

# Внеосевые параболические зеркала

Из всех типов асферических отражателей наиболее часто в оптических приборах используются именно параболические зеркала. Они лишены сферических aberrаций, поэтому фокусируют параллельный пучок лучей в одной точке или проецируют точечный источник в бесконечность.

Многие оптические системы не требуют использования осесимметричной апертуры. Более того, для некоторых устройств категорически недопустимо затенение траектории лучей центральной частью зеркала. Использование в таких системах внеосевых зеркал вместо осесимметричных обладает несомненными преимуществами.



Внеосевые параболические зеркала в основном применимы в следующих устройствах:

- системы моделирования объекта;
- коллиматоры;
- системы измерения и другие оптические контрольные приборы;
- спектроскопические системы и системы с нарушенным полным внутренним отражением (НПВО, МНПВО);
- радиометры;
- расширители луча;
- системы измерения расхождения лазерных лучей.

## Основные преимущества внеосевых параболических зеркал

Использование приборов с внеосевой оптикой позволяет добиться следующих преимуществ:

- сократить размеры системы;
- сократить массу системы;
- использовать зеркала как клиновидной, так и равнотолщинной конфигурации;
- сократить стоимость системы.

Таким образом, возрастает эффективность и конкурентоспособность приборов.

## Основные параметры внеосевого параболического зеркала

В настоящий момент не существует единой системы обозначений для специфицирования внеосевых параболических зеркал. Различные производители используют различную терминологию для описания одних и тех же параметров изделия. Для вашего удобства мы приводим схематический эскиз внеосевой параболы с используемыми нами условными обозначениями.

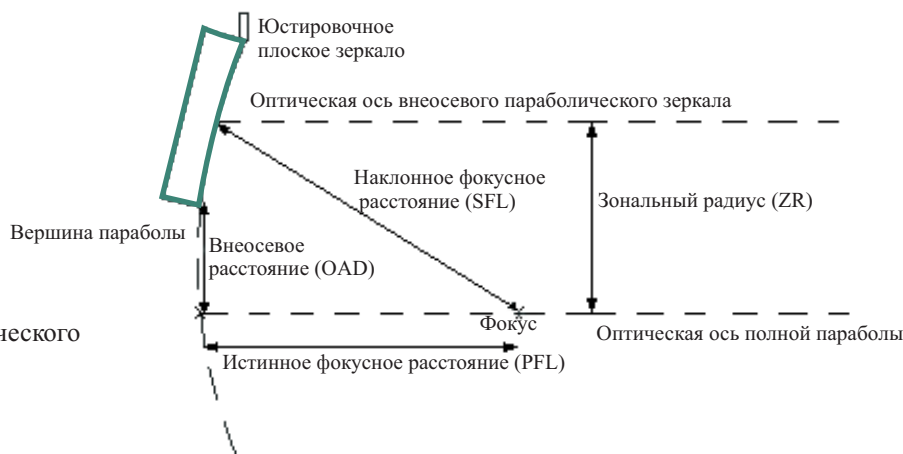


Рис.1 Схема внеосевого параболического зеркала.



**TYDEX**<sup>®</sup>  
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ  
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702  
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

## Пояснения

Истинное фокусное расстояние (**PFL**) - это фокусное расстояние истинной параболы. Форма поверхности параболы определяется как  $Z=R^2/4*PFL$ , где R - это радиальное расстояние от вершины параболы, а Z - сагиттальное отклонение поверхности.

Наклонное фокусное расстояние (**SFL**) - это расстояние между геометрическим центром внеосевого параболического зеркала и фокусом параболы. Эта величина рассчитывается на основании значения истинного фокусного расстояния и, наоборот, PFL можно рассчитать, исходя из значения SFL

Оптическая ось внеосевого параболического зеркала - это линия, параллельная оптической оси истинной параболы и проходящая через геометрический центр оптической поверхности внеосевого параболического зеркала

Зональный радиус (**ZR**) - это расстояние между оптической осью истинной параболы и оптической осью внеосевого параболического зеркала.

Внеосевое расстояние (**OAD**) - это расстояние между оптической осью истинной параболы и внутренним краем внеосевого параболического зеркала. Эта величина рассчитывается, исходя из значения зонального радиуса, и, наоборот, - значение ZR можно рассчитать, исходя из величины OAD.

К внеосевой параболе может быть прикреплено юстировочное плоское зеркало. Оно крепится перпендикулярно к оптической оси истинной параболы и, соответственно, оптической оси внеосевого параболического зеркала. Его наличие упрощает процедуру юстировки внеосевого параболического зеркала в составе оптической системы.

Спецификация внеосевого параболического зеркала включает 5 основных параметров:

- PFL (или SFL) - истинное (или наклонное) фокусное расстояние;
- ZR (или OAD) - зональный радиус (или внеосевое расстояние);
- CA - световой диаметр;
- SA - точность поверхности зеркала;
- SQ - класс чистоты поверхности.

Вспомогательные параметры:

- предпочтительные диаметр и толщина - по умолчанию мы принимаем диаметр и толщину = 1/8 диаметра;
- предпочтительный материал - по умолчанию мы предлагаем оптическое стекло ЛК-7 - российский аналог Pyrex);
- тип покрытия - по умолчанию предлагается алюминий с защитой.

## Основные характеристики производимых нами внеосевых параболических зеркал:

- стандартный материал - ЛК-7; по запросу могут быть использованы другие материалы, например астроситалл (аналог Zerodur), кварцевое стекло или стекло K8 (аналог BK7);
- стандартная точность обработки поверхности составляет: полный размах ошибки (PV) -  $\lambda/8$  на 633 нм, среднеквадратическое отклонение (RMS) -  $\lambda/40$ . Поверхности с большей точностью производятся по запросу;
- стандартное покрытие: Al+SiO<sub>2</sub>; прочие виды металлических покрытий: серебро или золото, а также диэлектрические покрытия наносятся по запросу;



**TYDEX**<sup>®</sup>  
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ  
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702  
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

# Внеосевые параболические зеркала

- внеосевое расстояние составляет до 500 мм и более; как правило, эта величина равна 150-300 мм;
- асферичность может достигать 1000 микрон и более. Как правило, эта величина варьируется от нескольких микрон до 250 микрон;
- фокусное расстояние - от 150 до 12000 мм. Типичная величина - 1000-2000 мм;
- световой диаметр - до 640 мм. Типичная величина - 200-400 мм.

Все эти параметры взаимосвязаны. Так, большее фокусное расстояние позволяет достичь более высокой точности поверхности зеркала SA, а больший зональный радиус ZR, наоборот, приводит к более низкой точности поверхности SA.

## Документация

К каждому изделию прилагается сертификат, в котором указаны результаты тестирования точности поверхности зеркала SA, чистоты поверхности SQ, данные измерений фокусного расстояния (истинного PFL и наклонного SFL) и внеосевого параметра (зонального радиуса ZR, либо внеосевого расстояния OAD - по желанию заказчика), а также геометрические размеры. К сертификату прилагаются: интерферограмма поверхности, вычисленный профиль ошибок поверхности, а также спектр отражения покрытия. Ниже приводятся типичная интерферограмма поверхности, профиль ошибок поверхности и спектр покрытия (Al+SiO) для зеркала со световым диаметром 8" (204 мм), зональным радиусом 7" (179,6 мм) и фокусным расстоянием 40" (1016 мм).



Рис. 2 Типичная интерферограмма внеосевого параболического зеркала.

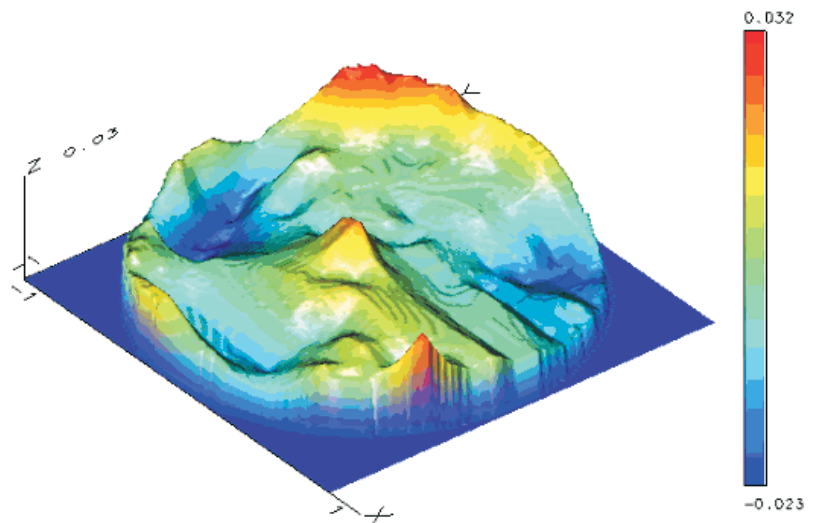


Рис. 3 Реконструкция профиля ошибок поверхности.

Таблица 1 Анализ волнового фронта.

Единицы измерения деформации:	микроны
Длина волны, микроны:	0.633
Опорная поверхность:	сфера
Неучитываемые аберрации:	
Форма зонального распределения:	Полиномы Цернике



**TYDEX**<sup>®</sup>  
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ  
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702  
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

Таблица 2 Параметры регулярных ошибок.

D = -0.000	Lx = 0.000	Ly = -0.000	C = 0.000	RMS(W) = 0.009
A = 0.013	FIA = 41.300	PV = 0.025	RMS(W-A) = 0.007	FA = 0.361
B0 = 0.007		PV = 0.011	RMS(W-Z) = 0.008	FZ = 0.137
B2 = -0.043				
B4 = 0.043				
C = 0.020	FIC = 55.327	PV = 0.013	RMS(W-C) = 0.008	FC = 0.074

Таблица 3 Местные ошибки.

PV = 0.037			RMS(M) = 0.006		
Характеристики волнового фронта					
RMS	MIN	MAX	PV	STRL	STRH
0.009	-0.023	0.032	0.055	0.998	0.999

Где:

D, Lx, Ly и C - стрелка, наклоны по осям и смещение опорной поверхности;

A, FIA - величина и угол разворота астигматизма;

C, FIC - величина и угол разворота комы;

RMS(W) - среднеквадратическое отклонение волнового фронта;

RMS(W-A), RMS(W-C) - среднеквадратические отклонения волнового фронта за вычетом, соответственно, астигматизма и комы;

FA и FC - статистические оценки вклада, соответственно, астигматизма и комы в общую ошибку волнового фронта;

B0, B2, B4 - коэффициенты зональной ошибки (осесимметричных полиномов Цернике);

STRL, STRH - нижняя и верхняя границы числа Штреля;

PV - размах ошибки волнового фронта.

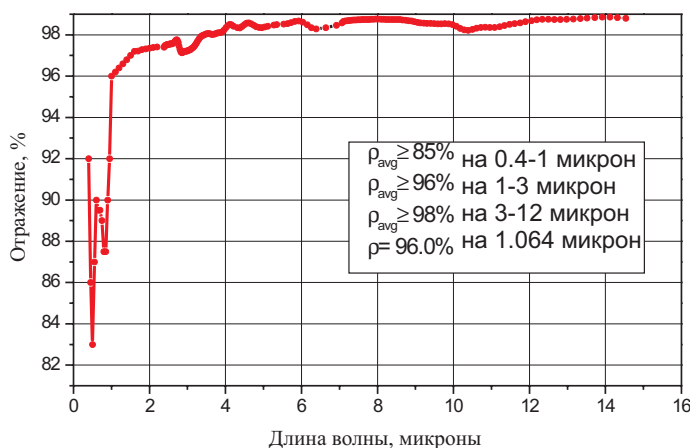


Рис. 4 Типичный спектр отражения для покрытия с защищенным алюминием (Al + SiO).



**TYDEX**<sup>®</sup>  
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ  
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702  
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

# Внеосевые параболические зеркала

## Краткое описание и основные преимущества наших технологий

На нашем производстве применяется технология, разработанная в целях поставки больших объемов недорогих внеосевых параболических зеркал и последующего их использования для нужд оборонной промышленности. Традиционно внеосевые параболические зеркала изготавливаются с помощью полировки и разрезания больших осесимметричных параболических зеркал. Этот метод требует необоснованных затрат, особенно, если нужно изготовить всего 1-2 зеркала. Кроме того, в этом случае устанавливаются жесткие ограничения на сочетание фокуса, диаметра и внеосевого расстояния. Другой традиционный способ изготовления - алмазное точение. Его основными недостатками являются ограниченный набор материалов подложки (обрабатываются только металлы), а также низкие класс чистоты и точность поверхности.

Вместо вышеупомянутых методов производства внеосевых параболических зеркал на нашем производстве внедрена модернизированная, управляемая компьютером технология полировки и локального ретуширования ошибок поверхности. Она сочетает преимущества обычной полировки (гладкая поверхность и возможность использования обычного стекла в качестве материала подложки) и алмазного точения (возможность производить зеркала без полировки полной параболы). Обработка оптической поверхности проходит в несколько этапов (итераций). После каждой итерации производится интерферометрическое измерение формы поверхности, что обеспечивает точное определение характера и расположения имеющихся ошибок поверхности внеосевого параболического зеркала. Затем информация из интерферометра поступает в компьютеризированное устройство управления полировочной машиной. Оно рассчитывает оптимальные траекторию и скорость вращения/перемещения компактной полирующей головки для ретуширования отдельных участков поверхности.

Для выполнения этих работ используется цех площадью 900 кв. метров. Бригада опытных (и терпеливых!) специалистов ретуширует зеркало до безупречного состояния. Обычно выполняется около 10 циклов интерферометрических измерений с последующим ретушированием. Безусловно, сложные зеркала требуют значительно большего числа циклов.

Благодаря уникальной технологии производства, наша фирма может предложить вам точные оптические компоненты по вполне конкурентным ценам.



**TYDEX**<sup>®</sup>  
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ  
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702  
E-mail: [tydex@tydex.ru](mailto:tydex@tydex.ru), URL: <http://www.tydex.ru>