

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АСФЕРИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

© 2011 г. А. Б. Бельский, канд. техн. наук; В. В. Шмыга, канд. техн. наук

Федеральный научно-производственный центр “Красногорский завод им. С.А. Зверева”,  
г. Красногорск, Московская обл.

E-mail: alboricovich@yandex.ru, shmyga@zenit-kmz.ru

Создание современных оптических и оптико-электронных приборов требует применения прогрессивных конструкторских и технологических решений, одним из которых является асферизация оптических поверхностей, которая направлена на достижение предельных характеристик оптических систем. В этой связи необходим комплексный подход не только к задачам проектирования, разработки технологий и методов контроля производства асферических поверхностей, но и технико-экономического обоснования их применения. В статье рассматриваются технико-экономические условия обоснованности асферизации оптических элементов для создания различного класса оптических систем.

*Ключевые слова:* асферическая оптика, технико-экономическое обоснование, смета расходов.

Коды OCIS: 000.4930

*Поступила в редакцию 12.01.2011*

В оптическом приборостроении применение асферической оптики обусловлено, прежде всего, требованиями к качеству получаемого изображения и минимизации массогабаритных параметров оптических приборов, а также улучшения отдельных параметров оптических систем (ОС), таких как относительное отверстие, поле зрения и др.

В литературе [например 1, 2] отмечаются случаи, когда применение асферизации оптических элементов (ОЭ) для достижения требуемого качества изображения целесообразно при любой стоимости их изготовления и сложности технологии, например, для крупногабаритных ОС специального назначения (даже при их единичном производстве). Для крупносерийного производства введение асферических ОЭ экономически оправдано, если стоимость изготовления одной асферической поверхности сопоставима со стоимостью изготовления полутора–двух сферических линз.

В монографии [2], посвященной целиком применению несферических поверхностей в оптике, М.М. Русинов не рассматривает экономический аспект проблемы, однако приводит разнообразные примеры, в которых продемонстрированы решающие аргументы для принятия решения о целесообразности применения

асферики в ОС. Подразумевается, что прежде, чем ввести тот или иной тип асферики в конкретную оптическую схему, необходимо оценить наличие оборудования для изготовления и контроля асферических поверхностей ОЭ. Стоимость такого оборудования в настоящее время может составлять от десятков тысяч до десятка миллионов долларов США.

Действующий в нашей стране ОСТЗ-4918-93 “Детали оптические асферические. Типы” регламентирует не только типы асферических поверхностей и допуски на их геометрические параметры, но и шесть предприятий (Ленинградское оптико-механическое объединение, Государственный институт прикладной оптики (ГИПО), НПО “Оптика”, Белорусское оптико-механическое объединение, Новосибирский приборостроительный завод, Казанский оптико-механический завод), на которых должны размещаться заказы на их изготовление.

В настоящее время процессы автоматизации изготовления асферических ОЭ связываются с методами компьютерного моделирования и ОЭ, и ОС, и технологий их изготовления, но при этом, конструкторские решения не всегда оптимальны по критерию цена–качество. В связи с этим обстоятельством появляются экзотические технические решения, не имеющие под

собой четкого технико-экономического обоснования необходимости реализации такого рода систем. Следует вспомнить опыт великих предшественников, по именам которых и были названы определенные оптические элементы, потому что они вначале обдумывали технологию изготовления асферической поверхности, а уж затем вводили ее в систему.

Например, основная идея профессора И.А. Турыгина при освоении асферической оптики заключалась в комплексном развитии трех научных направлений: расчета ОС прибора, технологии его изготовления и контроля качества как отдельных элементов ОС, так и всего прибора в целом. Это единство расчета, технологии и контроля отражает глубинные связи интеллектуального процесса создания первоклассных оптических приборов.

В своей статье Д.Ю. Гальперн [3] указывает, что применение несферических поверхностей в ОС имеет более чем тысячелетнюю историю при том, что результаты применения несферических поверхностей не всегда убедительны даже с чисто теоретической точки зрения.

С другой стороны, оценка преимуществ применения асферической оптики по сравнению со сферической должна быть увязана с технико-экономическими показателями, т. е. комплексной оценкой стоимости создания ОС, включая затраты на ее проектирование, изготовление и испытания. Отсюда возникает необходимость совершенствования методических подходов, позволяющих уже на ранних стадиях разработки (до разработки конструкторской документации) оценивать целесообразность применения асферизации для конкретной ОС.

К показателям эффективности при создании ОС относят ее оптотехнические, массогабаритные, технологические, производственные (серийные) характеристики, позволяющие на этапе разработки системы оценивать стоимость ее создания.

Стоимость изготовления оптики ( $C_{\Sigma 1}$ ) включает стоимости материала, изготовления детали, технологической оснастки и специального метрологического (контрольно-юстировочного – КЮ) инструмента

$$C_{\Sigma 1} = (C_m + C_p + C_o + C_{ми}),$$

где  $C_m$ ,  $C_p$ ,  $C_o$ ,  $C_{ми}$  – стоимости, соответственно, материала, изготовления (работы), технологической оснастки, метрологического КЮ инструмента, метрологических проверок и испытаний.

Если в ОС применяются несколько оптических элементов ( $n$ ), то получим

$$C_{\Sigma n} = C_m n + C_p n + C_o + C_{ми}.$$

При этом стоимость материалов определяется их изготовителями, а остальные показатели стоимости – изготовителями ОС.

Стоимость разработки конструкторской и технологической документации оценивается следующим выражением:

$$C_{\Sigma 2} = P\alpha,$$

где  $P$  – усредненная трудоемкость разработки конструкторской и технологической документации,  $\alpha$  – средняя (нормированная) стоимость единицы конструкторской и технологической документации для ОС. Тогда общая стоимость разработки и создания системы будет включать в себя

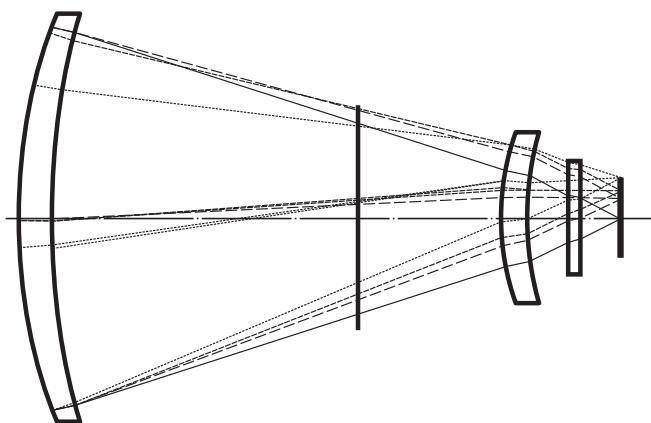
$$C_{\Sigma \Sigma} = (C_{\Sigma n} + C_{\Sigma 2})K,$$

где  $K$  – нормированный (или задаваемый) коэффициент рентабельности, закладываемый в разработку и создание ОС.

Рассмотрим применимость данного подхода на примерах создания двух типов ОС.

В качестве первого примера рассмотрим технико-экономические условия создания рентабельного “коммерческого” двухлинзового объектива из германия для инфракрасной (ИК) области спектра с асферизацией вогнутой поверхности первой линзы. Объектив имеет следующие оптические характеристики: фокусное расстояние  $f' = 50$  мм, относительное отверстие 1:1,11, вершинный отрезок  $2y' = 9,4$  мм, коэффициент передачи модуляции для рабочей длины волны 10,6 мкм (на частоте  $10 \text{ мм}^{-1}$ ) – 0,7 в центре поля и 0,6 – на краю поля зрения. В этом объективе асферизация поверхности 1-й линзы обусловлена необходимостью достижения достаточно высоких оптических характеристик при минимально допустимых массогабаритных параметрах. Оптическая схема объектива представлена на рис. 1, оптическая передаточная функция (ОПФ) – в табл. 1, массогабаритные и стоимостные характеристики ОЭ объектива приведены в табл. 2, смета затрат на производство такого объектива – в табл. 3.

С точки зрения экономических показателей объектив сложно отнести к “коммерческому” в первую очередь из-за высокой стоимости изготовления асферики, которая в 3 раза выше прямых затрат по изготовлению всех деталей



**Рис. 1.** Оптическая схема “коммерческого” двухлинзового объектива из германия для ИК области спектра.

**Таблица 1.** ОПФ двухлинзового объектива из германия для ИК области спектра

Частота, мм <sup>-1</sup>	Точка на оси	Угловое поле 2,7°		Угловое поле 3,7°		Угловое поле 5,4°		Дифракция
		меридиональное сечение	сагиттальное сечение	меридиональное сечение	сагиттальное сечение	меридиональное сечение	сагиттальное сечение	
5	0,91	0,914	0,916	0,915	0,908	0,895	0,837	0,925
10	0,8	0,815	0,824	0,820	0,801	0,768	0,595	0,853
15	0,680	0,711	0,728	0,722	0,691	0,633	0,376	0,781
20	0,572	0,615	0,638	0,630	0,593	0,509	0,234	0,709

**Таблица 2.** Массогабаритные и стоимостные характеристики ОЭ объектива из германия для ИК области спектра

ОЭ	Радиусы кривизны, мм		Толщина линзы, мм	Диаметр линзы, мм	Масса, г	Стоимость плоской заготовки, руб
	$r_1$	$r_2$				
линза 1	150,0	346,77	3,8	47,0	30,26	2450,0
линза 2	44,436	84,789	4,0	22,0	7,43	850,0
Итого	—	—	—	—	37,7	3350,0

**Таблица 3.** Смета затрат на выполнение работ по изготовлению двухлинзового объектива для ИК области спектра из германия (рис. 1)

Этапы работ	Расход на материалы, руб.	Расход на оплату труда, в том числе отчисления на социальное страхование, руб.	Общие производственные расходы (150%), руб.	Итого, руб.
Разработка и согласование технического задания, расчет оптических схем	—	75 261	79 200	154 464
Разработка КД на оптические и механические детали, выпуск разовой спецификации на оптику и механику	—	90 802	95 550	186 351
Согласование КД с технологами	—	51 886	54 600	106 486
Изготовление деталей, сборка и испытания объектива	3343,5	8445,1	9093,7	19 672,4
Стоимость асферизации поверхности 1-й линзы*	—	30 000	—	30 000
Итого	3343,5	246 396,1	238 443,7	496 973,4

**Примечание.** \* Среднее значение (по данным ряда оптических предприятий, в том числе ГИПО, НПО “Оптика”, Лыткаринского завода оптического стекла и Красногорского завода при заказе малой партии).



**Таблица 5.** Смета затрат на выполнение работ по изготовлению объектива специального назначения для ИК области спектра

Этапы работ	Расход на материалы, руб.	Расход на оплату труда, в том числе отчисления на социальное страхование, руб.	Общие производственные расходы (150%), руб.	Итого, руб.
Разработка и согласование технического задания, расчет оптических схем	—	376 200	396 000	772 300
Разработка КД на оптические и механические детали, выпуск разовой спецификации на оптику и механику	—	90 800	95 500	186 300
Согласование КД с технологами	—	51 900	54 600	106 500
Изготовление деталей, сборка и испытания объектива	57 340	60 450	63 620	181 400
Стоимость изготовления асферики*	—	30 000	—	30 000
<b>Итого</b>	<b>57 340</b>	<b>630 820</b>	<b>662 600</b>	<b>1 350 700</b>

**Примечание.** \* Среднее значение (по данным ряда оптических предприятий, в том числе ГИПО, НПО “Оптика”, Лыткаринского завода оптического стекла и Красногорского завода при заказе малой партии).

Таким образом в последнем рассмотренном случае изготовление асферики составляет порядка 3% от общей стоимости работ, т. е. ее использование в данном объективе будет и технически, и экономически оправдано даже при единичном производстве.

В приведенных выше двух характерных примерах проанализирована обоснованность применения асферики на отдельных ОЭ объективов с точки зрения достижения оптимального соотношения цена–качество.

### **Заключение**

Для принятия решения о целесообразности ввода асферической поверхности в ОС необходимо помимо чисто технических аспектов (качество изображения, массогабаритные параме-

тры) учитывать наличие высокорентабельной технологии формообразования асферических поверхностей и контроля их качества, а также размер партии готовых изделий, либо уникальность изделия, стадию производства (опытный образец или крупная серия). То есть необходим технико-экономический анализ возможности и необходимости применения асферики.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Волосов Д.С.* Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1971. 671 с.
2. *Русинов М.М.* Несферические поверхности в оптике. М.: Недра, 1973. 256 с.
3. *Гальперн Д.Ю.* Значение несферических поверхностей в оптических системах // ОМП. 1971. № 7. С. 21–26.