

УДК 681.7.055.24

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТРУБКИ ЗАБЕЛИНА И СПОСОБОВ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ.

Берников М.Д. («Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Научный руководитель – Романова Г.Э.

(«Национальный исследовательский университет ИТМО»)

В работе рассматривается устройство оптической трубки Забелина для определения децентрировки линз на станке с целью проектирования цифрового современного аналога прибора. Для анализа особенностей схемы были выведены соотношения и выполнен анализ достижимой точности децентрировки с учетом различных влияющих факторов. Кроме того, были рассмотрены устройства с аналогичной оптической схемой с целью поиска оптимального пути модификации.

Введение. Трубка Забелина ЮС-13 – это прибор, изобретённый ещё в 1937 году, который используется для определения децентрировок поверхностей линз, линз в оправках или простых объективов. Его особенностью является необходимость работы на станке с патроном, в который вставляется пиноль, сконструированная на задней части трубки. На сегодняшний день данный прибор используется на оптических предприятиях для центрирования линз, в том числе в оправках. При этом оригинальная трубка ЮС-13 на сегодняшний день практически нигде не производится. По этой причине актуально создание современного цифрового аналога для центрирования линз на станке, который сможет заменить и, по возможности, качественно превзойти трубку Забелина.

Основная часть. Трубка Забелина ЮС-13 является прибором для определения децентрировки оптических поверхностей с помощью автоколлимационного метода, при котором анализируется изображение, полученное после отражения от поверхности линзы. Прибор работает с сходящимся (или расходящимся) пучком лучей, а не параллельным, поэтому при поиске аналогов устройства были рассмотрены, помимо различных приборов для определения децентрировок, также и автоколлиматоры.

Трубка Забелина ЮС-13 состоит из нескольких основных частей: осветительная система (лампа, коллиматор, зеркало, щель), подвижный объектив (второе зеркало, неподвижный склеенный объектив, подвижный склеенный объектив), микроскоп (микропроеекционный объектив, сетка, окуляр, дополнительный матовый экран) и пиноль.

Для анализа точности прибора и определения влияния характеристик системы на процесс центрирования была разработана математическая модель упрощённой оптической схемы трубки Забелина в тонких компонентах в среде Mathcad. В ходе работы с моделью удалось выяснить следующие факты:

- На пороговую точность прибора [1] не влияет разрешающая способность глаза оператора.

- Была смоделирована и визуализирована траектория перемещения центра пятна рассеяния при вращении центрирующего патрона с линзой, когда в системе наличествовали децентрировки и наклоны различных элементов: подвижного и микропроеекционного объективов, сетки и зеркала. Из анализа полученных изображений было выяснено, что точность определения децентрировки, при смещениях элементов не более 50 мкм, не уменьшалась.

- Был определён диапазон фокусных расстояний подвижного объектива, при которых возможно при определённых параметрах станка (максимальное удаление линзы от торца трубки Забелина - 300 мм и минимальное - 50 мм) определять децентрировки линз в соответствии с параметрами, принятыми в качестве исходных данных (радиусы от -350 до -20 мм и от 20 до 350 мм; толщины от 2 до 20 мм; показатели преломления от 1,4 до 1,8). Найденный диапазон составляет 30...43 мм, причем при расстояниях $f' = 43 - 69$ мм

становится невозможным определение децентрировки для указанных в исходных данных линз, а при $f' < 29$ мм и $f' > 69$ мм система не дает возможности наводки на автоколлимационные точки поверхности из-за ограниченного диапазон передвижения объектива.

При анализе аналогов трубки Забелина главной задачей стоял поиск возможных путей для модификации оптической схемы прибора. В качестве основных систем для рассмотрения были выбраны автоколлимационные трубки переменного фокусного расстояния с КМОП приёмником от компании MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH [2] и комплексы для автоматической центрировки линз от TriOptics [3]. По итогам анализа существующих систем были выбраны следующие возможные модификации трубки Забелина:

- Замена окуляра с сеткой и визуального способа регистрации на цифровой способ регистрации с возможностью обработки изображения. При этом при применении дополнительных алгоритмов для определения центра пятна рассеяния [4] возможно достижение субпиксельной точности.

- Выбор современного монохроматического компактного источника освещения и упрощение и оптимизация осветительной части. В качестве такого источника может выступать лазерный диод с длиной волны 525 нм.

- Упрощение оптической схемы за счет исключения микропроекторного объектива, необходимого при визуальном наблюдении пятна.

Выводы. Анализ оптической схемы классической автоколлимационной трубки Забелина показал, что на точность определения децентрировки линзы с помощью прибора влияет цена деления сетки, на которой наблюдается изображение, а также точность определения центра пятна рассеяния при его биении. По этой причине главной элементом модификации трубки Забелина должны являться замена окуляра с сеткой на матричный приёмник и разработка алгоритма для определения энергетического центра пятна рассеяния.

Список литературы.

1. Ельников Н.Т., Дитев А.Ф., Юрусов И.К., Сборка и юстировка оптико - механических приборов. М.: Машиностроение, 1974. 348 с.

2. Autocollimators. Focusable - With CCD-Camera Mount : brochure [электронный ресурс] / MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH / URL: https://www.haagstreit.com/fileadmin/Moeller_wedel_optical/Brochures/Visual_Autocollimators/Visual_Autocollimators_-_Adjustable_Focus_Setting_-_with_CCD_-_Camera_Mount.pdf (дата обращения 25.01.2023).

3. Measurement of the positions of centres of curvature of optical surfaces of a single or multi- lens optical system : пат. US9863844B2 США : МПК G 01 М 11/08 / Naoji OYA, Aiko Ruprecht, Eugen Dumitrescu; заявитель Trioptics GmbH; заявл. 2017.08.10; опубл. 2017.11.23 - 21 с.; ил.

4. Measurement of the positions of centres of curvature of optical surfaces of a single or multi- lens optical system : пат. US9863844B2 США : МПК G 01 М 11/08 / Naoji OYA, Aiko Ruprecht, Eugen Dumitrescu; заявитель Trioptics GmbH; заявл. 2017.08.10; опубл. 2017.11.23 - 21 с.; ил.