

Можно также представить, что пространство между силовыми сферическими поверхностями заполнено массой стекла, вход и выход в которую осуществляется через плоские поверхности, перпендикулярные к оси. При этом передняя плоская поверхность, через которую проходят параллельные пучки лучей, не сможет внести такие aberrации, как сферическая, астигматизм, кривизна поля и кома. Однако на этой поверхности будет возникать значительная дисторсия.

Вторая выходная плоская поверхность, через которую проходит телецентрический ход главных лучей, также не сможет внести астигматизм, кривизну поля и кому. Кроме того, в отличие от первой плоской поверхности вторая не внесет и дисторсию, но сможет создать некоторую незначительную сферическую aberrацию. Заметим, что выходная плоская поверхность будет увеличивать выходную апертуру пропорционально показателю преломления.

Наклоняя переднюю плоскую поверхность по отношению к оси сферических зеркал, можно сделать ее перпендикулярной к ходу центрального луча какого-либо наклонного пучка. При этом не могут возникнуть ни астигматизм и кривизна поля, ни кома и сферическая aberrация. Однако оптическая система уже перестанет быть центрированной.

Для подтверждения рассмотрим aberrации конкретной оптической системы - как центрированной, так и получаемой после ее децентрировки. Пусть центрированная система имеет следующие конструктивные данные:

$r_1 = \infty$	$d_1 = 75$	$n_1 = 1$
$r_2 = 150$	$d_2 = -75$	$n_2 = 1,5163$
$r_3 = 150$	$d_3 = 80$	$n_3 = -1,5163$
$r_4 = \infty$		$n_4 = 1,5163$
		$n_5 = 1$

Фокусное расстояние этой системы $f' = 49,463$; задний фокальный отрезок $s'_F = 46,165$. Диафрагма расположена на второй поверхности.

Задавая относительное отверстие 1:3, 5 и полевой угол $\omega = 30^\circ$, были определены aberrации центрированной системы.

Значения сферической aberrации (продольной $\Delta s'$ и поперечной $\delta g'$), астигматизма (z_r и z_s) и относительной дисторсии Δ следующие:

h	$\Delta s'$	$\delta g'$
7,07	-0,214	-0,031
5,00	-0,106	-0,011

ω	s_p	s'_p	z_t	z_s	$\Delta, \%$	y'_m
-30°	45,37	3461,0	0,076	-0,001	-13,396	24,732
-20°	47,71	7538,1	0,016	0,000	-6,031	16,917

Проследим процесс определения aberrаций системы при наклоне передней плоской поверхности. На рис. 68 пунктирной линией показана передняя плоская поверхность, наклоненная на некоторый угол ϑ по отношению к оси сферических поверхностей. Центральный луч наклонного пучка проходит эту плоскость по нормали.

Будем полагать, что другие наклонные пучки лучей составят с центральным лучом углы $\pm \omega$. Они будут ограничивать поле зрения, формируемое относительно центрального главного луча. После преломления на наклоненной плоскости эти лучи составят с нормалью к плоскости углы преломления ε . Суммируя углы ε с углом наклона плоскости ϑ , получим полевые углы с осью перед второй поверхностью системы.

Сохраняя полевые углы перед второй поверхностью, можно сделать переднюю плоскость перпендикулярной оси, т.е. возвратиться к эквивалентной центрированной системе и определить ее входные полевые углы. При этом астигматизм и aberrации наклонных пучков для эквивалентной центрированной системы и системы с наклоненной передней плоскостью должны сохраниться неизменными.

Рассмотрим численный пример, полагая угол наклона входной плоскости $\vartheta = 18^\circ$ и полевые углы относительно центрального главного луча $\omega = \pm 12^\circ$. Исходя из этих данных, входные полевые углы $\bar{\omega}$ для эквивалентной центрированной системы получаются $41^\circ 26' 34''$; $27^\circ 56' 08''$ и $15^\circ 27' 08''$. Для этих полевых углов были вычислены значения астигматизма и дисторсии:

$\bar{\omega}$	s'_p	z_t	z_s	$\Delta, \%$	y'_m
$-41^\circ 26' 34''$	1896,7	0,244	-0,004	-25,033	32,740
$-27^\circ 56' 28''$	3966,0	0,058	0,000	-11,656	23,176
$-15^\circ 27' 08''$	12604,0	0,006	0,000	-3,615	13,178

Как отмечалось, при переходе от эквивалентной центрированной системы к реальной, с наклоненной входной плоской гранью, астигматизм изменяться не будет, а дисторсия, наоборот, изменится: для центрального главного луча она отсутствует, а для двух других полевых углов по отношению к ходу центрального луча составит $-9,04$ и $-4,91\%$.

Для эквивалентной центрированной системы были вычислены также aberrации наклонных пучков $\Delta y'$, которые приведены далее для трех значений полевых углов:

$m_{\text{отн}}$	$\Delta y'$ при $\bar{\omega}$		
	$-41^\circ 26' 34''$	$-27^\circ 56' 28''$	$-15^\circ 27' 08''$
1,0	0,209	0,128	0,057
0,707	0,116	0,070	0,053
0,0	0,0	0,0	0,0
-0,707	0,088	0,080	0,054
-1,0	0,199	0,172	0,117

Полученные значения aberrаций наклонных пучков также практически не изменятся при наклоне входной грани. Заметим, что эти aberrации вполне приемлемы для фотографических систем.

Небезынтересно, что с помощью монолитного объектива "Руссар-моно" удалось получить вполне удовлетворительные фотоснимки. При этом выявилось, что одной из особенностей объектива является опасность некоторой засветки изображения, которая отпадает при использовании этого объектива как проекционного.

По внешнему виду монолитный объектив "Руссар-моно" напоминает "колобашку" (рис. 69).

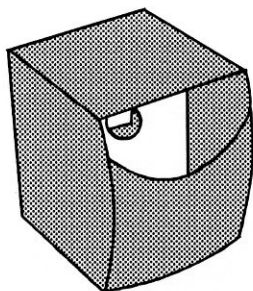


Рис. 69. Внешний вид монолитного объектива "Руссар-моно"

Объектив на основе пентапризмы. В рассмотренном монолитном объективе переход от центрированной к нецентрированной системе осуществлялся децентрировкой плоской (несиловой) поверхности, практически не влияющей на изменение аберраций.

В отличие от монолитного объектива нецентрированные системы из силовых отражательных поверхностей могут быть построены и посредством децентрации самих этих поверхностей.

В качестве примера рассмотрим систему из двух силовых зеркальных поверхностей с противоположными углами наклона по отношению к ходу центрального луча, предопределяя тем самым возможность взаимной компенсации наклонного астигматизма. Такая пара силовых поверхностей может быть реализована в результате придания отражательным поверхностям пентапризмы соответствующих радиусов кривизны (рис. 70, а).

В этом случае углы наклона силовых поверхностей по отношению к ходу центрального луча $\vartheta = 22^\circ 30'$, т.е. будут достаточно велики, что вызовет появление значительного продольного астигматизма, устранение которого потребует введения в систему дополнительного коррекционного элемента.

Использование в качестве коррекционного элемента сферического зеркала, наклоненного к ходу центрального луча на угол $\vartheta = 45^\circ$, приведет к большой оптической силе коррекционного зеркала и, следовательно, к существенному изменению оптической силы всей системы, что нежелательно.

Вместе с тем можно уменьшить углы наклона силовых отражательных поверхностей при сохранении их противоположных знаков. Конструктивно это осуществляется посредством разделения пентапризмы на две полупентапризмы (рис. 70, б). Разделительные грани будут работать и как преломляющие, и как отражающие поверхности при использовании полного внутреннего отражения. В такой схеме углы наклона силовых зеркал можно существенно уменьшить. При этом углы наклона разделительных поверхностей будут несколько увеличены по отношению к углу 45° , что позволяет использовать эти поверхности с очень небольшой оптической силой для исправления продольного астигматизма.

Таким образом, приходим к оптической системе из четырех наклонных сферических зеркал, симметрично и сравнительно близко расположенных и противоположно наклоненных. Это позволяет при анализе характера астигматизма системы принимать расстояние между зеркалами равным нулю.

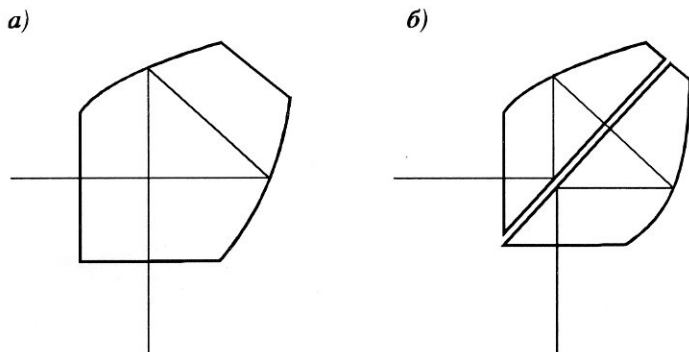


Рис. 70. Нецентрированные объективы из пентапризмы (а) и двух полупентапризм (б)

Полагая зрачок входа совмещенным с точкой встречи центрального луча со всеми отражательными поверхностями, получаем равенство меридиональных и сагиттальных отрезков t'_k и s'_k после предшествующих поверхностей отрезкам t_{k+1} и s_{k+1} перед последующими поверхностями:

$$t_{k+1} = t'_k; \quad s_{k+1} = s'_k. \quad (562)$$

Для отражательных поверхностей отрезки до и после поверхности связываются согласно инвариантам Гульстранда - Юнга равенствами

$$\frac{1}{t'} + \frac{1}{t} = \frac{2}{r \cos \vartheta}; \quad \frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2 \cos \vartheta}{r}. \quad (563)$$

Используя зависимости (562) и (563), для нескольких отражательных поверхностей можно записать:

$$\frac{1}{t'_k} = \frac{2}{r_k \cos \vartheta_k} - \frac{2}{r_{k-1} \cos \vartheta_{k-1}} + \dots - \frac{2}{r_1 \cos \vartheta_1}; \quad (564)$$

$$\frac{1}{s'_k} = \frac{2 \cos \vartheta_k}{r_k} - \frac{2 \cos \vartheta_{k-1}}{r_{k-1}} + \dots - \frac{2 \cos \vartheta_1}{r_1} \quad (565)$$

и, задаваясь условием отсутствия астигматизма,

$$\begin{aligned} \frac{1}{t'_k} = \frac{1}{s'_k} &= 2 \left(\frac{1}{r_k \cos \vartheta_k} - \frac{1}{r_{k-1} \cos \vartheta_{k-1}} + \dots - \frac{1}{r_1 \cos \vartheta_1} \right) = \\ &= 2 \left(\frac{\cos \vartheta_k}{r_k} - \frac{\cos \vartheta_{k-1}}{r_{k-1}} + \dots - \frac{\cos \vartheta_1}{r_1} \right). \end{aligned} \quad (566)$$

Для симметричной системы из четного числа поверхностей, когда углы ϑ при одних и тех же абсолютных значениях попарно имеют разные знаки (равно как и радиусы этих поверхностей), условие устранения астигматизма принимает вид

$$4 \left(\frac{1}{r_1 \cos \vartheta_1} - \frac{1}{r_2 \cos \vartheta_2} + \dots \right) = 4 \left(\frac{\cos \vartheta_1}{r_1} - \frac{\cos \vartheta_2}{r_2} + \dots \right). \quad (567)$$

Ограничиваясь четырьмя симметрично расположенными поверхностями, получаем

$$\frac{1}{r_1} \left(\frac{1}{\cos \vartheta_1} - \cos \vartheta_1 \right) = \frac{1}{r_2} \left(\frac{1}{\cos \vartheta_2} - \cos \vartheta_2 \right), \quad (568)$$

откуда находим отношение радиусов

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\operatorname{tg} \vartheta_1 \sin \vartheta_1}{\operatorname{tg} \vartheta_2 \sin \vartheta_2}. \quad (569)$$

Задавая ход главного луча под некоторым углом ω к центральному лучу и возвращаясь к величинам t'_k и s'_k , для четырех симметрично расположенных поверхностей меридиональный отрезок

$$\begin{aligned} \frac{1}{t'_4} &= \frac{2}{r_4 \cos(\vartheta_4 + \omega)} - \frac{2}{r_3 \cos(\vartheta_3 + \omega)} + \\ &+ \frac{2}{r_2 \cos(\vartheta_2 + \omega)} - \frac{2}{r_1 \cos(\vartheta_1 + \omega)}. \end{aligned} \quad (570)$$

Вследствие симметрии $r_4 = -r_1$ и $r_3 = -r_2$, а также $\vartheta_4 = -\vartheta_1$ и $\vartheta_3 = -\vartheta_2$, поэтому выражение (570) преобразуется:

$$\frac{1}{t'_4} = 2 \left\{ -\frac{1}{r_1} \left[\frac{1}{\cos(\omega - \vartheta_1)} + \frac{1}{\cos(\omega + \vartheta_1)} \right] + \frac{1}{r_2} \left[\frac{1}{\cos(\omega - \vartheta_2)} + \frac{1}{\cos(\omega + \vartheta_2)} \right] \right\}. \quad (571)$$

Из формулы (571) видно, что при изменении знака угла ω отрезок t'_4 не меняет своего значения.

Для сагиттальной плоскости также получаем выражение

$$\frac{1}{s'_4} = 2 \left\{ -\frac{1}{r_1} [\cos(\omega + \vartheta_1) + \cos(\omega - \vartheta_1)] + \frac{1}{r_2} [\cos(\omega + \vartheta_2) + \cos(\omega - \vartheta_2)] \right\}, \quad (572)$$

из которого следует, что и отрезок s'_4 при изменении знака угла ω также сохранится неизменным. Следствием этого является постоянство астигматической разности отрезков $t'_4 - s'_4$ независимо от знака ω , что равнозначно отсутствию наклонного астигматизма.

Таким образом, в системе из четырех симметрично расположенных зеркал с небольшими расстояниями между ними можно устранить продольный и наклонный астигматизм, в силу чего такая система становится эквивалентной тонкой линзе, совмещенной со зрачком. Однако, в отличие от тонкой линзы, система из четырех симметрично наклоненных зеркал будет обладать положительной кривизной поля и значительно меньшей сферической aberrацией. В ней отсутствуют хроматизм положения и хроматизм увеличения.

При использовании подобной системы зеркал в качестве силовой основы фотографического объектива требуется устранить центрированный астигматизм (астигматизм третьего порядка) и кому, добавляя какой-либо асферический компенсатор.

Системы из цилиндрических поверхностей

Во всех рассмотренных оптических системах в качестве силовых элементов использовались наклонные сферические зеркальные поверхности. В качестве силовых элементов можно также применять цилиндрические зеркала со взаимно перпендикулярными осями образующих цилиндров.

$$\frac{1}{t'_4} = 2 \left\{ -\frac{1}{r_1} \left[\frac{1}{\cos(\omega - \vartheta_1)} + \frac{1}{\cos(\omega + \vartheta_1)} \right] + \frac{1}{r_2} \left[\frac{1}{\cos(\omega - \vartheta_2)} + \frac{1}{\cos(\omega + \vartheta_2)} \right] \right\}. \quad (571)$$

Из формулы (571) видно, что при изменении знака угла ω отрезок t'_4 не меняет своего значения.

Для сагиттальной плоскости также получаем выражение

$$\frac{1}{s'_4} = 2 \left\{ -\frac{1}{r_1} [\cos(\omega + \vartheta_1) + \cos(\omega - \vartheta_1)] + \frac{1}{r_2} [\cos(\omega + \vartheta_2) + \cos(\omega - \vartheta_2)] \right\}, \quad (572)$$

из которого следует, что и отрезок s'_4 при изменении знака угла ω также сохранится неизменным. Следствием этого является постоянство астигматической разности отрезков $t'_4 - s'_4$ независимо от знака ω , что равнозначно отсутствию наклонного астигматизма.

Таким образом, в системе из четырех симметрично расположенных зеркал с небольшими расстояниями между ними можно устранить продольный и наклонный астигматизм, в силу чего такая система становится эквивалентной тонкой линзе, совмещенной со зрачком. Однако, в отличие от тонкой линзы, система из четырех симметрично наклоненных зеркал будет обладать положительной кривизной поля и значительно меньшей сферической aberrацией. В ней отсутствуют хроматизм положения и хроматизм увеличения.

При использовании подобной системы зеркал в качестве силовой основы фотографического объектива требуется устранить центрированный астигматизм (астигматизм третьего порядка) и кому, добавляя какой-либо асферический компенсатор.

Системы из цилиндрических поверхностей

Во всех рассмотренных оптических системах в качестве силовых элементов использовались наклонные сферические зеркальные поверхности. В качестве силовых элементов можно также применять цилиндрические зеркала со взаимно перпендикулярными осями образующих цилиндров.

В реальной оптической системе между цилиндрическими зеркалами должно быть некоторое расстояние.

Оптические системы, построенные из цилиндрических зеркал, зачастую обладают единой плоскостью симметрии, которую можно определить как плоскость, проходящую или через оси зеркал, или перпендикулярно им. Условно расположение плоскости симметрии будем полагать вертикальным. В силу симметрии ход центрального луча должен лежать в плоскости симметрии. Кроме того, назовем плоскость, проходящую через центральный луч перпендикулярно плоскости симметрии, горизонтальной.

Простейшей оптической системой из цилиндрических зеркал будет система из двух таких зеркал со взаимно перпендикулярными осями, которые разделены воздушным промежутком. Схема подобной системы показана на рис. 71.

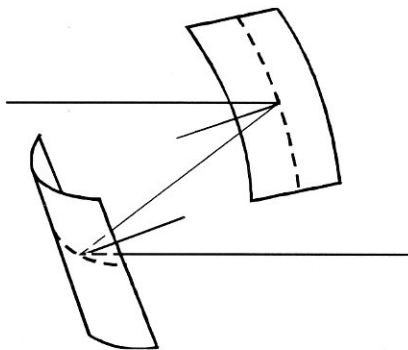


Рис. 71. Система из двух взаимно перпендикулярных цилиндрических зеркал

Полагая изображения, создаваемые зеркалами в вертикальной и горизонтальной плоскостях, совмещенными (что равнозначно отсутствию продольного астигматизма), видим, что расстояния от обоих зеркал до изображений - их фокусные расстояния в вертикальной и горизонтальной плоскостях отличаются друг от друга на величину расстояния между зеркалами. Это соответственно обуславливает различие размеров изображения в вертикальной и горизонтальной плоскостях, т.е. возникновение анаморфозы.

Рассмотрим изображение, образуемое цилиндрическими зеркалами, оси которых перпендикулярны плоскости симметрии, а нормаль к зеркалу

составляет с ходом центрального луча угол ϑ . Положение точек изображения для главных лучей, составляющих с центральным лучом углы $\pm \omega$, можно определить с помощью меридионального инварианта, из которого

$$t'_F = \frac{2}{r \cos(\vartheta + \omega)}. \quad (573)$$

Из формулы (573) следует, что при наличии угла наклона ϑ , расположение точек изображения не может быть симметричным относительно центрального луча (изображение будет наклонено на некоторый угол ψ'_ρ).

Рассматривая наклон изображения после цилиндрических отражательных поверхностей, можем определить его углы с помощью формул (440) и (450).

Если ось отражательного цилиндра перпендикулярна плоскости симметрии, угол наклона изображения, создаваемого пучком лучей в меридиональной плоскости, можно определить как угол наклона меридионального изображения

$$\operatorname{tg} \psi'_r = -\operatorname{tg} \varepsilon = -\operatorname{tg} \vartheta, \quad (574)$$

а для цилиндра, ось которого расположена в плоскости симметрии, этот угол наклона изображения, создаваемого пучком лучей, лежащих в плоскости, перпендикулярной плоскости симметрии, можно рассматривать как угол наклона сагиттального изображения

$$\operatorname{tg} \psi'_s = \operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \vartheta. \quad (575)$$

При сопоставлении формул (574) и (575) видно, что система из двух цилиндрических зеркал со взаимно перпендикулярными осями имеет наклонный астигматизм.

Анализируя картину изображения вдоль плоскости, проходящей через центральный луч перпендикулярно плоскости симметрии, нетрудно установить, что вследствие симметрии относительно центрального луча возможность существования астигматизма, линейно изменяющегося в зависимости от полевого угла ω , в горизонтальной плоскости исключается. Таким образом, в этой плоскости возможен астигматизм не ниже третьего порядка.

Конструктивно система из пары цилиндрических взаимно перпендикулярных зеркальных поверхностей может быть создана в воздушной среде или в массе стекла, ограниченной плоскостями, отделяющими зеркала

от воздушной среды, в которой находятся предмет и изображение. Кроме того, в целях уменьшения углов наклона обоих зеркал и соответственного уменьшения наклонного астигматизма, в оптическую систему можно ввести разделительные плоскости, работающие как преломляющие и как отражающие поверхности - при полном внутреннем отражении. Схема подобной системы из пары цилиндрических зеркальных поверхностей в стекле показана на рис. 72.

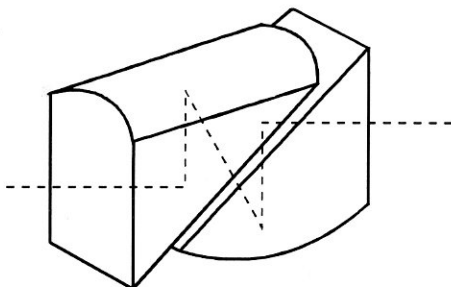


Рис. 72. Система из двух призм с цилиндрическими зеркальными поверхностями со взаимно перпендикулярными осями

Анаморфотное преобразование изображения, характерное для системы из пары цилиндрических зеркал, можно устранить в системе из трех цилиндрических зеркал, расположенных симметрично относительно среднего зеркала. Тогда, рассматривая картину образования изображения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, нетрудно установить, что в меридиональной плоскости, перпендикулярной оси среднего цилиндрического зеркала, фокусное расстояние

$$f'_t = \frac{r_2}{2} \cos \vartheta_2. \quad (576)$$

Для второй плоскости, проходящей через ось среднего зеркала, фокусное расстояние получится таким же, как для системы из двух зеркал, разделенных промежутком, равным удвоенному расстоянию между средним и одним из наружных зеркал.

Таким образом, сила пары внешних цилиндрических зеркал

$$\frac{1}{f'_s} = \frac{4 \cos \vartheta_1}{r_1} - \frac{16 \cos^2 \vartheta_1}{r_1^2} 2\tilde{d}. \quad (577)$$

Для устранения анаморфозы необходимо обеспечить равенство обоих фокусных расстояний f'_t и f'_s . Тогда приходим к условию

$$\frac{1}{f'_t} = \frac{1}{f'_s} = \frac{2}{r_2 \cos \vartheta_2} = \frac{4 \cos \vartheta_1}{r_1} \left(1 - \frac{8 \cos \vartheta_1}{r_1} \tilde{d} \right). \quad (578)$$

В частном случае, когда углы наклонов ϑ_1 и ϑ_2 равны, оба внешних цилиндрических зеркала можно объединить в одно. В результате приходим к системе из двух взаимно перпендикулярных цилиндрических зеркал (рис. 73).

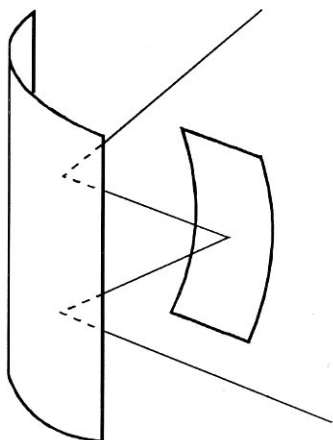


Рис. 73. Система из двух взаимно перпендикулярных цилиндрических зеркал с тремя отражениями

Заметим, что технологически подобную пару зеркал можно сделать путем соответственного прогиба плоских зеркал. Нетрудно представить, что размеры зеркал могут быть достаточно велики.

Следует также отметить, что система из трех цилиндрических зеркал может быть изготовлена в виде единого моноблока, ограниченного плоскими поверхностями, перпендикулярными к ходу центрального луча.

Устранение нецентрированной дисторсии

При изготовлении центрированных оптических систем приходится сталкиваться с нарушением центрировки отдельных элементов, что является причиной возникновения нецентрированных аберраций, из которых наиболее ощутима нецентрированная дисторсия, в особенности при изготовлении широкоугольных аэрофотообъективов, предназначенных для картографирования. К подобного рода объективам предъявляются особенно высокие требования, дисторсия же вызывает ошибки в измерениях стереоскопических параллаксов при фотограмметрической обработке аэрофотоснимков.

Возникновение центрированной дисторсии обусловлено отступлениями от расчетных значений показателей преломления, радиусов кривизны линз, их толщин и воздушных промежутков. Во многих случаях устранить центрированную дисторсию можно при соответственном изменении воздушных промежутков, позволяющих компенсировать нарушения центрированной дисторсии, возникшие вследствие погрешностей изготовления других элементов объектива.

Нецентрированная дисторсия является следствием нарушений центрировки компонентов объектива, связанных с соответственными допусками на децентрировку. В ряде случаев возникающая нецентрированная дисторсия может значительно превышать децентрировку.

Одним из средств устранения нецентрированной дисторсии могло быть соответственное ужесточение допусков на децентрировку, но нередко такие допуски технологически неосуществимы. Другим возможным средством могло быть (подобно юстировке на устранение центрированной дисторсии) соответственное изменение децентрировки того или иного компонента объектива, но в этом случае необходимо вводить в конструкцию оправы объектива специальное юстировочное устройство.

Ранее, когда рассматривались причины и общий характер возникающих нецентрированных аберраций, было установлено, что нецентрированная дисторсия представляет собой векторную функцию аргумента, модулем которого является линейное значение децентрации.

Децентрация компонентов, выполненных в круглой оправе, практически неизменна, однако при повороте компонента соответственно поворачиваются вектор-аргумент и вектор, определяющий нецентрированную дисторсию. Имея в распоряжении три вектора, являющихся следствием децентрировок и обуславливающих нецентрированную дисторсию, возможно (если ни один из этих трех векторов по модулю не превосходит суммы модулей двух других векторов), обеспечить равенство векторной суммы нулю посредством соответственных поворотов компонентов и тем самым добиться ее устранения.

Юстировку на устранение нецентрированной дисторсии можно выполнить с помощью пробных разворотов отдельных компонентов объектива на различные углы и последующего измерения нецентрированной дисторсии. Однако такой способ требует большого опыта и квалификации юстировщика, поэтому наиболее целесообразным является метод определения необходимых разворотов компонентов, заключающийся в обработке результатов измерений изменения нецентрированной дисторсии при разворотах каждого из компонентов объектива.

Как было установлено, нецентрированную дисторсию можно разложить на две составляющие - радиальную и тангенциальную, причем обе определяются одной и той же децентрацией рассматриваемого компонента.

Рассмотрим схему некоторого объектива (рис. 74) и разделим его условно на три компонента (основной O и два юстировочных I и II), так как для замыкания векторного треугольника необходимы три вектора.

При этом вектор эквивалентной децентровки объектива $\Delta\bar{c}$ можно представить как сумму трех векторов эквивалентной децентровки: основного O и юстировочных I и II компонентов (рис. 75). Тогда тангенциальную дисторсию, вызванную децентровками в основном компоненте, можно компенсировать, соответственно направив децентровки в юстировочных компонентах.

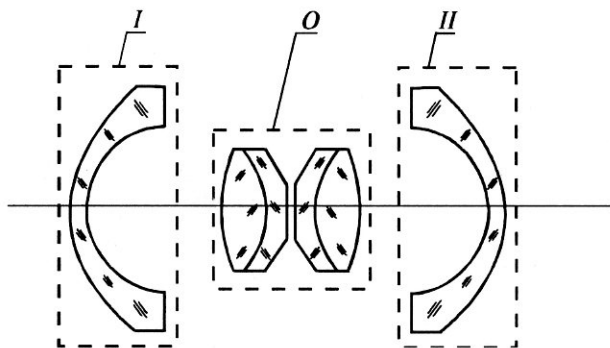


Рис. 74. Трехкомпонентный объектив

Определим вектор максимальной тангенциальной дисторсии в объективе после сборки при исходном положении всех компонентов как векторную сумму тангенциальной дисторсии, измеренной для одного и того же значения y' на краю поля в двух любых меридиональных сечениях.

Для удобства вычислений следует выбирать сечения, расположенные под углом 90° и проходящие через диагонали изображения, так как в этих сечениях y' получается наибольшим.

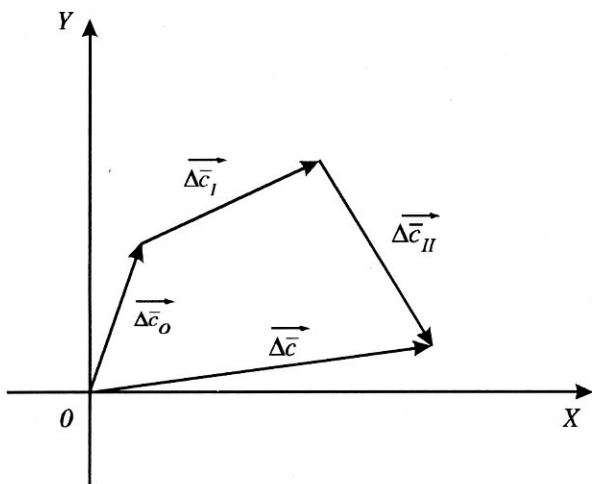


Рис. 75. Замыкание векторного многоугольника

Для измерения тангенциальной дисторсии в фокальной плоскости объектива устанавливается измерительная сетка, имеющая ряд радиусов-векторов, проходящих через центр поля зрения, на которых отмечены необходимые в процессе измерения значения изображения (рис. 76).

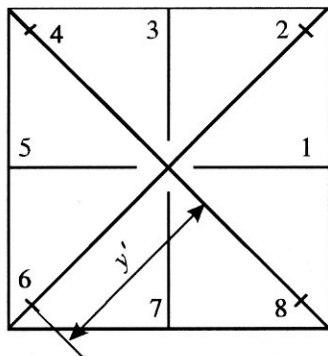


Рис. 76. Измерительная сетка

При построении векторной схемы (рис. 77) одну из диагоналей (2 - 6) направляем по оси X , а вторую (4 - 8) - по оси Y . Значения тангенциальной дисторсии $\Delta y'_{i1}$ и $\Delta y'_{i2}$, определенные соответственно для диагоналей 2 - 6 и 4 - 8, откладываются на векторной схеме в направлении, перпендикулярном сечению, в котором они определялись. Их векторную сумму \vec{OA} , выражающую максимальную тангенциальную дисторсию при исходной сборке, т. е. $|\vec{OA}| = \Delta y'_i$, находят графически или аналитически по формулам

$$\Delta y'_i = \sqrt{\Delta y'^2_{i1} + \Delta y'^2_{i2}} \quad (579)$$

и

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta y'_{i1}}{\Delta y'_{i2}}. \quad (580)$$

Следует подчеркнуть, что \vec{OA} - это вектор эквивалентной децентрировки объектива при исходной сборке ($\vec{OA} = \Delta \vec{c}$).

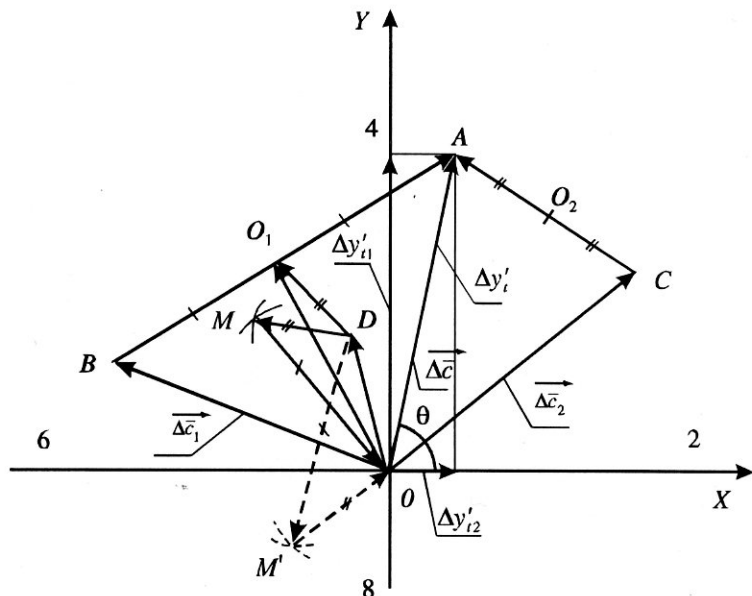


Рис. 77. Векторная схема

Затем определяется вектор эквивалентной децентрировки объектива для случаев:

1. Юстировочный компонент I повернут на 180° от исходного положения, все остальные компоненты - в исходном положении; на векторной схеме определяется $\vec{OB} = \Delta \vec{c}_1$ ($|\vec{OB}| = \Delta y'_{I1}$).

2. Юстировочный компонент II повернут на 180° от исходного положения, все остальные компоненты - в исходном положении; определяется вектор $\vec{OC} = \Delta \vec{c}_2$ ($|\vec{OC}| = \Delta y'_{II}$).

Вектор эквивалентной децентрировки объектива \vec{OA} после исходной сборки можно представить как сумму векторов эквивалентной децентрировки юстировочного компонента I ($\vec{O_1A}$) и всей остальной части объектива ($\vec{OO_1}$).

При повороте юстировочного компонента I на 180° на тот же угол повернется и вектор его эквивалентной децентрировки, поэтому после такого поворота вектор эквивалентной децентрировки объектива \vec{OB} окажется равным сумме двух векторов: $\vec{OO_1}$ и $\vec{O_1B}$, причем последний равен вектору $\vec{O_1A}$ и направлен в противоположную сторону.

Следовательно, соединяя на векторной схеме в результате измерения тангенциальной дисторсии векторы \vec{OA} и \vec{OB} и деля пополам отрезок AB , получаем вектор эквивалентной децентрировки юстировочного компонента I ($\vec{O_1A}$) в исходном положении и вектор эквивалентной децентрировки основной части объектива O и юстировочного компонента II совместно ($\vec{OO_1}$). Аналогично, соединяя концы векторов \vec{OA} и \vec{OC} и деля пополам отрезок AC , получаем вектор эквивалентной децентрировки юстировочного компонента II в его исходном положении ($\vec{O_2A}$).

Зная вектор эквивалентной децентрировки объектива \vec{OA} и векторы эквивалентной децентрировки I и II юстировочных компонентов $\vec{O_1A}$ и $\vec{O_2A}$, находим вектор \vec{OD} эквивалентной децентрировки основного компонента O . Это легко выполнить по векторной схеме, так как $\vec{OA} = \vec{OD} + \vec{O_1A} + \vec{O_2A}$. Вектор \vec{OD} определится как разность векторов: $\vec{OD} = \vec{OA} - \vec{O_1A} - \vec{O_2A}$.

Если известны векторы эквивалентных децентрировок основного и юстировочных компонентов, можно определить направления векторов эквивалентных децентрировок юстировочных компонентов I и II , чтобы вызванная ими тангенциальная дисторсия могла компенсировать тангенциальную дисторсию, возникающую вследствие децентрировок в основном компоненте. Для этого следует построить замкнутый треугольник на векторе \vec{OD} из векторов \vec{OD} , $\vec{O_1A}$ и $\vec{O_2A}$, т. е. из концов вектора \vec{OD} сделать засечки радиусами, равными $|O_1A|$ и $|O_2A|$, и соединить точку их пересечения M (M') с точками D и O . В результате определяются направления векторов эквивалентной децентрировки юстировочных компонентов I (\vec{MO} или $\vec{DM'}$) и II (\vec{DM} или $\vec{M'O}$), необходимые, чтобы вектор максимальной тангенциальной дисторсии объектива был равен нулю.

Развернув юстировочные компоненты в тубусе так, чтобы направления векторов эквивалентных децентрировок соответственно совпали с векторами \vec{MO} и \vec{DM} ($\vec{M'O}$ и $\vec{DM'}$), достигнем исправления тангенциальной дисторсии в объективе при нестрого центрированной оптической системе.

Для оценки состояния центрировки оптической системы объектива и юстировки тангенциальной составляющей нецентрированной дисторсии достаточно определить ее лишь на краю изображения (а не по всему полю) для любых меридиональных сечений, например двух диагоналей поля изображения объектива.

Для решения этой задачи нами был разработан специальный контрольно-юстировочный прибор, позволяющий оперативно определять состояние центрированности объектива и выполнять юстировку тангенциальной составляющей дисторсии без вращения объектива вокруг задней узловой точки. В основу работы прибора заложено свойство тангенциальной составляющей дисторсии, вызывающей одинаковое смещение симметричных точек изображения, расположенных в одном меридиональном сечении, в направлении, перпендикулярном ему. Поэтому, совмещая изображения для симметричных точек и измеряя расстояние до изображения в центре поля, можно определить тангенциальную дисторсию в данной точке поля.

Принципиальная оптическая схема контрольно-юстировочного прибора показана на рис. 78,а. Между зрительной трубой 4 и испытуемым объективом 2 устанавливается система зеркал или призм 3 симметрично относительно оси зрительной трубы. Угол между зеркалами 3 выбирается так, чтобы лучи,

выходящие из объектива под углом $\pm \omega$, направлялись параллельно оси зрительной трубы, т. е. он должен быть равен $\omega / 2$. Зрительная труба снабжена окулярным микрометром, в поле зрения которого имеется вертикальный штрих и горизонтальный биссектор, перемещение которого отсчитывается по шкале. В фокальной плоскости испытуемого объектива устанавливается измерительная сетка 1, имеющая ряд радиусов-векторов, проходящих через ее центр.

В поле зрения окуляра зрительной трубы наблюдаются одновременно три отрезка линии на сетке: для центральной части изображения и двух точек, расположенных на его краю на углах $\pm \omega$ (рис. 78, б). При измерении тангенциальной дисторсии поворотом объектива вокруг оптической оси совмещают изображения для углов $\pm \omega$. С помощью окулярного микрометра устанавливают расстояние от этого изображения до расположенного в центральной части поля. Это расстояние есть функция от значения тангенциальной дисторсии. Оно также зависит от того, насколько точно установлены отражательные поверхности зеркал перпендикулярно плоскости, в которой находятся оптическая ось зрительной трубы и ось горизонтального биссектора окулярной сетки при нулевом отсчете.

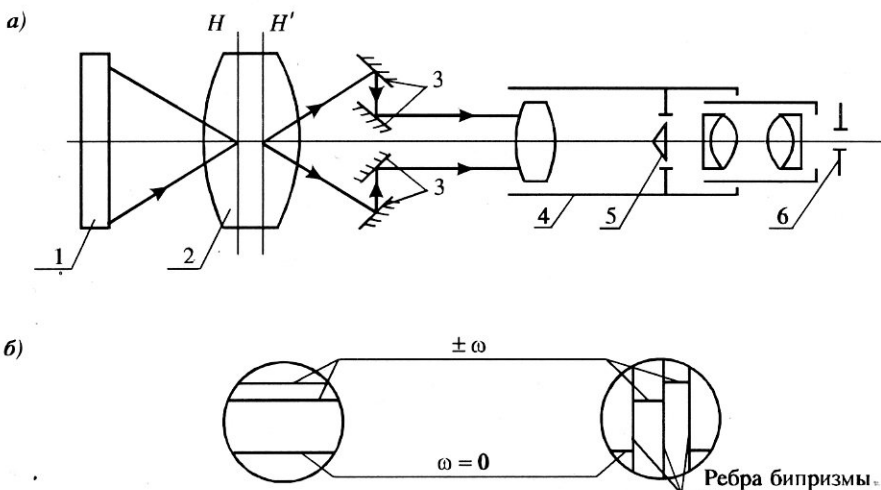


Рис. 78. Определение нецентрированной (тангенциальной) дисторсии:

- а - схема контрольно-юстировочного прибора;
- б - вид поля зрения окуляра зрительной трубы

Во избежание ошибки измерения тангенциальной дисторсии из-за неточной установки углов наклона зеркал измерения производятся дважды: в исходном положении объектива и при его повороте на 180° . Полуразность значений тангенциальной дисторсии для двух измерений дает действительное значение дисторсии, так как при повороте объектива на 180° знак тангенциальной дисторсии изменяется на противоположный, а погрешности измерительной системы зеркал, вызывающие отклонение линий, остаются неизменными.

Поворотом объектива вокруг оптической оси можно ввести в поле зрения окуляра любое меридиональное сечение измерительной сетки и измерить в этом сечении тангенциальную дисторсию для данного угла.

Тангенциальная дисторсия согласно отсчету по шкале окулярного микрометра определяется по формуле

$$\Delta y'_t = n \Delta V_i. \quad (581)$$

При этом

$$V_i = \frac{f'_0}{f'_k \cos \omega_i}. \quad (582)$$

Заметим, что в формулах (581) и (582) приняты следующие обозначения:

Δ - цена деления окулярного микрометра;

n - отсчет по шкале при наведении на линию измерительной сетки биссектора окулярного микрометра;

V_i - увеличение системы испытуемый объектив - зрительная труба для угла ω_i ;

f'_0 - фокусное расстояние объектива зрительной трубы;

f'_k - фокусное расстояние испытуемого объектива;

ω_i - полевой угол, для которого измеряется тангенциальная дисторсия.

Для удобства наблюдения и повышения точности совмещения отрезков линий для углов $\pm \omega$ вблизи фокальной плоскости окуляра зрительной трубы помещается бипризма 5 (см. рис. 78, а), перекрывающая примерно 1/2 поля зрения окуляра в горизонтальном направлении и выводящая выходные лучи для углов $\pm \omega$ на оптическую ось окуляра. В поле зрения окуляра наблюдается картина, показанная на рис. 78, б справа.

Центральное ребро бипризмы обеспечивает нониальное совмещение штрихов для углов $\pm \omega$, а ее наружные ребра позволяют судить о смещении центральной части изображения сетки относительно изображения для края

поля. Если система зеркал отъюстирована точно и нет тангенциальной дисторсии, все линии в поле зрения окуляра сольются в одну, проходящую через ось биссектора окулярного микрометра.

За окуляром зрительной трубы помещается небольшая диафрагма б, позволяющая выделить выходные зрачки на оптической оси и срезать изображения дополнительных зрачков, возникающие при установке бипризмы.

Внешний вид действующего макета прибора для юстировки и оценки тангенциальной дисторсии показан на рис. 79.

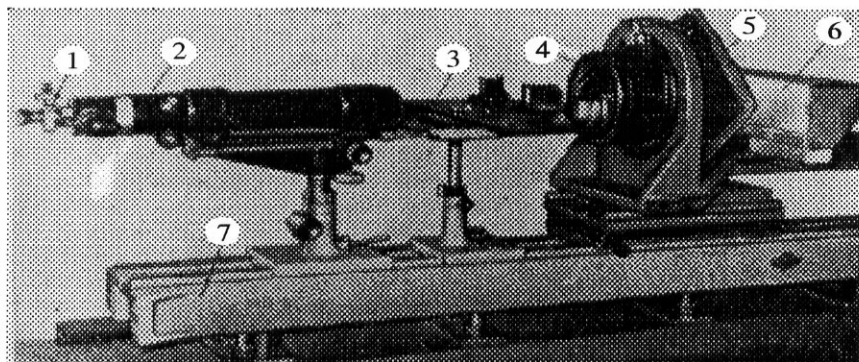


Рис. 79. Внешний вид макета прибора для оценки и юстировки тангенциальной дисторсии: 1 - окулярный микрометр; 2 - зрительная труба; 3 - платформа с зеркалами; 4 - объектив; 5 - объективодержатель; 6 - осветитель; 7 - станина

Небезынтересно, что использование векторного метода устранения тангенциальной дисторсии полностью сняло на производстве вопрос о ее существовании без какого-либо ужесточения допусков. В течение многих лет практического применения этого метода при сборке и юстировке широкоугольных аэрофотосъемочных объективов не было ни одного случая, когда тангенциальная дисторсия не была исправлена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Губель Н.Н. Аберрации децентрированных оптических систем. - Л.: Машиностроение, 1975. - 272 с.
2. Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV-XIX вв. - М.: Наука, 1983. - 187 с.
3. Ломоносов М.В. Избранные произведения. - М.: Наука, 1986. Т.1 - 586 с.
4. Ортоскопия фотограмметрических объективов. / М.М. Русинов, В.Г. Афремов, А.Ш. Шахвердов и др. - М.: Недра, 1976. - 176 с.
5. Русинов М.М. Композиция оптических систем. - Л.: Машиностроение, 1989. - 383 с.
6. Русинов М.М. Юстировка оптических приборов. - М.: Недра, 1969. - 326 с.



Михаил Михайлович Русинов

Настоящее (второе) издание монографии профессора М. М. Русинова "Композиция нецентрированных оптических систем" осуществлено в связи с 95-летием со дня рождения автора. Ниже воспроизводятся отрывки из статьи о М.М. Русинове, опубликованной десять лет назад, приводятся воспоминания юбиляра, основные даты его жизни и деятельности.

«РУССАРЫ» ПРОФЕССОРА РУСИНОВА

Его родители были типичными представителями русской интеллигенции конца XIX – начала XX веков: отец окончил физико-математическое отделение Петербургского университета, мать к моменту рождения сына уже имела консерваторское образование. Она получила специальность по классу фортепиано у Рубинштейна (композитора). Унаследовав от родителей пристрастие к точным наукам и любовь к музыке, Михаил Михайлович сочиняет ноктюрны и вальсы. Однако музыка в жизни профессора не главная: он – оптик.

Для представления старейшины отечественной прикладной оптики, доктора технических наук М.М. Русинова нельзя обойтись без внушительного перечня его званий и титулов. Он – лауреат Ленинской и четырех (!) Государственных премий СССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, "Лучший изобретатель геодезии и картографии", "Почетный геодезист", "Почетный донор СССР"...

М.М. Русинов – основоположник научной школы, изобретатель и создатель аэрофотосъемочных объективов-широкоугольников. Русиновские объективы "Руссары" (от слов "русский", "Русинов") появились в середине 1930-х годов и произвели настоящую революцию в картографировании земной поверхности. Вместо лоскутного, монтированного из многих фотографий изображения специалисты стали получать снимки с большим углом охвата той или иной территории. Это значительно ускорило и облегчило составление топографических карт.

В 1950-х годах объективами "Руссар-25", "Руссар-26" ... "Руссар-29" была проведена аэрофотосъемка всей территории Советского Союза. Сделано это было не только быстро, но и с небывалой дотоле точностью: масштаб "руссиновской" карты 1 : 100 000. С открытием космической эры "Рус-

сары" поднялись в небесную бездну. В частности, первые изображения нашего "шарика" – матушки Земли были сделаны с их помощью.

Учитель не бывает без учеников. Ученики М.М. Русинова снаряжают в дальние путешествия съёмочные камеры с современными "Руссарами". Они "разглядели" вблизи комету Галлея, получили снимки Фобоса...

– С "Руссаром – 100" вышла заминка, – шутит юбиляр. – Ученики зарезервировали этот объектив за мной. Быть ли ему аэрофотосъёмочным или "навигационным" в дальнем космическом странствии, пока не решено.

М.Русинов – изобретатель по натуре. Многие театралы, пользуясь малогабаритным биноклем, и знать не знают, что в руках – русиновский "Руссар". Никому в голову не придет, что принципиально новую схему ветряного двигателя может создать ученый-оптик. Русинов сделал, а пришедшие затем в лабораторию священники освятили двигатель нового типа как "машину, экологически безвредную"...

А еще М.М. Русинов – морж! В течение долгих лет он был президентом клуба любителей зимнего плавания "Большая Нева". Каждое воскресенье Михаила Михайловича можно встретить у проруби недалеко от Петропавловской крепости.

С днем рождения, профессор! Здоровья и бодрости на долгие годы.

*А. Варфоломеев. "Руссары" профессора Русинова
Газ. "Час пик". 02.02.94*

ИЗ АВТОБИОГРАФИИ

Я родился 11 февраля 1909 г. в Санкт-Петербурге в семье преподавателя научных классов Санкт-Петербургской консерватории Михаила Николаевича Русинова.

Поступив в трудовую школу в 1917 г. и проучившись там три года, я в 1920 году перешел в Ремесленное училище. В этот период времени оно подверглось реорганизации: из него была выделена Профшкола точной механики и оптики (бывшее оптическое отделение училища). В 1920 г. на базе Профшколы был организован Техникум точной механики и оптики, частично укомплектованный бывшими воспитанниками Профшколы. В их числе я также был переведен в Техникум, который и окончил в 1927 г. по оптическому отделению. Таким образом, к моменту окончания Техникума мне было всего 18 лет.

Во время обучения в Техникуме мне по линии производственных мастерских доверялись достаточно ответственные работы по ремонту приборов для различных организаций. В частности, в 1925 – 27 гг. я работал на ремонте микроскопов для Медицинского института, а также участвовал в переделке и выверке аналитических весов первого класса для Главной палаты мер и весов.

Работы в мастерских очень способствовали во всей моей последующей деятельности, позволяя сравнительно легко преодолевать встречающиеся производственные трудности при разработке тех или иных приборов.

По окончании Техникума я поступил на Государственный оптико-механический завод (ГОМЗ) в качестве оптика-конструктора. В этот период времени наша отечественная оптико-механическая промышленность находилась еще в периоде становления: специалистов в области расчета оптических систем почти не было. Поэтому мне пришлось сразу же заниматься такими серьезными работами, как, например, расчетом оптики перископов для подводных лодок. По этим расчетам завод строил перископы, и таким образом, мне представилась возможность быть сразу же в курсе практических результатов моей работы.

В 1928 – 29 гг. я начал заниматься расчетом фотографической оптики – объективами типа Тессар. В этот же период времени я сделал первое изобретение и написал свою первую научную работу «Дифференциальный метод расчета лучей».

В 1929 г. оптико-механические заводы были объединены во Всесоюзный трест оптико-механической промышленности, в связи с этим оптико-конструкторское бюро ГОМЗ'а было переведено в Трест. Тогда же я был назначен заместителем заведующего этим бюро.

В 1930 г. на базе Техникума точной механики и оптики, так же вошедшего в трест, был организован Институт точной механики и оптики. Осенью 1930 г. я был приглашен в Институт для чтения лекций по теории оптических приборов в качестве доцента.

Весной 1931 г. Государственной экзаменационной комиссией при Институте точной механики и оптики в числе ряда других лиц, работавших в области оптико-механической промышленности, мне была присвоена квалификация инженера оптики.

В мае 1931 г. я был приглашен в Ленинградское отделение Научно-исследовательского института, где тогда начинались работы по созданию широкоугольной оптики. Эти работы очень заинтересовали меня и надолго определили поле моей дальнейшей деятельности.

В конце 1931 г. Оптико-конструкторское бюро было передано в Государственный оптический институт. Однако уже в январе 1932 г. я целиком перешел в Институт аэрофотосъемки, а с осени 1932 г. перенес и педагогическую деятельность в Институт инженеров гражданского воздушного флота, оставив Институт точной механики и оптики.

В 1932 г. в Институте аэрофотосъемки мною была разработана оптика для широкополосной насадки к аэрофотоаппаратам, сразу же осуществленная и принятая к эксплуатации. Она не была копированием зарубежного образца даже по идее, и явилась, таким образом, моей первой реализованной творческой работой.

Начатые мною параллельно в институте работы по созданию широкоугольных аэрофотообъективов с полем зрения в 100° успешно развивались. Первый этап этих работ завершился созданием аэрофотообъектива Лиар-6, тогда же принятого к эксплуатации и серийному выпуску. Небезынтересно, что решение задачи создания аэрофотообъективов с полем зрения в 100° считалось тогда зарубежными специалистами (Бердсай – в США, Ашенбренаер – Германия) практически неосуществимыми, по крайней мере, в ближайшее время.

В 1936 г. я выпустил первую книгу – «Оптика аэросъемочных приборов».

В 1935 г. были спроектированы первые образцы аэрофотообъективов Руссар-1. Они были более ортоскопичными, нежели объективы типа Лиар-6. Объективы Руссар-1 были приняты к эксплуатации в 1936 г., а в 1937 г. вся аэросъемочная аппаратура Главного управления геодезии и картографии для картографической аэросъемки была перевооружена объективами

Руссар-1^а. Ряд теоретических работ по оценке качества изображения, выполненных мною к 1938 г., позволили в значительной степени усовершенствовать объективы Руссар-1^а, в части повышения качества изображения: объективы Руссар-19 превосходили по ортоскопии немецкие объективы фирмы Цейсс. Такими улучшенными объективами Руссар-19 перевооружилась как наша, так и импортная аэрофотоаппаратура,

Результатом этих теоретических работ явилось открытие в 1938 г. мною явления аберрационного виньетирования, опровергнувшего закон падения освещенности изображения и открывшего широкие перспективы к дальнейшему развитию полей зрения в широкоугольных аэрофотообъективах.

В том же 1938 г. мною был найден совершенно новый тип объектива, приведший в последующие три года к созданию серии сверхширокоугольных объективов Руссар-21,-22,-23,-24, с полями зрения 120°–130°, удостоенных в 1941 г. Сталинской премии.

В 1938 г. мне без защиты диссертации была присвоена ученая степень кандидата физико-математических наук, а в 1939 г. я был утвержден в ученом звании старшего научного сотрудника.

В 1940 г. я написал и защитил докторскую диссертацию, а в 1941 г. был утвержден в ученой степени доктора технических наук.

С 1935 г. до 1941 г. я работал в ОСТЕХБЮРО НКО, реорганизованного затем в НИИ – 22 НКАП, по линии разработки оптики прицелов для бомбометания. Мною был разработан оптический тренажер, принятый на вооружение в 1941 г.

Аналогичный прибор фирмы Виккерс, при том же размере экрана, требовал двухэтажного помещения против обычной одноэтажной комнаты для тренажера НИИ-22.

В 1939 г. я выпустил вторую книгу – «Оптика приборов для записи колебаний».

В апреле 1942 г., я был переведен из Института аэрофотосъемки в г. Красногорск Московской области на завод п/я 393 НКВ, в качестве заместителя главного конструктора. Здесь я начал работы по увеличению полей зрения в артиллерийских оптических приборах для инструментальной разведки. Однако руководство завода не оказало должной поддержки этим работам, и к началу 1943 г. они фактически были заморожены.

В 1942 г. я был переведен в Московское высшее техническое училище им. Баумана в качестве профессора, а в 1944 г. утвержден в ученом звании профессора.

Во время моего пребывания в Красногорске и Москве я работал по совместительству во Всесоюзном электротехническом институте в качестве консультанта.

В конце 1944 г. я возвратился в Ленинград и начал работать в Северо-Западном аэрогеодезическом предприятии научным руководителем организованной мною оптической лаборатории. Там за период времени с 1944 по 1946 г. мною был разработан стереомультиплекс для обработки снимков, сделанных широкоугольным аэрофотообъективом, и разработана новая серия широкоугольных объективов Руссар-29, -30 с полями зрения в 120° . Они были приняты к эксплуатации и полностью заменили все ранее применявшиеся широкоугольные объективы уже в 1946 г.

Параллельно с этим мною велась разработка контрольно-измерительной аппаратуры необходимой в самой лаборатории, для обеспечения высокого качества выпускаемых объективов: автоколлимационной оптической скамьи, приборов для юстировки аэрофотоаппаратов, автоколлимационных микроскопов центрировки и других приборов.

Небезынтересно, что переданные в 1945 г. заводу Цейсса расчеты и чертежи оптики широкоугольного стереомультиплекса завод не смог реализовать, ввиду недостаточно высокого качества сборки объективов.

В конце 1946 г. я перешел на основную работу в Ленинградский институт точной механики и оптики в качестве профессора, а затем в качестве заведующего кафедрой лабораторно-оптических приборов, оставаясь при этом научным руководителем оптической лаборатории Северо-Западного аэрогеодезического предприятия по совместительству.

В ЛИТМО я возобновил работы по увеличению полей зрения в оптических приборах, начатых мною еще на заводе п/я 393. Некоторые из этих приборов в настоящее время приняты к серийному выпуску.

Май 1949 года

НЕМНОГО О ПРОШЛОМ

Мне довелось столкнуться с Институтом точной механики и оптики как в его исторический, так и в его доисторический период. Это позволяет мне рассказать о его истории глазами очевидца.

У меня сохранились записки курса “Техническая оптика”. Они выполнены в рукописной форме, но переплетены в тетради. На ее заглавной странице написано:

Техническая оптика

Курс V класса Механико-Оптического отделения при Ремесленном училище цесаревича Николая.

*По урокам Н.Б. Завадского
составил Е. Гаврилов 1914 г.*

Мое первое знакомство с Ремесленным училищем произошло еще до Первой мировой войны и было случайным. Тогда наша семья проживала на 6-й Роте Измайловского полка, и меня водили в домовую церковь училища, расположенного на 1-й Роте. Мне запомнилось, что перед входом в церковь стояли шкафы, в которых находились какие-то приборы с серыми трубами, для меня совершенно непонятные.

Мое настоящее знакомство с Ремесленным училищем произошло несколько позже – в 1921 г. Тогда я учился в трудовой школе (в бывшей Екатерининской женской гимназии). Мой отец, ранее преподававший в 12-й гимназии, однажды сказал мне: “Время сейчас сложное, неизвестно, что еще будет впереди, и поэтому было бы неплохо иметь в руках какое-нибудь ремесло”.

Я ничего не имел против. Наоборот, мне всегда было интересно что-нибудь делать рукам. Мы с отцом пришли в Ремесленное училище, в котором одно из отделений возглавлял Норберт Болеславович Завадский. После этой встречи мой отец перешел из трудовой школы на работу в училище.

С этой поры и по сей день я неразрывно связан с Ремесленным училищем, которое сначала было преобразовано в Профшколу, затем – в Техни-

кум, а в 1930 г. – в Институт точной механики и оптики. Это позволяет мне считать себя очевидцем истории института.

На нашей первой встрече Норберт Болеславович сообщил, что Ремесленное училище разделяется и что Механико-оптическое отделение должно переехать в другое помещение. Таким помещением было выбрано здание, в котором находилась бывшая Комиссия погашения государственных долгов и которое располагалось в Демидовом переулке.

Это здание первоначально было построено как долговая тюрьма. Оно было двухэтажным, и первый этаж, выходящий фасадом на канал Грибоедова, был оборудован решетками на окнах. Внутри были сделаны две параллельные лестницы, разделенные друг от друга железными дверьми. Затем это здание было надстроено и в нем и была размещена Комиссия погашения государственных долгов. После Октябрьского переворота Советское правительство отказалось от уплаты царских долгов, и тогда Комиссия была упразднена.

Переезд начался в 1921 г. и временно учебные классы были размещены в помещении бывшей частной гимназии, в доме на углу Московского проспекта и Сенной площади. Небезынтересно, что на этой площади находились четыре больших торговых корпуса, которые после Октябрьского переворота были сломаны.

Перевозка оборудования мастерских затянулась на два года. Оборудование мастерских было устаревшее: большинство токарных станков имело ножной привод, некоторые станки имели треугольные станины; фрезерных станков не было; патроны для закрепления обрабатываемых деталей были или двухулачковые, или восьмивинтовые. Трехулачковые “американские” патроны были лишь на станках учебных мастеров. Тогда даже сверла использовались “перовые”: спиральные “американские” сверла были редкостью.

В качестве измерительного инструмента использовались кронциркули, позволявшие сопоставлять размер обрабатываемой детали с контрольным образцом. Для отделки латунных деталей, которые на открытом воздухе со временем темнели, применялся золотистый лак, который держался на деталях долгие годы.

В мастерских старшего класса училища для привода станков была установлена потолочная трансмиссия, от которой через контрприводы приводились в движение станки. Для закалки инструмента в каждой из мастерских имелся свой небольшой горн.

Моему отцу, как заведующему учебной частью, была предоставлена казенная квартира, и мы тоже должны были переезжать. И тут произошел небольшой казус. Переезд происходил еще в период военного коммунизма

и оказалось, что принадлежавший моей матери рояль является частью квартиры. Ей пришлось объясняться в Совдепе, что она преподает музыку, что рояль является ее рабочим инструментом. В результате ей дали разрешение и все окончилось благополучно, рояль был перевезен.

Хочется сказать несколько слов о Норберте Болеславовиче Завадском – директоре Ремесленного училища. Он, закончив в свое время Университет, поступил в ученики к часовых дел мастеру и, проучившись у него полгода, получил звание подмастерья часовых дел. Получив это звание, он и поступил работать в Ремесленное училище.

Н.Б. Завадский был большим энтузиастом своего дела. Он был большим знатоком как теории, так и практики часового дела, хорошо разбирался в теории и практике работы точных весов. Когда он в последующем читал курс лекций по физике, то он анализировал работу высокоточных весов, опираясь на закономерности теории сопротивления материалов.

Он был склонен и к изобретательству. Так, одним из его изобретений являлось предложение пристроить на некотором расстоянии перед паровозом тележку, которая при столкновении с каким-либо препятствием давала бы сигнал об остановке поезда. Правда, такое предложение не было разработано.

Как уже упоминалось выше, Н.Б. Завадским был прочитан курс по технической оптике, хотя это и не было его прямым интересом. Записки по этому курсу датированы годом раньше выхода из печати книги Н.М. Кислова “Теория оптических инструментов”.

Норберт Болеславович много внимания уделял работе делительных машин, объяснял ученикам работу коррекционной линейки, предназначенной для компенсации ошибок основного винта делительной машины. Им же было создано устройство для шлифовки высокоточных уровней высокой чувствительности, где имелась возможность управления величиной радиуса кривизны ампулы уровня.

Его излюбленным вопросом по геометрии, задававшимся ученикам, был вопрос о двенадцати равенствах для углов, возникающих при пересечении пары параллельных прямых третьей прямой.

Примерно в 1933 г. Ремесленное училище было преобразовано в Профшколу точной механики, оптики и часового производства, а спустя два года на основе этой Профшколы был создан Техникум точной механики и оптики. К этому моменту в число преподавателей вошел профессор Владимир Сергеевич Игнатовский.

По окончании университета В.С. Игнатовский сначала работал за границей – в Германии, на заводах фирм “Карл Цейсс”, “Герц” и “Лейтц”. В то время, задолго до Первой мировой войны, вся передовая оптико-механи-

ческая промышленность была сосредоточена в Германии и, естественно, В.С. Игнатовский был в курсе последних достижений в этой области. Уже тогда, когда он работал на фирме “Лейтц”, им был создан кардиоид-конденсор, широко применявшийся в микроскопии; им был открыт закон косинусов, явившийся распространением условия синусов Аббе на точку изображения, уже не расположенную на оси системы.

Перед Первой мировой войной В.С. Игнатовский переехал во Францию, где принимал участие в организации фирмы “Шнейденр-Крезю”. Там и застала его война.

Союзные державы, воевавшие против Германии, оказались в трудном положении. Поэтому и во Франции, и в Англии начали создавать оптико-механические предприятия, а в России – Государственный оптический завод, в организации которого принимал участие А.Л. Гершун – близкий знакомый В.С. Игнатовского.

После смерти А.Л. Гершуна Владимира Сергеевича пригласили вернуться в Петроград. Он перебрался из Франции через Англию, Норвегию и Швецию и возвратился в Петроград в 1917 г. Вначале, кроме завода, он работал также и в только что организованном Государственном оптическом институте. Однако он не поладил с Д.С. Рождественским и ушел из оптического института. Эта размолвка, возможно, послужила причиной разделения школы Государственного оптического института и школы В.С. Игнатовского – школы Института точной механики и оптики. Тогда же В.С. Игнатовский был избран в члены-корреспонденты Академии наук СССР. Естественно, что его появление в технике было значительным событием.

Я уже говорил о том, что на основе Профшколы точной механики, оптики и часового производства был организован Техникум точной механики и оптики – это произошло в 1923 г. Часть учеников старшего класса Профшколы (в том числе и я) была переведена на нулевой курс техникума.

В том же году в техникум было принято много молодых людей, по каким-либо причинам не завершивших обучения в высших учебных заведениях. Среди них был и Владимир Николаевич Чуриловский, который, по-видимому, из-за своего происхождения был исключен из Института путей сообщения – я помню его еще в форме студента путейского института. Он владел тремя языками и был принят сразу на второй курс Техникума. И вот тогда по техникуму распространилась не то быль, не то сказка о том, что В.С. Игнатовский прочел свою первую лекцию на немецком языке и после ее окончания спросил: “А кто понял?” В ответ поднялся В.Н. Чуриловский и сказал: “Я все понял”.

Здесь следует отметить, что Игнатовский читал лекции быстро, не повторяясь. Он говорил, что его лекции уже дома следует разбирать долж-

ным образом. Поэтому ответ Чуриловского имел более глубокий смысл. Возможно, что с этого момента Чуриловский стал непосредственным учеником Игнатовского и его первым помощником – он начал читать лекции на младших курсах.

Примерно тогда же я, работая в мастерской, я поранил себе глаз (до этого я не знал о своей близорукости) и мне пришлось встретиться с врачом-окулистом (по фамилии Кубли). Это обстоятельство, наряду с общим почитанием В.С. Игнатовского, и определило мое внимание к оптике, мою перспективу дальнейшей учебы.

Я был переведен в группу, специализирующуюся по оптике, и состоявшую всего из шести человек (в том числе был И.А. Турыгин – впоследствии профессор Московского высшего технического училища им. Баумана). Это была третья группа. В первую же группу входило всего трое – Чуриловский, Забабурин и Перфильев. Наши группы занимались по оптике на квартире В.С. Игнатовского, где в первой комнате имелись доска и письменный стол.

Я уже упоминал о том, что Техникум точной механики и оптики начал работать в 1923 г. У меня сохранилась зачетная книжка.

В.С. Игнатовский читал общий курс оплотехники на первом курсе для всех; затем эти лекции были изданы в виде книги. На втором курсе занятия по оплотехнике проводил Андрей Александрович Гершун – сын Александра Львовича. На третьем же курсе занятия с нашей группой проводил В.Н. Чуриловский, который читал лекции очень хорошо.

Нельзя не отметить, что в Техникуме не было никакого оборудования по оптике – даже простого призмного бинокля, что, естественно, создавало большие трудности для слушателей, так как все приходилось воспринимать на бумаге.

Я окончил Техникум в 1927 г. и по его окончании определился на биржу труда, размещавшуюся тогда в здании на Кронверкском проспекте, которое потом, волею судеб, было передано нашему институту.

19 августа 1927 г. я поступил на Государственный оптический завод – в научный отдел завода, возглавляемый В.С. Игнатовским. Там уже с 1925 г. работал В.Н. Чуриловский. Моей первой работой на заводе явилось участие в расчетах оптики перископов для подводных лодок.

В 1928 г. я пытался поступить в университет, но провалился на вступительном экзамене по обществоведению.

Когда в 1930 году на базе Техникума был создан Институт точной механики и оптики, то предполагалось, что оптический факультет возглавит В.С. Игнатовский. Однако он, не испытывая интереса к педагогической работе, отказался от этого, и на должность декана факультета был назна-

чен В.Н. Чуриловский. Он же стал и заведующим кафедрой теории оптических приборов, а мне предложил исполнять обязанности доцента и заместителя декана факультета.

Кафедру технологии обработки оптического стекла возглавил Л.Г. Титов (ранее работавший на заводе в качестве главного инженера), кафедру военных оптических приборов – К.Е. Солодилов (ранее бывший заведующим конструкторским бюро завода). Во главе других кафедр стали С.В. Муратов, В.А. Мурашкинский, Л.Н. Гассовский.

Небезынтересно, что В.Н. Чуриловский и я имели удостоверения лишь об окончании Техникума. Однако в 1931 г. Государственной квалификационной комиссией ЛИТМО ряду специалистов была присвоена квалификация инженера без защиты дипломных проектов, в том числе В.Н. Чуриловскому и мне – квалификация инженера-оптика. Для меня это было хорошим утешением после моего провала при поступлении в университет.

Директором института был назначен А.В. Бахшинов, заведующим учебной частью – Е.Ф. Меркулов, деканом факультета счетно-измерительных приборов – Л.П. Шишелов. В 1930 г. началась надстройка четвертого этажа здания Института.

Отвлекаясь от непосредственной истории института, можно напомнить, что в те годы проходил процесс индустриализации страны, были начаты работы по электрификации, связанные со строительством гидроэлектростанций. Один из сотрудников Гидропроекта Г.И. Будкевич выступил с идеей строительства гидроэлектростанций на малых реках, что потребовало производства топографических съемок сравнительно небольших районов (тогда у нас в стране еще не имелось необходимых для этого топографических карт).

Г.И. Будкевич предложил для получения топографических карт заметить мензельную съемку аэрофотосъемкой. Вместе с тем выполнение аэрофотосъемки с самолета требовало соответствующих широкоугольных фотообъективов. Эта задача и определила многое в моей последующей жизни.