

К РАСЧЕТУ СФЕРИЧЕСКОЙ АБЕРРАЦИИ КОНЦЕНТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА

К. С. МЕЛИКЯН

Получено аналитическое выражение для продольной сферической aberrации плоско-выпуклого концентрического объектива (двухлинзового), которое используется для расчетов. Показана целесообразность применения полусферического концентрического объектива в голографическом запоминающем устройстве. Приведены результаты расчетов.

Среди многих применений квантовой электроники можно отметить и голографические устройства запоминания информации. Голографические запоминающие устройства (ГЗУ) [1, 2] являются перспективными устройствами памяти для цифровых вычислительных машин. Они могут повысить надежность хранения и плотность записи информации, допускают в одной единице объем информации в 10^8 бит и больше.

Одним из основных узлов ГЗУ является объектив формирователя страниц. Но известные объективы этого узла многолинзовые и сложные (см., например, [3]). Использование полусферического объектива, когда с плоской стороны последнего расположен (в оптическом контакте) формирователь страниц с отражением света, намного упрощает как объектив, так и узел объектив-формирователь [4]. Более того, при этом в отмеченном узле ГЗУ автоматически устраняется ряд aberrаций: кома, астигматизм и дисторсия. Действительно, центральные лучи световых пучков в ГЗУ проходят при этом без преломления и обладают свойствами лучей, проходящих по оптической оси. Из оставшихся aberrаций хроматическая здесь не опасна — в ГЗУ используется монохроматический свет, а сферическую aberrацию можно исправить, сохраняя перечисленные выше преимущества (отметим, что при исправлении сферической aberrации частично исправляется и хроматическая aberrация). Неисправление сферической aberrации объектива формирователя страниц приведет к увеличению площади каждой голограммы, что в свою очередь уменьшит плотность записи информации и общий объем памяти [5].

Чтобы исправить (уменьшить) сферическую aberrацию и одновременно сохранить перечисленные выше преимущества полусферического объектива, последний, очевидно, нужно выполнить концентрическим (см. рис. 1). При этом можно варьировать показатели преломления (n , n_1) и толщины (r , r_1) стекол [6, 7]. И хотя возможности концентрического объектива с точки зрения исправления aberrаций небольшие, приведенные ниже параметры и характеристики конкретного объектива показывают, что получены приемлемые результаты.

В концентрическом двухлинзовом объективе, когда $n > n_1$, сферическая aberrация плоско-выпуклой сферической линзы (r_1, n_1) компенсируется aberrацией обратного знака линзы с концентрическими поверхностями (r и r_1, n) и уменьшается результирующая aberrация.

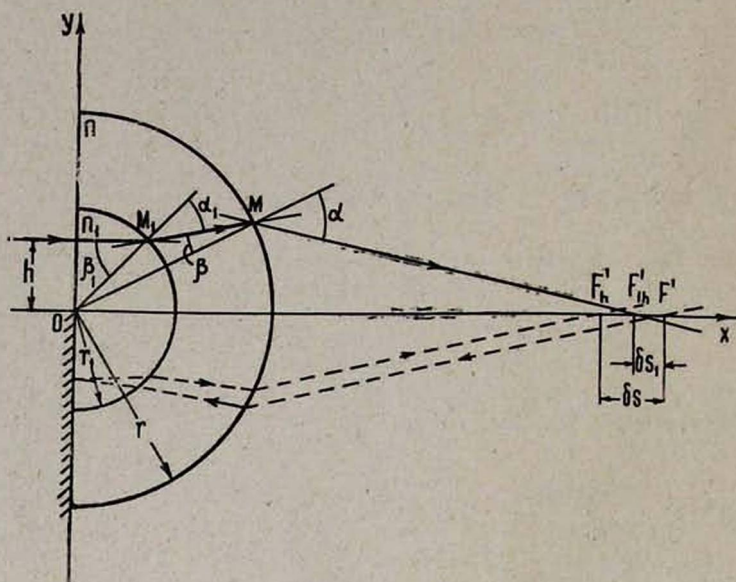


Рис. 1. Ход лучей в полусферическом концентрическом объективе.

Непосредственный расчет продольной сферической aberrации δs для хода лучей, показанного пунктиром на рис. 1 (что соответствует ходу лучей в объективе формирователя страниц ГЗУ), довольно громоздкий. С целью упрощения расчета, нами получено аналитическое выражение продольной сферической aberrации δs_1 концентрического двухлинзового объектива для световых лучей, падающих перпендикулярно к плоской стороне объектива и проходящих в одном направлении (см. рис. 1). Это выражение, как будет показано ниже, удобно и для расчета δs . Здесь мы приведем окончательное выражение. Его вывод основан на последовательном применении законов преломления света и опущен.

Как видно из рис. 1,

$$\delta s_1 = 0F'_{1h} - 0F'. \quad (1)$$

Для $0F'_{1h}$ получено следующее выражение:

$$0F'_{1h} = \frac{n^2 b^2 l + n b d \sqrt{(1+k^2)r^2 - n^2 b^2}}{n^2 b^2 - (1+k^2)d^2}, \quad (2)$$

где

$$l = \frac{\sqrt{(1+k^2)r^2 - b^2} - kb}{1+k^2}, \quad d = \frac{k\sqrt{(1+k^2)r^2 - b^2} + b}{1+k^2},$$

$$b = r_1(x - k\sqrt{1-x^2}), \quad k = \frac{x(\sqrt{\beta^2 - x^2} - \sqrt{1-x^2})}{\sqrt{1-x^2}\sqrt{\beta^2 - x^2} + x^2},$$

$$\beta = \frac{n}{n_1}, \quad x = \frac{h}{r_1},$$

h — расстояние луча от оптической оси.

При $n_1 = n$ из (2) имеем выражение

$$OF'_{1h} = \frac{n\sqrt{r^2 - n^2h^2} + n^2\sqrt{r^2 - h^2}}{n^2 - 1}, \quad (3)$$

с помощью которого можно определить продольную сферическую аберрацию плоско-выпуклой сферической линзы. Для параксиальных лучей ($h \rightarrow 0$) получаем $OF'_{1h} = nr/(n-1)$, и точка F'_{1h} совпадает с фокусом линзы.

В (1) OF' — расстояние от фокуса объектива до центра сфер,

$$OF' = n_1f' = \frac{n_1nr_1r}{(r-r_1)n_1 - (r-r_1n_1)n}. \quad (4)$$

При получении (4) объектив рассматривался как сложная система [7], где отдельные компоненты (две линзы, отмеченные выше) заменялись тонкими линзами, f' — эквивалентное фокусное расстояние объектива. Заметим, что при $n_1 = n$ из (4) следует

$$OF' = \frac{nr}{n-1},$$

что совпадает с аналогичным параметром плоско-выпуклой сферической линзы.

Из-за сложности выражения (2) для δs_1 его трудно анализировать. Оно может служить для расчетов. С его помощью можно с большой точностью определить также полную величину продольной сферической аберрации δs :

$$\delta s = 2\delta s_1. \quad (5)$$

Действительно, при одностороннем прохождении световой луч проходит по среднему пути между лучами света, проходящими туда и обратно (при данной высоте h). При этом разность хода указанных лучей незначительна и неточность выражения (5) пренебрежимо мала.

Нами рассчитаны δs_1 , $2\delta s_1$ и частично δs (непосредственный расчет) для объектива со следующими параметрами: $n = 1,65680$ (стекло ТК 21) [8], $n_1 = 1,54800$ (стекло ЛФ 10), $r = 120,0$ мм, $r_1 = 50,0$ мм ($f' = 263,1312$ мм, $OF' = n_1f' = 407,3116$ мм, расстояние от центра сфер до эквивалентной главной плоскости $OF' - f' = 144,1904$ мм). Расчеты проводились с большой точностью. Цифры после запятой имели не менее семи точных десятичных знаков. Результаты расчетов приведены в виде таблицы и графика (рис. 2).

Таблица

h (мм)	δ_s (мм)	δ_{s_1} (мм)	$2\delta_{s_1}$ (мм)	$(\delta_s - 2\delta_{s_1})$ (мм)
0,5000	—	+0,000601	—	—
5,4907	-0,147597	-0,073812	-0,147624	(+) 0,000027
12,4000	—	-0,277249	-0,554498	—
16,3751	-0,612559	-0,306959	-0,613918	(-) 0,001359
19,0585	-0,395707	-0,198035	-0,396070	(-) 0,000363
21,2000	—	+0,020659	+0,041318	—
22,6033	+0,509578	+0,254596	+0,509122	(+) 0,000456

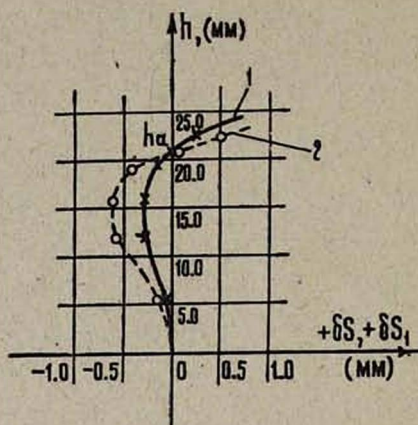


Рис. 2. Зависимость продольной сферической аберрации от полувысоты апертуры для полусферического концентрического объектива с $r = 120,0$ мм, $r_1 = 50,0$ мм, $n = 1,65680$, $n_1 = 1,54800$ (1 — δ_{s_1} , 2 — δ_s).

Как видно из рис. 2, при апертуре пучка $4h_a^2 = 42 \times 42$ мм² максимальная величина продольной сферической аберрации есть $\delta_{s_{\max}} = 0,6126$ мм (случай двойного прохождения луча через объектив). При этом сечение светового пучка в плоскости расположения накопителя голограмм (примерно в середине отрезка $F'F_{ha}$) не превышает $0,0016$ мм², что приводит к увеличению площадей голограмм на 6–8% и мало влияет на общий объем памяти (голограммы записывают на площади с диаметром 1,0–1,5 мм). Более того, как показано ниже, в оптической схеме ГЗУ имеется возможность дополнительной компенсации сферической аберрации (остаточной).

Если применять оптическую схему ГЗУ с линзовым растром на оси предметных лучей (см., например, [9]), но с отрицательными линзами раstra и с рассмотренным выше объективом, то можно получить близкие к нулю значения аберраций. Сферическая аберрация отрицательной линзы вычитается из сферической аберрации объектива формирователя страницы и результирующая величина последней для предметного луча каждой голограммы сильно уменьшается (эти аберрации близки по модулю; например, отрицательная линза раstra из флексигласа с $n = 1,49$, $r = 3,37$ мм при $h = 0,6$ мм, согласованная с рассчитанным выше объективом, имеет $\delta_{s_1} = 0,245$ мм).

Отметим, что в схеме ГЗУ линзовый растр хорошо согласуется с полусферическим концентрическим объективом. Ход лучей в от-

дельных линзах раstra (каждая линза соответствует одному адресу памяти) является осевым и отсутствуют ухудшающие рабочие устройства аберрации. Изготовление такого раstra линз несложно [10].

Таким образом, используя результаты расчетов, нами выявлены возможности построения почти безаберрационной и одновременно легко осуществимой оптической схемы для голографической памяти.

Армянский государственный педагогический
институт им. Х. Абовяна

Поступила 16.XI.1976

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Микаэлян. Радиотехника и электроника, 14, 115 (1969).
2. J. A. Rajchman. Appl. Opt., 9, 2269 (1970).
3. R. D. Lohman, R. S. Mezrich, W. C. Stewart. Electronics, 44, 61 (1971).
4. К. С. Меликян. Авт. свид. СССР, № 479155, Бюллетень, № 28, 1975, стр. 125.
5. Е. С. Бойданова, С. И. Соскин. Автометрия, № 3, 1975, стр. 42.
6. М. Герцбергер. Современная геометрическая оптика, Изд. ИЛ, М., 1962.
7. Б. Н. Бегунов, Н. П. Закарян. Теория оптических систем, Изд. Машиностроение, М., 1973.
8. Справочник конструктора оптико-механических приборов, Изд. Машиностроение, Л., 1967.
9. Т. С. Лев. Appl. Opt., 11, 384 (1972).
10. В. А. Шишкина и др. Авт. свид. СССР, № 211095, Бюллетень, № 7, 1968, стр. 78.

ՀԱՄԱԿԵՆՏՐՈՆ ՕՐՅԵԿՏԻՎԻ ՍՖԵՐԻԿ ԱԲԵՐԱՑԻԱՅԻ ՀԱՇՎՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Կ. Ս. ՄԵԼԻԿՅԱՆ

Ստացված է անալիտիկ արտահայտություն հարթուստիկ համակենտրոն օբյեկտիվի (կրկեսային) երկայնական սֆերիկ արեղացիայի համար և օգտագործված է հաշվումներում: Ցույց է տրված հոլոգրաֆիական հիշող սարքում կիրառված համակենտրոն օբյեկտիվի օգտագործման նպատակահարմարությունը:

ON THE CALCULATION OF SPHERICAL ABERRATION OF A CONCENTRIC OBJECTIVE

K. S. MELIKYAN

The analytical expression for the longitudinal spherical aberration of a plano-convex concentric objective (two-lens) is obtained and used for calculations. The expedience of the application of a semispherical concentric objective in holographic memory is argued.