

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАКСИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ОДИНОЧНОЙ ЛИНЗЫ НА ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФИЗО**

Берников М.Д. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Романова Г.Э.  
(ИТМО)

**Введение.** Интерферометрические приборы широко применяются для выполнения высокоточных измерений. В частности, интерферометр Физо с набором объективов позволяет измерять радиусы поверхностей с точностью вплоть до  $\pm 1$  мкм, а также контролировать качество изготовления поверхностей [1]. Помимо измерения радиусов, на интерферометре Физо возможно проводить измерения положения автоколлимационных точек, которые могут быть полезны для анализа характеристик линз и оптических систем [2]. Однако, при таких измерениях возникает проблема с анализом интерферограммы. Из-за наличия аберраций становится невозможным прямо измерить параксиальное значение характеристики, как это происходит с радиусами. При обработке интерферограммы стандартными алгоритмами, используемыми в соответствующем программном обеспечении, в качестве искомого отрезка вычисляется расстояние до плоскости, где отклонение волнового фронта минимально, которое отличается от искомого параксиального значения. Для демонстрации данной проблемы проведено моделирование в программе Zemax OpticStudio, а для её решения рассмотрены два различных подхода.

**Основная часть.** Для моделирования в Zemax OpticStudio рассмотрим простую плоско-выпуклую линзу ( $R = -100$  мм,  $d = 10$  мм, стекло К8, отн. отв. 1:2) на длине волны 587,6 нм. Интерферограмма поверхности будет представлять собой стандартные ровные полосы. Если мы наведёмся в автоколлимационную точку выпуклой поверхности, то получим интерферограмму, которую в реальных условиях невозможно будет обработать корректно из-за ограниченной разрешающей способности приемника или монитора. Все интерференционные полосы на периферии превратятся в серый фон или возникнет муаровый эффект. Проблему на практике можно решить уменьшением относительного отверстия, например до 1:5 с помощью уменьшения размера апертуры. В таком случае интерферограмма при обработке в программе анализа выдаст отклонение от эталонного волнового фронта в  $N + \Delta N = 1,4$  кольца Ньютона. При этом  $N$  не равно 0, и понять, что именно в данном положении объектива интерферометра мы получили требуемое параксиальное значение, не представляется возможным. Вместо этого программа приведет нас к положению, когда  $N = 0$ , а  $\Delta N = 0,3573$ . Разница между параксиальным (59,352 мм) и измеренным (59,268 мм) расстоянием до автоколлимационной точки составит 84 мкм. Значительная ошибка для, например, метода измерения показателя преломления линзы [2].

В работе предлагаются два метода для решения проблемы вычисления параксиальной характеристики.

Первый метод заключается в анализе интерферограмм с последующим извлечением карты волнового фронта. Для определения положения параксиального значения необходимо наблюдать за изменением знака полученной поверхности. Так, в положении  $N = 0$ , которое рассматривалось ранее, поверхность карты волнового фронта будет иметь несколько точек экстремума. При приближении к параксиальному положению, 'пик' будет уменьшаться, пока в определенной точке перегибы не исчезнут полностью. Именно впервые обнаруженное отсутствие перегибов и будет являться искомым параксиальным положением, так как последующее отдаление от найденной позиции также не будет иметь точек перегиба и будет отличаться по форме от найденного волнового фронта только повышенной кривизной.

Второй метод основан на использовании фрагментов алгоритма кольцевой субапертурной сшивки интерферограмм, который позволяет по серии интерферограмм измерять профиль асферических поверхностей [3]. Аберрационный волновой фронт может

быть подобен отраженному от асферической поверхности волновому фронту, что позволяет нам использовать предложенный алгоритм для их анализа. В методе анализируются кольцевые зоны волнового фронта, которые сшивкой объединяются в поверхность. Идея заключается в анализе нескольких кольцевых интерферограмм, из которых извлекаются карты волнового фронта. Так как абберационный волновой фронт может быть описан коэффициентами Цернике, то возникает возможность восстановить форму поверхности целиком путем интерполяции. Запоминая положение, на котором была получена часть карты, можно определить разницу до минимальной точки на карте волнового фронта. Полученная разница позволит найти искомое параксиальное положение.

**Выводы.** В работе продемонстрирована проблема измерения параксиальных характеристик линз на интерферометре Физо: анализ интерферограммы определяет положение наименьших аббераций, а не искомое параксиальное значение, что может вносить значительную ошибку при измерениях. В работе выполнен анализ предложенных двух подходов решения проблемы. Первый основан на анализе изменения знака волнового фронта и поиске момента исчезновения точек перегиба на карте волнового фронта интерферограммы. Второй использует подход кольцевой субапертурной сшивки для анализа карт волновых фронтов кольцевой интерферограммы и интерполяции волнового фронта для определения параксиального положения.

#### **Список использованных источников:**

1. Huang G., Cui C., Lei X., Li Q., Yan S., Li X., Wang G. A Review of Optical Interferometry for High-Precision Length Measurement // *Micromachines*. - 2025. – Vol. 16. – P. 6. <https://doi.org/10.3390/mi16010006>
2. G. Romanova, M. Bernikov, Su G. The method for inspection the characteristics of an optical lens based on a series of interferometric measurements // *Proceedings of SPIE*. - 2025. - Vol. 13720. - Pp. 1372014. <https://doi.org/10.1117/12.3073648>
3. Yongfu Wen, Haobo Cheng, Hon-Yuen Tam, and Dongmei Zhou. Modified stitching algorithm for annular subaperture stitching interferometry for aspheric surfaces // *Appl. Opt.* - 2025. - Vol. 52. - Pp. 5686-5694. <https://doi.org/10.1364/AO.52.005686>