

УДК 535(075)

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.1.58874

І.Г. Чиж, О.О. Голембовський

Національний технічний університет України "КПІ", Київ, Україна

**СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ *RMS* ОПРОМІНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПРОТЯЖНОГО ДЖЕРЕЛА МЕТОДОМ МІКРОФОТОМЕТРІЇ**

**Background.** Among the parameters and functions to assess the quality of images formed by optical systems *RMS* spot diagrams parameter is used. This option is usually defined by beam ray-tracing going through optical system. There is a fundamental ability to regenerate *RMS* by microphotometry of image of real point light sources. However, the *RMS* of the image is distorted due to finite size source. The problem is that the separation of *RMS* components values, which are caused by the parameters of the light source and the optical system aberrations.

**Objective.** The recovery of *RMS* aberration component based on the results of microphotometry of image of extended source of radiation generated with optical system to be tested.

**Methods.** The mathematical tools polar calculations were used, axial and centrifugal *RMS* from distribution function of illumination in the image of the extended light source, close to the spot. The calculations of mentioned *RMS* types are conducted by the radii formulas for moments of inertia that are known in theoretical mechanics. Analogue mass they contain is spatial density of luminous flux in the optical image source. In calculating of *RMS* the source length is included using Huygens- Steiner theorem.

**Results.** New mathematical observations for calculation of *RMS* including illumination distribution in the image of light sources are obtained. It was established that *RMS* of each type is Pythagorean sum of components, one of which is specified by the parameters of the source, and the other by the aberrations of the optical system. According to the results of the regenerated *RMS* from microphotometry of the image of source and the data on the source parameters aberrational component can be determined in each *RMS* type.

**Conclusion.** The study confirms the possibility of determining the aberration *RMS* of the optical system according to the results of microphotometry of image of extended light source. The method allows creating new photoelectrical hardware for measuring distances to objects, and to create new types of ophthalmic devices.

**Keywords:** *RMS* image extended source; *RMS* operating spots; microphotometry image light source.

**Вступ**

Серед відомих параметрів і характеристик якості оптичного зображення особливе значення має параметр *RMS* (середньоквадратичне відхилення пучка променів від центроїда світлової мікроплями), яким є абераційне зображення точки, сформоване цими променями. У геометричній оптиці вказаний параметр характеризує кучність положення променів у світловій плямі відносно головного променя пучка. У хвильової оптики *RMS* абераційної плями по суті є математичним аналогом радіуса інерції полярного або інших моментів плоского тіла з відомим просторовим розподілом маси. Оптичним аналогом маси тіла є світловий потік, що створює зображення точки. *RMS* при цьому розраховується з використанням функції розподілу освітленості в зображенні точки (функції розсіювання точки (ФРТ)) щодо центроїда – "світлового центра ваги" абераційної плями [1, 2].

У працях [3–5] показано, що розраховані радіуси осьових, відцентрового і полярного моментів абераційної плями дають можливість прогнозувати поведінку модуляційної передавальної функції оптичної системи в області нижчих просторових частот. З їх допомогою можна

виявляти параметри класичних видів аберацій нижчих степеневих порядків.

Так, теоретично або експериментально встановлена залежність величини *RMS* від величини дефокуса дає змогу за значеннями *RMS* знаходити величину дефокуса. Радіуси осьових і відцентрового моментів дають можливість визначати параметри астигматизму оптичної системи [4, 5]. На основі використання *RMS* можна створювати датчики осьових переміщень об'єктів, вимірювати відстані до об'єктів, а також аналізувати і вимірювати абераційні недоліки оптичних систем, у тому числі й оптики ока [6].

Точні залежності *RMS* від аберацій оптичної системи традиційно знаходять методом розрахунку ходу через систему променів гомоцентричного пучка. Для цього використовуються номінальні значення конструктивних параметрів системи і координати предметної точки. Таку можливість забезпечують сучасні комп'ютерні програми аналізу оптичних систем, наприклад програма ZEMAX [7]. Відновлення фізичними методами тих же залежностей у реальній оптичній системі з допомогою мікрофотометрії освітленості в абераційних зображеннях точкового джерела світла супроводжується спотвореннями значень *RMS*.

Ці спотворення проявляються насамперед через відсутність технічної можливості створювати одну сферичну світлову хвилю, яка повинна надходити в реальну досліджувану оптичну систему і формувати абераційне зображення точки. Кінцеві розміри реальних випромінювачів, ненульові діаметри польових діафрагм, існуюча розбіжність лазерного випромінювання додатково і неминуче впливають на розподіл освітленості в зображенні точки, сформованому досліджуваною системою. Відновлені за цих умов значення  $RMS$  обов'язково відобразять цей вплив. У зв'язку з цим виникає потреба визначення впливу просторових і фотометричних параметрів джерела світла на значення  $RMS$ , що поки є нерозв'язаною в теоретичному плані задачею.

**Постановка задачі**

Задачею роботи є пошук методу, який би забезпечив можливість виділення із значень  $RMS$ , отриманих за результатами мікрофотометрії зображення джерела світла, складової, що обумовлена абераційними властивостями досліджуваної оптичної системи. Розв'язання такої задачі сприятиме створенню нових методів і апаратних засобів для оцінки якості зображень, сформованих не тільки технічними, але й біологічними оптичними системами, що має суттєве практичне значення.

Метою роботи є обґрунтування математичного методу відтворення абераційної складової  $RMS$  за результатами мікрофотометрії зображення протяжного джерела випромінювання, сформованого оптичною системою, що досліджується.

**Розрахунки  $RMS$ -радіусів до полярного, осьових і відцентрового моментів функції розподілу освітленості в оптичному зображенні протяжного випромінювача**

Розрахунки  $RMS$  осьових, відцентрового і полярного моментів з використанням функції розподілу освітленості в зображенні джерела світла – функції  $E(x, y)$ , здійснюються за формулами [1, 2]:

$$RMS_x = \sqrt{\frac{\iint_Q y^2 E(x, y) dx dy}{\iint_Q E(x, y) dx dy}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\iint_Q y^2 E(x, y) dx dy}{\Phi}}; \tag{1}$$

$$RMS_y = \sqrt{\frac{\iint_Q x^2 E(x, y) dx dy}{\Phi}}; \tag{2}$$

$$RMS_r = \sqrt{\frac{\iint_Q (x^2 + y^2) E(x, y) dx dy}{\Phi}}; \tag{3}$$

$$RMS_{xy} = \sqrt{\frac{\iint_Q xy E(x, y) dx dy}{\Phi}}, \tag{4}$$

де  $RMS_x, RMS_y$  – радіуси осьових моментів відносно осей  $X$  і  $Y$  відповідно,  $RMS_{xy}$  – радіус відцентрового моменту,  $RMS_r$  – радіус полярного моменту відносно центроїда – точки центра “світлової ваги” зображення джерела світла,  $Q$  – область інтегрування (область існування функції  $E(x, y)$ ),  $\Phi$  – світловий потік, що формує зображення джерела світла.

Початок координат  $x, y$  розміщений у центроїді. Якщо оптична система має осьову симетрію, а центр точкового випромінювача розташований на оптичній осі, то центроїд також розміщений на осі. У цьому випадку розподіл освітленості в зображенні випромінювача описується функцією  $E_0(x, y) = E_0 e(x, y)$ , де  $e(x, y)$  – відносний розподіл освітленості в зображенні джерела,  $E_0$  – максимальне значення освітленості, а світловий потік у зображенні розраховується як

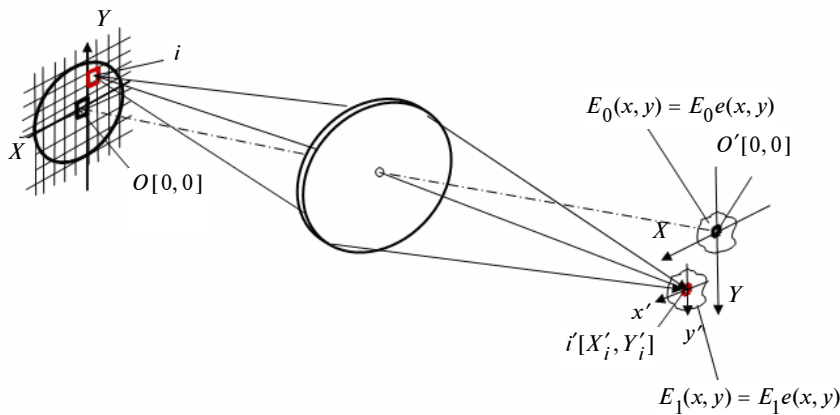
$$\Phi_0 = \iint_Q E_0(x, y) dx dy.$$

Випромінювальна здатність джерела світла з кінцевими лінійними або кутовими розмірами характеризується поверхнево-кутовою щільністю випромінювання – яскравістю.

На рисунку показано протяжне джерело, поверхня якого розбита на  $N$  елементарних ділянок, кожна з яких має яскравість  $L_i$ , де  $i$  – номер ділянки. На оптичній осі міститься ділянка з номером  $i = 0$ .

Елементарний світловий потік від ділянки з номером  $i$ , що надходить у вхідну зіницю оптичної системи від протяжного джерела і формує зображення цієї ділянки, визначається виразом

$$\Delta\Phi_i = \tau L_i \Delta Q_i \Omega_i,$$



Розрахунок  $RMS$  зображення елементарної ділянки джерела світла

де  $\Delta Q_i$  – площа елементарної ділянки,  $\Omega_i$  – вхідний тілесний кут оптичної системи, що охоплює отвір вхідної зіниці, а його вершина розміщена на ділянці з номером  $i$  (див. рисунок).

Якщо розміри елементарної ділянки поверхні джерела настільки малі, що його геометричне, безабераційне зображення виявляється набагато меншим діаметра навіть дифракційного кружка Ейрі, то розподіл освітленості в зображенні цієї ділянки при дії аберацій і дифракції можна описати функцією  $E_i e_i(x, y)$ , у якій амплітуда

$$E_i = \frac{\Delta \Phi_i}{\iint_Q e_i(x, y) dx dy}.$$

Нехай розподіл освітленості в зображенні осьової елементарної ділянки ( $i = 0$ ) описується функцією  $E_0(x, y) = E_0 e_0(x, y)$ , яка відтворює дію аберацій і дифракції оптичної системи. В оптичній системі з осьовою симетрією осьову симетрію також має розподіл освітленості в абераційному зображенні осьової елементарної площадки, при цьому його світловий “центр ваги” розміщений на оптичній осі. Розрахунок  $RMS$  щодо зображення однієї осьової елементарної ділянки та розрахунок сумарного моменту від зображень усіх елементарних ділянок, на які розбита поверхня джерела випромінювання, можна показати на прикладі розрахунку значення  $RMS$  лише полярного моменту. Значення  $RMS$  до інших моментів розраховуються аналогічно.

Згідно з (3) полярний момент розподілу освітленості в зображенні осьової елементарної площадки розраховується за формулою

$$M_{R0} = \iint_Q (x^2 + y^2) E_0(x, y) dx dy = [RMS_{R0}]^2 \Delta \Phi_0.$$

Полярний момент зображення будь-якої периферійної елементарної площадки з координатами  $[X_i, Y_i]$  “світлового центра ваги” в площині її зображення, згідно з теоремою Гюйгенса–Штейнера, має два доданки [1]:

$$M_{Ri} = [M_{Ri}]_0 + (X_i^2 + Y_i^2) \Delta \Phi_i, \quad (5)$$

де  $[M_{Ri}]_0 = \Delta \Phi_i (RMS_{Ri})_0^2$  – полярний момент зображення ділянки з номером  $i$  при розміщенні її на оптичній осі, тобто при значеннях координат  $X_i = 0, Y_i = 0$ .

За умови, що протягне джерело світла займає малу частину поля зору оптичної системи, всередині якої функція  $e_i(x, y)$  залишається практично незмінною –  $e_i(x, y) = e_0(x, y)$ , тобто систему всередині зазначеного поля можна вважати ізопланатичною, маємо  $[RMS_{Ri}]_0 = RMS_{R0}$ , звідки

$$M_{Ri} = [RMS_{R0}^2 + (X_i^2 + Y_i^2)] \Delta \Phi_i.$$

Сума полярних моментів від зображень всіх  $N$  елементарних ділянок випромінювача з урахуванням (5) приводить до виразу

$$M_{R\Sigma} = RMS_{R0}^2 \sum_{i=0}^{i=N} \Delta \Phi_i + \sum_{i=0}^{i=N} (X_i^2 + Y_i^2) \Delta \Phi_i. \quad (6)$$

При цьому значення радіуса “інерції” полярного моменту, розрахованого за зображенням всієї випромінювальної поверхні джерела, визначається виразом

$$RMS_{R\Sigma} = \sqrt{\frac{M_{R\Sigma}}{\sum_{i=0}^{i=N} \Delta \Phi_i}} = \sqrt{\frac{RMS_{R0}^2 \sum_{i=0}^{i=N} \Delta \Phi_i + \sum_{i=0}^{i=N} (X_i^2 + Y_i^2) \Delta \Phi_i}{\sum_{i=0}^{i=N} \Delta \Phi_i}} = \sqrt{RMS_{R0}^2 + RMS_{R}^2}, \quad (7)$$

де  $RMS_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{i=N} (X_i^2 + Y_i^2) \Delta\Phi_i}{\sum_{i=0}^{i=N} \Delta\Phi_i}}$  – радіус полярного моменту ідеального в рамках геометричної оптики зображення випромінювальної зони джерела світла.

У разі малого кутового розміру випромінювача коефіцієнт світлопропускання оптичної системи  $\tau_i$  і тілесний апертурний кут  $\Omega_i$ , що відносяться до конкретних елементарних ділянок, можна вважати величинами сталими. При зазначених умовах значення  $RMS_R$  можна розраховувати прямо через функцію просторового розподілу яскравості випромінювача, але з подальшим масштабуванням отриманого значення  $RMS_R$  поперечним збільшенням зображення випромінювача. Якщо випромінювач знаходиться в нескінченності, то  $RMS_R$  розрахову-

ється у фокальній площині оптичної системи, тобто безпосередньо в площині зображення. При цьому в розрахунках використовуються фокусна відстань і кутові розміри джерела.

Вирази радіусів “інерції” відцентрового й осьових моментів оптичного зображення зони випромінювання, знайдені аналогічним способом, мають такий вигляд:

$$RMS_{XY\Sigma} = \sqrt{RMS_{XY0}^2 + RMS_{XY}^2}; \quad (8)$$

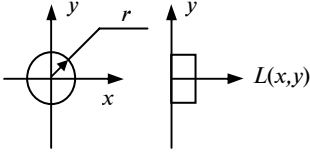
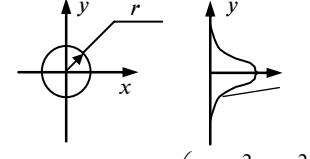
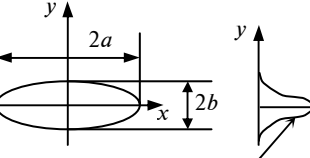
$$RMS_{Y\Sigma} = \sqrt{RMS_{Y0}^2 + RMS_Y^2}; \quad (9)$$

$$RMS_{X\Sigma} = \sqrt{RMS_{X0}^2 + RMS_X^2}. \quad (10)$$

### Обговорення результатів

З виразів (6)–(9) слідує, що  $RMS$ -радіуси “інерції” полярного, відцентрового і осьових

Таблиця. Радіуси моментів інерції деяких випромінювачів

Функція яскравості випромінювача	$RMS_R$	$RMS_{XY}$	$RMS_Y$	$RMS_X$
 $L(x, y) = \begin{cases} L_0, & x^2 + y^2 \leq r^2 \\ 0, & x^2 + y^2 > r^2 \end{cases}$	$\frac{\sqrt{2}r}{2}$	0	$0,5r$	$0,5r$
 $L(x, y) = L_0 \exp\left(-2 \frac{x^2 + y^2}{r^2}\right)$	$0,586r$	0	$0,414r$	$0,414r$
 $L(x, y) = L_0 \exp\left[-2 \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}\right)\right]$	$0,4144\sqrt{a^2 + b^2}$	0	$0,414a$	$0,414b$

моментів абераційного зображення точкового випромінювача можуть бути знайдені таким методом.

1. За результатами фотометрії випромінювальної зони джерела світла або за паспортними даними про функції яскравості випромінювача відновлюються значення  $RMS_R$ ,  $RMS_{XY}$ ,  $RMS_X$ ,  $RMS_Y$  з використанням для цього формул (1)–(4), у яких замість функцій освітленості підставляються функції, що описують розподіл яскравості випромінювальної зони (в таблиці також наведені формули розрахунку зазначених  $RMS$  для типових розподілів яскравості на поверхні випромінювача). Якщо випромінювач знаходиться в нескінченності, то  $r = f'\theta_r$ ,  $a = f'\theta_a$ ,  $b = f'\theta_b$ , де  $f'$  – задня фокусна відстань досліджуваної оптичної системи,  $\theta_r$ ,  $\theta_a$ ,  $\theta_b$  – кутові розміри радіуса диска і півосі еліпса відповідно. У випадку розміщення випромінювача на кінцевій відстані від оптичної системи маємо:  $r = R\beta$ ,  $a = A\beta$ ,  $b = B\beta$ , де  $R$ ,  $A$ ,  $B$  – радіус диска і півосі еліпса відповідно випромінювальної зони джерела світла,  $\beta$  – поперечне збільшення в оптично спряжених площинах зони випромінювання й оптичного зображення цієї зони.

2. За результатами мікрофотометрії зображення випромінювальної зони, сформованого досліджуваної оптичною системою, у той же спосіб, що і в п. 1, відновлюються значення  $RMS_{R\Sigma}$ ,  $RMS_{XY\Sigma}$ ,  $RMS_{X\Sigma}$ ,  $RMS_{Y\Sigma}$ .

3. За формулами

$$RMS_{R0} = \sqrt{RMS_{R\Sigma}^2 - RMS_R^2}; \quad (11)$$

$$RMS_{X0} = \sqrt{RMS_{X\Sigma}^2 - RMS_X^2}; \quad (12)$$

$$RMS_{XY0} = \sqrt{RMS_{XY\Sigma}^2 - RMS_{XY}^2}; \quad (13)$$

$$RMS_{Y0} = \sqrt{RMS_{Y\Sigma}^2 - RMS_Y^2}$$

розраховуються шукані  $RMS$  від функції розсіювання точки (ФРТ) досліджуваної оптичної системи.

Вирази (6)–(9) та (10)–(13) вказують на те, що  $RMS$  моментів від ФРТ оптичної системи та аналогічні  $RMS$  від функції яскравості

випромінювача є незалежними величинами;  $RMS$  абераційного зображення малорозмірного, але протяжного випромінювача, є піфагоровою сумою  $RMS$  від функції яскравості джерела світла та функції розсіювання точки.

Для більш точного відновлення значень  $RMS$  моментів від ФРТ оптичної системи необхідно прагнути до використання випромінювачів з колімуючими системами, які можуть забезпечувати кутові або лінійні розміри випромінювача або його зображення істотно менші, ніж розміри абераційної плями оптичної системи, або ж принаймні сумірні розміри.

## Висновки

Головним результатом проведених досліджень можна вважати розв'язання задачі розрахунків  $RMS$  полярного, осьових та відцентрових моментів другого степеневого порядку щодо функцій розподілу освітленості в оптичному зображенні протяжного джерела випромінювання.

Доведено, що ці  $RMS$  містять два одноклени, – один із яких обумовлений абераційними властивостями оптичної системи, а другий пов'язаний з розподілом яскравості протяжного джерела випромінювання, – які, по-перше, є незалежними, а по-друге, складають піфагорову суму.

Виявлена властивість  $RMS$  щодо протяжного джерела дає змогу за результатами мікрофотометрії його зображення виявляти абераційну складову, якщо  $RMS$  безабераційного зображення джерела є апіорно відомим.

$RMS$ , розраховані через функцію розподілу освітленості в оптичних зображеннях, несуть в собі інформацію про стан випромінювача, наприклад про дистанцію між оптичною системою та випромінювачем, а тому цей факт дає змогу створювати нові оптико-електронні далекоміри або офтальмологічні рефрактометри, основані на застосуванні вказаних  $RMS$ .

Практичне використання отриманих результатів потребує проведення додаткових досліджень, які насамперед потрібно спрямувати на виявлення впливу спотворень від електричного шуму у фотоприймачах зображень, що забезпечують мікрофотометрію оптичних зображень джерел випромінювання.

## Список літератури

1. Киттелью Ч., Найт У., Рудерман М. Механика. – М.: Наука, 1983. – 255 с.
2. Аберометрія оптичної системи ока людини / І.Г. Чиж, Г.С. Тимчик, Т.О. Шиша, Н.Б. Афончина. – К.: НТУУ “КПІ”, 2013. – 290 с.
3. Lukosz W. Der Einfluß der Aberrationen auf die optische Übertragungsfunktion bei kleinen Orts-Frequenzen // *Optica Acta*. – 1963. – 10, № 1. – P. 1–20.
4. Чиж І.Г. Визначення модуляційної передавальної функції оптичної системи за допомогою радіусів других гаусових моментів від функції розсіювання точки // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 4. – С. 127–137.
5. Marcos S., Moreno E., Navarro R. The depth-of-field of the human eye from objective and subjective measurements // *Vision Res.* – 2010. – № 39. – P. 2039–2049.
6. David A.A., Charman W N., Woods R. Subjective depth-of-focus of the eye // *Optometry and Vision Sci.* – 2014. – № 7. – P. 511–520.
7. Сергиенко Н.М., Кондратенко Ю.Н., Тутченко Н.Н. Глубина фокуса в псевдофакических глазах // *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. – 2008. – № 11. – С. 1623–1627.

## References

1. C. Kitelliu *et al.*, *Mechanicals*. Moscow, USSR: Nauka, 1983, 255 p. (in Russian).
2. I. Chizh *et al.*, *Aberrometriya of Optical System of the Human Eye*. Kyiv, Ukraine: NTUU KPI, 2013, 290 p. (in Ukrainian).
3. W. Lucosh, “Der Einfluß der Aberrationen auf die optische Übertragungsfunktion bei kleinen Orts-Frequenzen”, *Optica Acta*, vol. 10, no. 1, pp. 1–20, 1963.
4. I. Chizh, “Determination of the modulation transfer function of the optical system using Gaussian radii second points of the function of the scattering point”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 4, pp. 127–137, 2004 (in Ukrainian).
5. S. Marcos *et al.*, “The depth-of-field of the human eye from objective and subjective measurements”, *Vision Res.*, no. 3, pp. 78–85, 2010.
6. D. Atchinson *et al.*, “Subjective depth-of-focus of the eye”, *Optometry and Vision Sci.*, no. 7, pp. 511–520, 2014.
7. N. Sergienko *et al.*, “The focus depth of focus pseudo phakic eyes”, *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, no. 11, pp. 1623–1627, 2008 (in Russian).

І.Г. Чиж, О.О. Голембовський

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ RMS ОПРОМІНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПРОТЯЖНОГО ДЖЕРЕЛА МЕТОДОМ МІКРОФОТОМЕТРІЇ

**Проблематика.** Серед параметрів і функцій для оцінки якості зображень, сформованих оптичними системами, використовується параметр *RMS* спот-діаграм. Цей параметр зазвичай визначають розрахунковим рейтресингом пучка променів через оптичну систему. Існує принципова можливість відтворення *RMS* мікрофотометрією зображення реального точкового джерела світла. Проте *RMS* такого зображення спотворюється через кінцеві розміри джерела. Проблемою є відокремлення у значеннях *RMS* складових, які обумовлені параметрами джерела світла й абераціями оптичної системи.

**Мета дослідження.** Відтворення абераційної складової *RMS* за результатами мікрофотометрії зображення протяжного джерела випромінювання, сформованого оптичною системою, що досліджується.

**Методика реалізації.** Використано математичний апарат розрахунків полярного, осьових та відцентрових *RMS* від функції розподілу освітленості в зображенні протяжного джерела світла, наближеного до точкового. Розрахунки вказаних типів *RMS* здійснено за формулами для радіусів моментів інерції, що відомі в теоретичній механіці. Аналогом маси в них слугує просторова щільність світлового потоку в оптичному зображенні джерела. При розрахунках *RMS* протяжність джерела врахована за допомогою теореми Гюйгенса–Штейнера.

**Результати досліджень.** Отримані нові математичні вирази для розрахунків *RMS* з урахуванням розподілу освітленості в зображенні джерела світла. Встановлено, що *RMS* кожного типу є піфагоровою сумою складових, одна з яких обумовлена параметрами джерела, а друга – абераціями оптичної системи. За результати відтворення *RMS* з мікрофотометрії зображення джерела та за даними про параметри джерела можна визначити абераційну складову в кожному типі *RMS*.

**Висновки.** Дослідження підтверджує можливість визначення абераційних *RMS* оптичної системи за результатами мікрофотометрії зображення протяжного джерела світла. Метод дає змогу створювати нові фотоелектричні апаратні засоби для вимірювань дистанції до об'єктів, а також нові типи офтальмологічних приладів.

**Ключові слова:** *RMS* зображення протяжного джерела; *RMS* абераційної плями; мікрофотометрія зображення джерела світла.

І.Г. Чиж, А.А. Голембовский

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ RMS ОБЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ИСТОЧНИКА МЕТОДОМ МИКРОФОТОМЕТРИИ

**Проблематика.** Среди параметров и функций для оценки качества изображений, сформированных оптическими системами, используется параметр *RMS* спот-диаграмм. Этот параметр обычно определяют методом рейтрейсинга пучка лучей,

проходящих через оптическую систему. Существует принципиальная возможность восстановления *RMS* путем микрофотометрии изображения реального точечного источника света. Однако *RMS* такого изображения искажается из-за конечных размеров источника. Проблемой является отделение в значениях *RMS* составляющих, которые обусловлены параметрами источника света и аберрациями оптической системы.

**Цель исследования.** Восстановление аберрационной составляющей *RMS* по результатам микрофотометрии изображения протяженного источника излучения, сформированного исследуемой оптической системой.

**Методика реализации.** Использован математический аппарат расчетов полярного, осевых и центробежного *RMS* от функции распределения освещенности в изображении протяженного источника света, приближенного к точечному. Расчеты указанных типов *RMS* совершены по формулам для радиусов моментов инерции, которые известны в теоретической механике. Аналогом массы в них служит пространственная плотность светового потока в оптическом изображении источника. При расчетах *RMS* протяженность источника учтена с помощью теоремы Гюйгенса–Штейнера.

**Результаты исследований.** Получены новые математические показания для расчетов *RMS* с учетом распределения освещенности в изображении источника света. Установлено, что *RMS* каждого типа есть пифагоровой суммой составляющих, одна из которых обусловлена параметрами источника, а другая – аберрациями оптической системы. По результатам восстановления *RMS* с микрофотометрии изображения источника и по данным о параметрах источника можно определять аберрационную составляющую в каждом типе *RMS*.

**Выводы.** Исследование подтверждает возможность определения аберрационных *RMS* оптической системы по результатам микрофотометрии изображения протяженного источника света. Метод позволяет создавать новые фотозлектрические аппаратные средства для измерения дистанции до объектов, а также новые типы офтальмологических приборов.

**Ключевые слова:** *RMS* изображения протяженного источника; *RMS* аберрационного пятна; микрофотометрия изображения источника света.

Рекомендована Радою  
приладобудівного факультету  
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
10 листопада 2015 року