

## Современное состояние методов прецизионного контроля сферических поверхностей. Основные проблемы и пути их решения

Ю. С. Митрофанова<sup>1,2</sup>, С. Б. Одинокоев<sup>1</sup>, Б. Н. Сенник<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>2</sup> ПАО «Красногорский завод имени С. А. Зверева», Красногорск, Россия

В докладе проведён аналитический обзор существующих методов и оборудования в мировой практике прецизионного контроля сферических оптических поверхностей, с краткими выводами. Отражены основные тенденции в создании оптических трактов для оптико-электронных приборов и комплексов, которые напрямую влияют на решение метрологических вопросов, связанных с аттестацией сферических оптических элементов. В докладе также отражены основные проблемные вопросы, связанные с контролем сферических поверхностей, отсутствием нормативно-технической базы, необходимой для сертификации методик и приборов в рамках Российской Федерации.

*Ключевые слова:* прецизионный контроль, оптические поверхности, эталон сферы, интерферометрия.

*Цитирование:* **Корольков, В. П.** Современное состояние методов прецизионного контроля сферических поверхностей. Основные проблемы и пути их решения / Ю. С. Митрофанова, С. Б. Одинокоев, Б. Н. Сенник // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 65–67.

В последние годы в развитии оптико-электронного приборостроения, в частности, в создании оптических трактов, наметились две устойчивые тенденции.

Во-первых, в связи с постоянным улучшением технических характеристик приёмных устройств оптико-электронных приборов и программных продуктов цифровой обработки изображения, требования к точности изготовления оптических поверхностей и элементов постоянно повышаются.

Во-вторых, существует стабильная тенденция к уменьшению массогабаритных параметров приборов, геометрических параметров оптических элементов в оптических трактах. В целом ряде случаев ситуация обратная. Например, для создания крупногабаритных телескопов различного назначения требуются оптические элементы с геометрическими параметрами в несколько метров.

С учётом вышеизложенного, можно констатировать следующее: требуется максимальное повышение точности измерения оптических поверхностей, в частности, сферических, произвольных геометрических параметров, с архивацией результатов их аттестации.

На сегодняшний день в Российской Федерации единственным легитимным методом контроля качества сферических поверхностей является метод, основанный на использовании пробных стёкол, в соответствии с ГОСТ 2786-82 «Стёкла пробные для проверки радиусов и формы сферических поверхностей. Технические условия».

К сожалению, данный метод контроля во многом не устраивает производителей прецизионной оптики по целому ряду причин.

Во-первых, необходимость наличия большого архива ОПС, регулярного его обновления и переаттестации, изготовление КПС, РПС по классическим технологиям с последующей аттестацией, крайне экономически невыгодно.

Во-вторых, ограниченность по технологическим соображениям диаметров ОПС, КПС, РПС (от 3 мм до 130 мм) в целом ряде случаев осложняет их использование.

В-третьих, низкая точность и субъективность визуального метода контроля.

В-четвёртых, необходимость контакта при проведении измерений не исключает вероятность повреждения оптической измеряемой поверхности.

Несмотря на серьёзные достижения в области разработки и промышленного использования различных типов и моделей интерферометров для бесконтактного контроля качества оптических поверхностей, существуют много нерешённых вопросов.

А именно, существует государственный стандарт, регламентирующий официальное использование интерферометров в качестве метрологического оборудования для аттестации оптических поверхностей, но до настоящего времени интерферометры не введены в Государственный реестр средств измерения по причине отсутствия эталонных сфер. Исключением из данного факта является получение фирмой ООО «Опто-ТЛ» сертификата на собственный интерферометр OptoTl 60/125 по приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2375 от 31.12.2020.

В целом ряде случаев, невозможно:

– Произвести прецизионные измерения фактических радиусов кривизны измеряемых деталей, ввиду отсутствия на сегодняшний день внесённых в Государственный реестр СИ измерительных линеек, типа Renishow.

– Существует определённый интервал в общем диапазоне радиусов кривизны, для которых невозможно создать опорный волновой фронт с использованием эталонных объективов (критичными радиусами являются выпуклые поверхности больших радиусов кривизны).

– Интерферометры, с полным набором эталонных объективов — весьма дорогостоящая вещь для любого предприятия.

– Постоянное увеличение доли оптических элементов с минимальными геометрическими параметрами (микрооптика) в общем объёме выпускаемых оптических элементов в Мире требуют создания специального нового модельного ряда интерферометров под вышеуказанные задачи.

– До настоящего времени, как правило, интерферометры для промышленного применения разрабатываются и производятся с учётом использования оптической схемы Физо, по целому ряду преимуществ, в отличие от интерферометров, построенных по оптической схеме Майкельсона. Но схема Физо имеет ограничение в измерении деталей с диафрагменным числом (отношение радиуса кривизны к диаметру измеряемой детали) меньше 0,5.

– Метод «сшивки» интерферограмм, позволяющий контролировать детали по всему световому диаметру (в случае, когда диафрагменное число меньше 0,5) не снижающий точность измерения, в настоящее время не обеспечивает корректных измерений, в том числе сферических поверхностей.

На сегодняшний день все вышеобозначенные задачи, и технические, и экономические, требуют решения.