

предназначенный для внутреннего использования на предприятии и позволяющий осуществлять высокопроизводительный контроль формы поверхностей различных оптических деталей в производственных условиях бесконтактным методом с автоматической обработкой результатов измерений.

В данной работе рассматривается интерферометр для контроля крупногабаритных зеркал, который предназначен для оперативного контроля качества поверхности зеркал размером до 160 мм. Область применения интерферометра – проведение измерений контроля качества поверхности в оптических лабораториях, на производственных сборочных участках.

Принципиальная оптическая схема разрабатываемого интерферометра приведена на рис. 2.

Световой пучок от лазера 1 с помощью микрообъектива 2 фокусируется на матовой пластинке 3, расположенной в фокальной плоскости коллиматорного объектива 8. Матовая пластинка 3 непрерывно вращается для уничтожения спекл-структуры изображения.

Параллельный пучок света, вышедший из объектива 8, проходит через эталон 9 и попадает на контролируемую поверхность детали 10, расположенную на юстировочном столике 11. В обратном ходе лучи, отраженные от эталона 9 и контролируемой поверхности 10, возвращаются обратно через коллимирующий объектив 8 и, отразившись от светоделителя 5, формируют интерференционную картину, которая фокусирующим объективом 12 проецируется на светочувствительную площадку фотоприемника 13, оптически сопряженную с плоскостью контролируемого зеркала 10. Поляризатор 4 предназначен для регулировки уровня освещенности изображения на фотоприемнике.

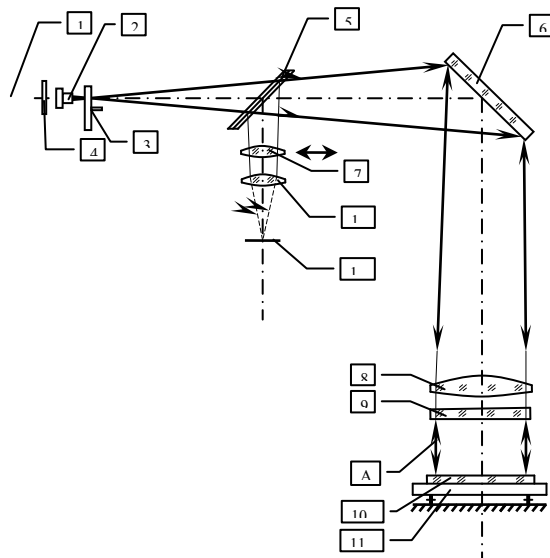


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема интерферометра

Оцифрованное изображение интерференционной картины с цифровой камеры передается на монитор (ПК).

Питание лазера 1 осуществляется от источника 14.

#### Литература

1. В.К. Кирилловский. Оптические измерения. Часть 5. Аберрации и качество изображения. – СПб: СПбГУ ИТМО. 2006.- 107 с.
2. Коломийцев Ю.В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение.- Л., Машиностроение, 1976. – 296 с.
3. Прикладная физическая оптика: Учебник для вузов / И.М. Нагибина, В.А. Москалев, Н.А. Полушкина, В.Л. Рудин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 565 с.

УДК 535.317

### ОПТИЧЕСКИЕ КЛИНОВЫЕ ИМИТАТОРЫ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Артюхина Н.К., Лещинская А.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Оптические клиновые компенсаторы представляют собой устройства, применяемые для сообщения определенной разности хода двум лучам света. Клиновые компенсаторы применяются для измерения и устранения малых смещений или отклонения изображения в оптических системах. Основным принцип работы компенсаторов заключается в возможности введения очень малых разностей хода посредством грубых

перемещений. Наиболее распространенные типы компенсаторов:

- ✓ Качающаяся плоскопараллельная пластинка (смещение луча перпендикулярно оси);
- ✓ Перемещающийся клин (смещение луча перпендикулярно преломляющему ребру);
- ✓ Качающееся зеркало (отклонение луча на двойной угол поворота);
- ✓ Вращающийся клин (изображение вращается по окружности);

✓ Компенсатор из двух клиньев (отклонение луча пропорционально косинусу угла разворота клиньев).

В данной работе представлены результаты модернизации системы, используемой в формирователе входных сигналов аппаратуры для имитации траектории движения точки. Такая модернизация вызвана необходимостью улучшения технологичности конструкции, упрощения и изменения параметров.

Разработана конструкция из пары оптических клиньев для использования в формирователе. Оптическая система формирователя представлена на рисунке 1; она состоит из коллиматора, создающего необходимую цель, зеркал для излома оптической оси и компенсаторов, конструкция которых состоит из двух клиньев с одинаковыми преломляющими углами.

Моделирование оптической систем проведено в программной среде ZEMAX. Модель оптической системы изображена на рисунке 1, где показано  $\frac{3}{4}$  части элементов, для демонстрации угла разворота клиньев. Углы разворота клиньев соответствуют расчетным значениям. Клинья, отклоняющие пучок лучей в плоскости чертежа, развернуты на  $60,36^\circ$  каждый относительно друг друга. Отклоняющие клинья в плоскости Y – на  $48,12^\circ$ .

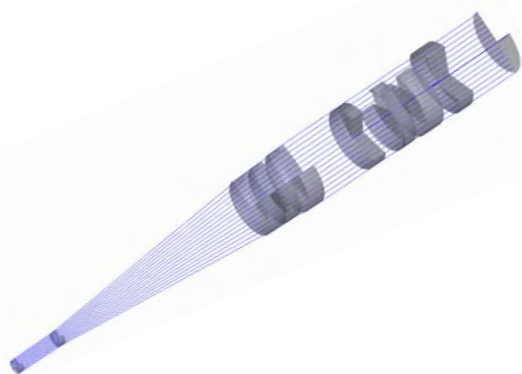


Рис 1. Модель оптической системы, построенная в программной среде ZEMAX

Изучены зависимости изменения положения точки, созданной коллиматором с телескопической насадкой, для расширения до необходимого размера от угла разворота клиньев в паре. Рассмотрены взаимодействие двух пар клиньев с указанием изменяющихся качественных характеристик системы в зависимости от угла разворота клиньев. Проведено исследование влияния использования различных марок стекол на хроматическую aberrацию, возникающую в оптической системе. В данном случае хроматическая aberrация будет представлять разность углов отклонения пучка лучей от крайних длин волн.

Угол отклонения пучка лучей, выходящего из пары клиньев находится по следующей формуле:

$$\varepsilon = 2\omega \cos \varphi = 2(n - 1)\theta \cos \varphi.$$

Проведен анализ 13 марок стекол, и выбрана наиболее подходящая марка: стекло К8. Выявлена зависимость показателя преломления стекол на воздействие хроматической aberrации на систему. График применения различных марок стекол представлен на рисунке 2.

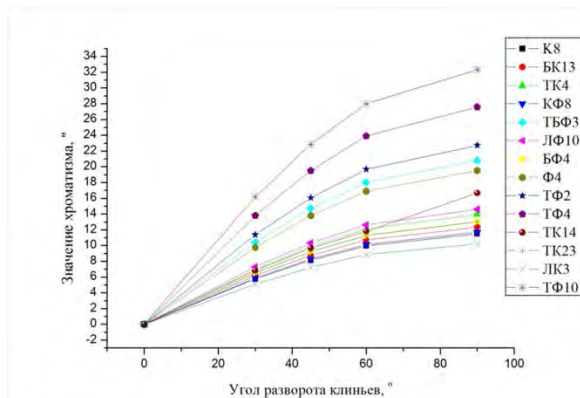


Рис 2. Зависимость хроматизма от угла разворота клиньев

Определен важнейший критерий оценки качества изображения и воздействия хроматизма на систему в целом – диаметр кружка рассеяния.

Для оценки качества изображения рассчитаны функция концентрации энергии, функция рассеяния точки и число Штреля (рисунок 3). Качество изображения данной системы удовлетворяет заданным требованиям. Функция рассеяния точки (ФРТ) имеет один ярко выраженный максимум. Функция рассеяния линии (ФРЛ) в меридиональном и сагиттальном направлениях имеют допустимое расхождение.

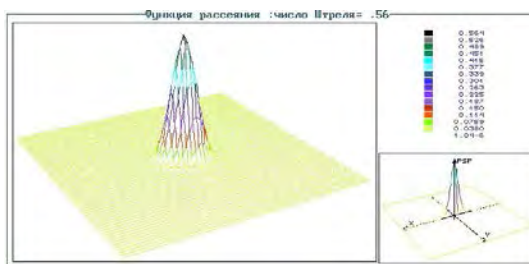


Рис 3. Функция рассеяния точки

Рассчитаны преломляющие углы клиньев и максимальные углы разворота клиньев. Расчет преломляющего угла клиньев состоял из расчета отклонения в горизонтальном направлении, расчета отклонения в вертикальном направлении и расчета чувствительности механизма вращения

при повороте клиньев на  $2^\circ$ , с учетом диаметра клина.

$$l = \frac{2\pi R}{360} * 2, \text{ м.}$$

Результатом данного расчета является вывод о том, что для компенсации ошибки увода оси в призме равной  $43''$  в двух сечениях, необходимо развернуть клинья, с разностью преломляющих углов  $3''$ , на  $42^\circ$  в противоположных направлениях.

Проведено исследование воздействия пары вращающихся клиньев на заклон оптической оси. Призма-ромб БС-0 с двумя независимыми вращающимися клиньями, позволяет компенсировать ошибки, возникающие в призме (рисунок 4).

Были подобраны различные углы клиньев таким образом, чтобы заклон оптической оси составлял  $2''$  при повороте клиньев на  $2^\circ$ .

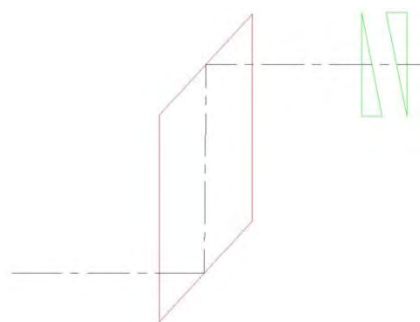


Рис. 4. Система для компенсации увода оси в призме

Данная система рассчитана и проанализирована в программных средах OPAL и ZEMAX. Проведено 3Д моделирование оптической системы и конструкции данной аппаратуры.

УДК 535.317

### ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОЛЛИМАТОРНОГО ПРИЦЕЛА

Артюхина Н.К., Першин Д.И., Аль-Махмуд Шуаиб Хассан

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В настоящее время широкое распространение получили коллиматорные прицелы, используемые при разработке аппаратуры для автоматического стрелкового оружия. Одним из оптических устройств, который получил широкое распространение в настоящее время, является коллиматорный прицел. Прицел – оптическое устройство, предназначенное для наведения оружия на цель при стрельбе в любых условиях освещенности: в дневное время, в сумерках и ночью (вместе с ПНВ). В стрелковом оружии, в зависимости от условий применения, используются различные оптические приспособления.

В данной работе представлена оптическая система для коллиматорного прицела закрытого типа (рис. 1).



Рис. 1. Оптическая схема коллиматорного прицела

Особенностью схемного решения системы является использование полупрозрачной линзы со светоделительным покрытием, установленной под углом к оптической оси. Коллиматор проецирует на линзу прицельную марку, а светоделительное покрытие позволяет одновременно с

прицельной маркой наблюдать через линзу внешние объекты и цели, без искажения и увеличения. Луч света, проходя через линзы, образует световой пучок, в результате чего стрелок и видит «марку».

Для расчета и анализа aberrаций выбрана базовая схема, состоящая из центрированных элементов. Используются следующие условия нормировки для первого параксиального луча:

$$\alpha_1 = 0, \alpha_2 = -1, h_1 = 1.0, f' = 1.0.$$

Методика расчета осуществлялась в два этапа. На этапе габаритного расчета, получены значения конструктивных параметров (радиусы кривизны и расстояния между поверхностями).

На втором этапе для aberrационного расчета использовался пакет прикладных программ (ППП) для проектирования оптических систем OPAL-PC. Ход лучей системы в центрированном варианте дан на рис. 2.

Система рассчитана для относительного отверстия 1:2, величины изображения 0,023 мм.

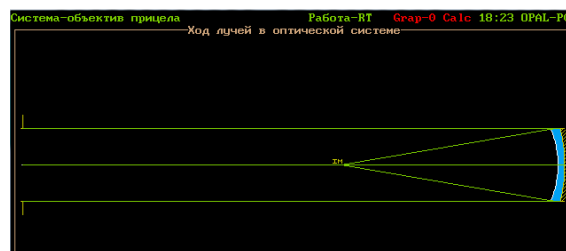


Рис. 2. Ход лучей в оптической схеме