

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ / OPTICAL AND OPTOELECTRONIC DEVICES AND COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.14>

КОНТРОЛЬ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТРАЖАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
УСТАНОВКОЙ, ПОСТРОЕННОЙ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФИЗО

Научная статья

Майоров Е.Е.^{1,*}, Арефьев А.В.², Пушкина В.П.³, Курлов В.В.⁴, Гулиев Р.Б.⁵, Таюрская И.С.⁶

¹ ORCID : 0000-0002-7634-1771;

² ORCID : 0000-0002-2860-790X;

³ ORCID : 0000-0003-1617-3937;

⁴ ORCID : 0000-0002-0463-5578;

⁵ ORCID : 0000-0002-2812-1774;

⁶ ORCID : 0000-0002-8795-5672;

^{1,2,3,4} Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁵ Университет при Межпарламентской Ассамблее ЕврАзЭС, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁶ Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (majorov_ee[at]mail.ru)

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы контроля плоских поверхностей отражателей на основе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ экспериментальной установкой, построенной на базе интерферометра Физо. В настоящее время оптическое приборостроение большое внимание уделяется оптической компонентной базе для совершенствования оптических и оптико-электронных приборов, поэтому представленная работа перспективна и актуальна. В работе приведены оптическая схема, внешний вид и технико-эксплуатационные характеристики установки. Получены данные о поверхностях плоских отражателей разных геометрических форм. Проанализированы интерферограммы оптических поверхностей и исследованы представленные образцы в поперечном и продольном направлениях.

Ключевые слова: плоская поверхность, отражатель, интерферометр Физо, размах, отклонение, интерферограмма.

CONTROL OF A $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ FLAT SURFACE REFLECTOR WITH A SYSTEM DESIGNED ON THE
BASIS OF A FIZEAU INTERFEROMETER

Research article

Maivorov Y.Y.^{1,*}, Arefev A.V.², Pushkina V.P.³, Kurlov V.V.⁴, Guliev R.B.⁵, Tayurskaya I.S.⁶

¹ ORCID : 0000-0002-7634-1771;

² ORCID : 0000-0002-2860-790X;

³ ORCID : 0000-0003-1617-3937;

⁴ ORCID : 0000-0002-0463-5578;

⁵ ORCID : 0000-0002-2812-1774;

⁶ ORCID : 0000-0002-8795-5672;

^{1,2,3,4} Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁵ University at the inter-parliamentary Assembly of EurAsEC, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁶ Saint-Petersburg university of management technologies and economics, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (majorov_ee[at]mail.ru)

Abstract

The work considers the control of flat surfaces of reflectors based on $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ by experimental setup based on Fizeau interferometer. At present, much attention is paid to optical components for the improvement of optical and optoelectronic devices, so the presented paper is promising and relevant. The article presents an optical scheme, appearance and technical and operational characteristics of the unit. Data on surfaces of flat reflectors of different geometric shapes are obtained. The interferograms of optical surfaces are analysed, and the presented samples are examined in transverse and longitudinal directions.

Keywords: flat surface, reflector, Fizeau interferometer, spread, deflection, interferogram.

Введение

В настоящее время оптическое приборостроение заинтересовано в создании современных оптических и оптико-электронных приборах и комплексах, удовлетворяющих новым вызовам в мировой оптотехнической промышленности [1], [3].

Разработчики прикладывают максимальные усилия для того, чтобы вывести на новый уровень технические характеристики оптотехнических средств, в частности, увеличить точность измерений, расширить диапазон измерений, сделать их компактными и удобными в эксплуатации [2], [6].

Особое внимание уделяется оптической компонентной базе этих приборов и комплексов. Оптические предприятия и объединения применяют механические, химические, а также оптические технологии для получения

высококачественных оптических компонентов, деталей, покрытий, которые используются в выпускаемой продукции. Улучшение конструкции оптических и оптико-электронных приборов решает проблему функциональности, которая является основным показателем качества продукции [4], [8].

На сегодняшний день в оптическом приборостроении плоские отражатели на основе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ изготавливаются для оптических систем приборов и комплексов различного назначения. Они применяются в колориметрических приборах с однополосной и двухполосной интегрирующей сферах, рефрактометрических приборах в качестве отражательных зеркал, интерференционных приборах где необходимы опорные отражатели и т.д. [5], [9].

Для измерений оптических плоских поверхностей используют оптико-электронные комплексы на основе интерферометра Физо. Интерферометр Физо – прибор, в котором появляется интерференция между двумя отражающими поверхностями.

Научно-техническая литература подчеркивает, что выявление плоскостности поверхностей можно проводить с точностью $1/20 \lambda \dots 1/30 \lambda$ на интерферометре Физо [7], [10].

Поэтому может представлять интерес исследование плоских отражателей на основе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$. В связи с разработкой большого числа различных оптических деталей для высокоточных оптических приборов и систем важное значение приобретает рассмотрение вопросов контроля качества оптических поверхностей.

Целью работы явилось исследование плоской поверхности отражателя на основе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ экспериментальной установкой, построенной на базе интерферометра Физо.

Методы и принципы исследования

2.1 Постановка задачи

Для высокоточных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов отражатели (зеркальные и матовые) являются одними из основных оптических элементов. И от того, какая плоскостность оптической поверхности отражателя зависят достоверность, информативность и точность измерений.

В работе необходимо провести контроль поверхности плоских отражателей разных геометрических форм (прямоугольные, круглые и трапециевидные). Проанализировать интерферограммы оптических поверхностей. Исследовать представленные образцы в поперечном и продольном направлениях. Выявить деформационную составляющую и дать оценку качеству изготовленных поверхностей плоских отражателей.

2.2 Объекты и метод исследований

В качестве объектов исследования были плоские отражатели разных геометрических форм с одинаковой толщиной $s = 0,15$ мм и толщиной покрытия рабочей части образцов равной 10 мкм.

Для получения интерферограмм и экспериментальных зависимостей коэффициента отражения в продольном (x) и поперечном (y) направлениях от плоских поверхностей образцов использовалась экспериментальная установка на базе интерферометра Физо. На рисунке 1 показан внешний вид установки.

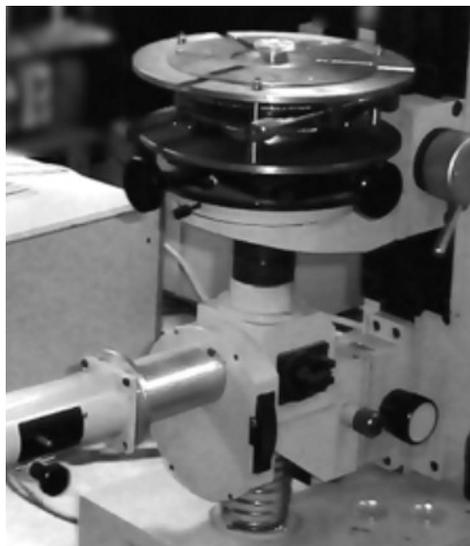


Рисунок 1 - Внешний вид экспериментальной установки

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.14.1>

Для измерений плоскостных оптических поверхностей образцов применяют интерферометр Физо. В интерферометре объектной ветви, в которой находится исследуемая поверхность объекта, совмещается с опорной ветвью, где расположена образцовая (эталонная) поверхность, формирующая опорный волновой фронт. Такая схема работает благодаря проходящему свету через эталонную поверхность.

На рисунке 2 дана оптическая схема интерферометра Физо. В качестве эталонной поверхности используется фронтальная поверхность клиновидной пластины, выполненная с образцовой точностью на уровне $1/20 \lambda$.

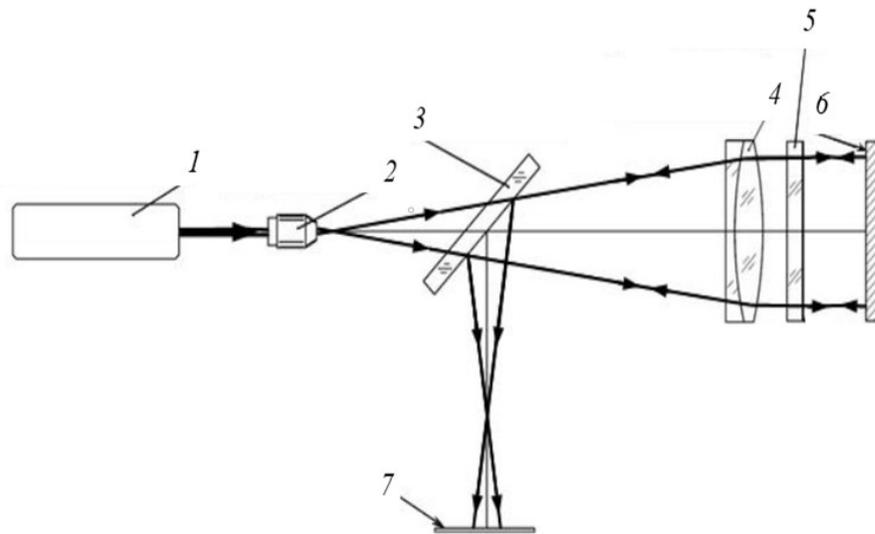


Рисунок 2 - Оптическая схема интерферометра Физо:

1 – источник когерентного излучения; 2 – микрообъектив; 3 – светоделитель; 4 – коллимирующий объектив; 5 – клиновидная пластина с эталонной поверхностью; 6 – контролируемая поверхность образца; 7 – плоскость наблюдения

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.14.2>

Свет от когерентного источника 1 (ЛГ-79-1 – He-Ne лазер с $\lambda = 0,63$ мкм, $P = 15$ мВт и $l_c = 50$ см) собирается и фокусируется микрообъективом 2. В фокусе микрообъектива установлена точечная диафрагма, которая отсекает пространственные частоты и улучшает однородность светового пучка. Далее световой пучок преобразуется в расходящийся, который после светоделителя 3 преобразуется в коллимирующий объективом 4. Параллельный пучок лучей, вышедший из объектива 4 отражается от верхней плоскости поверхности контролирующего образца 6 и от нижней плоскости поверхности эталона 5. В обратном ходе лучи пройдя объектив 4 и, отразившись от светоделителя, формируют интерференционную картину полос равной ширины в плоскости наблюдателя 7. Ширину и направление полос регулируют перемещениями микрометрического стола.

Технико-эксплуатационные характеристики экспериментальной установки:

- предельная инструментальная погрешность – $1/20$;
- апертура проверяемых поверхностей не более – $0,25$;
- числовая апертура объектива – $0,2$;
- пределы перемещения интерференционной головки по 3-м осям, мм – ± 10 ;
- приемники изображения – фотокамера «Зенит» и цифровая камера ToprCam;
- источник света – лазер ЛГ-79-1;
- длина волны излучения, мкм – $0,63$;
- габаритные размеры, мм – $700 \times 350 \times 520$;
- масса, кг – 60 .

Экспериментальные результаты

В результате экспериментальных измерений были получены интерферограммы рабочих плоских поверхностей образцов разной геометрической формы. На рисунке 3 приведены результаты съемок. В процессе измерений необходимо было получить информацию о деформации исследуемых волновых фронтов оптических изделий. Полученные интерферограммы были обработаны компьютерной программой Master Zebra. Изображения интерферограмм были преобразованы в графический формат файлов (tiff). Программой была проведена аппроксимация функции деформации волнового фронта по полиномам Цернике. После чего программа выводила на дисплей основные параметры деформации: размах (S), и среднее квадратичное отклонение (s).

Для прямоугольного образца:

$$S = 0,331278 \text{ мкм}, s = 0,073257 \text{ мкм}.$$

Для круглого образца:

$$S = 0,213561 \text{ мкм}, s = 0,051123 \text{ мкм}.$$

Для трапецеидального образца:

$$S = 0,712341 \text{ мкм}, s = 0,091599 \text{ мкм}.$$

Плоские поверхности были измерены с точностью не хуже $0,05 \lambda$.

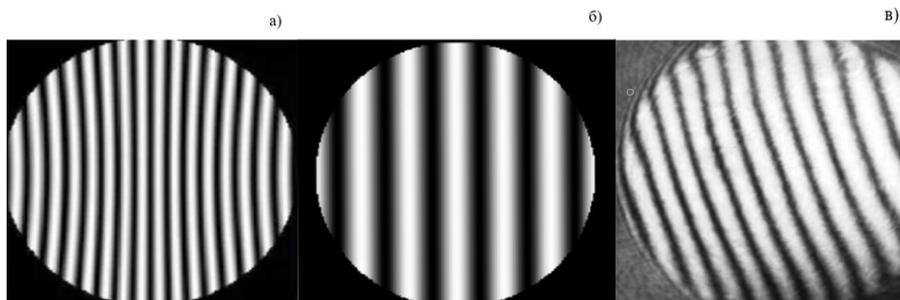


Рисунок 3 - Интерферограммы оптических поверхностей:
 а - прямоугольный отражатель; б - круглый отражатель; в - трапецидальный отражатель
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.14.3>

На рисунке 3 показаны интерферограммы поверхностей где отсутствует какая-либо сферичность, то есть нет aberrаций, а значит, поверхность высокого качества. Само интерференционное изображение высокого качества, чистоты поверхности и отсутствуют шумы. С помощью компьютерной программы Master Zebra обеспечили высокую надежность опознавания и измерения координат интерференционных полос, стабильную повторяемость выходных числовых величин, что является гарантией достоверности и точности экспериментальных данных. Также проанализированы карты и профили деформаций волновых фронтов, которые подтверждают высокое качество поверхностей.

В работе проведены исследования с применением другой компьютерной программы Interferometer, которая позволила получить данные о коэффициенте отражения при смещении поверхности объекта по координатам x и y . На рисунке 4 приведены зависимости коэффициента отражения от продольного и поперечного смещений поверхности.

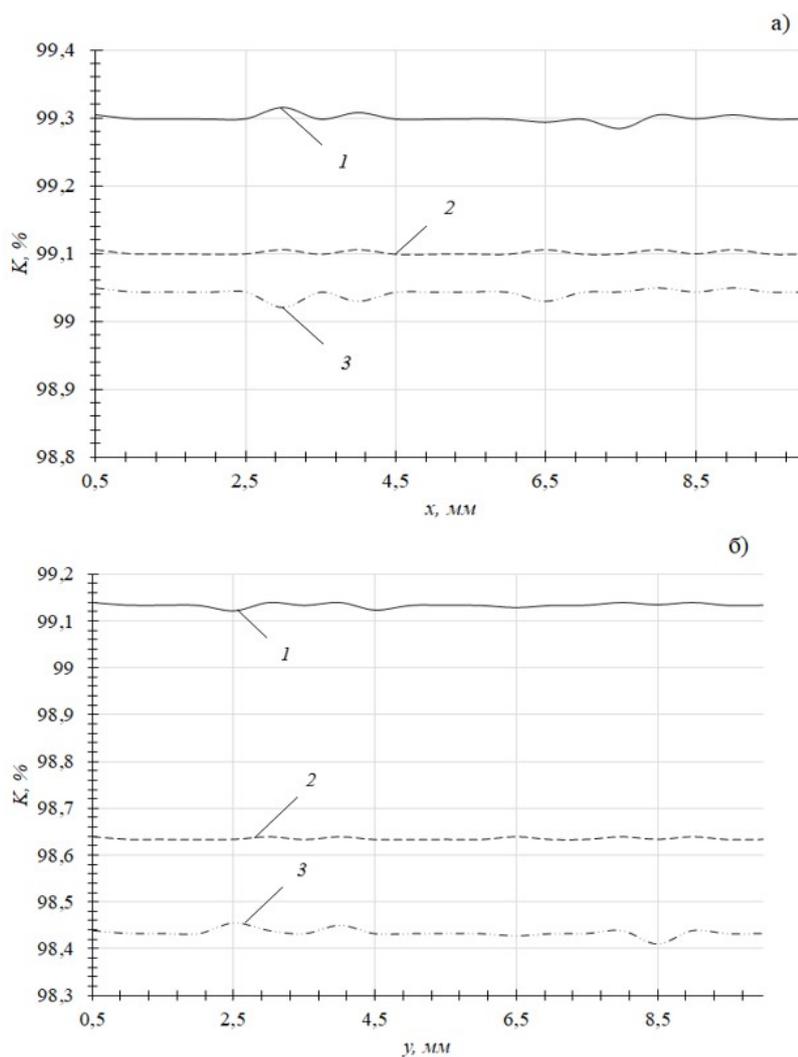


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента отражения от перемещения исследуемого образца по координатам x (а) и y (б):
 1 – круглый образец; 2 – прямоугольный образец; 3 – трапецидальный образец
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.14.4>

У всех представленных образцов измерялась рабочая поверхность в продольном направлении от 0...10 мм и в поперечном направлении от 0...10 мм.

Графические зависимости показали, что все поверхности исследуемых образцов имели высокие значения коэффициента отражения в поперечном направлении от 99...99,4%, а также в продольном направлении от 98,4...99,2%.

Незначительная деформация кривых распределения доказывает, что все испытуемые образцы изготовлены на высоком уровне и могут использоваться в оптических и оптико-электронных приборах разного назначения.

Заключение

Получены экспериментальные результаты контроля плоских отражателей на основе $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ZrO}_2$ интерференционной установкой как в продольном направлении, так и в поперечном направлении. Приведены интерферограммы поверхностей, которые были обработаны компьютерной программой MasterZebra и получены основные параметры деформации волновых фронтов. Исследования показали, что измеренные поверхности отражателей удовлетворяют требованиям оптического контроля и могут применяться в оптических и оптико-электронных приборах о комплексах. Данная работа представляет интерес для оптического приборостроения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Коломийцев Ю.В. Интерферометры / Ю.В. Коломийцев. — Л.: Машиностроение, 1976. — 296 с.
2. Малакара Д. Оптический производственный контроль / Д. Малакара; под ред. А.Н. Соснова. — М.: Машиностроение, 1985. — 340 с.
3. Креопалова Г.В. Оптические измерения / Г.В. Креопалова, Н.Л. Лазарева, Д.Т. Пуряев — М.: Машиностроение, 1987. — 264 с.
4. Клименко Н.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия / Н.С. Клименко. — М.: Наука, 1985. — 224 с.
5. Майоров Е.Е. Исследование оптико-электронной системы расшифровки голографических интерферограмм / Е.Е. Майоров, В.Т. Прокопенко, А.С. Шерстобитова // Оптический журнал. — 2013. — Т. 80. — № 3. — С. 47-51.
6. Майоров Е.Е. Исследование интерферометра сдвига в фазоизмерительных приборах и системах расшифровки голографических интерферограмм / Е.Е. Майоров, А.В. Дагаев, С.В. Пономарев [и др.] // Научное приборостроение. — 2017. — Т. 27. — № 2. — С. 32-40.
7. Цыганкова Г.А. Исследование разработанного интерферометра поперечного сдвига для настройки интерференционных полос при обработке интерферограмм / Г.А. Цыганкова, Е.Е. Майоров, Т.А. Черняк [и др.] // Приборы. — 2021. — № 2. — С. 20-25.
8. Майоров Е.Е. Исследование оптических плоских поверхностей светоделительных пластин средством когерентной оптики / Е.Е. Майоров, В.Б. Коцкович, В.П. Пушкина [и др.] // Научное приборостроение. — 2022. — Т. 32. — № 2. — С. 65-74.
9. Майоров Е.Е. Использование метода дифференцирования при обработке оптического сигнала для получения среднеквадратической ошибки измерения / Е.Е. Майоров, В.П. Пушкина, А.В. Арефьев [и др.] // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — Вып. 8. — С. 85-91. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-85-91.
10. Майоров Е.Е. Математическое моделирование интерференционного сигнала на выходе интерферометра для оценки погрешности измерений / Е.Е. Майоров, В.П. Пушкина, А.В. Арефьев [и др.] // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — Вып. 12. — С. 230-235. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-12-230-235.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kolomijcev Ju.V. Interferometry [Interferometers] / Ju.V. Kolomijcev. — L.: Mashinostroenie, 1976. — 296 p. [in Russian]
2. Malakara D. Opticheskij proizvodstvennyj kontrol' [Optical Production Control] / D. Malakara; ed. by A.N. Sosnov. — M.: Mashinostroenie, 1985. — 340 p. [in Russian]
3. Kreopalova G.V. Opticheskie izmerenija [Optical Measurements] / G.V. Kreopalova, N.L. Lazareva, D.T. Purjaev — M.: Mashinostroenie, 1987. — 264 p. [in Russian]
4. Klivenko N.S. Golografija sfokusirovannyh izobrazhenij i spekl-interferometrija [Focused Image Holography and Speckle Interferometry] / N.S. Klivenko. — M.: Nauka, 1985. — 224 p. [in Russian]
5. Majorov E.E. Issledovanie optiko-jelektronnoj sistemy rasshifrovki golograficheskikh interferogramm [Investigating an Optoelectronic System for Interpreting Holographic Interferograms] / E.E. Majorov, V.T. Prokopenko, A.S. Sherstobitova // Opticheskij zhurnal [Journal of Optical Technology]. — 2013. — Vol. 80. — № 3. — P. 47-51. [in Russian]

6. Majorov E.E. Issledovanie interferometra sdviga v fazoizmeritel'nyh priborah i sistemah rasshifrovki golograficheskikh interferogramm [Investigation of Interferometer in Phase Measurers Engineering Equipment and System Sciphering Golographic Interferogrammes] / E.E. Majorov, A.V. Dagaev, S.V. Ponomarev [et al.] // Nauchnoe priborostroenie [Scientific Instrumentation]. — 2017. — Vol. 27. — № 2. — P. 32-40. [in Russian]

7. Cygankova G.A. Issledovanie razrabotannogo interferometra poperechnogo sdviga dlja nastrojki interferencionnyh polos pri obrabotke interferogramm [Investigation Developed Interferometer Poperechic Coupling for Interference Settings in the Processing of Interferogram] / G.A. Cygankova, E.E. Majorov, T.A. Chernjak [et al.] // Pribory [Instruments]. — 2021. — № 2. — P. 20-25. [in Russian]

8. Majorov E.E. Issledovanie opticheskikh ploskikh poverhnostej svetodelitel'nyh plastin sredstvom kogerentnoj optiki [Investigation of Optical Flat Surfaces of Beam-splitting Plates by Means of Coherent Optics] / E.E. Majorov, V.B. Kockovich, V.P. Pushkina [et al.] // Nauchnoe priborostroenie [Scientific Instrumentation]. — 2022. — Vol. 32. — № 2. — P. 65-74. [in Russian]

9. Majorov E.E. Ispol'zovanie metoda differencirovanija pri obrabotke opticheskogo signala dlja poluchenija srednekvadraticeskoy oshibki izmerenija [The Use of the Differentiation Method in Processing an Optical Signal to Obtain a Standard Error of Measurement] / E.E. Majorov, V.P. Pushkina, A.V. Aref'ev [et al.] // Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical science]. — 2022. — Iss. 8. — P. 85-91. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-85-91. [in Russian]

10. Majorov E.E. Matematicheskoe modelirovanie interferencionnogo signala na vyhode interferometra dlja ocenki pogreshnosti izmerenij [Mathematical Modeling of an Interference Signal at the Output of an Interferometer for Estimating Measurement Error] / E.E. Majorov, V.P. Pushkina, A.V. Aref'ev [et al.] // Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical Science]. — 2022. — Iss. 12. — P. 230-235. — DOI: 10.24412/2071-6168-2022-12-230-235. [in Russian]