

Методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стекол, на основе использования аттестованных отражательных амплитудных синтезированных голограмм в качестве оптических образцов

В. И. Курт, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. И. Садрутдинов, Е. В. Яковлев

АО «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики»,
Казань, Россия

В докладе представлена методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей линз и зеркал на основе использования синтезированных голограмм (СГ) в качестве оптических образцов. Показано, что в данном случае применение амплитудных отражательных СГ позволяет изготавливать их с предельно высокой точностью.

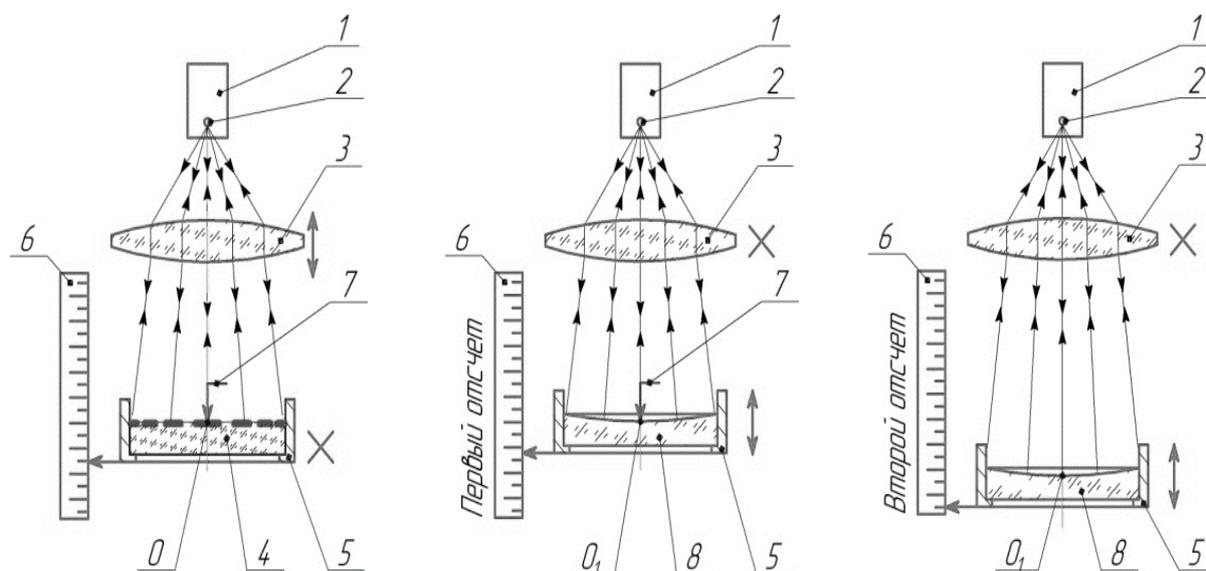
Ключевые слова: радиусы кривизны сферических поверхностей, синтезированная отражательная амплитудная голограмма, кольцевая дифракционная структура, основные пробные стекла, общие и местные дефекты оптической поверхности, подложка голограммы.

Цитирование: Курт, В. И. Методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стекол, на основе использования аттестованных отражательных амплитудных синтезированных голограмм в качестве оптических образцов / В. И. Курт, А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. И. Садрутдинов, Е. В. Яковлев // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 149–152.

В современном оптическом производстве используется множество традиционных методов и средств измерений радиусов кривизны и формы (N , ΔN) сферических поверхностей. Их можно разделить на две группы: контактные (рабочие пробные стёкла и профилометры) и бесконтактные (лазерные дальнометры и интерферометры). Общим их недостатком, как правило, являются трудности поверки и калибровки. Так, например, многие предприятия имеют большой накопленный за долгие годы производственной деятельности арсенал сферических основных пробных стёкол (ОПС), но не имеют практической возможности выполнять требования ГОСТ по их регулярной (с периодичностью 5 лет) аттестации [1].

В докладе подробно излагается методика измерений радиусов кривизны и формы сферических поверхностей, основанная на использовании осевых СГ в качестве оптических образцов [2–4].

На рис. 1 приведены условно основные оптические узлы и компоненты измерительной установки и их взаимодействие в процессе выполнения трёх основных этапов процедуры измерения радиуса кривизны вогнутой сферической поверхности контролируемой оптической детали 8.



а) в юстировочный узел установлена СГ, формирующая сходящийся сферический волновой фронт

б) в юстировочный узел установлена контролируемая деталь

в) контролируемая деталь в положении наилучшей установки (автоколлимация)

1 – контрольный прибор, 2 – монохроматический точечный источник света, 3 – дискретно перестраиваемый (сменный) автоколлиматор, 4 – образцовый оптический элемент в виде отражательной СГ, 5 – юстировочный узел, 6 – измеритель линейных перемещений, 7 – чувствительный щуп, 8 – контролируемая оптическая деталь, O – центр СГ (оптический центр образцового оптического элемента 4), O_1 – геометрический центр рабочей поверхности контролируемой оптической детали 8

Примечание: символ « \times » означает фиксированное положение юстировочного узла 5 или автоколлиматора 3, символ « \updownarrow » означает возможность перемещения автоколлиматора 3 или узла 5 вдоль оптической оси

Рис. 1. Упрощённая принципиальная оптическая схема устройства для измерения радиусов кривизны сферических поверхностей

На первом этапе производится настройка схемы с целью достижения автоколлимации путём перемещения автоколлиматора 3 при фиксированном положении юстировочного узла 5 с установленной в нём образцовой отражательной СГ 4 (рис. 1а).

В контрольном приборе 1 получается автоколлимационное изображение монохроматического точечного источника 2 с помощью образцовой отражательной СГ 4, формирующей сходящийся сферический волновой фронт.

На втором этапе чувствительный щуп 7 прикасается к центру O отражательной СГ 4, фиксируя в пространстве положение центра O . Затем СГ 4 удаляется из юстировочного узла 5, а в узел 5 устанавливается контролируемая оптическая деталь 8, центр которой O_1 приводится в соприкосновение со щупом 7, и снимается первый отсчёт по показаниям измерителя линейных перемещений 6 (рис. 1б).

На третьем этапе получается автоколлимация от вогнутой сферической поверхности контролируемой оптической детали 8 путём соответствующего перемещения узла 5 вдоль оптической оси автоколлиматора 3, и снимается второй отсчёт (рис. 1в).

При этом разность между вторым и первым отсчётами даёт величину и знак отступления фактического радиуса кривизны вогнутой сферической поверхности контролируемой оптической детали δ от его номинального значения. На рис. 1 видно, что в данном случае радиус кривизны вогнутой сферической поверхности контролируемой оптической детали δ больше своего номинального значения.

Аналогично изложенному осуществляется измерение радиусов кривизны выпуклых сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стёкол.

Показано, что в данном случае применение амплитудных отражательных СГ позволяет изготавливать их с предельно высокой точностью за счёт исключения влияния оптических дефектов материала подложки, а также существенного снижения зависимости результатов измерений от углов падения лучей на СГ. Здесь имеют место только два источника погрешностей: общие и местные дефекты плоской рабочей поверхности подложки СГ (N , ΔN) и погрешности нанесения на эту поверхность штрихов рассчитанной кольцевой дифракционной структуры СГ. Выявление этих погрешностей возможно с помощью аттестованного плоского пробного стекла или интерферометра [5] и известных поверенных средств линейных измерений. Следует добавить, что с помощью соответствующей пары ОПС достаточно высокого класса сопряжения также можно выявить дефекты аттестуемой СГ путём измерения с её помощью радиусов кривизны выпуклого и вогнутого сферических ОПС данного номинала. Их различие (если таковое обнаруживается) обусловлено только погрешностями расчёта и изготовления СГ, так как предельно высокое сопряжение пары ОПС гарантирует полное равенство их радиусов кривизны и строгую сферичность формы их рабочих поверхностей [6–8]. Также в докладе оценивается относительный вклад и других источников погрешностей измерений радиусов кривизны вогнутых и выпуклых сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе измерителя линейных перемещений и системы настройки автоколлимационного хода лучей.

В докладе утверждается, что изложенная методика измерений радиусов кривизны сферических поверхностей линз и зеркал, в том числе пробных стёкол, обеспечивает потребности современного отечественного оптического производства по точности, надежности и производительности измерений. Практическую реализацию этой методики целесообразно осуществить путём создания специализированной поверочной установки с комплектом эталонных наборов, включающих паспортизованные осевые СГ и пары ОПС, соответствующих номинальных радиусов [3, 9]. Важно отметить, что размеры реализующей данную методику измерительной установки не зависят от диапазона измеряемых радиусов кривизны, так как непосредственно производится измерение не радиуса кривизны, а его отклонение от номинала.

Список источников

- [1] ГОСТ 2786–82. Стекла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей. Технические условия. — Введ. 01.01.1984. — М. : Издательство стандартов, 1982.

- [2] **Лукин, А. В.** Основные пробные стекла: две новые и актуальные возможности их реализации в оптических технологиях / А. В. Лукин, А. Н. Мельников // Фотоника. — 2020. — Том 14. — № 1. — С. 68–74.
- [3] **Лукин, А. В.** Объединенные метрологические возможности осевых синтезированных голограмм и эталонных пробных стекол для поверки и калибровки средств измерений / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, В. И. Курт // НОЛОЕХРО 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 13–14.
- [4] **Патент № 2746940 РФ.** Голографическое устройство для измерения радиусов кривизны сферических поверхностей / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, В. И. Курт, А. И. Садрутдинов. — Оpubл. 22.04.2021.
- [5] **ГОСТ Р 8.744–2011 / ISO / TR 14999–3:2005.** Государственная система обеспечения единства измерений. Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 3. Калибровка и аттестация интерферометров, методика измерений оптических волновых фронтов. — Введ. 01.03.2013. — М. : Стандартинформ, 2013.
- [6] **Максутов, Д. Д.** Изготовление и исследование астрономической оптики / Д. Д. Максутов. — М. : Наука, 1984. — 272 с. — С. 16–18.
- [7] **Зубаков, В. Г.** Технология оптических деталей: Учебник для студентов оптических специальностей ВУЗов / В. Г. Зубаков, М. Н. Семибратов, С. К. Штандель / Под ред. М. Н. Семибратова. — М. : Машиностроение, 1985. — 368 с.
- [8] **Шуберт, И.** Справочник по точной оптике / И. Шуберт. — Райне: ИМПЕКС Хай-Тек ГмбХ, 2014. — 265 с.
- [9] **Лукин, А. В.** Метрологическая поверочная установка на основе использования комплекта эталонных наборов в составе осевой синтезированной голограммы и пары основных пробных стекол с предельно высоким сопряжением / А. В. Лукин, В. И. Курт, А. Н. Мельников, А. И. Садрутдинов, А. А. Янковский // Сб. трудов XIV Международной конференции «Прикладная оптика–2020» Международного оптического конгресса «Оптика–XXI век», г. Санкт-Петербург, 15–18 декабря 2020 г. Т. 2. Секция 5. Метрология, стенды. — СПб. : Оптическое общество им. Д. С. Рождественского, 2020. — С. 42–46.