

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

«СИБОПТИКА-2018»

Т. 2

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор экономических наук, доцент, директор ИОиОТ СГУГиТ, Новосибирск
А. В. Шабурова

Кандидат технических наук, директор КТИ НП СО РАН, Новосибирск
П. С. Завьялов

Доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией
лазерных информационных систем ИЛФ СО РАН, Новосибирск
Б. В. Поллер

Доктор технических наук, профессор, директор КТИ НП СО РАН, Новосибирск
Ю. В. Чугуй

Доктор технических наук, зав. лабораторией КТИ НП СО РАН, Новосибирск
И. Г. Пальчикова

Доктор физико-математических наук, зав. отделом
Института теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск
В. В. Кузнецов

Директор ФГУП «СНИИМ», г. Новосибирск
Г. В. Шувалов

Кандидат технических наук, доцент кафедры физики СГУГиТ, Новосибирск
Ю. Ц. Батомункуев

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018» : сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 277 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции «СибОптика-2018».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 535

© СГУГиТ, 2018

КОМПЬЮТЕРНАЯ РАСШИФРОВКА АНАЛОГОВЫХ ГОЛОГРАММ

Владимир Иванович Гужов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры систем сбора и обработки данных, тел. (383)346-08-46, e-mail: vigguzhov@gmail.com

Сергей Петрович Ильиных

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, тел. (383)346-04-92, e-mail: isp51@yandex.ru

Григорий Александрович Поздняков

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант, тел. (383)346-08-46, e-mail: worlaff@gmail.com

Показана система оцифровки голограмм, записанных на фотографических пластинах. Приведена оптическая схема получения голограмм. Основой системы регистрации является модифицированный оптический микроскоп. Модификация заключается в установке камеры в качестве окуляра и предметного автоматизированного столика для перемещения объекта. Качество сшивания было достигнуто путем программного выбора особых точек в изображениях. Система позволяет оцифровывать голограммы размером до 100×100 мм. Наблюдение и оцифровка голограмм осуществлялись в проходящем свете. Расшифровывались голограммы Фурье и Френеля. Рассмотрены вопросы выбора необходимого пространственного разрешения. Проведен анализ голограмм с углами между опорным и объектным пучками 5, 10, 15 и 20 градусов соответственно.

Ключевые слова: голография, оптическая микроскопия, микрообъективы, интерференция, цифровая голография, преобразование Френеля, преобразование Фурье.

COMPUTER DECODING OF ANALOG HOLOGRAMS

Vladimir I. Guzhov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Professor, phone: (383)346-08-46, e-mail: vigguzhov@gmail.com

Sergej P. Ilinykh

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (383)346-04-92, e-mail: isp51@yandex.ru

Grigorij A. Pozdnjakov

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, phone: (383)346-08-46, e-mail: worlaff@gmail.com

The system of digitization of the holograms which are written down on photographic plates is shown. The optical scheme of obtaining holograms is provided. A basis of system of registration is the modified optical microscope. Modification consists in installation of the camera as an eyepiece and the subject automated little table for movement of an object. The quality of sewing together has been reached by the program choice of special points in images. The system allows digitizing holo-

grams up to 100×100 mm in size. Observation and digitization of holograms were carried out in the passing light. Fourier and Fresnel's holograms were deciphered. Questions of the choice of necessary spatial resolution are considered. The analysis of holograms with corners between basic and object bunches of 5, 10, 15 and 20 degrees respectively is carried out.

Key words: holography, optical microscopy, micro-lenses interference, digital holography, Fresnel transform, Fourier transform.

Введение

Целью статьи является разработка системы для расшифровки голограмм, зафиксированных на фотопластинке. В ряде случаев необходим компьютерный анализ голограмм, полученных обычным фотохимическим способом. Поскольку пространственное разрешение таких голограмм достаточно большое, для оцифровки использовался модифицированный микроскоп, а восстановление действительного и мнимого изображений производилось методом цифровой голографии.

Метод записи голограмм

Голография – это метод регистрации, позволяющий зафиксировать как амплитуду, так и фазу произвольного оптического фронта [1]. С появлением голографии появилась возможность проведения интерференционных измерений и диффузно отражающих объектов [2].

Наряду с цифровой голографией аналоговая голография попрежнему занимает важное положение в ряду оптических методов измерений [3–16].

Голограмма – результат интерференции двух пучков. При увеличении угла между объектным и опорным пучком искажения, вызванные влиянием центрального пучка, снижаются, и качество восстановленного изображения увеличивается. Однако при этом размер полос на голограмме становится меньше и требуется обеспечить большее пространственное разрешение.

Для определения расстояния между пиками полос, образующимися в результате интерференции двух плоских пучков, используется следующее выражение

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2 \sin(\alpha/2)}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, монохроматического света, используемого для освещения, α – угол между интерферирующими пучками.

Выражение (1) используется для грубой оценки необходимого пространственного разрешения фотоматериалов, используемых для записи голограмм и разрешения необходимого для оцифровки голограмм. Если использовать источник освещения с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм, то для угла 15 градусов $\Delta x = 2$ мкм. По теореме Котельникова для обеспечения необходимого разрешения необходимо

как минимум две точки на полосу, т.е. необходимое разрешение $\Delta x = 1$ мкм. Однако эти рассуждения верны только для регистрации несущей частоты (при интерференции двух плоских волн). Для регистрации информации об объекте разрешение должно быть на порядок больше. Таким образом, для регистрации голограмм необходима регистрирующая среда с разрешением не менее 2000 лин./мм. Такое разрешение необходимо только для регистрации только несущей частоты. Для регистрации диффузных объектов разрешение должно быть как минимум в три раза больше.

Для получения голограмм использовалась следующая схема записи голограмм [17] (рис. 1).

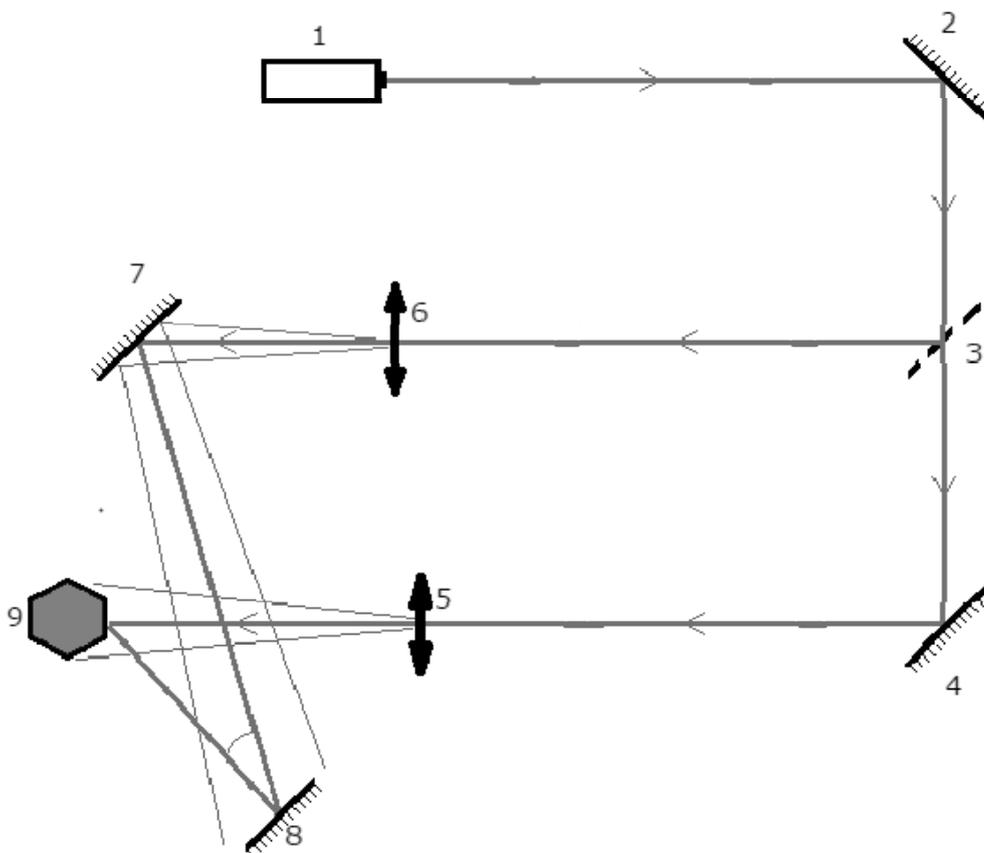


Рис. 1. Схема записи голограммы:

1 – лазер; 2, 4, 7 – отражающие зеркала; 3 – делитель светового пучка; 5, 6 – расширители пучка; 8 – фотопластинка; 9 – объект

Пучок от лазера 1 с помощью полупрозрачного зеркала 3 делится на два пучка, первый из которых после расширителя 5 выступает в качестве опорной волны, а второй, пройдя расширитель 6, формирует волну, освещающую объект 9. Результат интерференции волнового поля, отраженного от объекта, и опорного пучка регистрируется на фотопластинке 8.

Записывались четыре голограммы объекта с углами между опорным и объектным пучком 5, 10, 15 и 20 градусов, соответственно.

Модификация оптического микроскопа для регистрации голограмм

Для оцифровки голограмм использовался модифицированный оптический микроскоп – Ломо Метам Р-1 [18]. Модификация микроскопа состояла в установке фотокамеры в качестве окуляра и установке автоматизированного предметного столика для перемещения объекта. Изображение проецируется на матрицу без использования объектива. Кадр изображения передается непосредственно в компьютер.

Поля зрения одного кадра при использовании восьмикратного (8^X) и десятикратного (10^X) микрообъективов составляли соответственно $2,2 \times 1,5$ мм и $1,76 \times 1,18$ мм. С целью расширения поля зрения предметный столик был заменен на моторизованный двухосный линейный транслятор. Движение по осям осуществляется с помощью двух шаговых двигателей. Величина перемещения на один шаг – 2,5 мкм.

Перемещение столика зависит от механической нестабильности установки, поэтому возможны ошибки при сшивке кадров. Требуемая точность сшивки отдельных кадров обеспечивалась с помощью выделения особых точек программным способом. Использование программной сшивки различных кадров позволило отказаться от использования аппаратных измерительных средств контроля при перемещении предметного столика в случае сбоя шаговых двигателей. При сшивке кадров возможна оцифровка голограмм размером до 100×100 мм. Наблюдение и оцифровка голограмм проводилось в проходящем свете.

Разрешение оптических систем определяется критерием Рэля [19]:

$$R = 0,61 \frac{\lambda}{NA^{obj}},$$

где NA^{obj} – числовая апертура, которая зависит от конструкции микрообъектива. При работе в воздухе теоретически максимальное значение числовой апертуры не может превышать единицы.

Размер числовой апертуры, как известно, определяет пространственное разрешение системы. Например, для объектива 8^X ($NA^{obj} = 0,2$) разрешение составляет $R \approx 3\lambda$, а для объектива 10^X ($NA^{obj} = 0,3$) оно порядка $R \approx 2\lambda$. Если выбрать длину волны $\lambda \approx 0,5$ мкм, то для микрообъективов 8^X и 10^X разрешения будут составлять $\approx 1,5$ и 1 мкм соответственно.

На рис. 2 показан результат сшивки 25 кадров (5 по оси X и 5 по оси Y).

Из рисунка видно, что интерференционные полосы на голограмме проследить не удается. Это связано с образованием спекл-структур, которые маскируют эти полосы. Поэтому интересно, было посмотреть, как действуют способы расшифровки, при разработке которых явление образования спеклов не учитывалось.



Рис. 2. Слева: оцифрованная голограмма размером 25861×11690 точек. Физический размер оцифрованной голограммы – $10,8 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$. Справа: увеличенный участок той же голограммы

Расшифровка голограмм

Для расшифровки голограмм используется преобразование Френеля или Фурье в зависимости от расстояния между объектом и пластинкой, на которой фиксировалась голограмма [20–23]. На рис. 3 показаны восстановленные изображения из голограмм, полученных при разных углах между интерферирующими пучками. Для оцифровки использовался микрообъектив с увеличением 8^{\times} .

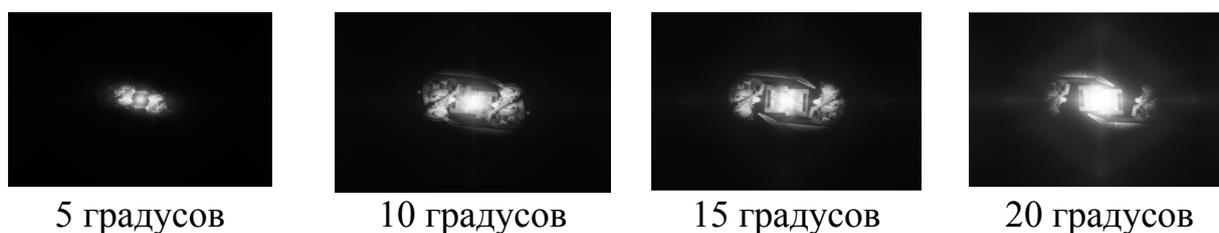


Рис. 3. Восстановленные на компьютере действительное и мнимое изображения объекта при различных углах между опорным и объектным пучками

Видно, что при оцифровке голограмм с углами 15 и 20 градусов, выбранного разрешения уже не хватает. В области высоких пространственных частот из-за недостатка разрешения пропадают детали изображения. Поэтому при больших углах необходимо увеличивать разрешение при оцифровке. Для этого был использован микрообъектив с увеличением 10^{\times} .

На рис. 4 показаны увеличенные части восстановленного изображения из голограммы, полученной при 15 градусах между опорным и объектным пучками при использовании микрообъективов 8^{\times} и 10^{\times} .

Видно, что правая часть изображения содержит элементы (прорисована левая рука), которые утеряны на изображении на левой части рисунка. Эти элементы соответствуют области высоких пространственных частот.

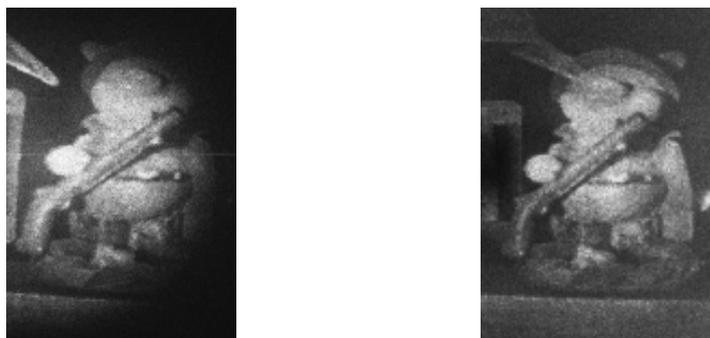


Рис. 4. Увеличенные части действительного изображения, полученные при оцифровке голограмм микрообъективами с восьмикратным и десятикратным увеличением

Заключение

В статье описана система для оцифровки голограмм, зафиксированных на фотопластинках. Приведена схема получения голограмм. Основной системы регистрации является модифицированный оптический микроскоп. Оцифровывались голограммы размером до 100×100 мм и с разрешением менее 1 мкм. Наблюдение и оцифровка голограмм проводилось в проходящем свете. Для восстановления действительного и мнимого изображений используется преобразование Френеля или Фурье. Показана возможность компьютерной расшифровки аналоговых плоских голограмм, полученных на классических оптических установках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка и исследование методов компьютерной голографической интерферометрии объектов сложной формы» (Грант № 18-08-00580).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gabor D. A new microscopic principle // Nature. – 1948. – Vol. 161. – P. 777–778 ; перевод на рус. яз. : Строук Дж. У. Введение когерентную оптику и голографию. – М. : Мир, 1967, С. 262–301.
2. Козачок А. Г. Голографические методы исследования в экспериментальной механике. – М. : Машиностроение, 1984. – 176 с.
3. Bianco V., et al. Clear coherent imaging in turbid microfluidics by multiple holographic acquisitions // Optics Letters. – 2012. – Vol. 37 (20). – P. 4212–4214.
4. Slaby T., et al. Off-axis setup taking full advantage of incoherent illumination in coherence-controlled holographic microscope // Optics Express. – 2013. – Vol. 21 (12). – P. 14747–14762.
5. Chmelik R., et al. The role of coherence in image formation in holographic microscopy // Progress in Optics. – 2014. – Vol. 59 (1). – P. 267–336.
6. Kolman P., Chmelik R. Coherence-controlled holographic microscope // Optics Express. – 2010. – Vol. 18 (21). – P. 21990–22003.

7. Balvan J., et al. Multimodal holographic microscopy: distinction between apoptosis and oncosis // PLoS One. – 2015. – Vol. 10 (3). – P. 0121674.
8. Recording and Reconstruction of Holograms. URL: https://www.nikhef.nl/~h73/kn1c/praktikum/phywe/LEP/Experim/2_6_03.pdf.
9. Fontecchio A. K. Multiplexing Studies of Holographically-formed Polymer Dispersed Liquid Crystals Dissertation, Degree of Doctor, Brown University, Providence, Rhode Island. – May 2003.
10. Wynne Davis. Recording Components and Applied Principles of Holograms. – New York : Research Press, 2015. – 400 p.
11. Nehmetallah G., Banerjee P. P. Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging // Advances in Optics and Photonics. – 2012. – Vol. 4 (4). – P. 472–553.
12. Nehmetallah Georges T., Aylo Rola, Williams Logan A. Analog and digital holography with MATLAB. – Bellingham, Washington : SPIE Press, 2015. – 528 p.
13. Nehmetallah G., Banerjee P. P. Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging // Advances in Optics and Photonics. – 2012. – Vol. 4 (4). – P. 472–553.
14. Williams L., Nehmetallah G., Banerjee P. P. Digital tomographic compressive holographic reconstruction of three-dimensional objects in transmissive and reflective geometries // Applied Optics. – 2008. – Vol. 52 (8). – P. 1702–1710.
15. Banerjee P. P., Nehmetallah G., Kukhtarev N., Praharaj S. C. Determination of model airplane attitudes using dynamic holographic interferometry // Applied Optics. – 2008. – Vol. 47 (21). – P. 3877–3885.
16. Holographic Materials and Optical Systems. – Edited by Izabela Naydenova, Dimana Nazarova and Tsvetanka Babeva. – InTech, 2017. – 516 p.
17. Leith E. N., Upatnieks J. Wavefront reconstruction and communications theory // Journal of the Optical Society of America. – 1962. – Vol. 52. – P. 1123–1130.
18. Модификация оптических микроскопов / В. И. Гужов, Д. В. Ильтимиров, Д. С. Хайдуков, О. В. Чернов, С. Л. Полубинский // Автоматика и программная инженерия. – 2016. – № 2 (16). – С. 71–76.
19. Коронкевич В. П. Формирование изображения в оптических системах : учеб. пособие. – Новосибирск : НГТУ, 2005. – 76 с.
20. Область возможного применения дискретных преобразований Фурье и Френеля / В. И. Гужов, В. А. Емельянов, Д. С. Хайдуков // Автоматика и программная инженерия. – 2016. – № 1 (15). – С. 97–103.
21. Ярославский Л. П., Мерзляков Н. С. Цифровая голография. – М. : Наука, 1982. – 219 с.
22. Kim M. K. Principles and techniques of digital holographic microscopy // SPIE Reviews. – 2010. – Vol. 1. – P. 018005-1–018005-50.
23. Представление преобразования Френеля в дискретном виде / В. И. Гужов, Р. Б. Несин, В. А. Емельянов // Автоматика и программная инженерия. – 2016. – № 1 (15). – С. 91–96.
24. Гужов В. И. Математические методы цифровой голографии : учеб. пособие. – Новосибирск : НГТУ, 2017. – 80 с.

REFERENCES

1. Gabor, D. (1948). A new microscopic principle. *Nature*, 161, 777–778.
2. Kozachok, A. G. (1984). *Golograficheskie metodi issledovaniya v eksperimental'noi mekhanike* [Holographic research methods in experimental mechanics]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Bianco, V., et al. (2012). Clear coherent imaging in turbid microfluidics by multiple holographic acquisitions. *Optics Letters*, 37(20), 4212–4214.
4. Slaby, T., et al. (2013). Off-axis setup taking full advantage of incoherent illumination in coherence-controlled holographic microscope. *Optics Express*, 21(12), 14747–14762.

5. Chmelik, R., et al. (2014). The role of coherence in image formation in holographic microscopy. *Progress in Optics*, 59(1), 267–336.
6. Kolman, P., & Chmelik, R. (2010). Coherence-controlled holographic microscope. *Optics Express*, 18(21), 21990–22003.
7. Balvan, J., et al. (2015). Multimodal holographic microscopy: distinction between apoptosis and oncosis. *PLoS One*, 10(3), 0121674.
8. Recording and reconstruction of holograms. URL: https://www.nikhef.nl/~h73/knlc/praktikum/phywe/LEP/Experim/2_6_03.pdf
9. Fontecchio, A. K. (2003). Multiplexing Studies of Holographically-formed Polymer Dispersed Liquid Crystals Dissertation, Degree of Doctor, Brown University, Providence, Rhode Island.
10. Wynne, Davis. (2015). *Recording Components and Applied Principles of Holograms*. New York: Research Press.
11. Nehmetallah, G., & Banerjee, P. P. (2012). Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging. *Advances in Optics and Photonics*, 4(4), 472–553.
12. Nehmetallah, G. T., Aylo, R., & Williams, L. A. (2015). *Analog and digital holography with MATLAB*, Bellingham. Washington: SPIE Press.
13. Nehmetallah, G., & Banerjee, P. P. (2012). Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging. *Advances in Optics and Photonics*, 4(4), 472–553.
14. Williams, L., Nehmetallah, G., & Banerjee, P. P. (2008). Digital tomographic compressive holographic reconstruction of three-dimensional objects in transmissive and reflective geometries. *Applied Optics*, 52(8), 1702–1710.
15. Banerjee, P. P., Nehmetallah, G., Kukhtarev, N., & Praharaj, S. C. (2008). Determination of model airplane attitudes using dynamic holographic interferometry. *Applied Optics*, 47(21), 3877–3885.
16. *Holographic Materials and Optical Systems*. (2017). InTech. ISBN 978-953-51-3038-3. Print ISBN 978-953-51-3037-6.
17. Leith, E. N., & Upatnieks, J. (1962). Wavefront reconstruction and communications theory. *Journal of the Optical Society of America*, 52, 1123–1130.
18. Guzhov, V. I., Iltimirov, D. V., Hajdukov, D. S., Chernov, O. V., & Polubinskiy, S. L. (2016). Modification of Optical Microscopes. *Avtomatika i Programmaya Injeneriya [Automatics & Software Enginery]*, 2(16), 71–76 [in Russian].
19. Koronkevich, V. P. (2005). *Formirovanie izobrajeniya v opticheskikh sistemah [Image formation in optical systems]*. Novosibirsk: NSTU [in Russian].
20. Guzhov, V. I., Emelyanov, V. A., & Hajdukov, D. S. The Area of Possible Application of Discrete Fourier transform. *Avtomatika i Programmaya Injeneriya [Automatics & Software Enginery]*, 1(15), 97–103 [in Russian].
21. Yaroslavsky, L. P., & Merzlyakov, N. S. (1982). *Tsifrovaya golografiya [Digital holography]*. Moscow: Science [in Russian].
22. Kim, M. K. (2010). Principles and techniques of digital holographic microscopy. *SPIE Reviews*, 1, 018005-1–018005-50.
23. Guzhov, V. I., Nesin, R. B., & Emelyanov, V. A. (2016). Presentation of Fresnel Transform in the Discrete Form. *Avtomatika i Programmaya Injeneriya [Automatics & Software Enginery]*, 1(15), 91–96 [In Russian].
24. Guzhov, V. I. (2017). *Matematicheskie metodi tsifrovoi golografii [Mathematical methods of digital holography]*. Novosibirsk: NSTU [in Russian].

© В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Г. А. Поздняков, 2018