

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА АБЕРАЦИИТЕ НА ОПТИЧНАТА СИСТЕМА ВЪРХУ АПАРАТНАТА ФУНКЦИЯ НА АБСОРБЦИОНЕН ОЗОНОМЕТЪР

Стилиян Стоянов

Институт за космически изследвания – Българска академия на науките

**Key words:** apparatus function

**Abstract:** When researching the apparatus function of the absorption ozonemeter with infrared selective amplitude modulation, the aberrations of the object-glass are usually ignored. This is in case when a parabolic mirror is used instead of an object-glass with infrared selective modulation. When using an object-glass with a spherical mirror, the aberrations can cause interference picture in the image which can be compared with the changes depending on the properties of the researched specter and on the precision of the performed adjustment.

The requirements for the interference part are criteria for the maximum amount of the aberrations.

Methods were developed to research and evaluate the influence of the aberrations of the optical system on the apparatus function of the absorption ozonemeter with interference selective amplitude modulation. Its goal is to clarify the possibility of using a spherical mirror object-glass, based on the requirements for the quality of the apparatus function.

При изследване на апаратната функция на абсорбционен озонOMETЪР с интерференчна селективна амплитудна модулация, аберациите на обектива обикновено се пренебрегват. Това е в случаи, когато в качеството на обектив с интерференчна селективна амплитудна модулация се използва параболично огледало. В случай на използване на обектив със сферично огледало, то аберациите могат да предизвикат интерференчна картина в изображението, сравнима с измененията, зависещи от свойствата на изследвания спектър и от прецизността на извършената юстировка. Изискванията към интерференчната част са критерий за допустимата стойност на аберациите.

В тази връзка е разработена методика за определяне и оценка на влиянието на аберациите на оптичната система върху апаратната функция на абсорбционен озонOMETЪР с интерференчна селективна амплитудна модулация, с цел да се изясни възможността за приложение на сферичен огледален обектив, изхождайки от изискванията към качеството на апаратната функция.

Входната и изходна диафрагма на абсорбционен озонOMETЪР представляват кръгли отвори с ъглови размери  $a_0$ . Фокусното разстояние на обектива е равно на  $F$ . Входни и изходни зеници на системата са правоъгълни диафрагми с размери  $2L \times 2H$ . При пресмятане на апаратната функция на озонOMETЪРА се счита, че неговата интерференчна част не внася в изображението допълнителни аберации и има ъглово увеличение, равно на единица.

Разликата, възникваща на входа на абсорбционен озонOMETЪР с интерференчна селективна амплитудна модулация, на монохроматичен лъч с дължина на вълна  $\lambda$  с координати в равнината на входната диафрагма  $x'$  и  $y'$  и с координати в равнината на зеницата  $x$  и  $y$ , може да се запише в следния вид:

$$(1) \Delta(x, y, x', y', \lambda, \lambda_0, t) = \frac{R_x}{L} \left[ (\lambda - \lambda_0) - \lambda \frac{\varphi_1^2}{2} \right] + \delta(t),$$

където:  $R$  – теоретична разделителна способност на диспергиращата система;  
 $\lambda_0$  – дължина на вълна при настройка на колиматора;  
 $\varphi_1$  – ъгъл на постъпване на лъча към равнината на зеницата;  
 $\delta(t)$  – разлика в хода на лъча, внесена от интерференчния модулатор.

Тогава яркостта в изходящата зеница ще се изменя по закона

$$(2) \quad B = 2B_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \right).$$

Тъй като aberациите на обектива ще се изследват при обратен ход на лъчите и ще се пренесат в равнината на образа на цялата система, то удобно е да се приложат полярни координати  $\rho$  и  $\theta$  в равнината на входната диафрагма и да се изрази стойността на  $\varphi_1$  посредством меридионалната съставляваща:

$$(3) \quad \varphi_1^2 = \varphi_{1x}^2 + \varphi_{1y}^2,$$

при което

$$(4) \quad \varphi_{1x} = \frac{\rho \sin \theta + \delta x'}{F} = \alpha \sin \theta + \frac{\delta x'}{F},$$

$$(5) \quad \varphi_{1y} = \frac{\rho \sin \theta + \delta y'}{F} = \alpha \cos \theta + \frac{\delta y'}{F},$$

където  $\alpha = \frac{\rho}{F}$ ,  $\delta x'$  и  $\delta y'$  - съставни на напречните aberации на обектива в равнината на входната диафрагма.

При абсорбционен озонометър изходната диафрагма изрязва от aberационното монохроматично изображение на входната диафрагма централната част, поради което за ъгъл  $\varphi_2$  е в сила условието  $\varphi_2 < \alpha_0^2$ , при което

$$(6) \quad \varphi_2^2 = \varphi_{2x}^2 + \varphi_{2y}^2,$$

$$(7) \quad \varphi_{2x} = \varphi_{1x} + \frac{\delta x''}{F},$$

$$(8) \quad \varphi_{2y} = \varphi_{1y} + \frac{\delta y''}{F},$$

където  $\delta x''$  и  $\delta y''$  - съставящи на напречната aberация в равнината на изходните диафрагми.

Апаратната функция, представляваща амплитуда на интерференчната модулация на лъчистия поток, преминаващ пред абсорбционния озонометър, отчитайки горепосоченото, може да се запише във вида

$$(9) \quad A(\lambda - \lambda_0) = \frac{1}{N} \int_0^{\alpha_0} d\alpha \int_0^{2\pi} d\theta \int_{-L-H}^{+L+H} dx dy b(\lambda, \lambda_0, \varphi_1, x),$$

където  $N$  – коефициент на пълното използване на диаметъра на входната зеница,

$$(10) \quad b(\lambda, \lambda_0, \varphi_1, x) = \left\{ \cos \left[ 2\pi R \frac{x}{L} \left( \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} - \frac{\varphi_1^2}{2} \right) \right] \right\}.$$

При разработване на метода се използват формули от теорията за aberациите. Отчита се, че  $l$  е разстояние от центъра на диафрагмата до главната ос на огледалния обектив, от където

$$(11) \quad l = 2F \operatorname{tgi}.$$

За разглеждания случай  $S_I = \frac{1}{4}, S_{II} = \frac{1}{2}, S_{III} = 1, S_{IV} = -1$ , а равнината на изходната диафрагма е изместена относно гаусовата на разстояние  $\delta$ :

$$(12) \quad \delta = -\frac{l^2}{2F},$$

характеризиращо напречните aberации  $\delta x'$  и  $\delta y'$ ; изразени чрез координатите  $x$  и  $y$ :

$$(13) \quad \delta x' = \frac{-x(x^2 + y^2)}{8F^2} + \frac{3x^2 + y^2}{4F} \operatorname{tgi} - \frac{x}{2} \operatorname{tg}^2 i,$$

$$(14) \quad \delta y' = \frac{-y(x^2 + y^2)}{8F^2} + \frac{xy}{2F} \operatorname{tgi} - \frac{y}{2} \operatorname{tg}^2 i.$$

Тъй като ъгъл  $i$  е малък, може да се приеме  $\operatorname{tgi} \approx i$ . Тогава изразите (4) и (5) с отчитане на (13) и (14) приемат вида

$$(15) \quad \varphi_{1x} = \alpha \sin \theta - \frac{x(x^2 + y^2)}{8F^3} + \frac{3x^2 + y^2}{4F^2} i - \frac{x}{2F} i^2,$$

$$(16) \quad \varphi_{2x} = \alpha \cos \theta - \frac{y(x^2 + y^2)}{8F^3} + \frac{xy}{2F^2} i - \frac{y}{2F} i^2.$$

Отчитайки, че в абсорбционния озонометър с интерференчна селективна амплитудна модулация, се осъществява Z-образен ход на лъчите, то сферичната aberация и астигматизмът в равнината на изходната диафрагма са равни на удвоените aberации на огледалото, а комата напълно се компенсира, тъй като меридиалното увеличение на системата е равно на единица, при което

$$(17) \quad \varphi_{2x} = \alpha \sin \theta - \frac{x(x^2 + y^2)}{4F^3} - \frac{x}{F} i^2,$$

$$(18) \quad \varphi_{2y} = \alpha \cos \theta - \frac{y(x^2 + y^2)}{4F^3} - \frac{y}{F} i^2.$$

Полагайки в интеграла (9)  $n = \frac{x}{L}, v = \frac{y}{H}, a = \frac{2\pi R(\lambda - \lambda_0)}{\lambda}, z = \pi R \alpha^2$  и приемайки телесния ъгъл  $\Omega$ , под който се наблюдават входната и изходна диафрагма от главната точка на обектива, оптимален и равен на  $\frac{2\pi}{R}$ , а  $l = 2L = 2H$ , се получава нов израз за определяне на апаратната функция:

$$(19) \quad A(a) = \frac{1}{N} \int_0^{2\pi} dz \int_0^{2\pi} d\theta \int_{-1}^1 dudv f(a, \Phi_1, u),$$

при което

$$f(a, \Phi_1, u) = \begin{cases} \cos[(a - \pi R \Phi_1 u)] & \text{при } \Phi_2^2 < 2\pi \\ 0 & \text{при } \Phi_2^2 \geq 2\pi, \end{cases}$$

където

$$\Phi_1^2 = \Phi_{1x}^2 + \Phi_{1y}^2,$$

$$\Phi_2^2 = \Phi_{2x}^2 + \Phi_{2y}^2.$$

Тогава

$$\Phi_{1x} = \sqrt{2z} \sin \theta + M \left[ \frac{-u(u^2 + v^2)}{64} + \frac{3u^2 + v^2}{16} - \frac{u}{4} \right],$$

$$\Phi_{1y} = \sqrt{2z} \cos \theta + M \left[ \frac{-u(u^2 + v^2)}{64} + \frac{uv}{8} + \frac{v}{4} \right],$$

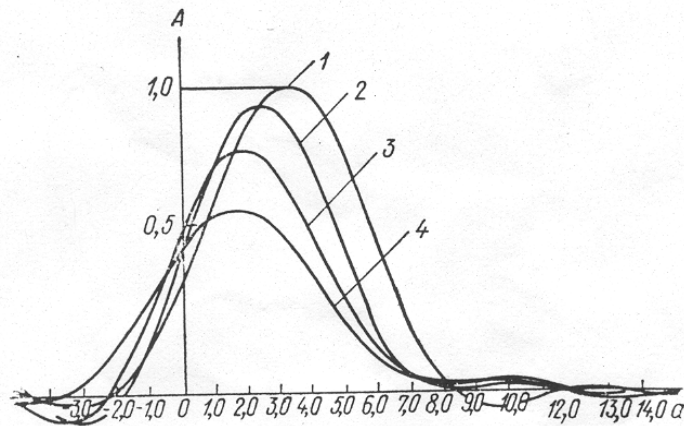
$$\Phi_{2x} = \sqrt{2z} \sin \theta + M \left[ \frac{-u(u^2 + v^2)}{32} - \frac{u}{2} \right],$$

$$\Phi_{2y} = \sqrt{2z} \cos \theta + M \left[ \frac{-v(u^2 + v^2)}{32} - \frac{v}{2} \right].$$

Коефициентът  $M$  е свързан с относителното отверстие на обектива,  $\varepsilon = \frac{L}{2F}$ , а

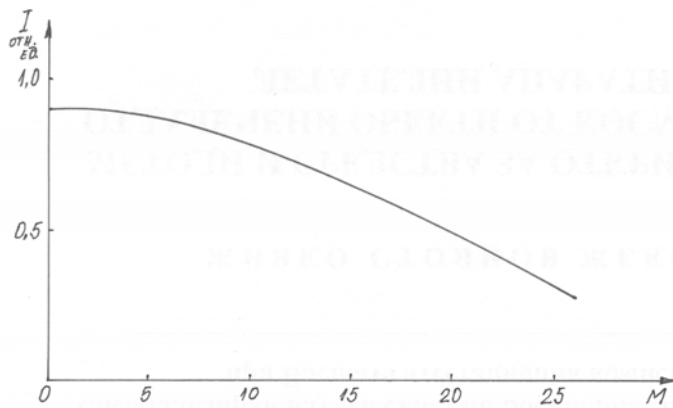
$$M = \sqrt{2\pi R \varepsilon^3}.$$

Стойностите на интеграла (19) са пресметнати при различни коефициенти  $M$ , което позволи построяването на последователност от апаратни функции  $A(a, M)$  при стойности на  $M$  в интервала от 0 до 20 със стъпка 0,5 (фиг. 1).



Фиг. 1. Серия апаратни функции  $A(a, M)$ : 1— $M=0$ ; 2— $M=5$ ; 3— $M=10$ ; 4— $M=15$

На базата на приведената графика може да се направи извода, че с увеличаване на светосилата на експериментираните огледални обективи, апаратната функция притежава значително изменение. На фиг. 2 графически е изразен хода на интензивността на апаратната функция в максимум в зависимост от  $M$ .



Фиг. 2. Зависимост на интензивността на апаратната функция  $I$  от коефициента  $M$

В заключение следва да се отбележи, че отчитайки допустимия спад на интензивността на апаратната функция в максимума с 3 %, в сравнение с интензивността на не изместената апаратна функция, то се оказва, че стойността на  $M$  не трябва да превишава 6 до 7. Така за обектива на абсорбционния озонетър, при теоретична разделителна сила  $R = 5 \cdot 10^5$  е разработен колиматорен обектив с относително отворстие  $\varepsilon < 1 : 6$ .

#### Литература:

1. Ж е к о в Ж. Оптични методи и средства за откриване на отдалечени обекти от борда на космически летателни апарати Университетско издателство «Епископ К. Преславски», Шумен, 2006. 308 с.
2. Ж е к о в Ж., Г. М а р д и р о с я н, И. Х р и с т о в, Д. И в а н о в а. Абсорбционны ультравиолетовы озонетр. Българско геофизично списание, Том XXIII, № 3-4, s. 50-54.
3. П а л а з о в К., А. М а н е в, Ж. Ж е к о в, П. П е т к о в. Проект ИНТЕРБОЛ. Ултравioletов спектрофотометър УФСИПС, Резултати по данни от бордовия компютър. Сб. Трудове НВУ «В. Левски», факултет «Артилерия, ПВО и КИС», Шумен, 2004, стр. 253-259.