



ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКЛ-ПОЛІВ ПРИ ВІДБИТТІ КОГЕРЕНТНОГО СВІТЛА ВІД ШОРСТКОЇ ПОВЕРХНІ МЕТОДАМИ СТАТИСТИЧНОЇ ОПТИКИ

Морозов М.В., к.ф.-м.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-32-44

Анотація – розглянуто математичне комп’ютерне моделювання утворення спекл - структури при відбиванні когерентного світла від шорсткої поверхні, отримані гістограми відносних частот для амплітуди та інтенсивності спекла для різних законів розподілу фаз вторинних когерентних джерел.

Ключові слова – спекл-поле, відбиття когерентного світла, шорстка поверхня, нормальний закон розподілу.

Постановка проблеми. Методи оптики спеклів знаходять все більше широке застосування для вимірювання параметрів вібрацій, деформацій, форми шорсткої поверхні та т.п. [1,2]. Тому актуальні дослідження параметрів спекл-полів при відбитті когерентного лазерного випромінювання від шорсткої поверхні.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [3] розглянуто застосування метода Монте-Карло моделювання випадкових процесів для випадку рівномірного розподілу фаз вторинних сферичних хвиль. Отримано гістограми відносних частот для амплітуди та інтенсивності окремого спекла.

Формулювання мети статті. Представляє значний інтерес моделювання процесу утворення спекл-структури у фокальній площині лінзи при нормальному розподілу фаз фазорів і отримання відповідних гістограм частот для параметрів спеклів.

Основна частина. Спекл - структура утворюється при відбитті когерентного світла від шорсткої поверхні або при розсіюванні фазовими неоднорідними екранами. У обох випадках в першому наближенні модель утворення спекл-поля наступна: у просторі реєстрації відбувається інтерференція N вторинних сферичних когерентних хвиль з випадковим розподілом фаз [3,4]. Тоді у скалярному наближенні амплітуда a випадкового спекл-поля у просторі реєстрації ви-

значається результатом інтерференції вторинних хвиль – фазорів у термінах статистичної оптики [3]

$$a(x, y, z) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot e^{i(\varphi_n + 2\pi vt - \vec{k}_n \vec{r}_n)} = B + iC. \quad (1)$$

де $a_n = 1/\sqrt{N}$ – амплітуда n – тої сферичної хвилі (фазора);

$$B = \operatorname{Re} \left\{ A e^{i\phi} \right\} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum \cos \phi_n,$$

$$C = \operatorname{Im} \left\{ A e^{i\phi} \right\} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum \sin \phi_n$$

- відповідно дійсна та уявна частини амплітуди a спекл – поля.

Якщо густина ймовірності розподілу фаз рівномірна

$$f_1(\phi_n) = \frac{1}{2\pi} \quad \text{при } 0 \leq \phi \leq 2\pi. \quad (2)$$

теоретична густина ймовірності розподілу амплітуди спекл – структури відповідає релеївському закону

$$f_2(a) = \frac{a}{D} \cdot e^{-\frac{a^2}{2D}} = 2D e^{-a^2}, \quad (3)$$

де $D = \frac{1}{2}$ - дисперсія дійсної та уявної частини амплітуди.

Щільність ймовірності розподілу інтенсивності спеклів має показниковий (експоненціальний) закон

$$f_3(I) = f_3(a^2) = \frac{1}{\langle I \rangle} e^{-\frac{I}{\langle I \rangle}} = e^{-I}, \quad (4)$$

де $\langle I \rangle = \sigma_I^2 = 1$ - середнє значення (математичне сподівання) інтенсивності спекла.

Метою цієї роботи є дослідження спекл-структури методом статистичного моделювання (метод Монте - Карло) для нормального розподілу фаз вторинних, когерентних джерел світла. При реєстрації спекл-полів у фокальній площині лінзи у випадку наявності періодичної складової розташування фазорів (рис. 1) розподіл фаз цих фазорів буде нормальним, а не рівномірним. Густина ймовірності розподілу фаз вторинних хвиль для нормального, гауссового закону має вигляд

$$f_4(\phi_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{(\phi - \bar{\phi})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{\phi^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

де $\bar{\phi} = 0$ – математичне сподівання фази;

σ – середнє квадратичне відхилення.

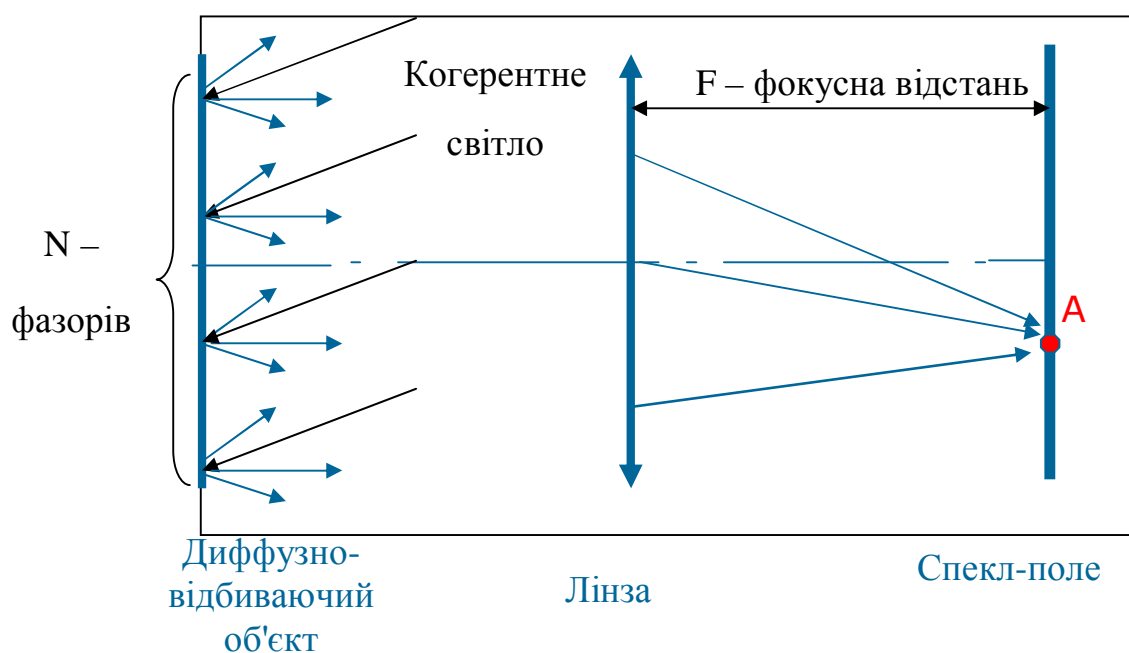
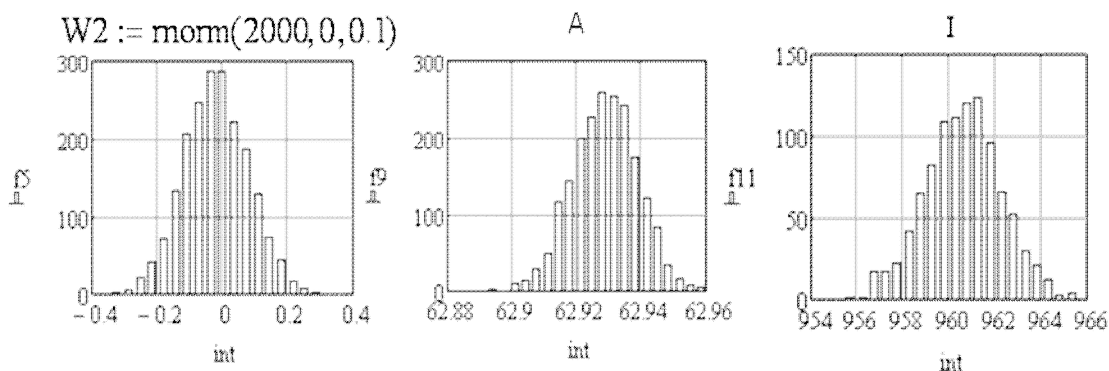


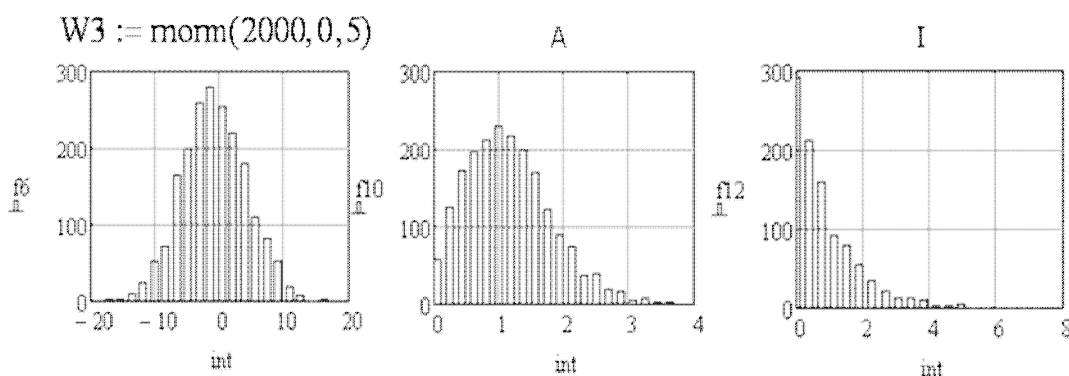
Рис. 1. Утворення спекл – структури в фокальній площині лінзи.

Для статистичного, математичного моделювання утворення спекл - структури та дослідження її параметрів використовується середовище програмування Mathcad та метод Монте–Карло моделювання випадкових процесів. Використовуються функції утворення векторів з нормальним законом розподілу фаз: $W := rnorm(N, \bar{\phi}, \sigma) := rnorm(2000, 0, \sigma)$. Розроблені алгоритм та

програма отримання гістограм частот амплітуд $f_3(a)$ та інтенсивності $f_6(I)$ спекл-полів при нормальному розподілу фаз вторинних, когерентних джерел. На рисунку 2 представлені гістограми частот для двох випадків нормального розподілу фаз: при середньому квадратичному відхиленні фази $\sigma_1 = 0.1$ (рис. 2a) та $\sigma_2 = 5$ (рис. 2b).



a) $\sigma_1 = 0.1$



b) $\sigma_2 = 5$

Рис. 2. Гістограми частот розподілу амплітуд (a) та інтенсивності (I) спеклів у випадку нормального розподілу фаз.

Треба відмітити суттєву відмінність отриманих результатів для амплітуди та інтенсивності при різних значеннях дисперсії (середнє квадратичного відхилення) нормального закону розподілу фаз: при $\sigma \ll 1$ нормальний розподіл прямує до δ -функції та результат інтерференції N когерентних хвиль відповідає інтерференції хвиль з однаковою фазою (рис.2a). При великій дисперсії ($\sigma \gg 1$) нормальний закон розподілу фаз вироджується у майже рівномірний на інтервалі $(-\pi, \pi)$ та отримуємо відповідний результат для розподілу амплітуд a (релейський закон) та інтенсивності I (показниковий закон) (рис.2b).

Висновки. Розроблений статистичний метод моделювання утворення спекл-полів при розсіюванні когерентного світла дозволяє дос-

ліджувати характеристики і параметри спекл-структури: закони розподілу щільності ймовірності для амплітуди та інтенсивності окремих спеклів у випадку нормального розподілу фаз фазорів. Отримані результати та подальші дослідження можуть бути використані для визначення параметрів шорсткості дифузно відбиваючої поверхні безконтактними методами когерентної оптики.

Література

1. Франсон М. Оптика спеклов / М. Франсон. - М.: Мир, 1980.- 171с.
2. Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия / Р. Джоунс, К. Уайкс. – М.: Мир, 1986. - 328 с.
3. Морозов М.В. Дослідження спекл-структури методом моделювання / М.В. Морозов // Вісник Київського університету. - В.3, 2004. – С. 401– 406.
4. Гудмен Дж. Статистическая оптика / Дж. Гудмен. – М. : Мир, 1988. - 587с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКЛ-ПОЛЕЙ ПРИ ОТРАЖЕНИИ КОГЕРЕНТНОГО СВЕТА ОТ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Морозов Н.В.

Аннотация - рассмотрено математическое, компьютерное моделирование образования спекл-структуры при отражении когерентного света от шероховатой поверхности, получены гистрограммы частот для амплитуды и интенсивности спеклов для различных законов распределения фаз вторичных когерентных источников.

RESEARCH OF SPECKLE-FIELD'S IN REFLECTED COHERENT LIGHT FROM ROUGH SURFACE BY STATISTICAL OPTICS METHODS

N. Morozov

Summary

The process of speckle-structure formation for coherent light reflection from the rough surface by mathematical computer modeling methods are considered. The casual processes of receiving the separate speckle amplitude and intensity histograms of frequency's is used.