

Анализ погрешностей метода динамической интерферометрии при контроле локальных поверхностных неоднородностей нанометрового уровня профилей оптических деталей

Д. Г. Денисов, М. Н. Устюгова, В. Е. Фролова, Д. А. Машошин, И. И. Гафаров

Разработан, научно обоснован и экспериментально подтверждён метод динамической интерферометрии контроля локальных отклонений нанометрового уровня поверхностей оптических деталей от заданного профиля на основе алгоритма расчёта целевой функции – спектральной плотности одномерной корреляционной функции (СПКФ1 от англ. PSD (Power Spectral Density One Dimension)). Представлены теоретические и экспериментальные исследования, посвящённые определению среднего квадратического отклонения (СКО) локальных отклонений поверхностей оптических деталей диаметром до 100 мм и до 1000 мм, с учётом неисключённой систематической и случайной составляющих погрешностей определения целевой функции.

Ключевые слова: оптический контроль, интерферометрия, измерения поверхности, спектральная плотность корреляционной функции, анализ систематических методических и случайных погрешностей, краевой эффект, эффект «утечки» частоты.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-1-71-89

ЛИТЕРАТУРА

Денисов Дмитрий Геннадьевич, доцент, к.т.н.
E-mail: denisov_dg@mail.ru
Устюгова Мария Николаевна, студент.
E-mail: mariy2000@mail.ru
Фролова Валерия Евгеньевна, студент.
E-mail: v.e.frolova@mail.ru
Машошин Денис Андреевич, студент.
E-mail: den_m01@mail.ru
Гафаров Исмагил Ильдусович, студент.
E-mail: gafarovismagil@gmail.com
МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2022 г.

© Денисов Д. Г., Устюгова М. Н., Фролова В. Е.,
Машошин Д. А., Гафаров И. И., 2022

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам научно-производственного комплекса «Астрономическая и космическая оптика» АО «Лыткаринский завод оптического стекла» за помощь в проведении экспериментов и компетентных консультациях.

1. Абдулкадыров М. А., Добриков Н. С., Патрикеев А. П., Патрикеев В. Е., Семенов А. П. // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 12. С. 6.
2. Абдулкадыров М. А., Семенов А. // Фотоника. 2015. № 3. С. 62.
3. Денисов Д. Г. Разработка методов и аппаратуры лазерного интерференционного контроля формы и качества оптических поверхностей крупногабаритных зеркал на стадиях шлифования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. Москва, 2010.
4. Campbell J. H., Hawley-Fedder R. A., Menapace J. A. // Proc. of SPIE. 2004. Vol. 5341. DOI: 10.1117/12.538462.
5. Denisov D. G., Baryshnikov N. V., Gladysheva Ya. V., Karasik V. E., Morozov A. B., Patrikeev V. E. // Measurement Techniques. 2017. Vol. 60. Iss. 2. P. 121.
6. Денисов Д. Г., Карасик В. Е., Орлов В. М. // Метрология. 2009. № 9. С. 15.
7. Барышников Н. В., Денисов Д. Г., Карасик В. Е., Сахаров А. А. Метод и аппаратура аттестационного контроля радиусов кривизны сферических поверхностей оптических изделий при помощи датчика волнового фронта: В сб. V Международная конференция по фотонике и информационной оптике. Сборник научных трудов. 2016. С. 416–417.

8. Полецук А. Г., Хомутов В. Н., Маточкин А. Е., Насыров Р. К., Черкашин В. В. // Фотоника. 2016. № 4. С. 38.
9. Полецук А. Г., Корольков В. П., Насыров Р. К., Хомутов В. Н., Конченко А. С. // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 6. С. 818. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-818-829.
10. Nikitin A., Sheldakova J., Kudryashov A., Borsoni G., Denisov D., Karasik V., Sakharov A. // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 3. Сер. "Photonic Instrumentation Engineering III" 2016. P. 97540K.
11. Nikitin A., Sheldakova J., Kudryashov A., Denisov D., Karasik V., Sakharov A. // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 2. 2015. P. 936905.
12. Sidick Erkin // Proc. of SPIE. 2009. Vol. 7390. DOI: 10.1117/12.823844.
13. Alcocka Simon G., Ludbrooka Geoff D., Owenb Tommy, Dockreec Richard // Proc. of SPIE. 2010. Vol. 7801. P. 102. DOI: 10.1117/12.861539.
14. Волков А. В., Головашкин Д. Л., Досколович Л. Д., Казанский Н. Л., Котляр В. В., Павельев В. С., Скиданов Р. В., Соуфер В. А., Соловьев В. С., Успенев Г. В., Харитонов С. И., Хонина С. Н. Методы компьютерной оптики. Изд. 2-е, испр. – М.: Физматлит, 2003.
15. ISO 10110–1996. Optics drawing standarts for the national ignition facility.

PACS: 07.60.Ly

The analysis of the errors of the dynamic interferometry method in the control of local surface inhomogeneities of the nanometer level of the profiles of optical parts

D. G. Denisov, M. N. Ustyugova, V. E. Frolova, D. A. Mashoshin, and I. I. Gafarov

Bauman Moscow Technical University
5 2-nd Baumanskaya st., Moscow, 105005, Russia
E-mail: denisov_dg@mail.ru

Received February 10, 2022

The method of dynamic interferometry for monitoring local deviations of the nanometer level of the surfaces of optical parts from a given profile has been developed, scientifically substantiated and experimentally confirmed, based on the algorithm for calculating the objective function - the spectral density of one-dimensional correlation function (PSCF1 from English. PSD (Power Spectral Density One Dimension)). Theoretical and experimental studies are presented on the determination of the standard deviation (RMSD) of local deviations of the surfaces of optical parts with a diameter of up to 100 mm and up to 1000 mm, taking into account the non-excluded systematic and random components of the errors in determining the objective function.

Keywords: optical control, interferometry, surface measurements, spectral density of the correlation function, analysis of systematic methodological and random errors, edge effect, frequency "leakage" effect.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-1-71-89

REFERENCES

1. M. A. Abdulkadyrov, N. S. Dobrikov, A. P. Patrikeev, V. E. Patrikeev, and A. P. Semenov, Optical magazine **81** (12), 6 (2014).
2. M. A. Abdulkadyrov, Photonics, No. 3, 62 (2015).
3. D. G. Denisov, Development of methods and equipment for laser interference control of the shape and quality of optical surfaces of large mirrors at the stages of grinding / Thesis for the degree of candidate of technical

sciences / Moscow State Technical University. N. E. Bauman. Moscow, 2010.

4. J. H. Campbell, R. A. Hawley-Fedder, and J. A. Menapace, Proc. of SPIE **5341** (2004).

DOI: 10.1117/12.538462.

5. D. G. Denisov, N. V. Baryshnikov, Ya. V. Gladysheva, V. E. Karasik, A. B. Morozov, and V. E. Patrikeev, Measurement Techniques **60** (2), 121 (2017).

6. D. G. Denisov, V. E. Karasik, and V. M. Orlov, Metrology, No. 9, 15 (2009).

7. N. V. Baryshnikov, D. G. Denisov, V. E. Karasik, and A. A. Sakharov, Method and equipment for certification control of radii of curvature of spherical surfaces optical products using a wavefront sensor / In the collection: V International Conference on Photonics and Information Optics Collection of scientific papers. 2016. p. 416–417.

8. A. G. Poleshchuk, V. N. Khomutov, A. E. Matochkin, R. K. Nasyrov, and V. V. Cherkashin, Photonics, No. 4, 38 (2016).

9. A. G. Poleshchuk, V. P. Korolkov, R. K. Nasyrov, V. N. Khomutov, and A. S. Konchenko, Computer optics **40** (6), 818 (2016).

DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-818-829.

10. A. Nikitin, J. Sheldakova, A. Kudryashov, G. Borsoni, D. Denisov, V. Karasik, and A. Sakharov, A device based on the shack-hartmann wave front sensor for testing wide aperture optics / In the collection: Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 3. Ser. "Photonic Instrumentation Engineering III" 2016. P. 97540K.

11. A. Nikitin, J. Sheldakova, A. Kudryashov, D. Denisov, V. Karasik, and A. Sakharov, Hartmannometer versus Fizeau interferometer: advantages and disadvantages / In: Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 2. 2015. S. 936905.

12. Erkin Sidick, Proc. of SPIE **7390** (2009).

DOI: 10.1117/12.823844.

13. Simon G. Alcocka, Geoff D. Ludbrooka, Tommy Owenb, and Richard Dockreec, Proc. of SPIE **7801**, 102 (2010). DOI: 10.1117/12.861539.

14. A. V. Volkov, D. L. Golovashkin, L. D. Doskolovich, N. L. Kazansky, V. V. Kotlyar, V. S. Pavelyev, R. V. Skidanov, V. A. Soifer, V. S. Solovyov, G. V. Usplenev, S. I. Kharitonov, and S. N. Khonina, *Methods of computer optics*. Ed. 2nd, rev. (Fizmatlit, Moscow, 2003).

15. ISO 10110-1996. Optics drawing standards for the national ignition facility.