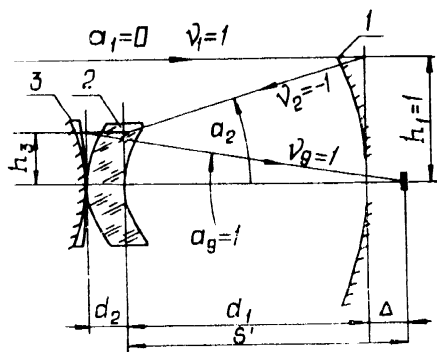


A design procedure of an optical system with a meniscus corrector in the region of third-order aberrations is examined. The corrector is installed in a beam converging from the primary mirror and includes two lenses, the first in the light path is a meniscus one and the second is a reflective one. The system's focal plane is placed outside the primary mirror. Four possible variants of corrector have been determined and investigated, out of which the optimum variant was distinguished and a study was made of the dependence of its residual aberrations on the system's free parameters and sort of corrector glass.

Предварительное исследование оптических систем с менисковым корректором, описанных в работе [1], базировалось на теории аберраций третьего порядка, что позволило исследовать все возможные варианты решений и выбрать из них оптимальное. Ниже описывается разработанная для этих систем методика аберрационного расчета. Выражения для аберрационных коэффициентов и некоторые общие вспомогательные формулы, выраженные через параметры предметного нулевого луча, используемые в статье, можно найти в работе [2].

Сохраняя общепринятые обозначения, введем следующие параметры (см. рис.1): S - номер поверхности в оптической системе; n_S - величина, обратная показателю преломления среды; μ_S - коэффициент дисперсии среды (число Аббе); h_S - высота предметного нулевого луча на главных плоскостях преломляющих поверхностей; u_S - тангенс угла, образованного предметным нулевым лучом с осью; d_S - расстояние между вершинами соседних поверхностей (толщина); r_S - радиусы поверхностей; $L_0^{\pm} P_0$ - аберрационные коэффициенты: L_0 - хроматизма положения; F_0 - хроматизма увеличения; B_0 - сферической



Р и с. I. Общая схема абберационного расчета: 1 - сферическое зеркало, 2 - менисковая линза, 3 - отражательная линза

в области аббераций третьего порядка, нормируются на эквивалентное фокусное расстояние для линзы П.

Исследуемая оптическая система представлена на рис. I. Принцип ее построения состоит в следующем. Предположим, что все поверхности системы являются сферическими, а компонент 3 выполнен в виде выпуклого зеркала, как, например, предложено в работе [3]. Параметрами мениска 2 удается исправить так что две абберации. Исправив в системе сферическую абберацию и к тому, можно убедиться, что оставшийся неисправленным хроматизм положения является довольно малым. С целью полного его исправления в систему вводится еще одна преломляющая поверхность, а именно, компонент 3 выполняется в виде отражательной линзы из такой же марки стекла, что и мениск.

Произведем расчет системы в области аббераций третьего порядка. Для простоты преобразований в качестве свободных параметров выберем высоту h_3 , характеризующую собой габариты корректора, тангенс угла α_2 и отношение толщины мениска к высоте d_2/h_3 . Толщину компонента 3 и воздушный промежуток между линзами корректора для упрощения расчетов возьмем равными нулю.

Условие нормировки параметров предметного нулевого луча можно представлять в виде:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0 & h_1 &= 1 & d_{3+6} &= 0 & \nu_{1,2,9} &= 1 \\ \alpha_3 &= 1 & h_{4+7} &= h_3 & f' &= 1 & \nu_{2,4} &= -1 \\ \mu_{1,2,4,7,9} &= 0 & S' &= h_8 & \nu_{3,5} &= -\nu & \nu_{3,5} &= -\nu \\ \mu_{3+6,8} &= \mu & & & \nu_{6,8} &= \nu & & \end{aligned} \quad (I)$$

абберации; K_0 - комы; C_0 - астигматизма; D_0 - кривизны поля. R_t, R_s - радиусы поля: меридиональный и саггитальный; f' - эквивалентное фокусное расстояние; S' - последний отрезок; Δ - удаление фокальной поверхности от главного зеркала; U - радиус зоны входного зрачка; $\Delta S'_y$ - продольная сферическая абберация; $\Delta f'_y$ - ошибка закона синусов; C, D, F - обозначение линий спектра с длиной волны соответственно: 0,6563; 0,5893; 0,4861 мкм.

Все линейные параметры схемы, используемые для расчетов

Для обратного хода лучей через корректор должны быть соблюдены условия эквивалентности радиусов и толщин:

$$r_2 = r_8; r_3 = r_7; r_4 = r_6; d_7 = -d_2 \quad (2)$$

Вспомогательные формулы, входящие в выражения для абберационных коэффициентов [2], а также формулы для радиусов кривизны поверхностей согласно принятым условиям нормировки (1) и (2) сведены в табл. I. Рекуррентная формула для h_8 [2] с учетом условий нормировки (1) и (2) дает:

$$h_2 = h_3 (1 + \alpha_3 d_2 / h_3); \quad (3)$$

$$h_8 = h_2 \frac{1 + \nu d_2 / h_3}{1 + \nu \alpha_2 d_2 / h_3} \quad (4)$$

Из условий эквивалентности радиусов (2) с учетом формул табл. I имеем:

$$\alpha_8 = \alpha_5 + \alpha_8 - \alpha_3; \quad (5)$$

$$\alpha_7 = \alpha_4 + \frac{\alpha_8 - \alpha_3}{\nu}; \quad (6)$$

$$\alpha_8 = -\frac{\nu(1 - \alpha_2) + \alpha_3(1 + \nu d_2 / h_3)}{1 + \nu \alpha_2 d_2 / h_3} \quad (7)$$

наконец, для Δ и d_1 имеем следующие зависимости:

$$\Delta = h_8 + d_1; \quad (8)$$

$$d_1 = \frac{1 - h_2}{\alpha_2} \quad (9)$$

Для того, чтобы выполнить в системе рис. I ахроматическую и апланатическую коррекцию, необходимо приравнять нулю абберационные коэффициенты L_0, B_0, K_0 [2].

Развертывая согласно табл. I коэффициент

$$L_0 = \sum_{s=1}^{s=m} h_s U_s$$

(m - число поверхностей) и приравнивая его нулю, замечаем, что член μ , входящая в формулы для U_s , сокращается. Это говорит о том, что в данном случае достигается не ахроматическая (для сплошного спектра), а апохроматическая (по всему спектральному диапазону) коррекция хроматизма положения. Дальнейшие расчеты показали, что хроматизм положения, вводимый в систему компонентом практически полностью компенсируется обратным по знаку хроматизмом компонента 3, а получающийся при этом вторичный спектр имеет ничтожно малую величину (порядка $-3 \cdot 10^{-6} f'_D$ для лучей C и F). Это в значительной мере объясняется тем, что в качестве материала компонентов 2 и 3 выбрано стекло одной и той же марки, т.е. с одинаковым ходом дисперсии.

Таблица I

S	r_s	U_s	S_s	P_s	W_s
1	$\frac{2}{a_2}$	0	0	$-\frac{a_2^3}{4}$	$\frac{a_2^2}{2}$
2	$h_2 \frac{1-\nu}{a_3 \nu a_2}$	$\frac{a_3 - a_2}{\mu}$	$-\frac{d_1}{h_2}$	$\frac{(a_3 - a_2)^2 (a_2 - \nu a_3)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(a_3 - a_2)(a_2 - \nu a_3)}{1-\nu}$
3	$h_3 \frac{1-\nu}{a_5 \nu a_4}$	$\frac{a_4 - a_3}{\mu}$	$S_2 \frac{\nu d_2}{h_2 h_3}$	$\frac{(a_4 - a_3)^2 (\nu a_3 - a_4)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(a_4 - a_3)(a_4 - \nu a_3)}{1-\nu}$
4	$h_3 \frac{1-\nu}{a_5 \nu a_4}$	$\frac{a_5 - a_4}{\mu}$	S_3	$\frac{(a_5 - a_4)^2 (a_4 - \nu a_5)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(a_5 - a_4)(a_4 - \nu a_5)}{1-\nu}$
5	$\frac{2h_3}{a_6 + a_5}$	0	S_3	$\frac{(a_6 - a_5)^2 (a_6 + a_5)}{4\nu}$	$\frac{a_6^2 - a_5^2}{2}$
6	$h_3 \frac{1-\nu}{a_6 \nu a_7}$	$\frac{a_6 - a_7}{\mu}$	S_3	$\frac{(a_7 - a_6)^2 (a_7 - \nu a_6)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(a_7 - a_6)(a_7 - \nu a_6)}{1-\nu}$
7	$h_3 \frac{1-\nu}{a_6 \nu a_7}$	$\frac{a_7 - a_8}{\mu}$	S_3	$\frac{(a_8 - a_7)^2 (\nu a_8 - a_7)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(a_8 - a_7)(a_7 - \nu a_8)}{1-\nu}$
8	$h_8 \frac{1-\nu}{a_8 \nu}$	$\frac{a_8 - 1}{\mu}$	$S_3 \frac{\nu d_2}{h_3 h_8}$	$\frac{(1 - a_8)^2 (1 - \nu a_8)}{(1-\nu)^2}$	$\frac{(1 - a_8)(1 - \nu a_8)}{1-\nu}$

В результате преобразований условие асферической коррекции системы запишется в виде:

$$a_3 - a_5 = 0,5(1 + a_3 \frac{d_2}{h_3}) [a_5 - a_2 + \frac{1 + \nu d_2 / h_3}{1 + \nu a_2 d_2 / h_3} (a_8 - 1)]. \quad (10)$$

С учетом того, что $B_0 = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{s=m} h_s P_s$, условие коррекции комы

$$H_0 = -\frac{1}{2} \sum_{s=1}^{s=m} W_s + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{s=m} h_s S_s P_s = 0$$

можно привести к виду:

$$\sum_{s=1}^{s=8} W_s + \frac{\nu d_2}{h_3} (P_2 - P_8) - S_3 P_1 = 0, \quad (11)$$

где

$$S_3 P_1 = -\frac{a_2^2}{4} \left[1 - \frac{1 + \nu a_2 d_2 / h_3}{h_3 (1 + a_3 d_2 / h_3)} \right]; \quad (12)$$

$$\sum_{s=1}^{s=8} W_s = 0,5 + \frac{1 + \nu}{2(1-\nu)} [(a_8 - 1)^2 (a_3 - a_2)^2] + \frac{1 + \nu}{\nu} (a_3 - a_5)(a_8 - a_3). \quad (13)$$

Формулы (7), (10) позволяют представить выражения (12) и (13) как функции от a_3 и свободных параметров схемы, что, в свою очередь, с помощью формул табл. I дает возможность получить выражение (11) в виде уравнения четвертой степени:

$$A a_3^4 + E a_3^3 + I a_3^2 + J a_3 + M = 0. \quad (14)$$

Коэффициенты уравнения (14) являются функциями свободных параметров $h_3; a_2; d_2/h_3$. Аналитические выражения для этих коэффициентов весьма сложны. Практически более удобным оказалось получить значения коэффициентов в численном виде, задаваясь конкретными значениями свободных параметров и представляя выражение (11) как функцию параметра a_3 . В диапазоне исследованных значений свободных параметров $h_3 = 0,25-0,30$; $-a_2 = 2-3$; $-d_2/h_3 = 0,015-0,03$ уравнение (14) имеет только два решения. Далее по формулам (3)-(5) и (7)-(10) можно определить $h_2; h_8; a_5; a_6; a_8; \Delta$ и d_1 , а из формул табл. I вычислить радиусы $r_1; r_2; r_5$.

Все остальные параметры схемы определяются из условия коррекции сферической аберрации третьего порядка $B_0 = 0$, которое преобразуется к виду:

$$\frac{P_1}{h_3} + \sum_{s=2}^{s=8} P_s + \frac{d_2}{h_3} (a_3 P_2 + a_8 P_8) = 0. \quad (15)$$

После преобразований с учетом формул табл. I приходим к квадратному уравнению

$$a_4^2 + N a_4 + Q = 0, \quad (16)$$

где

$$N = \frac{2(1-\nu^2)}{\nu(2+\nu)} a_8 - \frac{d_3}{\nu} - \frac{1+2\nu}{2+\nu} a_6; \quad (17)$$

$$Q = \frac{(1-\nu)^2}{2(2+\nu)} \cdot \frac{P_1 + h_2 P_2 + h_3 P_5 + h_8 P_8}{h_3 (a_3 - a_5)} + \frac{\nu}{2+\nu} (a_3^2 + a_3 a_5 + a_6^2) + (a_8 - a_3) \left[\frac{(2+3\nu)(1-\nu)^2}{2(2+\nu)\nu^2} d_8 \frac{1-\nu^2}{(2+\nu)\nu^2} a_3 - \frac{(1-\nu)(1+3\nu)}{2\nu(2+\nu)} a_5 \right]. \quad (18)$$

Два решения уравнения (14) для a_3 соответствуют два квадратных уравнения (16) для a_4 . Следовательно, поставленная задача имеет четыре решения.

Далее из (6) определяется a_7 , а из выражений табл. I - радиусы r_3 и r_4 . Таким образом, определяются все конструктивные параметры схемы, удовлетворяющей условию $L_0 = B_0 = H_0 = 0$.

Учитывая, что $L_0 = 0$, для коэффициента хроматизма увеличения

$$F_0 = \sum_{s=1}^{s=m} h_s S_s U_s \quad (2)$$

имеем точное выражение

$$F_D = \frac{\nu}{\mu} \frac{d_2}{h_3} (1 - a_2) \left[1 - \nu \frac{1 + a_2 d_2 / h_3}{1 + \nu a_2 d_2 / h_3} \right] \quad (19)$$

или более простое приближенное выражение, не содержащее a_2 :

$$F_D \approx \frac{\nu(1-\nu)}{\mu} \frac{d_2}{h_3} (1 - a_2). \quad (20)$$

Из (20) видно, что хроматизм увеличения определяется маркой стекла корректора и свободными параметрами схемы. Выбор стекла оказывает существенное влияние на F_D . В зависимости от марки стекла корректора (при одних и тех же свободных параметрах) хроматизм увеличения может меняться в три раза (см. табл. 2). Марки стекла с большими числами Аббе и малыми показателями преломления (легкие кроны, кроны, баритовые и тяжелые кроны, кварц) обеспечивают минимальный хроматизм увеличения.

Свободные параметры схемы рис. 1 не могут быть выбраны произвольно. Большое значение имеет правильный выбор параметра h_3 , определяющего габариты корректора. Положительные значения для h_3 , меньшие 0,25, даже для систем малой светосилы недопустимы ввиду больших остаточных aberrаций. С другой стороны, из условия предельно допустимого центрального экранирования (12%) значения для h_3 более 0,3 нежелательны. На этом предельном значении параметра h_3 мы остановились в дальнейших расчетах. Величина a_2 , характеризующая собой увеличение корректора и определяющая положение фокальной поверхности для исследуемых систем типа Кассегрена, задавалась равной -3, что обеспечивает вынос фокальной поверхности $\Delta = 0,04-0,1$. Единственным параметром, которым можно варьировать более или менее свободно, является толщина мениска. Исследования производились в диапазоне $-d_2/h_3 = 0,015-0,03$. Слишком толстые мениски поглощают много света и вводят недопустимо большой хроматизм увеличения. Для удобства расчетов все численные коэффициенты, зависящие от марки стекла, входящие в формулы алгоритма, даны в табл. 3 для линии D и трех марок стекла.

Астигматизм и кривизну поля в рассматриваемой системе исправить практически невозможно. Для коэффициентов третьего порядка этих aberrаций были выведены следующие выражения, полученные из формул [2] и табл. 1 с учетом $B_0 = K_0 = 0$:

$$C_0 = \frac{1}{2} \left[-a_2 + \frac{a_2}{h_2} + \frac{1}{h_8} + \nu \frac{d_2}{h_3} \left(\frac{a_2^2}{h_2} + \frac{a_2^2}{h_8} \right) \right] + \frac{1}{2} \left(\frac{\nu d_2^2}{h_3} \right) \left(\frac{P_2}{h_2} + \frac{P_8}{h_8} \right) - \frac{\nu d_2}{h_3} \left(\frac{W_2}{h_2} - \frac{W_8}{h_8} \right) + S_3 \left(W_1 + \frac{1}{2} S_3 P_1 \right). \quad (21)$$

Таблица 2

Параметр	Марка стекла								
	$S_i D_2$	ЛК-6	К-8	БК-6	ТК-2I	БФ-16	ЛФ-5	Ф-I	ТФ-10
μ	1,4586	1,4704	1,5163	1,5399	1,6568	1,6709	1,5749	1,6128	1,8060
$\frac{\nu(1-\nu)}{\mu}$	67,94	66,81	64,05	59,65	51,11	47,27	41,30	36,93	25,36
$\frac{\nu(1-\nu)}{\mu}$	0,3173	0,3257	0,3506	0,3817	0,4682	0,5084	0,5612	0,6379	0,9744

Таблица 3

Формула	Численное значение для стекла марки		
	$S_i D_2$	К-8	ТК-2I
ν	0,685589	0,659500	0,603573
$1/\nu$	1,4586	1,5163	1,6568
$1/4 \nu$	0,364650	0,379075	0,414200
$1 + \nu$	1,68559	1,65950	1,60357
$1 - \nu$	0,314411	0,340500	0,396427
$(1 + \nu)/2(1 - \nu)$	2,68055	2,43686	2,02253
$1/(1 - \nu)$	3,18055	2,93686	2,52253
$1/(1 - \nu)^2$	10,1159	8,62514	6,36318
$1 + \nu/\nu$	2,4586	2,5163	2,6568
$2(1 - \nu^2)/\nu(2 + \nu)$	0,575673	0,644332	0,809063
$1 + 2\nu/(2 + \nu)$	0,882927	0,871968	0,847737
$(1 - \nu)^2/2(2 + \nu)$	0,0184046	0,0217974	0,0301805
$2/(2 + \nu)$	0,255284	0,247979	0,231825
$\frac{(2+3\nu)(1-\nu)^2}{2(2+\nu)\nu^2}$	0,158847	0,199386	0,315699
$\frac{1-\nu^2}{(2+\nu)\nu^2}$	0,419839	0,488500	0,670227
$\frac{(1-\nu)(1+3\nu)}{2\nu(2+\nu)}$	0,260992	0,289114	0,354528

$$D_0 = \frac{1}{2} \left[a_2 + \frac{2(v-a_8)}{h_8} + \frac{a_3 + a_8 - (1+v)(a_5 + a_6)}{h_3} \right] + C_0. \quad (22)$$

Тогда радиус поля согласно известным зависимостям [2] вычисляются по следующим формулам:

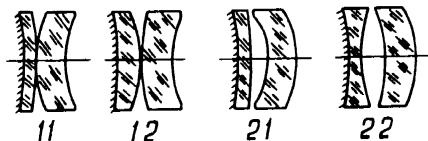
$$R_t/f' = -1/2(2C_0 + D_0); \quad (23)$$

$$R_9/f' = -1/2D_0. \quad (24)$$

Описанный алгоритм исследования остаточных aberrаций и их зависимости от свободных параметров схем был использован для анализа срока различных вариантов системы.

В качестве примера в табл.4 приведены параметры схемы и коэффициенты aberrаций для значений $h_3 = 0,3$; $a_2 = -3$; $d_2/h_3 = -0,03$; марки стекла ТК-2I ($n_D = 1,6568$, $\mu = 5I,II$). Коэффициенты уравнения (I4) оказались следующими: $A = -0,00024774$, $E = -0,026745293$. $I = 1,02I3I36$, $J = 4,6434098$, $M = -I,0620539$, а двум его решениям соответствуют варианты I и 2 табл.4.

Коэффициенты квадратного уравнения (I6) таковы: $N_1 = 3,4II2029$, $N_2 = 7,565I62I$, $Q_1 = I,482035$, $Q_2 = I3,960894$. Четыре полученных варианта характеризуются формой линз корректора, представленной для наглядности на рис.2. Оптическая ося менисковых линз характеризуется величиной $\Delta r/d$. Если $\Delta r/d = (n-1)/n = 0,3964$ (для стекла ТК-2I), то мениск афокальный; если $\Delta r/d < (n-1)/n$ - мениск положительный; если $\Delta r/d > (n-1)/n$ - мениск отрицательный.



Р и с . 2. Возможные варианты корректора

Для того, чтобы охарактеризовать компонент 2, в последней графе табл.4 приведена величина $(r_2 - r_3)/d_2 = \Delta r_{23}/d_2$. Оказалось, что менисковых решений, т.е. таких, где величина Δr_{23} сравнима с d_2 , получается три. Согласно обозначениям, принятым в табл.4, это варианты II, 2I, 22. Вариант I2 нельзя отнести к типу менисковых, так как $\Delta r_{23}/d_2$ довольно велико.

Варианты II и 2I представляют собой решения с квазиафокальными менисками, ориентированными соответственно вогнутостью от объекта и к объекту наблюдения. Кроме того, из табл.4 видно, что мениск варианта II положительный, а мениск варианта 2I отрицательный. Компонент 3 в обоих этих вариантах представляет собой отрицательную отражающую линзу, у которой $|r_4| > |r_5|$. С точки зрения полевых aberrаций: астигматизма, кривизны поля и хроматизма увеличения, вычисленного по точной формуле (I9), более ценным является вариант 2, так как в нем эти aberrации меньше, чем в варианте I.

Таблица 4

Параметр	Вариант I	Вариант 2		
a_3	0,2I830I	-4,3I847		
a_5	-2,07I07	-2,I369I		
a_6	0,203834	0,449662		
a_8	2,4932I	-I,73I9I		
h_2	0,298035	0,338866		
h_8	0,27756I	0,3I5587		
$F_0(\%)$	-0,06II2	-0,05007		
C_0	2,49884	2,22I69		
D_0	3,70045	2,5475I		
R_t	-0,05748	-0,07I52		
R_8	-0,I35I2	-0,I9627		
Параметр	Вариант II	Вариант I2	Вариант 2I	Вариант 22
a_4	-2,900I9	-0,5II0I3	-3,I9349	-4,37I67
a_7	0,868873	3,25805	I,09I93	-0,086244
r_1			-0,666667	
r_2		0,0582297		-0,053568I
r_3	0,0604070	0,225783	-0,0497406	-0,0707968
r_4	-0,37096I	-0,06747I7	-0,567947	0,237042
r_5	-0,32I330			-0,355609
d_1	-0,233988			-0,220378
Δ	0,04357			0,0952I
$\Delta r_{23}/d_2$	0,24I9	I8,6I7	0,4253	-I,9I43

Для того чтобы окончательно решить вопрос, какой из полученных вариантов является оптимальным в смысле остаточных aberrаций, обратимся к табл.5, в которой даны остаточные aberrации вариантов таблицы 4, пересчитанных на $f' = 3000$ мм и светосилу $A = I:IO$. Из табл.5 следует ряд важных выводов. Варианты I2, 22 для дальнейшей проработки не пригодны ввиду больших остаточных aberrаций. Сравнение менисковых вариантов II и 2I показывает преимущество варианта 2I в отношении остаточной сферической aberrации, ошибки закона синусов и сферохроматической aberrации, которая почти в три раза меньше, чем в варианте II. Вариант 2I предпочтительнее и с другой точки зрения. Как следует из табл.4, вариант II имеет более близкие радиусы компонента 3, чем вариант 2I, и это может привести к

Таблица 5

У	$\Delta S'_y$			$\Delta f'_y$		
	С	П	F	С	П	F
В а р и а н т II						
0,0	-0,00650	0,00000	-0,03860	0,51226	0,00000	-1,42787
106,0	0,06696	-0,04464	-0,37317	0,55413	-0,37653	-2,82981
150,0	-0,02686	-0,27879	-0,95091	-0,44691	-1,86709	-5,51748
В а р и а н т I2						
0,0	-0,00654	0,00000	-0,03850	0,51211	0,00000	-1,42750
106,0	-1,14541	-1,98601	-4,11794	-4,56159	-8,06584	-16,88255
150,0	-7,73793	-9,66376	-14,45802	-31,07341	-38,83335	-56,53016
В а р и а н т 2I						
0,0	-0,00501	0,00000	-0,03102	0,42275	0,00000	-1,15571
106,0	0,06600	0,02877	-0,10578	0,55288	-0,01392	-1,52154
150,0	0,17922	0,08939	-0,17389	0,59704	-0,14212	-2,07037
В а р и а н т 22						
0,0	-0,00514	0,00000	-0,03071	0,42236	0,00000	-1,15479
106,0	-1,46824	-1,25552	-0,77289	-3,40354	-3,19104	-2,77524
150,0	-5,65794	-5,22843	-4,20759	-14,16453	-13,28132	-11,20039

Таблица 6

Параметр	Марка стекла	
	K-8	TK-2I
r_D	1,5163	1,6568
μ	64,05	51,11
d_2	-13,5	-18,0
d_1	-677,320	-671,940
r_2	-107,680	-124,220
r_3	-101,990	-116,810
r_4	-1461,30	-1522,60
r_5	-1038,40	-1038,70
Δ	253,51	262,29
F_0 (%)	-0,01922	-0,02522
R_t		-211,5
R_g		-552,7
$\Delta r_{23}/d_2$	0,4217	0,4119
	0,3997	0,3852
	0,4253	

Таблица 7

Марка стекла	d_2	У	$\Delta S'_H$			$\Delta f'_H$		
			С	П	F	С	П	F
	0,0	-0,00210	0,00000	-0,01879	0,16520	0,00000	-0,46336	
	106,0	0,43141	0,34508	0,11653	1,08265	0,62337	-0,53667	
	-13,5	150,0	1,62902	1,42346	0,91258	3,35200	2,50781	
K-8	0,0	-0,00291	0,00000	-0,01741	0,32027	0,00000	-0,82758	
	106,0	0,14815	0,11868	0,02418	0,63922	0,20289	-0,89983	
	150,0	0,53160	0,46078	0,26806	1,32621	0,74874	-0,68841	
	-27,0	0,0	-0,00501	0,00000	-0,03102	0,42275	0,00000	
TK-2I	106,0	0,06600	0,02877	-0,10578	0,55288	-0,01392	-1,52154	
	150,0	0,17922	0,08939	-0,17389	0,59704	-0,14212	-2,07037	

паразитной засветке поля бликом, отраженным от выпуклой поверхности компонента 3. В варианте 2I, как показывают расчеты, такой блик фокусируется примерно посередине между корректором и фокальной поверхностью и не попадает в поле зрения. Таким образом, форма выполинения корректора по варианту 2I оптимальна. Напомним, что в этом варианте мениск 2 квазифокальный, отрицательный и обращен выпуклостью к объекту наблюдения; его оптическая сила составляет несколько сотых долей диоптрии. Все вышесказанное в отношении варианта 2I подтверждается анализом большого количества систем при весьма различном наборе свободных параметров и марок стекла.

Представляет интерес исследовать влияние марки стекла корректора и толщины мениска на остаточные аберрации варианта 2I. В табл.6 приведены конструктивные элементы систем по варианту 2I для двух марок стекла и четырех толщин мениска. Все параметры пересчитаны на $f' = 3000$ мм. Видно, что радиусы кривизны мениска возрастают с ростом толщины и показателя преломления стекла. Точно также должны уменьшаться остаточные аберрации схемы; это подтверждается табл.7. С ростом толщины мениска увеличивается хроматизм увеличения, однако в диапазоне $-d_2 = 13,5-27$ (при $f' = 3000$ мм) он остается незначительным - всего $(-0,019)-(-0,037)\%$. При возрастании толщины мениска возрастает радиус выпуклой поверхности отрагательной линзы 3, что благоприятно с точки зрения уменьшения паразитной засветки поля, а также при контроле качества такой линзы, так как для относительно толстых менисков она получается близкой по форме к отрицательному апланатическому мениску.

Для стекла TK-2I ($\mu = 51,11$) хроматизм увеличения, а также, как показали исследования, вторичный спектр больше, чем для стекла K-8 (табл.6). Исходя из этого, нежелательно применять для коррек-

тора стекла с низкими числами Аббе. Это приводит также и к возрастанию сферохроматической аберрации.

На астigmatизм и кривизну поля выбор стекла практически не влияет (см. величины R_t и R_g в табл.6). Из табл.7 следует, что остаточные аберрации $\Delta S'_y$ и $\Delta f'_y$ с ростом показателя преломления резко уменьшаются. Это окончательно позволяет рекомендовать наряду с наиболее употребительными стеклами типа легких кронов, кронов и кварца стекла, имеющие одновременно большой показатель преломления и большой коэффициент Аббе, т.е. тяжелые и сверхтяжелые кроны.

Материал, заключенный в табл.6, был использован при расчете конкретных вариантов системы, описанных в работах [1,4].

В заключение следует заметить, что приближенный подход к решению данной задачи, основанный на пренебрежении в аберрационных формулах величинами, содержащими d_2/h_2 в степени выше первой, позволил бы получить более простые и удобные для вычислений зависимости. Однако в этом случае мы лишились бы возможности исследовать остаточные аберрации получаемых моделей системы в чистом виде, т.е. при полном отсутствии аберраций третьего порядка, что затруднило бы анализ влияния свободных параметров схемы. Сейчас, когда этот вопрос уже исследован, такой подход представляется нам целесообразным, так как позволяет уменьшить очевидную трудоемкость расчетов.

Л и т е р а т у р а

1. Клевцов Д.А. — В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1979, вып.49, 163.
2. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. М., 1968, 28, 139.
3. Попов Г.М. — Изв.Крымск.астрофиз.обсерв., 1967, т.37, 273.
4. Клевцов Д.А. — Авторское свидетельство г-02в № 605189. Бюл. изобр., № 16, 1978.

Сибирский институт земного магнетизма, Статья поступила
ионосферы и распространения радиоволн СО АН СССР в январе 1982 г.