kostuk, “Influence of laser beam profile on light scattering by human skin during photometry by ellipsoidal reflectors”, Devices and Methods of Measurements. 9(1):56-65, 2018.
5. Bezuglyi, M., N. Bezuglaya, and A. Viruchenko. "On the possibility of ellipsoidal photometry and Monte Carlo simulation to spatial analysis of biological media." Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017 IEEE 37th International Conference on. IEEE, 2017.
6. N.V. Bezuglaya and M.A. Bezuglyi, “Spatial Photometry of Scattered Radiation by Biological Objects”, in Proc. SPIE 9032-15, V2, pp. Q1—Q5, 2013.
7. M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, I.V. Helich, “Ray tracing in ellipsoidal reflectors for optical biometry of media”, Appl Opt., no. 56 (30), pp. 8520–8526, 2017.