

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2011

Т. 5

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ,
ТЕПЛОФИЗИКА, МИКРОТЕХНИКА, НАНОТЕХНОЛОГИИ

ч.1

Сборник материалов
VII Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2011

УДК 681.2:006:62:53:001
С26

Ответственные за выпуск:

Кандидат технических наук, профессор,
директор Института оптики и оптических технологий СГГА, Новосибирск
О.К. Ушаков

Доктор технических наук, профессор,
директор Конструкторско-технологического института
научного приборостроения СО РАН, Новосибирск
Ю.В. Чугуй

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

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой метрологии,
стандартизации и сертификации СГГА, Новосибирск
В.Я. Черепанов

Доктор технических наук, профессор, СГГА, Новосибирск
В.В. Чесноков

С26 ГЕО-Сибирь-2011. Т. 5. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии. Ч. 1: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 218 с.

ISBN 978-5-87693-451-2 (т. 5, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-450-5 (т. 5)

ISBN 978-5-87693-437-6

В сборнике опубликованы материалы VII Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2011» направления «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 681.2:006:62:53:001

ISBN 978-5-87693-451-2 (т. 5, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-450-5 (т. 5)

ISBN 978-5-87693-437-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Сенченко Е.С., Чугуй Ю.В. Формирование изображений трехмерных объектов при освещении их волнами с различной конфигурацией и когерентностью	9
Берник Г.К., Хацевич Т.Н. Использование модульного принципа оптического проектирования при разработке оптических прицелов ..	14
Егоренко М.П., Ефремов В.С., Синг О.И. Зависимость коррекционных свойств линзы Пиацци – Смита от оптического материала	16
Парко В.Л. Способ устранения хроматизма положения в объективах телескопических систем	21
Ушаков А.О., Рахимов Н.Р. Исследование оптоэлектронного метода и разработка первичных преобразователей амплитудных датчиков ускорения	26
Тымкул В.М., Тымкул Л.В., Кремис И.И. Методика анализа температурной чувствительности тепловизоров «Смотрящего» типа на основе матричных приемников излучения.....	31
Поликанин А.Н. Исследование влияния микропаталогий сетчатки глаза на качество восприятия визуальной информации	35
Ульянова Е.О. Оптическая система малогабаритного неохлаждаемого тепловизионного модуля	39
Хацевич Т.Н. Оптика для тепловизионных приборов	43
Попов Г.Н., Малинин В.В., Большаков В.А., Топорков А.А. История ЦКБ «Точприбор»	47
Рахимов Б.Н., Серьезнов А.Н., Игнатенко С.С.Оптоэлектронный метод контроля трещины конструкций с помощью волоконных световодов	49
Смирнов Е.С., Пальчикова И.Г. Калибровка цифровых камер для микроскопной цитометрии.....	55
Михайлова В.А., Торопов А.А., Тымкул В.М. Моделирование поля температур объектов в условиях естественного освещения.....	61
Шамирзаев С.Х., Рахимов Н.Р., Алижанов Д.Д. Отажонов Ш.С. О перспективе разработки оптоэлектронных датчиков для контроля физико-химических параметров веществ и материалов на основе афн-приемника	65
Крапивко Е.А., Рафаилович А.С. Концепция построения программно-аппаратного комплекса отображения оперативной информации.....	69
Шамирзаев С.Х., Рахимов Н.Р., Мадумаров Ш.И. Обзор аналитических методов контроля и разработка оптоэлектронных систем для определения серы в нефти и нефтепродуктах.....	74
Парфёнова Т.В., Хацевич Т.Н. Двухдиапазонные объективы для инфракрасной области спектра.....	79
Верхогляд А.Г., Завьялова М.А., Князев Б.А., Макаров С.Н., Ступак М.Ф. Особенности построения ближнепольной сканирующей приставки для терагерцового спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения.....	83

Турбин А.В., Рафаилович А.С., Алдохин П.А. Объектив для ультрафиолетовой области спектра.....	89
Исаев М.П., Рахимов Н.Р., Петров П.В. Разработка ИК-датчика контроля влажности и содержания воды в нефти и нефтепродуктах	93
Лемешко Ю.А., Сенченко Е.С., Хакимов Д.Р. Контроль геометрии ТВС методом структурного освещения.....	99
Ковалев А.М., Кравченко Ю.Л., Хрящев С.В., Елыков Н.А., Власов Е.В., Морозов А.О. Бифокальный объемный стереоскопический дисплей	104
Выхристюк И.А., Куликов Р.В., Поташников А.К., Сысоев Е.В., Широков В.В. Зависимость погрешности измерений интерференционного профилометра от длины когерентности света.....	109
Выхристюк И.А., Запреев А.В., Куликов Р.В., Поташников А.К., Сысоев Е.В. Оценка влияния нелинейности сканирующей системы интерферометра на погрешность измерения нанорельефа поверхности	112
Отажонов С.М., Жураев Н., Алижанов Д.Д. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения	116
Кузнецов М.М., Соснов А.Н., Перминов В.П., Соснова Н.К. Охрана труда в оптическом производстве	120
Кузнецов М.М., Соснова Н.К., Марач А.А. Оптика современных микроскопов.....	125
Соснов А.Н., Кузнецов М.М., Соснова Н.К., Канушина Л.А. Методы геометрического формообразования асферических поверхностей оптических деталей.....	129
Ларина Т.В. Исследование оптронов открытого канала для контроля качественных параметров металлических поверхностей	134
Раджабов Т.Д., Рахимов Б.Н., Ларина Т.В. Оптоэлектронная информационная – измерительная система для обнаружения и регистрации предразрушения элементов металлических конструкций	140
Комбаров М.С., Кузнецов М.М., Соснов А.Н., Соснова Н.К. Система автоматизированной обработки результатов измерений для инструментального микроскопа	146
Петров П.В., Бобылева Е.Г., Марач А.А. Аудит в приборостроении.....	150
Сырецкий Г.А. Вычислительный интеллект и идентификация объектов по их цифровым изображениям	154
Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Зарубин И.А., Бабин С.А., Семёнов З.В. Многоканальные анализаторы эмиссионных спектров МАЭС – средство измерения для атомно-эмиссионного спектрального анализа	160
Колмыкова Т.В. Возможность разработки объектива для терагерцового диапазона спектра	172
Макарова Д.Г. Определение параметров оптических систем терагерцового диапазона спектра	176

Тымкул В.М., Тымкул Л.В., Фесько Ю.А., Шелковой Д.С. Математическая модель определения трехмерной формы объектов на основе двух поляризационных термограмм.....	181
Ковалева В.В., Аверьянова Д.Е. Анализ влияния излучения фона на работу радиационного пирометра.....	186
Лаптев Е.В. Разработка многоспектральной оптической системы с двумя зеркалами манжена	189
Шойдин С.А. Криптографические свойства голограмм	195
Кистерева М.Н., Ушаков О.К., Лесных И.В., Тымкул В.М. Методика анализа оптико-электронных измерений с использованием статистики негауссовых функций	199
Перминов В.П. Вопросы технологии и безопасности магниетермического получения металлов ПА подгруппы периодической системы элементов	202
Кутенкова Е.Ю. Разработка оптоэлектронного фотоколориметра для автоматического анализа жидких сред.....	211
Критинина С.В. Инновационные технологии и оборудование оптического производства	216
Канушина Л.А., Соснов А.Н., Соснова Н.К. Технологическая наследственность при алмазно-абразивной обработке оптических деталей.....	222
Алиев Р.У., Рахимов Н.Р., Мухтаров Э.К., Кутенкова Е.Ю. Исследование кремниевых фотоэлектрических структур в качестве приемника оптического излучения	225

CONTENTS

Senchenko E.S., Chugui Yu.V. Formation of 3-dimensional objects images at their illumination by waves with various configuration and coherence	9
Bernik G.K., Khatsevich T.N. Use of optical modular design in developing riflescopes.....	14
Egorenko M.P., Efremov V.S., Sing O.I. Dependence of correctional properties of lens Piazzzi – Smith from optical material.....	16
Parko V.L. The way of chromatism's elimination in telescopic objectives	21
Ushakov A.O., Rakhimov N.R. Investigation of optoelectronic method and development of primary transducers of amplitude acceleration sensors	26
Tymkul V.M., Tymkul L.V., Kremis I.I. Technique of the analysis of temperature sensitivity infrared devices of «Looking» type on the basis of matrix receivers of radiation.....	31
Polikanin A.N. Study on mikropatalogy retina on quality of perception visual information	35
Ulyanova E.O. Optical system of small-size uncooled thermal imaging device	39
Khatsevich T.N. Lenses for thermal devices.....	43
Popov G.N., Malinin V.V., Bolshakov V.A., Toporkov A.A. History of the central design bureau «Tochpribor».....	47
Rakhimov B.N., Seryoznov A.N., Ignatenko S.S. Optoelectronic method for the structure crack control by optical fiber	49
Smirnov E.S., Palchikova I.G. Calibrating the digital camera for microscopy cytometry.....	55
Mikhailova V.A., Toropov A.A., Tymkul V.M. Temperature field modeling for the objects in the daylight	61
Shamirzayev S.Kh., Rakhimov N.R., Alizhanov D.D., Otazhonov Sh.S. About possibility of development of optoelectronic sensors for the control of substances and materials physical and chemical parameters on the basis of apv-detector	65
Krapivko E.A., Rafailovich A.S. The concept of the hardware-software complex for showing operative information.....	69
Shamirzayev S.Kh., Rakhimov N.R., Madumarov Sh.I. Review of analytical methods of control and development of optoelectronic systems for detecting sulphur in oil and oil products.....	74
Parfyonova T.V., Khatsevich T.N. Double-range lenses for infrared spectrum..	79
Verkhogliad A.G., Zavyalova M.A., Knyazev B.A., Makarov S.N., Stupak M.F. Features of construction of near-scanning attachments for terahertz spectrometer frustrated total internal reflection.....	83
Turbin A.V., Rafailovich A.S., Aldokhin P.A. The objective for ultraviolet area spectrum	89
Isayev M.P., Rakhimov N.R., Petrov P.V. Development of infrared sensor for oil and oil products humidity and water content control	93
Lemeshko Yu.A., Senchenko E.S., Khakimov D.R. Fuel assembly geometry inspection by structural lighting method.....	99

Kovalev A.M., Kravchenko Y.L., Hryashev S.V., Elykov N.A., Vlasov E.V., Morozov A.O. Bifocal volumetric stereoscopic display.....	104
Vykhristyuk I.A., Kulikov R.V., Potashnikov A.K., Sysoev E.V., Shirokov V.V. Microrelief measurement errors caused by coherence length in white light interferometer.....	109
Vykhristyuk I.A., Zapreev A.V., Kulikov R.V., Potashnikov A.K., Sysoev E.V. Nanorelief measurement errors caused by scanning nonlinearity in white light interferometer.....	112
Otazhonov S.M., Zhuraev N., Alizhanov D.D. Photodetector for x-ray and ultraviolet radiation recording.....	116
Kuznetsov M.M., Sosnov A.N., Perminov V.P., Sosnova N.K. Occupational safety in optical production.....	120
Kuznetsov M.M., Sosnova N.K., Marach A.A. Optics of modern microscopes	125
Sosnov A.N., Kuznetsov M.M., Sosnova N.K., Kanushina L.A. Methods of aspherical surfaces geometry generation for optical details	129
Larina T.V. Investigation of open-channel optrons for the control of metal surfaces qualitative parameters	134
Radgabow T.D., Rakhimov B.N., Larina T.V. Development of optoelectronic system for detecting prefracture areas on metal surfaces	140
Kombarov M.S., Kuznetsov M.M., Sosnov A.N., Sosnova N.K. System of automated measurement processing for the toolmaker's microscope	146
Petrov P.V., Bobileva E.G., Marach A.A. Audit in instrument-making.....	150
Syretsky G.A. Computing intelligence and objects identification by their digital images.....	154
Labusov V.A., Selunin D.O., Zarubin I.A., Babin S.A., Semenov Z.V. Multichannel analyzers of emission spectra MAES – measuring tools for atomic emission spectrometry.....	160
Kolmykova T.V. Opportunity of development of the optical of terahertz wave	172
Makarova D.G. Characterization of terahertz wave optical systems.....	176
Tymkul V.M., Tymkul L.V., Fesko Yu.A., Shelkovoy D.S. Mathematical model of determining the form of three-dimensional objects on the basis of two polarization thermograms.....	181
Kovalyova V.V., Averyanova D.Ye. Analysis of background radiation effect on pyrometer operation	186
Laptev E.V. Development of multispectral optical system with two mangin mirros	189
Shoydin S.A. Cryptographic properties of holograms.....	195
Kistereva M.N., Ushakov O.K., Lesnykh I.V., Tymkul V.M. Techniques for analyzing optoelectronic measurements using non-gaussian functions statistics	199
Perminov V.P. Problems of thermal magnesium technologies for the production of metals (iia subgroup of the periodic system of elements) and their safety	202

Kutenkova E.Yu. Development of optoelectronic photocolormeter for automated analysis of fluid media	211
Kritinina S.V. Innovation technologies and equipment of optical production..	216
Kanushina L.A., Sosnov A.N., Sosnova N.K. Technological heredity in diamond-abrasive treatment of optical details	222
Aliyev R.U., Rakhimov N.R., Mukhtarov E.K., Kutenkova E.Yu. Research of silicon photoelectric structures used as optical radiation receivers	225

УДК 681.17.18

Е.С. Сенченко^{1,2}, *Ю.В. Чугуй*^{1,2,3}

¹ КТИ НП СО РАН, ² НГТУ, ³ НГУ, Новосибирск

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ИХ ВОЛНАМИ С РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ И КОГЕРЕНТНОСТЬЮ

В докладе рассмотрено влияние конфигурации освещающей волны, а также протяженности освещающего источника на точность определения геометрического положения края 3D объекта. Изучено влияние когерентных свойств монохроматического источника на структуру изображения 3D края в окрестности его границы. Представлены зависимости смещения положения края от радиуса волнового фронта освещающей волны, угловых размеров источника излучения, а также от толщины исследуемого объекта в дифракционно-ограниченной проецирующей оптической системе.

E.S. Senchenko^{1,2}, *Yu.V. Chugui*^{1,2,3}

¹ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TDI SIE SB RAS), ² Novosibirsk State Technical University (NSTU), ³ Novosibirsk State University (NSU)

FORMATION OF 3-DIMENSIONAL OBJECTS IMAGES AT THEIR ILLUMINATION BY WAVES WITH VARIOUS CONFIGURATION AND COHERENCE

The influence of illuminating wave configuration and light source extension on the determination accuracy of 3D object edge geometrical position is considered. The influence of coherent properties of a monochromatic source on 3D edge image structure in a vicinity of its border is studied. Dependences of edge position shift on the radius of light wave front, the source angular dimensions, as well as thickness of investigated object in the diffraction-limited projecting optical system are presented.

Среди различных средств бесконтактного контроля геометрических параметров промышленных изделий особое место занимают оптические системы благодаря высокой точности, быстродействию и широкому диапазону измерений.

Для контроля плоских объектов (нулевой толщины) успешно используются методы, основанные на формировании теневого изображения или Фурье-спектра изделия и определении расстояния между координатами, соответствующими краям (границам) объекта. Как известно, положению края объекта при его когерентном освещении соответствует координата, в которой интенсивность составляет 25 % от интенсивности $I_{\text{вх}}$ световой волны,

освещающей контролируемый объект [1]. В случае абсолютно некогерентного (бесконечно протяженного) источника излучения положению края соответствует координата, интенсивность которой составляет 50 % от $I_{\text{вх}}$.

На практике среди контролируемых изделий большую долю составляют трехмерные (3D) объекты, в том числе объемные тела постоянной толщины с плоскими внутренними гранями. При обработке теневых изображений таких объектов, освещенных нормально падающей световой волной, используются алгоритмы, применяемые для случая плоских объектов. Однако в этом случае появляется методическая погрешность измерений, обусловленная особенностями дифракции света на протяженных объектах. Она связана с эффектами затенения задней гранью волны, дифрагированной на передней грани, а также с вторичной дифракцией света на ней. При большой объемности объекта неточность его угловой ориентации значительно влияет на структуру изображения передней и задней его граней, что может приводить к значительным ошибкам измерений. Для уменьшения влияния этой ошибки в [2] предложено использовать световые волны различной конфигурации: плоские наклонные световые волны, сферические сходящиеся и расходящиеся световые волны (рис. 1).

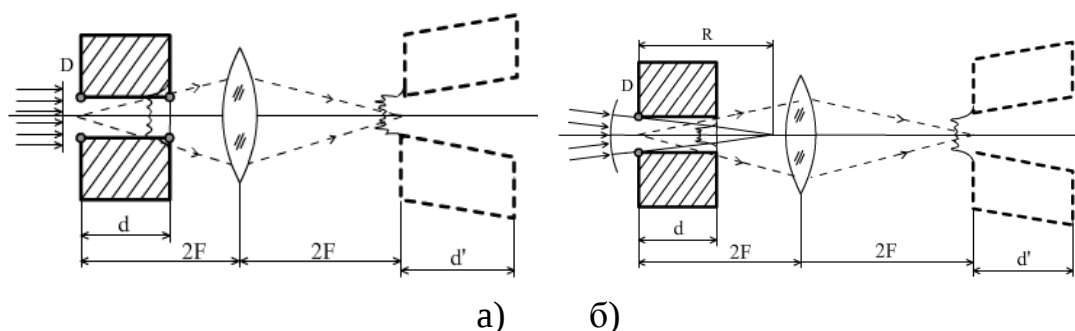


Рис. 1. Влияние конфигурации освещающей волны на структуру изображения передней грани 3D объекта при освещении ее нормальной падающей плоской волной (а) и сферической сходящейся волной (б)

В настоящей работе изучены особенности формирования изображения 3D объектов при освещении их сферическими сходящимися (расходящимися) волнами, а также влияние протяженности освещающего источника на точность определения положения их краев применительно к размерному контролю.

На основе конструктивной теории формирования изображения протяженных тел с использованием модели эквивалентных диафрагм [3] получены аналитические выражения для распределения интенсивности в изображениях передней и задней граней протяженного тела при различных конфигурациях освещающей волны. Исследованы профили изображений передней и задней граней 3D объектов при различных параметрах освещающей волны.

Установлено, что выбором радиуса или наклона освещающей волны можно осуществлять эффективное выделение требуемых для контроля фрагментов объекта (рис. 1). При этом значительно уменьшается влияние других частей

объекта (например, влияние задней грани на переднюю грань трубы при освещении ее сферической сходящейся волной), что создает предпосылки для измерения его геометрических параметров с высокой точностью.

В качестве примера на рис. 2 представлен рассчитанный профиль изображения трубки с диаметром отверстия $D=1$ мм и длиной $d=100$ мм при освещении ее плоской нормально падающей ($R = \infty$) и сферической сходящейся волнами ($R = d$).

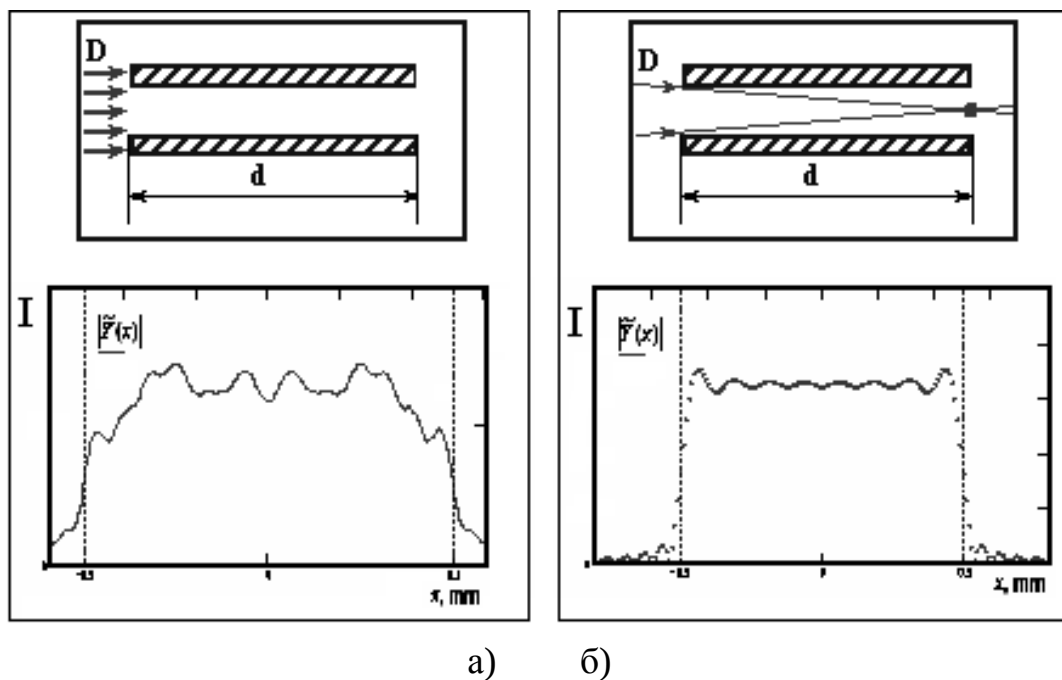


Рис. 2. Профиль изображения передней грани 3D объекта при освещении его плоской нормально падающей волной (а) и сферической сходящейся волной (б) (пунктиром показаны положения границ входного отверстия трубы)

Видно, что сферическое освещение 3D объекта позволяет значительно улучшить структуру изображения его передней грани, которая при $R = d$ имеет вид дифракционно-ограниченного изображения, из которого путем пороговой обработки можно с высокой точностью определить искомый параметр D (на уровне 25 % от $I_{\text{вх}}$).

Часто в реальных оптических системах для освещения используется протяженный (частично-когерентный) источник с конечными угловыми размерами (рис. 3).

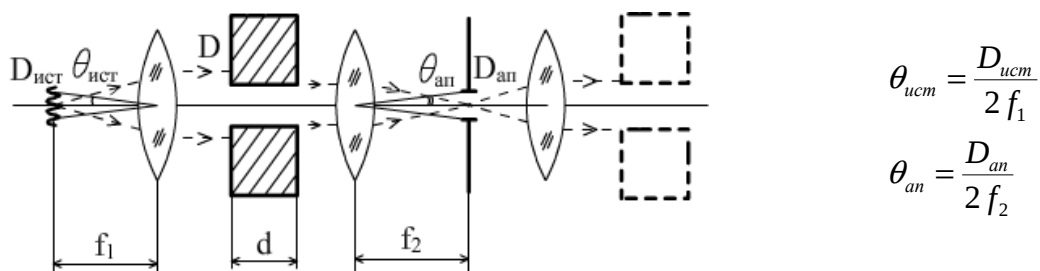


Рис. 3. Оптическая схема формирования изображения 3D объекта при освещении его протяженным источником

Изучено влияние когерентных свойств квазимонохроматического источника на структуру изображения 3D края в окрестности его границы. Получена зависимость смещения положения объемного и плоского краев от поперечного смещения точечного источника и от угловых размеров протяженного источника.

Исследованы зависимости структуры изображения 3D края от его толщины в случаях когерентного и частично-когерентного освещений в дифракционно-ограниченной проецирующей системе с малыми угловыми размерами апертуры $\theta_{an} \ll \theta_{крит} = \sqrt{\frac{\lambda}{d}}$, где λ – длина волны освещения, d – толщина объекта (рис. 4).

Так, при изменении толщины объемного края в диапазоне от 2 до 10 мм, изменение смещения положения его границы составляет 4,77 мкм (на уровне 50 % от $I_{вх}$). Результаты теоретических расчетов согласуются с экспериментальными данными.

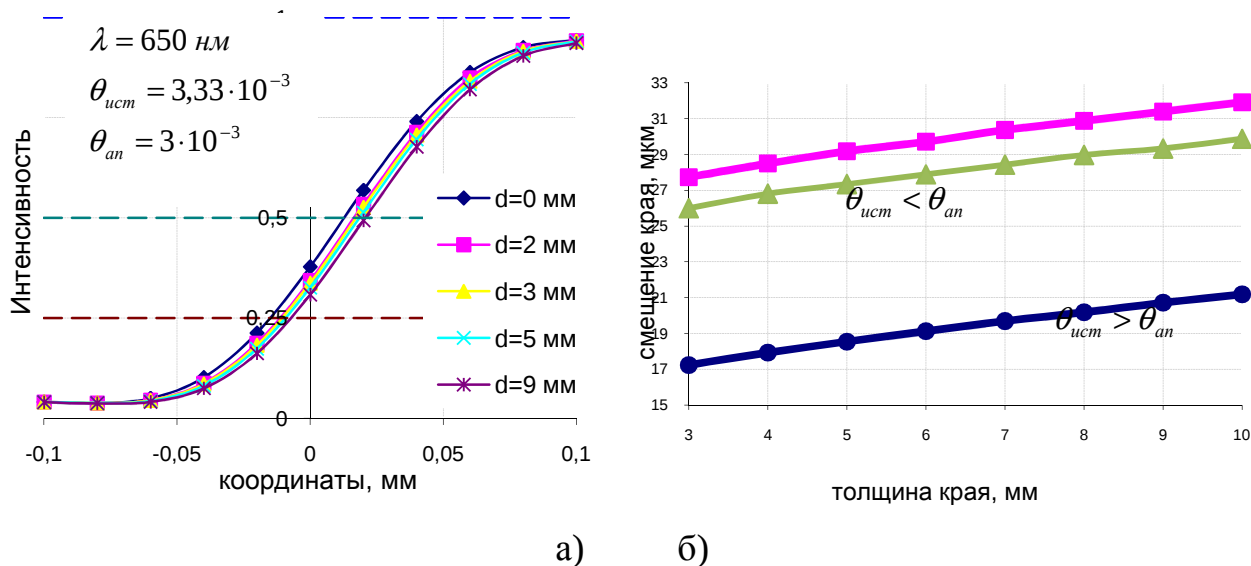


Рис. 4. Особенности формирования изображения 3D края: профили 3D краев разной толщины (а); смещение 3D края от его толщины (на уровне 50 % от $I_{вх}$) при различных угловых размерах источника (б)

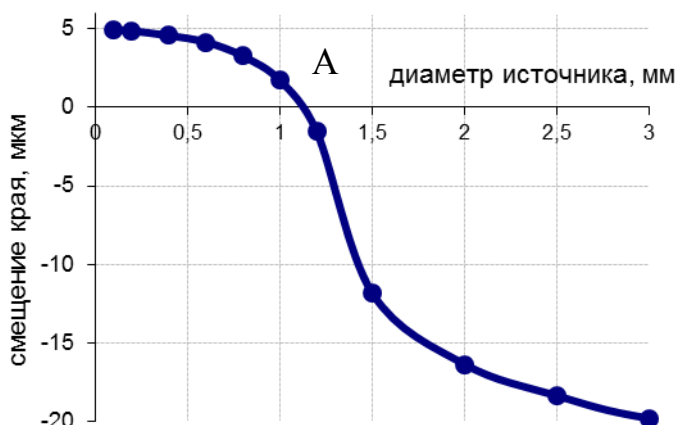


Рис. 5. Зависимость смещения изображения 3D края (на уровне 25 % от $I_{вх}$) от диаметра источника

С помощью компьютерного моделирования показано, что соответствующим выбором размера источника света можно практически исключить смещение изображения 3D края на уровне 25 % от $I_{вх}$ (рис. 5, точка А).

Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем контроля 3D объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гудмен Дж., Введение в Фурье-оптику [Текст]:/ Дж. Гудмен // Издательство Мир, М. – 1970. – 364.
2. Chugui, Yu.V. and Zebreva, K.A., 3D diffraction by volumetric bodies of constant thickness under varying illumination applied to optical inspection [Текст]:/ Yu.V. Chugui and K.A. Zebreva // Measurement Science and Technology. – 2007. – 1729.
3. Chugui, Yu.V. and Krivenkov, B.E., Fraunhofer diffraction by bodies of constant thickness [Текст]:/ Yu. V. Chugui and B. E. Krivenkov // JOSA – 1989. – 617.

© *Е.С. Сенченко, Ю.В. Чугуй, 2011*

УДК 681.751.3

Г.К. Берник, Т.Н. Хацевич

СГГА, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА ОПТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЦЕЛОВ

Представлены результаты оптического проектирования двух моделей оптической системы прицелов, отличающихся оптическими характеристиками.

G.K. Bernik, T.N. Khatsevich

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

USE OF OPTICAL MODULAR DESIGN IN DEVELOPING RIFLESCOPES

Presents the results of the optical design of two models of the optical system scopes with different optical characteristics.

Оптические приборы, выпускаемые серийно, характеристики которых принимают ряд изменяющихся значений, представляют широкие возможности для использования модульного принципа проектирования, результатом применения которого является повышение технологичности, снижение затрат на производство, снижение себестоимости приборов, увеличение прибыли предприятия. Широкие возможности в этом плане представляют такие приборы, как оптические прицелы. Возможность реализации модульного принципа в конструкции прибора базируется на продуманном, на этапе проектирования способе построения оптической схемы. Этот способ обеспечивающий, с одной стороны, возможность изменения технических характеристик прибора, с другой - таким расчете составляющих схему элементов, различные сочетания которых позволят достичь различные значения технических характеристик.

Анализ оптических прицелов с постоянным увеличением показал, что наибольшее распространение получили прицелы с увеличениями 4, 6 и 8 крат. При оптическом проектировании такого модельного ряда приборов целесообразно в качестве базовой модели принять схему с увеличением 6 крат. Именно такая схема и была нами рассчитана: длина вдоль оси 280 мм, удаление выходного зрачка 90 мм, диаметр объектива 48 мм, диаметр выходного зрачка 8 мм, угловое поле в пространстве предметов 5°.

Модели с увеличением 4 и 8 крат получены путем замены только объектива при сохранении остальных элементов неизменными. В оптических системах с увеличением 4 и 8 крат использовано две трети линз базовой модели.

Кроме объективов может быть пересчитан под необходимые характеристики первый компонент оборачивающей системы. Комбинированная замена двух компонентов (объектив и первый компонент оборачивающей системы) могут значительно расширить модельный ряд по характеристикам, не приводя к усложнению технологии изготовления каждой модели. Остальные компоненты (второй компонент оборачивающей системы и окуляр) остаются неизменными, так как влияют на удаление выходного зрачка прицела. При необходимости может быть заменен или незначительно пересчитан второй компонент оборачивающей системы для достижения удаления выходного зрачка, отличающегося от других моделей ряда. Таким образом достигается расширение модельного ряда при незначительной модернизации базовой конструкции.

Наиболее интересный результат получен при оптическом проектировании на основе рассчитанной базовой системы оптического прицела с панкратической сменой увеличения. Внедрение в базовую схему специально рассчитанного панкратического первого компонента оборачивающей системы обеспечило панкратическую смену увеличения прицела от 3 до 6 крат при стабильном положении выходного зрачка на расстоянии 90 мм от последней поверхности окуляра, диаметре выходного зрачка 8 мм для всех увеличений, длине по оптической оси 300 мм. Таким образом, при переходе на модель с панкратической сменой увеличения использовано около 80 % линз оптической системы с постоянным увеличением, что представляется технологически и экономически выгодным.

Разработанные оптические системы могут представлять интерес для разработчиков оптических приборов рассматриваемого типа.

© Г.К. Берник, Т.Н. Хацевич, 2011

УДК 681.7

М.П. Егоренко, В.С. Ефремов, О.И. Синг

СГГА, Новосибирск

ЗАВИСИМОСТЬ КОРРЕКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛИНЗЫ ПИАЦЦИ – СМИТА ОТ ОПТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрены коррекционные свойства линзы Пиацци – Смита, зависящие от показателя преломления материала в двухспектральных оптических системах с единой плоскостью изображения.

M.P. Egorenko, V.S. Efremov, O.I. Sing

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DEPENDENCE OF CORRECTIONAL PROPERTIES OF LENS PIAZZI – SMITH FROM OPTICAL MATERIAL

Correctional properties of a lens of Piazzzi – Smith, refractions of a material dependent on a parameter in two-spectral optical systems with a uniform plane of the image are considered.

При рассмотрении перспектив разработки многоспектральных оптических систем [1] на ГЕО-СИБИРЬ 2010 было высказано предложение, что разработку многоспектральных систем надо ориентировать не только на многоспектральные фотоприемники, которых ещё крайне мало, но рассчитывать системы под существующие приемники излучения.

Доработка оптической системы [1] (рис. 1) заключается в выборе полевого корректора и размещении перед ним спектроделительного зеркала. Данная работа проводилась в рамках магистерской диссертации Сингом О.И.

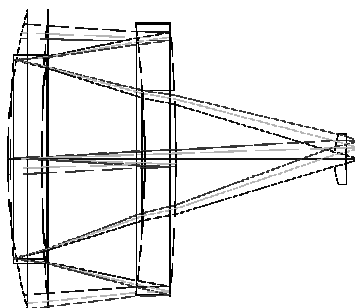


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема объектива

В работе [2] рассмотрены известные схемы полевых корректоров, устанавливаемых в заднем фокальном отрезке зеркальных и зеркально-линзовых объективов. Из всех приведенных корректоров наиболее пригодным

для нашей схемы является линза Пиацци-Смита. Она располагается вблизи фокальной плоскости объектива и все пространство вдоль оптической оси между линзой Пиацци-Смита и зеркалом Манжена свободно для размещения спектроделительного зеркала. Такая схема оптической системы была предложена в работе [1].

На рис. 2 представлен полевой корректор - линза Пиацци-Смита.

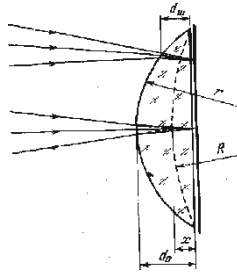


Рис. 2. Полевой корректор - линза Пиацци-Смита

Как описано в работе [2], радиус первой поверхности линзы Пиацци-Смита зависит от радиуса корректируемой поверхности изображения (поверхности Петцваля) и от показателя преломления материала линзы Пиацци-Смита.

$$r = \frac{(n-1)R}{n}. \quad (1)$$

Расчет оптической системы [1] без линзы Пиацци-Смита (рис. 3) определил значение радиусов кривизны поверхностей Петцваля в каждом из диапазонов спектра.

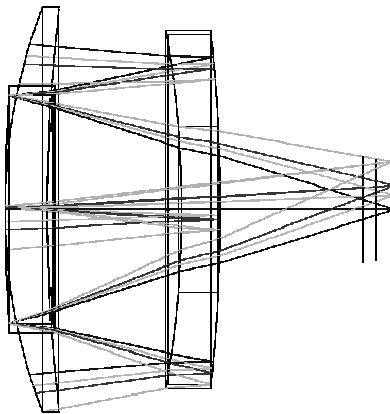


Рис. 3. Оптическая схема объектива без линзы Пиацци-Смита

Радиус кривизны поверхности Петцваля для длины волны $\lambda = 0,589$ мкм равен 143,4 мм, а для длины волны $\lambda = 4$ мкм равен 143,85 мм. Значения радиусов близки, значит их возможно исправить одним полевым корректором.

Определим, какими должны быть радиусы кривизны поверхности Петцваля для длины волны $\lambda = 0,589$ мкм и для длины волны $\lambda = 4$ мкм, исходя из требований к качеству изображения предъявляемыми современными фотоприемными устройствами.

Рассмотрим рис. 4.

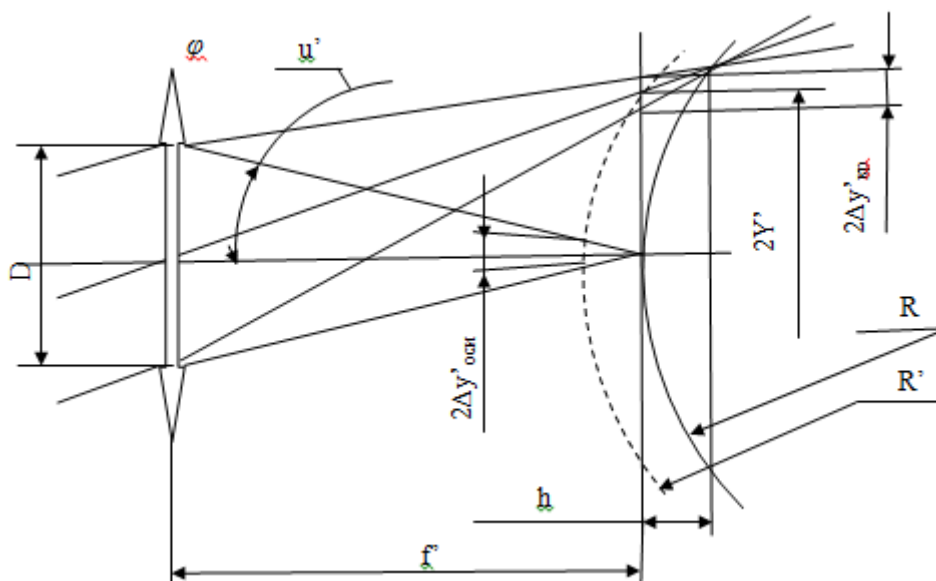


Рис. 4. К расчету радиуса кривизны поверхности изображения

φ – оптическая сила объектива; D – диаметр входного зрачка; u' – задний апертурный угол; f' – фокусное расстояние; $2y'$ – размер изображения; $2\Delta y'_{\text{оси}}$ – размер абберационного кружка на оси; $2\Delta y'_{\text{кр}}$ – размер абберационного кружка на краю; R – радиус кривизны поверхности изображения; h – стрелка прогиба поверхности изображения

После подстановок и преобразований, приведенных в магистерской диссертации Синга О.И., получим формулу (2), связывающую радиус кривизны поверхности изображения с основными параметрами оптической системы и размером пикселя фотоприемника

$$R = \frac{y'^2 D}{4 \Delta y' f'} + \frac{2 \Delta y' f'}{2} \quad (2)$$

Примем для оценочного расчета следующие параметры: $D=50\text{мм}$, $f'=100\text{мм}$:

Для $\Delta\lambda = 0,486-0,9 \text{ мкм}$; $\Delta y' = 10 \text{ мкм}$

$$R = \frac{12,5^2 \times 50}{4 \times 0,005 \times 100} + 0,005 \times 100 = 3906,25 + 0,5 = 3906,75$$

Для $\Delta\lambda=3-5 \text{ мкм}$: $\Delta y'=35 \text{ мкм}$

$$R = \frac{12,5^2 \times 50}{4 \times 0,0175 \times 100} + 0,0175 \times 100 = 1116,07 + 1,75 \times 100 = 1117,82$$

Таким образом, минимальный размер радиуса кривизны поверхности изображения в визуальном диапазоне должен быть не менее 3907мм, а в тепловизионном диапазоне спектра не менее 1118мм.

Для анализа свойств линзы Пиацци-Смита от оптического материала воспользуемся оптической системой приведенной в работе [1]. В этой схеме будем менять материал линзы Пиацци-Смита т. е. его показатель преломления, зависящий от длины волны излучения, и оценивать его влияние на коэффициент аббераций Зейделя (четвертую сумму Зейделя – сумму Петцваля), на радиус

кривизны поверхности изображения (радиус кривизны поверхности Петцваля) и разность радиусов кривизны поверхности Петцваля для двух диапазонов спектра $\Delta\lambda_1 = 0,486\text{--}0,9$ мкм ($\lambda_{01} = 0,589$ мкм) и $\Delta\lambda_2 = 3\text{--}5$ мкм ($\lambda_{02} = 4$ мкм). Результаты математического моделирования работы линзы Пиацци-Смита в двухспектральном зеркально-линзовом объективе, с использованием пакета оптических программ приведены в таблице.

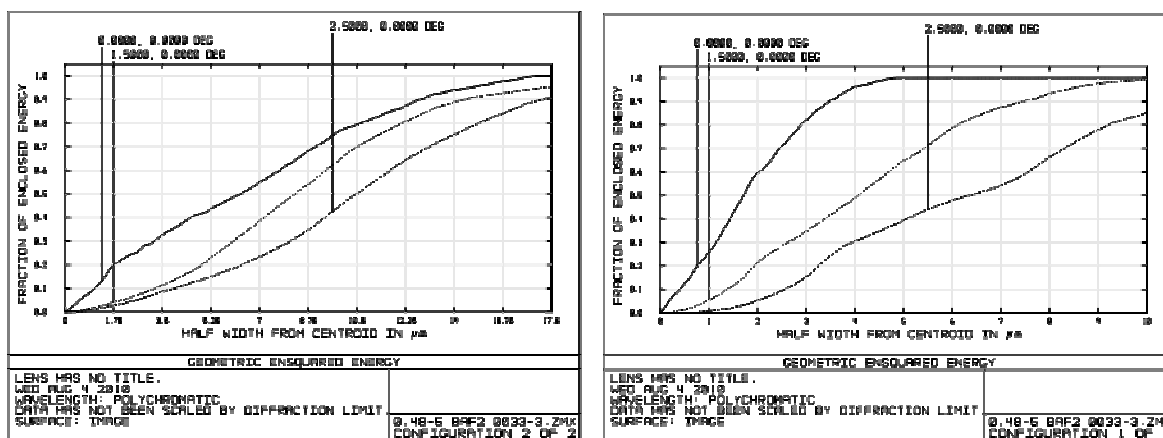
Таблица. Влияние материала линзы Пиацци-Смита на S_{IV} и $R_{\text{Петцваля}}$

	n		S_{IV}		$R_{\text{Петцваля}}$	
	0,589мкм	4мкм	0,589мкм	4мкм	0,589мкм	4мкм
MgF ₂	1,3786	1,3488	-0,0233	-0,0294	1180,5	936,4
LiF	1,3931	1,3493	-0,0188	-0,0273	1467,7	1008,3
CaF ₂	1,4349	1,4096	-0,0062	-0,0115	4436,1	2401,7
BaF ₂	1,4744	1,4567	0,0048	0,00049	-5747,7	-5681,3
KCl	1,4929	1,4720	0,0108	0,0045	-2554,8	-6169,1
MgO	1,7408	1,6679	0,0676	0,0567	-407,4	-485,6
Al ₂ O ₃	1,7707	1,6752	0,0731	0,0610	-376,9	-451,6
ZnS	2,3882	2,253	0,0397	0,0361	-172,7	-190,1
ZnSe	2,6244	2,4332	0,1144	0,0165	-240,9	-167,1

Из таблицы видно, что в интервале значений показателя преломления от 1,4349 (CaF₂) до 1,4567 (BaF₂) четвертая сумма Зейделя меняет свой знак с минуса на плюс (проходит значение ноль). В каждом из диапазонов спектра имеется своё значение показателя преломления, при котором $S_{IV} = 0$ и они не совпадают. Это говорит о том, что одновременно получить плоскую поверхность изображения в каждом из спектральных диапазонов невозможно.

Однако, что в этом же интервале значений показателя преломления наблюдается разрыв значений радиусов кривизны поверхности Петцваля с + бесконечности на – бесконечность, а это позволяет получить значения радиусов кривизны поверхности Петцваля, удовлетворяющих вышеуказанным условиям.

На рис. 7 приведены результаты расчета двухспектральной оптической системы с двумя плоскостями изображения для двух фотоприемных устройств.



а б

а – рабочий диапазон $\Delta\lambda = 0,5 - 0,9$ мкм;

б – рабочий диапазон $\Delta\lambda = 3 - 5$ мкм.

Рис. 7. Вид экрана монитора. Графики концентрации энергии в абберационном пятне

Задача работы заключалась в теоретическом обосновании возможности коррекции поверхности изображения зеркально-линзовых объективов полевым корректором – линзой Пиацци-Смита – в двух диапазонах спектра. Кроме этого, было проведено теоретическое обоснование возможности расчета двухспектральной оптической системы, выполненной из одного оптического материала.

Методы исследования были основаны на математическом моделировании работы двухспектральной зеркально-линзовой системы, с использованием пакета оптических программ «ZEMAX», при помощи которого был произведен абберационный расчет оптической системы.

Рассчитана двухспектральная зеркально-линзовая система с единой плоскостью изображения для двух диапазонов спектра и разными плоскостями изображения для каждого из диапазонов спектра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 98072 на полезную модель Российская Федерация, МПК⁴ G02B 17/00. Двухспектральная зеркально-линзовая система [Текст] / Егоренко М.П., Ефремов В.С.; заявитель и патентообладатель Сибирская государственная геодезическая академия. – № 2010108755/22(012273); заявл. 09.03.10.

2. Михельсон, Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция [Текст]. – М.: Наука, 1976. – 512 с.

© М.П. Егоренко, В.С. Ефремов, О.И. Синг, 2011

СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ ХРОМАТИЗМА ПОЛОЖЕНИЯ В ОБЪЕКТИВАХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрен способ устранения хроматизма положения в объективах телескопических систем. Представлены рассчитанные схемы объективов.

V.L. Parko

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE WAY OF CHROMATISM'S ELIMINATION IN TELESCOPIC OBJECTIVES

The way of chromatism's elimination in telescopic objectives is considered in this article. The designed schemes of such objectives are presented.

Общеизвестно, что нельзя полностью устранить хроматическую aberrацию в одиночной линзе. Наибольшее, чего можно добиться – это ее ахроматизации (мениск Максудова). Но такие линзы обладают отрицательной оптической силой и поэтому не могут использоваться как основной собирающий элемент объектива. Таким образом, сложился определенный стереотип, заключающийся в том, что апохроматической коррекции в объективах телескопических систем можно добиться, когда объектив состоит минимум из двух линз (рис. 1), максимально близко расположенных к входному зрачку. При этом, хотя бы одна линза должна быть выполнена из стекла с особыми свойствами (стекла ОК, ОФ и им подобные) или флюорита. Ограничения по диаметрам заготовок, стоимости материалов, стойкости к внешним воздействиям и технологические трудности заставляют избегать применения таких материалов при расчете объективов астрономических приборов, ориентированных на серийное производство [1].

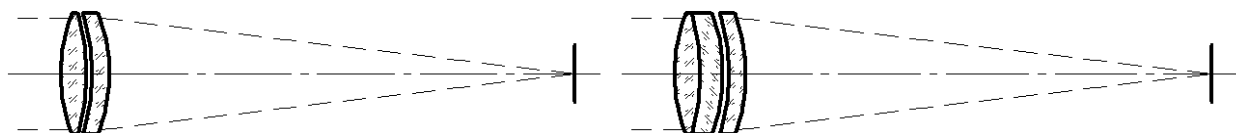


Рис. 1. Традиционные схемы апохроматических объективов телескопических систем

Автор задался целью выяснить, при каких условиях можно добиться устранения хроматизма положения в объективах телескопических систем, у которых одиночная апертурная линза вносит наибольший вклад в общее фокусное расстояние.

Известно, что положительная линза обладает отрицательным хроматизмом, а отрицательная – положительным. При должном подборе материалов линз, их оптических сил и расстояния между компонентами возможна взаимная компенсация их хроматизмов положения. На рис. 2 представлена схема такой системы с апохроматической коррекцией для линий C', e и F' видимого диапазона спектра.

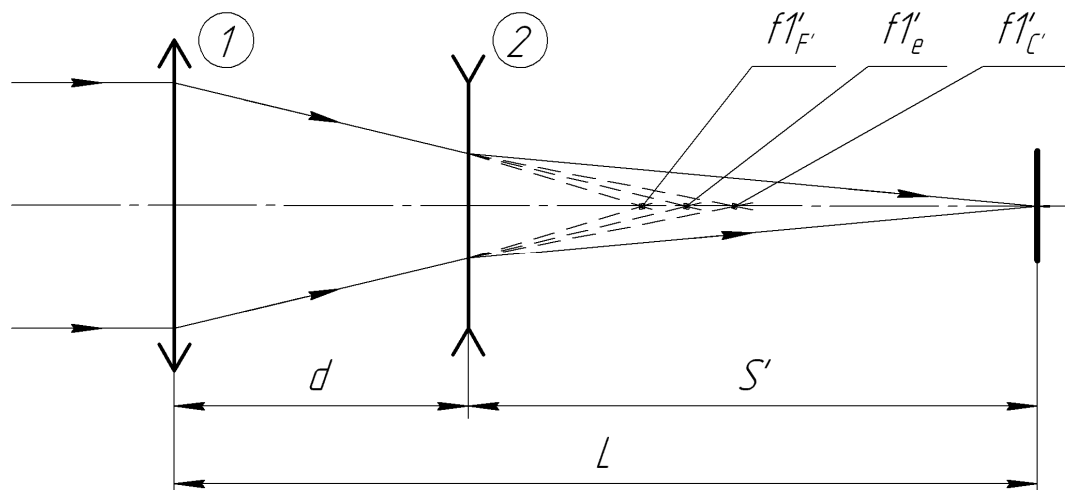


Рис. 2. Схема устранения хроматизма в двухкомпонентном объективе

С целью повышения технологичности производства таких объективов и уменьшения себестоимости, в качестве материалов линз используются стекла без особого хода дисперсии, а отрицательный компонент располагается на значительном расстоянии от положительного. Например, на расстоянии d , равном половине фокусного расстояния положительной линзы, диаметр второго компонента меньше первого в два раза.

Условие апохроматической коррекции можно записать следующим выражением:

$$S'_{F'} = S'_{C'} = S'_e, \quad (1)$$

где $S'_{F'}$, $S'_{C'}$ и S'_e – задние фокальные отрезки системы для линий F', C' и e соответственно.

Формула нахождения заднего фокального отрезка системы S'_e , выглядит следующим образом:

$$S'_e = \frac{1 - \Phi_1 \cdot d}{\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot d} \quad (2)$$

где d_1 – расстояние между первым и вторым компонентами системы;

Φ_1, Φ_2 – оптические силы для линии e, соответственно для первого и второго компонентов системы.

Задние фокальные отрезки системы $S'_{F'}$ и $S'_{C'}$ находятся аналогично формуле (2). Подставив формулу (2) в (1), получим систему уравнений (3):

$$\begin{cases} \frac{1 - \Phi_{1F} \cdot d}{\Phi_{1F} + \Phi_{2F} - \Phi_{1F} \cdot \Phi_{2F} \cdot d} = \frac{1 - \Phi_{1C} \cdot d}{\Phi_{1C} + \Phi_{2C} - \Phi_{1C} \cdot \Phi_{2C} \cdot d}; \\ \frac{1 - \Phi_{1F} \cdot d}{\Phi_{1F} + \Phi_{2F} - \Phi_{1F} \cdot \Phi_{2F} \cdot d} = \frac{1 - \Phi_{1C} \cdot d}{\Phi_{1C} + \Phi_{2C} - \Phi_{1C} \cdot \Phi_{2C} \cdot d}; \end{cases} \quad (3)$$

Как показали решения системы уравнений (3), апохроматической коррекции можно добиться в схеме, в которой первый и второй компоненты являются одиночными линзами, но только для случая отрицательного эквивалентного фокуса системы (рис. 3), т. е. мнимого изображения.

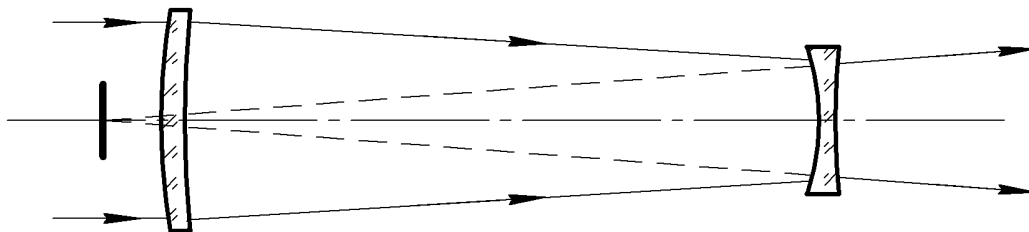


Рис. 3. Схема двухлинзового апохроматического объектива

Дальнейшие исследования показали, что для получения действительного апохроматизированного изображения достаточно ввести положительную линзу во второй компонент, обладающую, однако, меньшей оптической силой, нежели отрицательная линза (рис. 4).

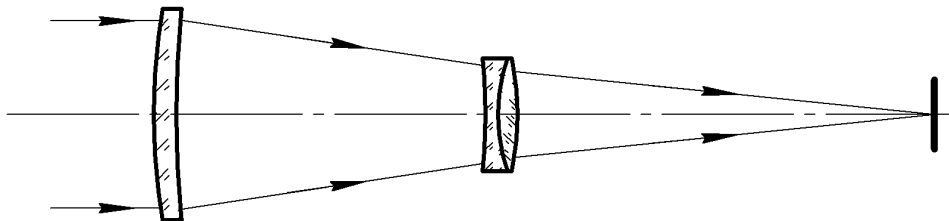


Рис. 4. Схема двухкомпонентного апохроматического объектива

Тогда формула (2) примет вид:

$$S'_e = \frac{1 - \Phi_1 \cdot d}{\Phi_1 + \Phi_{21} + \Phi_{22} - \Phi_1 \cdot (\Phi_{21} + \Phi_{22}) \cdot d}, \quad (4)$$

Φ_{21}, Φ_{22} - оптические силы для линии e , соответственно для первой и второй линз второго компонента системы.

Примечательно, что для апохроматической коррекции в схеме, представленной на рис. 4, достаточно использовать две марки оптического стекла без особого хода дисперсии.

Например, для пары стекол ТФ10 и СТК3 с оптической силой первого компонента Φ_1 равной 1 дптр, расстояние d равно 0,56 м, а оптические силы Φ_{21} и Φ_{22} равны соответственно -10,87 и 10,59 дптр. Эквивалентный фокус этой системы равен 0,89 дптр, а общая длина составляет 1,05 дптр. Следует отметить, что обе линзы во втором компоненте обладают большими оптическими силами, в то время как оптическая сила второго компонента равна -0,28 дптр.

Проверочный расчет в программе моделирования оптических систем подтверждает апохроматическую коррекцию рассчитанного объектива в видимом спектральном диапазоне. На рис. 5 видна характерная для апохроматов S-образная кривая графика продольной хроматической aberrации (фокусное расстояние объектива равно 1120 мм).

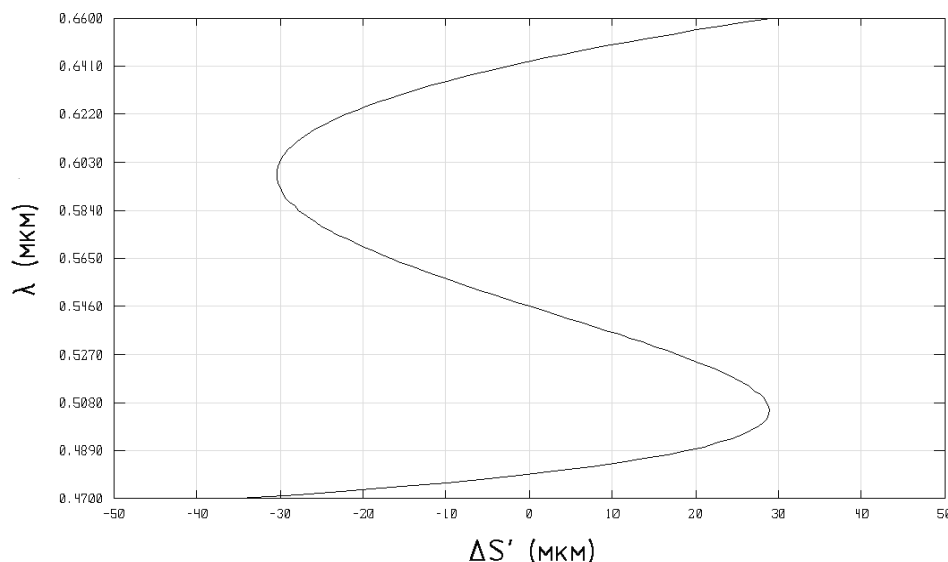


Рис. 5. График продольной хроматической aberrации

Однако у таких объективов есть существенный недостаток – наличие полевых aberrаций, что позволяет их (рис. 4) использовать только как объективы коллиматоров или афокальных систем с малыми угловыми полями. Для борьбы с полевыми aberrациями необходимо усложнить систему, добавив, например, третий компонент, состоящий из двух линз, сделанных из тех же стекол что и первые два компонента (рис. 6) [2,3].

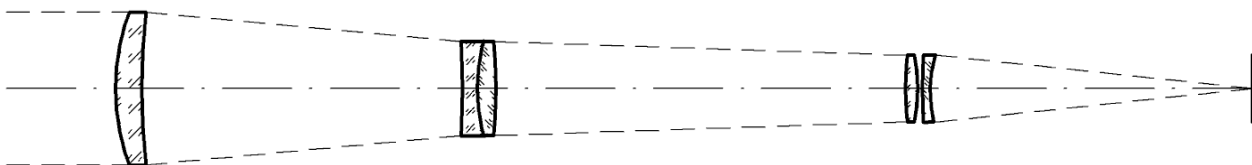


Рис. 6. Оптическая схема апохроматического объектива телескопических систем

В ходе исследования схемы двухкомпонентного объектива было выяснено, что для лучшей коррекции сферохроматической aberrаций из одной марки стекла изготавливаются апертурная линза и первая линза во втором компоненте.

Экономический эффект от построения апохроматических объективов по предлагаемым схемам очевиден, в связи с чем они несомненно займут свою нишу в оптическом приборостроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, Г. М. Современная астрономическая оптика [Текст] / Г. М. Попов. – М.: Наука, – 1988. – 189 с.

2. Парко, В. Л. Апохроматический объектив без использования особых стекол [Текст] / В. Л. Парко, Т. Н. Хацевич // ГЕО-Сибирь-2010. Т. 5: Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии. Ч. 1: сб. матер. VI Междунар. науч. Конгр. «ГЕО-Сибирь-2010». – 2010. – С. 37 – 41.

3. Парко, В. Л. Апохроматические объективы телескопов без использования марок стекол с особым ходом дисперсии [Текст] / В. Л. Парко, Т. Н. Хацевич // Труды Международной конференции «Прикладная оптика-2010». Т. 1., ч.1: Оптическое приборостроение. – 2010. – С. 60.

© В.Л. Парко, 2011

УДК 681.7.068

А.О. Ушаков, Н.Р. Рахимов

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО МЕТОДА И РАЗРАБОТКА ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АМПЛИТУДНЫХ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ

В статье рассматривается исследование оптоэлектронного метода и построение первичных преобразователей амплитудных датчиков ускорения. Отличительной стороной данных датчиков является то, что оптоволоконные датчики не подвержены электромагнитным излучениям, и они имеют малые габариты, а так же низкую стоимость изготовления.

A.O. Ushakov, N.R. Rakhimov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

INVESTIGATION OF OPTOELECTRONIC METHOD AND DEVELOPMENT OF PRIMARY TRANSDUCERS OF AMPLITUDE ACCELERATION SENSORS

The research of optoelectronic method and development of primary transducers of amplitude acceleration sensors are considered. The feature of the sensors is the fact that fiber optics sensors are not subject to electromagnetic radiation, they have small dimensions and low production cost.

Датчики ускорения (акселерометры) находят широкое применение на транспорте, в медицине, в промышленных системах измерения и управления, в инерциальных системах навигации и т. п. В настоящее время в науке и технике применяется много разновидностей акселерометров, имеющих различные принципы действия, диапазоны измерения ускорений, массу, габариты и цены. Несмотря на это поиск новых методов первичных преобразователей датчиков ускорения продолжается.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) это навигационное устройство, в основу которого положены классические (ньютоновские) законы механики. Посредством инс определяют координаты, скорость, ускорение и др. основные параметры движения объекта. ИНС имеют перед другими навигационными системами важные преимущества – универсальность применения, возможность определения основных параметров движения, автономность действия, абсолютную помехозащищенность.

В современных ИНС применяются два типа измерителей линейного ускорения: механические [1] и интерферометрические [2]; последние, хотя и

считаются оптическими приборами, но функционально подобны первым, потому что они, как и механические, являются измерителями кажущегося ускорения (f), что обусловлено принципом из работы — воздействие инертной массы на материал оптического канала. [3].

Современные технологии позволяют изготовить датчики ускорения, имеющие малые габариты и низкую цену. Наиболее популярные виды акселерометров это пьезоэлектрические, IEPЕ-акселерометры, пьезорезистивные и акселерометры переменной емкости. Эти виды относятся к механическим акселерометрам. Рассмотрим принципы работы основных типов датчиков ускорения.

Основные варианты конструкций пьезоэлектрических акселерометров:

- Сжатия, в котором масса воздействует силой сжатия на пьезоэлектрический элемент;
- Сдвига, характерным для которого является работа пьезоэлемента под действием срезающего усилия, обусловленного внутренней массой акселерометра.

Датчик деформации пьезорезистивных акселерометров изменяют электрическое сопротивление пропорционально приложенному механическому напряжению. Монолитный датчик акселерометра включает в себя встроенные механические ограничители и обладает очень высокой прочностью.

В акселерометрах переменной емкости уникальный микродатчик переменной емкости создает емкостное устройство с параллельным расположением пластин. В результате получается датчик с реакцией на входные ускорения постоянного тока, со стабильной характеристикой демпфирования, которая максимизирует частотную характеристику.

Одно из перспективных применений волоконных световодов в контрольно-измерительной технике связано с изготовлением датчиков ускорения, имеющие малые габариты и низкую цену. [2].

Оптоэлектронные системы с применением волоконно-оптических датчиков (ВОД), обладая рядом достоинств (невосприимчивость к электромагнитным и радиочастотным помехам, диэлектрические свойства, возможность применения в опасных средах, малая масса и габариты), находят широкое применение в авиационной промышленности для контроля и управления. В последнее время значительно улучшено качество световодов, т.е. получены волоконные световоды с потерями меньше 1 дБ/км. Подбором материала и конструкции оптоволоконна добиваются увеличения потерь для мод, распространяющихся в оболочке, и их снижения для направленных мод в сердечнике.

В зависимости от материалов используемых для изготовления оптоволоконна, их можно разделить на волокна, в которых сердечник и светоотражающая оболочка выполнены из кварца, легированного окислами бора, фосфора, германия и т.д. Они широко применяются в диапазоне длин волн 0,8 – 1,7 мкм. Достигнутый минимальный уровень затухания при длине волны 1,3 мкм составляет 0,2 - 0,4 дБ/км и при длине волны 1,55 мкм – 0,16 дБ/км.

Принцип действия оптоэлектронного датчика ускорения основан на изменении потерь интенсивности светового потока, распространяющегося по волокну при изменении радиуса изгиба световода или прерывании светового потока.

Авторами разработано множество возможных конструктивных решений по оптоэлектронному датчику ускорения. На рис. 1 (а, б, в, г) показаны варианты конструкции оптоэлектронных датчиков ускорения на основе оптоволокна.

Один из вариантов датчика (г) представляет собой световод, намотанный в виде соленоида и жестко приклеенный к основанию. При ускоренном движении системы вверх или вниз сила инерции, действующая на виток оптоволокна, деформирует его, вызывая изменение изгибных потерь проходящего света. Поток Φ , проходящий через оптоволокно, в этом случае подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi = \Phi_0 \exp(\alpha L), \quad (1)$$

где Φ_0 – начальный поток в световоде; Φ – проходящий поток; α – коэффициент поглощения, зависящий от вида световода и радиуса соленоида; L – длина изогнутого световода. Коэффициент поглощения α для одномодовых волоконных световодов с гауссовым распределением показателя преломления определяется [4,5] по формуле:

$$\alpha = \rho^{-1} \cdot g\left(\frac{\rho}{R}, V\right) \cdot \exp\left[\frac{2}{3} \left(\frac{\Delta}{n_{c_0}}\right)^2 \cdot \frac{R}{\rho} \cdot \frac{(V-1)^3}{V}\right], \quad (2)$$

где ρ – масштабный параметр; $\Delta = \sqrt{n_{c_0}^2 - n_{c_1}^2}$; n_{c_0} – максимальное значение показателя преломления; n_{c_1} – минимальное значение показателя преломления; $V = 2\pi\rho\Delta/\lambda$; λ – длина волны излучения; g – некоторая медленно меняющаяся функция; R – параметр внешнего воздействия.

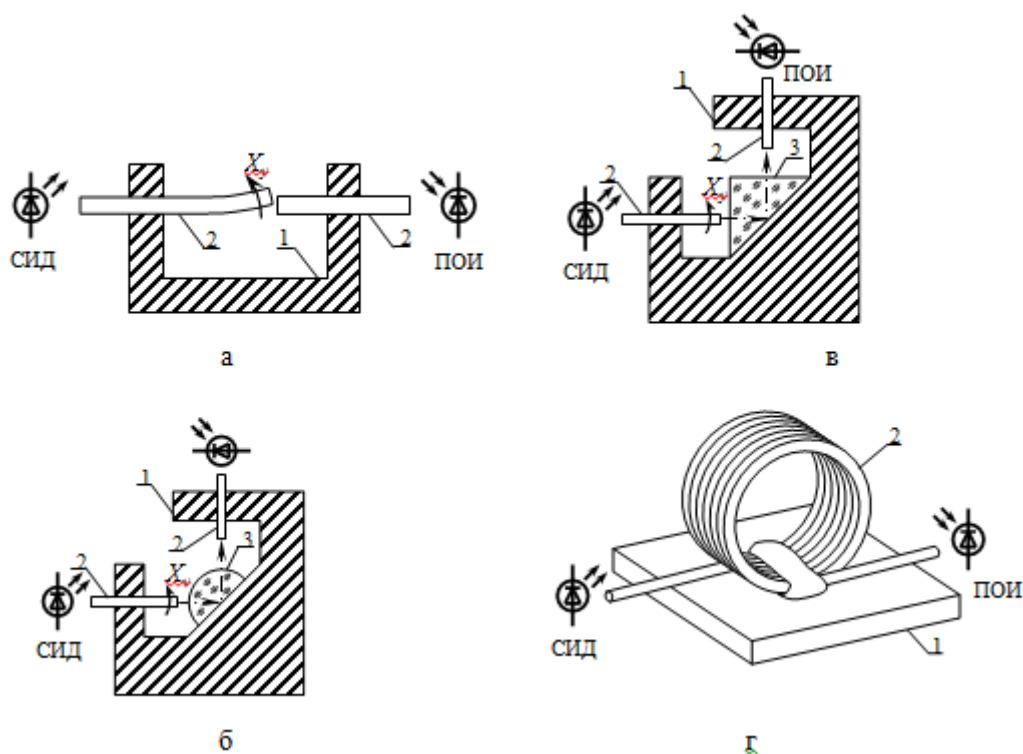


Рис. 1. Варианты конструкции оптоэлектронных датчиков ускорения на основе оптоволоконна 1 – основание датчика; 2 – световоды; 3 – линза; X_y – ускорение; СИД – светоизлучающий диод; ПОИ – приемник оптического излучения

Если определим коэффициент из экспериментальной зависимости (рис. 2) при постоянном угле дуги φ_0 $\Phi = \Phi(R)$ при радиусе изгиба, соответствующему линейному участку зависимости, то можно определить:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = kR + b. \quad (3)$$

Преобразуя (1) с учетом (3), получаем

$$\alpha = -\frac{1}{\varphi_0 R} \cdot \ln(kR + b), \quad (4)$$

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \exp\left[\frac{\varphi}{\varphi_0} \cdot \ln(kR + b)\right], \quad (5)$$

где φ – угол дуги изогнутого световода.

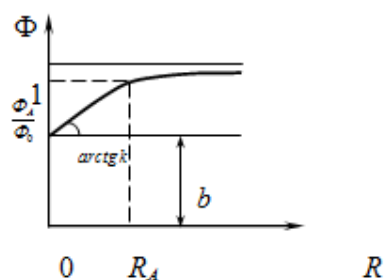


Рис. 2. Экспериментальная зависимость затухания сигнала от изгиба соленоида

Рабочую точку датчика R_A можно выбрать в конце линейного участка. Учитывая, что $\varphi = 2\pi N$, то для начального положения датчика получим

$$\Phi_1 = \Phi_0 \cdot \exp \left[\frac{2\pi N}{\varphi_0} \cdot \ln(kR_A + b) \right]. \quad (6)$$

При увеличении ускорения увеличивается деформация витка, который состоит из двух прямолинейных участков и двух полуокружностей.

$$R = R_A - \frac{u}{2}, \quad (7)$$

где u – расстояние изгиба.

Учитывая это, Φ_2 можно записать для движения с ускорением:

$$\Phi_2 = \Phi_0 \cdot \exp \left[\frac{2\pi N}{\varphi_0} \cdot \ln \left\{ k \left(R_A - \frac{u}{2} \right) + b \right\} \right]. \quad (8)$$

а эффективность модуляции находится как

$$\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Phi_1} = 1 - \exp \left[\frac{2\pi N}{\varphi_0} \cdot \ln \frac{k \left(R_A - \frac{u}{2} \right) + b}{k(R_A + b)} \right]. \quad (9)$$

Для конструирования данного оптоэлектронного датчика ускорения можно использовать кварц-полимерные световоды с диаметром оболочки 124 мкм, диаметром сердцевины $\approx 8,5$ мкм и диаметром покрытия 220 мкм, при радиусе изгиба 2 – 4 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ишлинский, А.Ю. Классическая механика и силы инерции.- М.: Наука, 1987.- 320 с.
2. Бусурин, В.И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения / В.И. Бусурин, Ю.Р. Носов.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 256 с.
3. Девятисильный, А.С. Интерпретация измерений оптического акселерометра // ЖТФ.- 2004.- Том 74, вып. 9.
4. Снайдер, А.У. Теория одномодовых волоконных световодов // Письма в ЖТФ.- 1981.- № 1, 69.- С. 7-15.
5. Разработка волоконно-оптических преобразователей для систем автоматизации прочностного эксперимента: отчет. НИР.- Ташкент: Институт теплофизики, 1988.- С. 20-21.

УДК 681.7.015

В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, И.И. Кремис

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОВИЗОРОВ «СМОТРЯЩЕГО» ТИПА НА ОСНОВЕ МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье рассмотрена методика анализа температурной чувствительности тепловизоров «смотрящего» типа на основе матричных приемников излучения. Методика разработана на основе теории температурной чувствительности тепловизионных систем при работе по неоднородному полю теплового излучения.

V.M. Tymkul, L.V. Tymkul, I.I. Kremis

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TECHNIQUE OF THE ANALYSIS OF TEMPERATURE SENSITIVITY INFRARED DEVICES OF «LOOKING» TYPE ON THE BASIS OF MATRIX RECEIVERS OF RADIATION

In article the technique of the analysis of temperature sensitivity infrared devices «looking» type on the basis of matrix receivers of radiation is considered. The technique is developed on the basis of the theory of temperature sensitivity infrared systems at work on a non-uniform field of thermal radiation.

В настоящее время широко известны методы расчета температурной чувствительности тепловизоров первого и второго поколения, работающих по однородному полю излучения [1,2]. В работах [3,4] нами предложена методика расчета чувствительности тепловизионных систем при работе по неоднородному объектно-фоновому полю теплового излучения.

В данной работе предлагается методика анализа температурной чувствительности тепловизоров «смотрящего» типа на основе матричных приемников излучения (МПИ). При этом анализируется ситуация формирования чувствительности при усреднении объектно-фоновое поля температур, которое наблюдается тепловизором.

Методика основана на следующем выражении для пороговой температурной чувствительности тепловизоров при работе по неоднородному объектно фоновому полю температур [3,4]:

$$\Delta T_{пор}^{(H)} = \frac{\pi \sqrt{1 + K^2(\bar{\Phi}_\phi) + \frac{\Delta U_\phi^2}{U_{нз}^2} K_9 \sqrt{ab\Delta f}}}{A_0 D^* \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \tau_o(\lambda) \tau_a(\lambda) \left\{ \varepsilon(\lambda) A[\lambda, T(x, y), \bar{T}] + \varepsilon_\phi(\lambda) A_\phi[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi] \right\} d\lambda} . \quad (1)$$

В формуле (1) приняты обозначения:

$T(x, y)$ и $T_\phi(x, y)$ – функция распределения поля температур соответственно по поверхности объекта и фона;

$S(\lambda)$ и D^* – спектральная чувствительность и удельная обнаружительная способность чувствительного элемента с линейными размерами a и b ;

λ_1, λ_2 – границы спектральной чувствительности МПИ;

$\varepsilon(\lambda), \varepsilon_\phi(\lambda)$ – спектральный коэффициент излучения поверхности объекта и фона;

$\tau_o(\lambda), \tau_a(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания оптической системы и слоя атмосферы между объектом и прибором;

Δf – ширина полосы электрических частот схемы включения приемника излучения;

A_0 – площадь входного зрачка объектива тепловизора;

K_9 – коэффициент использования приемником излучения эталонного источника;

$K(\bar{\Phi}_\phi)$ – коэффициент, учитывающий увеличение порогового сигнала приемника за счет постоянной составляющей излучения фона;

ΔU_ϕ^2 – дисперсия сигнала помехи чувствительного элемента МПИ за счет переменной составляющей излучения фона;

$U_{нз}^2$ – пороговый сигнал чувствительного элемента МПИ при воздействии эталонного источника;

$$A[\lambda, T(x, y), \bar{T}] = \left\{ \alpha_o \beta_o \frac{dW(\lambda, \bar{T})}{dT} + \frac{dB[\lambda, T(x, y), \bar{T}]}{dT} \right\}; \quad (2)$$

$$A_\phi[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi] = \left\{ \alpha_\phi \beta_\phi \frac{dW(\lambda, \bar{T}_\phi)}{dT_\phi} + \frac{dB_\phi[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi]}{dT_\phi} \right\}; \quad (3)$$

$$B[\lambda, T(x, y), \bar{T}] = \iint_{(x_o, y_o)} \Delta W[\lambda, T(x, y), \bar{T}] dx dy; \quad (4)$$

$$B_\phi[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi] = \iint_{(x_\phi, y_\phi)} \Delta W[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi] dx dy. \quad (5)$$

α_o, β_o – линейный угол, который стягивает объект на расстоянии l от прибора соответственно по строке и по кадру;

α_ϕ, β_ϕ – линейный угол, который стягивает участок фона на расстоянии l от прибора соответственно по строке и по кадру;

$\bar{T}, \bar{T}_\phi$ - среднее значение температуры по поверхности объекта и фона;

На основании работ [3,4] отношение $\Delta U_\phi^2 / U_{нэ}^2$ представим в виде:

$$\frac{\Delta U_\phi^2}{U_{нэ}^2} = K_\phi^2 I_\phi^2, \quad (6)$$

где,

$$K_\phi = \frac{D^* A_o}{\pi K_9 l^2 \sqrt{ab \Delta f}}; \quad (7)$$

$$I_\phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \tau_o(\lambda) \tau_a(\lambda) \varepsilon_\phi(\lambda) B_\phi[\lambda, T_\phi(x, y), \bar{T}_\phi] d\lambda. \quad (8)$$

Анализ выражения (1), а также выражений (2) - (8), показывает, что вследствие засветки МПИ тепловизора постоянной и переменной составляющими неоднородного поля теплового излучения фона, значение $\Delta T_{пор}^{(H)}$ существенно увеличивается по сравнению со значениями $\Delta T_{пор}$ для однородного поля теплового излучения. Рост значений $\Delta T_{пор}^{(H)}$ обеспечивается за счет слагаемых $K^2(\bar{\Phi}_\phi)$ и $K_\phi^2 I_\phi^2$ в формуле (1), которые больше 1.

Для анализа чувствительности тепловизора «смотрящего» типа с МПИ на основе фотодиодов из кадмий-ртуть-теллура в работе рассматривается следующая ситуация:

1. Расфокусируется оптическая система тепловизора, в результате чего, в плоскости, где находятся чувствительные элементы МПИ формируется поле усредненного излучения наблюдаемой сцены;

2. При этом поле усредненного излучения наблюдаемой сцены приобретает однородный характер и значения параметров $K^2(\bar{\Phi}_\phi)$ и $\Delta U_\phi^2 / U_{нэ}^2$, которые понижали чувствительность тепловизора, существенно уменьшаются;

3. В конечном итоге, условие (2), как видно из формулы (1), формирует эффект уменьшения значения $\Delta T_{пор}^{(H)}$, то есть чувствительность тепловизора «смотрящего» типа на основе МПИ увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мирошников, М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов [Текст] / М.М. Мирошников. – М.: Машиностроение, 1983. - 696 с.
2. Ллойд, Дж. Системы тепловидения [Текст] Дж. Ллойд / Пер. с англ. М.В. Васильченко; под ред. Горячего А.И. – М.: Мир, 1978. - 414 с.
3. Тымкул, О.В. Методика расчета температурной чувствительности космических тепловизионных систем при работе по неоднородному полю теплового излучения [Текст] О.В. Тымкул, В.М. Тымкул // Исследование Земли из космоса. 1997, № 6. – с.20 – 24.

4. Тымкул, В.М. Оптико-электронные приборы и системы. Теория и методы энергетического расчета [Текст] / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул. - Новосибирск: СГГА, 2005. – 215 с.

© В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, И.И. Кремис, 2011

УДК 681.784.22:519.87

А.Н. Поликанин

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОПАТАЛОГИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА НА КАЧЕСТВО ВОСПРИЯТИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Произведено математическое моделирование работы человеческого глаза при различных степенях нарушения целостности чувствительного поля рецепторов в фовеальной области сетчатки. Определена функция передачи глазом различных пространственных частот, то есть восприятия элементов изображения разной величины при соответствующих размерах микропатологий (отслоении) сетчатки.

A.N. Polikanin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

STUDY ON MIKROPATALOGY RETINA ON QUALITY OF PERCEPTION VISUAL INFORMATION

Produced by mathematical modeling of the human eye at various degrees of violation of the integrity of the sensitive field of receptors in the fovea of retina. Transfer function is defined eye at different spatial frequencies, that is the perception of picture elements of different sizes at the corresponding sizes mikropatalogy (delamination) retina.

Фовеальная область сетчатки человеческого глаза представляет собой массив рецепторов, у каждого из которых существует собственный выход сигнала через нервные волокна.

Эта ситуация существенно отличается от того как формируются сигналы на периферийных областях сетчатки, где каждый сигнал формируется посредством интегрального сложения действий обширных рецептивных полей, состоящих из сотен клеток-рецепторов. Такие поля пересекаются и накладываются друг на друга, таким образом, что благодаря ганглиозным клеточным связям одна и та же клетка может участвовать в сигнале сразу нескольких волокон.

Вследствие этого, возможные поражения сетчатки в периферийных областях (отслоения) в значительной степени компенсируются рядом расположенными здоровыми участками.

В фовеальной области, расположенной в оптическом центре сетчатки, такие патологии вызывают гораздо более серьезные нарушения в работе зрения. Формируясь по принципу один рецептор – одно нервное волокно, фовеальная

область представляет собой зону повышенного разрешения человеческого приёмника излучения, которая благодаря явлению саккад как бы сканирует наблюдаемое поле зрения. В результате любые изменения в формировании сигнала даже от небольших (в рамках всей площади сетчатки) участков фовеальной области сразу же сказывается на качестве восприятия визуальной информации человеком.

Для оценки этого качества восприятия и оценки того как и какие последствия вызывают патологические изменения в фовеальном поле, воспользуемся математическим аппаратом вычисления оптической передаточной функции массива чувствительных элементов.

Топологическая модель расположения чувствительных рецепторов человеческого глаза согласно [1] представляет собой гексагональную решётку с круглыми рецепторами в её вершинах. Размер рецептора a , период между рецепторами в одном ряду $1,56b$, где b - размер рецептора по горизонтали. Смещение второго ряда относительно первого в гексагональном массиве составляет $0,78a$, где a - размер рецептора по вертикали. Топологическая модель рассматривается в системе координат YOX , с началом координат в центре фовеальной области, для упрощения расчётов взятой прямоугольной формы. Топологическая модель представлена на рис. 1.

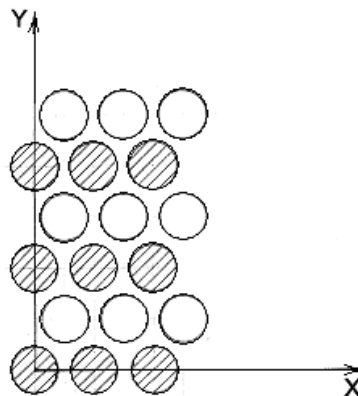


Рис. 1. Геометрическая модель fovea centralis

Найдем пространственно-частотную передаточную функцию (ПЧПФ) области чувствительности. Начало системы координат будет расположено в центре фовеальной области. Преобразование Фурье функции одного чувствительного элемента радиусом R , расположенного в начале системы координат YOX , можно представить формулой [3]:

$$W_0(\mu, \nu) = 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{I_1 \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sqrt{\mu^2 + \nu^2} \right)}{\left(2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sqrt{\mu^2 + \nu^2} \right)}, \quad (1)$$

где I_1 – функция Бесселя первого порядка; μ, ν – пространственные частоты по осям OY и OX соответственно.

Выражение (1) представляет собой модуль комплексной передаточной функции данного чувствительного элемента. Каждый последующий элемент смещен относительно предыдущего по оси ОХ на расстояние $1,56mb$,

где $m = 0, 1, 2, \dots, M$. На основании теоремы смещения преобразование Фурье функции для ряда чувствительных элементов с координатами центров $y = 0, x = \pm 1,56mb$ (на рис. 1 – заштрихованный ряд в начале системы координат по оси ОУ) выполняется по формуле [2]:

$$W_1(\mu, \nu) = W_0(\mu, \nu) \cdot \left[1 + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot 1,56 \cdot b)} + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot 1,56 \cdot b)} + \right. \\ \left. + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot 3,12 \cdot b)} + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot 3,12 \cdot b)} + \dots \right. \\ \left. \dots + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot (M-1) \cdot 1,56 \cdot b)} + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot M \cdot 1,56 \cdot b)} \right], \quad (2)$$

где выражение в скобках представляет собой две геометрические прогрессии, суммы членов которых определяются по формуле.

$$W_1(\mu, \nu) = \frac{1 - \left[e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot m \cdot 1,56 \cdot b)} \right]^M}{1 - e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot m \cdot 1,56 \cdot b)}} + \\ + \frac{e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot m \cdot 1,56 \cdot b)} - \left[e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot m \cdot 1,56 \cdot b)} \right]^{M-1}}{1 - e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot m \cdot 1,56 \cdot b)}}. \quad (3)$$

Чувствительные элементы второго ряда смещены относительно первого по оси ОХ на величину $0,78b$, а по оси ОУ на величину $1,56a$. Преобразование Фурье функции для двух рядов решетки запишется в виде формулы:

$$W_2(\mu, \nu) = W_1(\mu, \nu) \cdot \left[1 + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot (\mu \cdot 1,56 \cdot a + \nu \cdot 0,79 \cdot b))} \right]. \quad (4)$$

Центральные два ряда по оси ОУ повторяются с периодом $\pm 3,12a$ от центра. ПЧПФ решетки в целом можно записать в виде формулы:

$$W(\mu, \nu) = W_2(\mu, \nu) \cdot \left[1 + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot 3,12 \cdot a)} + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot 3,12 \cdot a)} + \right. \\ \left. + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot 6,24 \cdot a)} + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot 6,24 \cdot a)} + \dots \right. \\ \left. \dots + e^{i \cdot (2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot (N-1) \cdot 3,12 \cdot a)} + e^{i \cdot (-2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot M \cdot 3,12 \cdot a)} \right]. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены результаты моделирования для фовеальной области сетчатки размером $0,6$ мм по горизонтали и $0,4$ мм по вертикали.

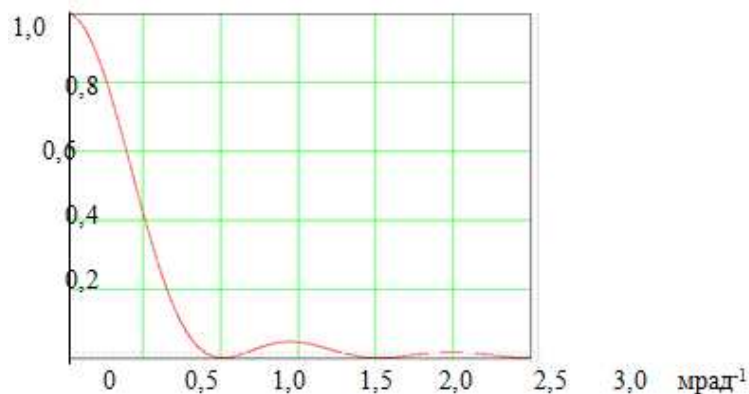


Рис. 2. ПЧПФ решетки при заданных размерах фовеальной области

Имея математическую модель фовеальной области сетчатки, можно представить для нее случай, когда часть элементов сетчатки не функционирует. Для этого достаточно произвести в формулах (3) и (5) несложные изменения с тем, чтобы ряд геометрической прогрессии прерывался на каком-то члене и возобновлялся через некоторый промежуток. Этот эксперимент может иметь конкретное прикладное медицинское значение для моделирования некоторых травматических последствий, приводящих к изменению структуры сетчатки (отслоение). Для случая, когда центр решетки «лишен» некоторого массива элементов (удалено 40 % от их общего количества) ПЧПФ принимает вид, представленный на рис. 3.

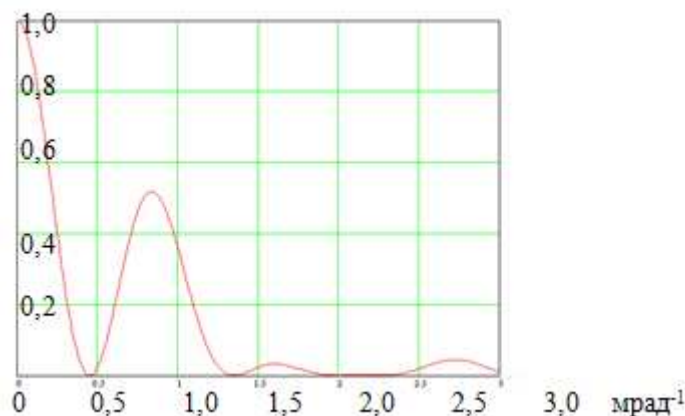


Рис. 3. ПЧПФ с исключением массива элементов

В дальнейшем, при увеличении размера удаленного массива элементов максимум частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) сдвигается в область более высоких частот, так как второй максимум в районе частоты 1 мрад⁻¹ на рис. 3 становится выше первого, расположенного в районе нулевой частоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хьюбел, Д. Глаз, мозг, зрение [Текст] / Д. Хьюбел. – М.: Мир, 1990. – 239 с.
2. Криксунов, Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники [Текст] / Л. З. Криксунов. – М.: Сов. Радио, 1978. – 400 с.

© А.Н. Поликанин, 2011

К 681.7.015.2

Е.О. Ульянова

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАЛОГАБАРИТНОГО НЕОХЛАЖДАЕМОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО МОДУЛЯ

Рассматривается оптическая схема и технические характеристики оптической системы малогабаритного неохлаждаемого тепловизионного модуля.

E.O. Ulyanova

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of Russian

Academy of Sciences, «Technological Design Institute of Applied Microelectronics» (NB ISP SB RAS «TDI AM») 2/1, Prosp. Akademika Lavrentieva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

OPTICAL SYSTEM OF SMALL-SIZE UNCOOLED THERMAL IMAGING DEVICE

The optical scheme and technical characteristics of the optical system of small-size uncooled thermal imaging device are considered.

Область задач, решаемых современными неохлаждаемыми тепловизионными модулями (НТПМ), достаточно широка и включает в себя мониторинг окружающей среды, а также различных технологических комплексов и средств коммуникации, системы охраны, специальные системы для разведки, наблюдения, боевого применения и т. д.

При разработке оптических систем малогабаритных неохлаждаемых тепловизионных модулей с параметрами назначения огромную роль играют массогабаритные характеристики. Поэтому одной из основных задач, решаемых в процессе разработки оптических систем малогабаритных НТПМ, является задача получения требуемых рабочих характеристик при минимальных массогабаритных параметрах.

В Новосибирском филиале ИФП СО РАН «КТИ ПМ» разработана оптическая система малогабаритного НТПМ. Оптическая система формирует изображение в плоскости неохлаждаемого матричного фотоприемного устройства (МФПУ). В качестве фотоприёмного устройства применена неохлаждаемая болометрическая матрица фирмы ULIS (Франция), имеющая размер фоточувствительного поля $5,6 \times 4,2$ мм (160×120 элементов) и шаг между элементами 35 мкм. Оптическая схема оптической системы малогабаритного НТПМ представлена на рис. 1 со следующими условными обозначениями: 1–3 –

линзовые компоненты, 4 – входное окно МФПУ, 5 – плоскость фоточувствительных элементов матричного ФПУ.

В табл. 1 приведены основные характеристики разработанной оптической системы.

Оптическая схема оптической системы НТПМ включает три линзовых компонента, представляющих собой мениски, выполненные из германия и селенида цинка. Все линзовые компоненты имеют сферические поверхности.

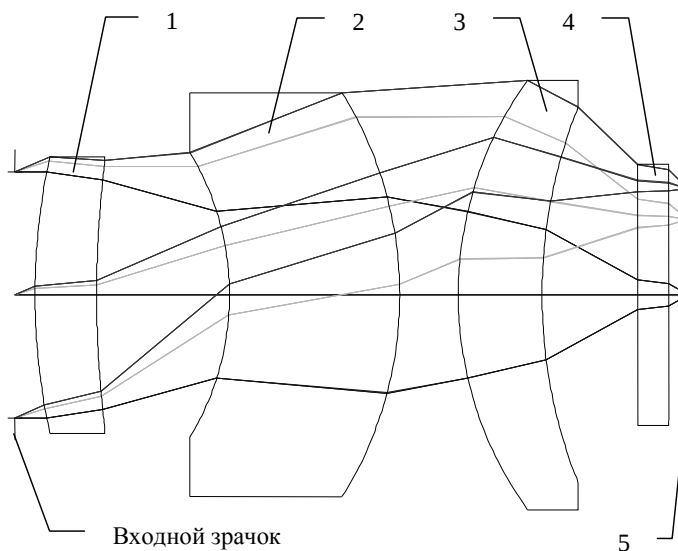


Рис. 1. Оптическая схема оптической системы НТПМ

Таблица 1. Оптотехнические и габаритные характеристики оптической системы

Спектральный диапазон работы, мкм	8-12
Фокусное расстояние, мм	8,2
Относительное отверстие	1:1
Угол поля зрения, град	40×30
Длина, мм	22
Масса, г	7

Качество изображения разработанной оптической системы оценивается с помощью параметров кружка рассеяния, частотно-контрастной характеристики и функции концентрации энергии. Параметры ЧКХ, параметры кружка рассеяния и функции концентрации энергии представленной системы в сравнении с дифракционно-ограниченной системой приведены в табл. 2 и 3, а также показаны на рис. 2 и 3.

Таблица 2. Частотно-контрастная характеристика

Пространств. частота (мм ⁻¹)	Контрастность, отн. ед.			
	$\omega=0^\circ$	$\omega=14,14^\circ \times 10,6^\circ$	$\omega=20^\circ \times 15^\circ$	Дифракционно-ограниченная система
10	0,86	0,82	0,78	0,86
20	0,71	0,62	0,52	0,73
30	0,57	0,43	0,30	0,60
40	0,45	0,27	0,16	0,47
50	0,33	0,16	0,10	0,35

Таблица 3. Функция концентрации энергии в пятне

Радиус пятна (мкм)	Энергия, отн. ед.			
	$\omega=0^\circ$	$\omega=14,14^\circ \times 10,6^\circ$	$\omega=20^\circ \times 15^\circ$	Дифракционно-ограниченная система
10	0,78	0,70	0,58	0,82
12,5	0,82	0,79	0,67	0,84
15	0,85	0,83	0,73	0,86
17,5	0,88	0,86	0,80	0,88

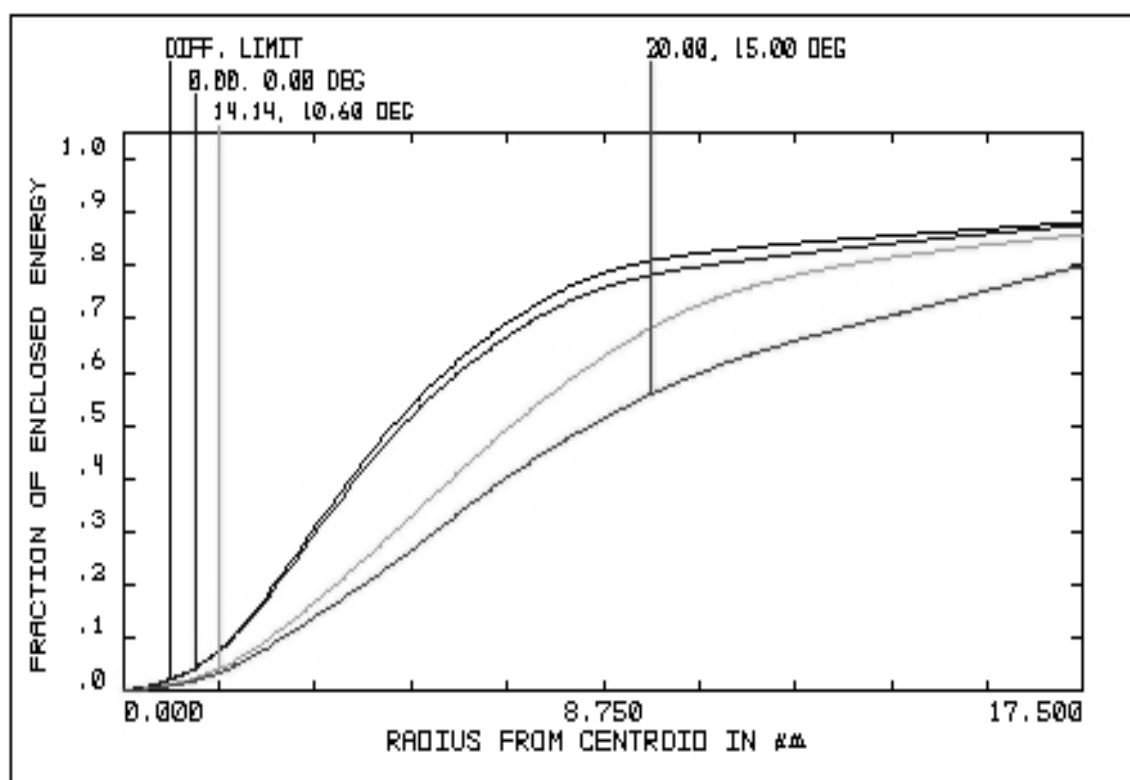


Рис. 2. График функции концентрации энергии

В табл. 2 приведены значения ЧКХ оптической системы для различных позиций поля зрения. Из приведенных выше данных видно, что коэффициенты

передачи контраста на краю поля зрения для пространственной частоты 30 мм^{-1} составляют 0,30, а для центра поля зрения – 0,57.

В табл. 3 приведены значения функции концентрации энергии (ФКЭ), а на рисунке 2 - график ФКЭ оптической системы. Значения ФКЭ в пятне радиусом 17,5 мкм для углов поля зрения, равными 0×0 ; $14,14 \times 10,60$ и 20×15 град, составляют соответственно 0,88; 0,86 и 0,80, т.е. близки к соответствующему значению ФКЭ в безабберационной системе, равному 0,88, что подтверждает хорошее качество изображения, даваемое оптической системой, приемлемое для работы с современными матричными инфракрасными приемниками излучения.

На рис. 3 приведена диаграмма пятен рассеяния оптической системы для различных точек поля зрения. Геометрический радиус кружка рассеяния точки не превышает величину 4,2 мкм в центре поля зрения и 27 мкм на краю поля зрения.

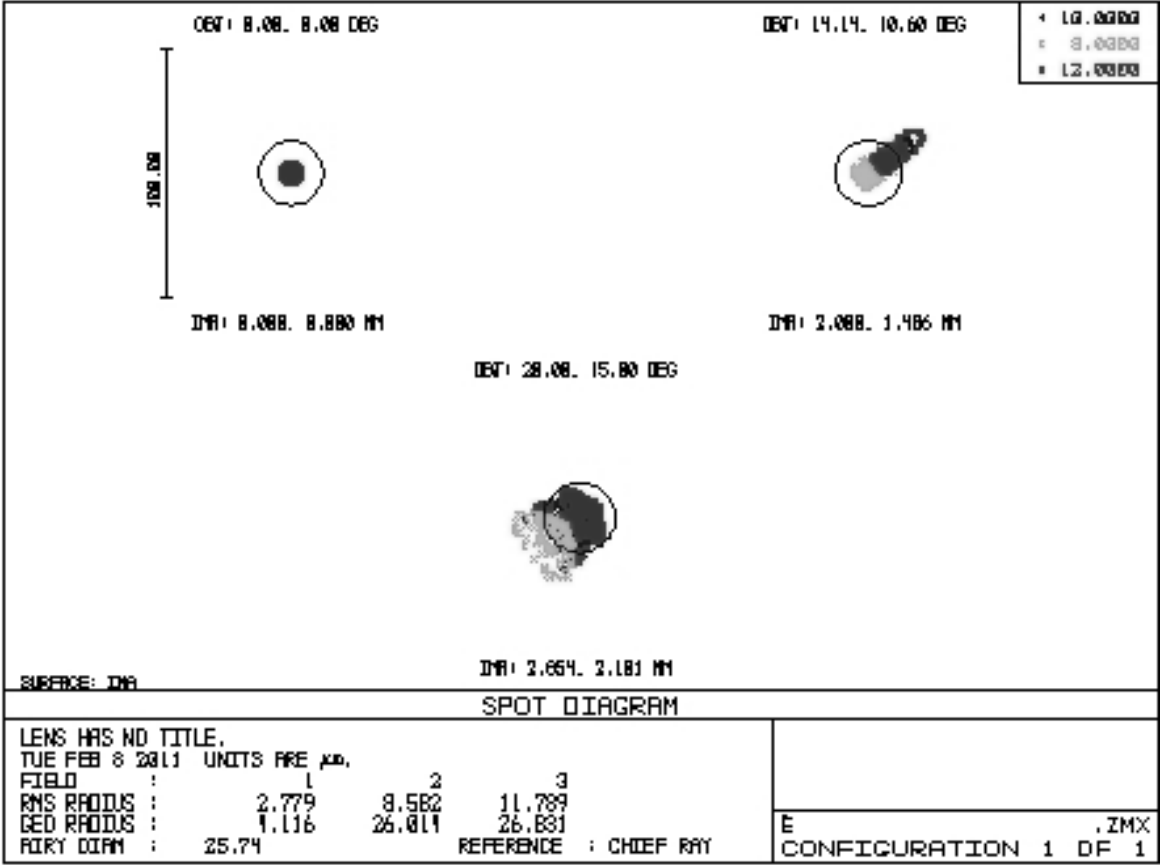


Рис. 3. Пятно рассеяния

Разработанная оптическая система обладает необходимыми массогабаритными характеристиками, а также имеет разрешающую способность, позволяющую использовать ее в малоразмерных неохлаждаемых тепловизионных модулях для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации объектов наблюдения.

УДК 681.7.015.2

Т.Н. Хацевич

СГГА, Новосибирск

ОПТИКА ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

Представлены результаты разработки оптических систем и характеристики объективов и афокальных систем для тепловизионных приборов, построенных на основе охлаждаемых и неохлаждаемых многоэлементных приемников инфракрасного излучения.

T.N. Khatsevich

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

LENSES FOR THERMAL DEVICES

The results of optical schemes and the characteristics of lenses for thermal imaging devices, which are based on cooled and uncooled multielement detectors of infrared radiation, are shown in the article.

Интенсивное развитие и совершенствование приемников инфракрасного излучения обусловило новые требования к оптическим системам тепловизионных приборов и систем, реализация которых в комплексе с современными приемниками инфракрасного излучения и электронной системой обработки является необходимым условием повышения дальностей обнаружения и распознавания объектов при ограниченном конструктивном объеме тепловизионного прибора [1, 2, 3].

В докладе приводятся результаты разработки оптических систем для тепловизионных приборов, выполненные за последние годы при участии автора.

В таблице под номерами 1–5 приведена краткая информация о разработанных телескопических системах с переменным увеличением с различными перепадами увеличений: 2, 3, 4, 6, 10 крат, в том числе панкратических. Системы предназначены для использования в тепловизионных сканирующих приборах с линейчатыми приемниками излучения.

Базовые объективы с вынесенными зрачками (для тепловизоров с охлаждаемыми линейчатыми приемниками излучения) приведены под номерами 6–8. Объективы размещаются непосредственно перед охлаждаемым линейчатым приемником излучения, при этом выходной зрачок объектива совмещается с охлаждаемой диафрагмой приемника, а во входном зрачке объектива размещается сканер, и, при наличии телескопической системы, выходной зрачок последней.

Объективы для тепловизоров с охлаждаемыми матричными приемниками приведены под номерами 9 и 10. Чем ближе охлаждаемая диафрагма размещается к плоскости чувствительной поверхности приемника, тем более несимметричной относительно апертурной диафрагмы становится оптическая система объектива, что создает дополнительные сложности при корригировании полевых аберраций и аберраций наклонных пучков.

Объектив с переменным фокусным расстоянием для тепловизоров с охлаждаемыми матричными приемниками приведен под номером 11.

Объективы, в том числе с переменным фокусным расстоянием и панкратические, для использования совместно с болометрическими матричными приемниками излучения приведены под номерами 12 - 16 [4].

Объектив под номером 17 рассчитан для тепловизоров с двухдиапазонными приемниками инфракрасного излучения, он обеспечивает дифракционное качество изображения в каждом из рабочих диапазонов в пределах спектрального диапазона от 3 до 12 мкм в фиксированной плоскости изображения.

Таблица. Оптические системы для тепловизионных приборов

Название	Описание, характеристики, комментарий
1	2
Телескопические системы с переменным увеличением	
1. Инфракрасный телескоп с двумя увеличениями для ИК-области спектра. (Патент RU 2348955, 2009 г.)	Количество линз - 6. Две внутренние линзы перемещаются в противоположных направлениях. Перепад увеличений 2, 3, 4, 5 крат. Диаметр выходного зрачка 10 мм.
2. Телескоп с двумя увеличениями и вынесенным выходным зрачком для дальней ИК-области спектра. (Патент RU 2400785, 2010 г.)	Для смены увеличения используется одна подвижная линза. Перепад увеличений 3 раза. Уменьшен эффект «нарцисса» по сравнению с предыдущей схемой. Спектральный диапазон 8 - 12 мкм
3. Инфракрасный телескоп для дальней ИК области спектра с вынесенным выходным зрачком и двумя увеличениями. (Патент RU 2400786, 2010 г.)	Количество линз - 5. Уменьшен эффект «нарцисса» по сравнению со схемой 1.
4. Четырехкомпонентный телескоп с двумя увеличениями для дальней ИК-области спектра. (Патент RU 2397518, 2010 г.)	Достигнуто минимальное число линз в афокальной системе со сферическими поверхностями, имеются решения с двумя и одной подвижной линзами.
5. Телескоп с панкратической сменой увеличения для дальней ИК-области спектра. (Патент RU 2342686, 2009 г.)	Обеспечивается перепад увеличений 10 крат.
Базовые объективы с вынесенными зрачками	
6. Светосильный объектив с вынесенными зрачками для ИК области спектра. (Патент RU 2379723, 2010 г.)	Фокусное расстояние 25 мм; относительное отверстие 1 : 1,68; угловое поле 18,7°; удаление входного зрачка равно величине фокусного расстояния объектива.

7. Оптическая система с вынесенными зрачками для инфракрасной области спектра. (Патент RU 2386156, 2010 г.)	Удаление входного зрачка увеличено до двух фокусных расстояний по сравнению с объективом 6.
8. Светосильный объектив с вынесенными зрачками для инфракрасной области спектра. (Патент на полезную модель RU 96987, 2010 г.)	Уменьшены aberrации в зрачках, дисторсия; схема обеспечивает минимальные габаритные размеры при компоновке объектива в приборе.
Объективы для тепловизоров с охлаждаемыми матричными приемниками излучения	
9. Оптическая система с вынесенной апертурной диафрагмой для среднего ИК диапазона спектра. (Решение о выдаче патента от 29.11.2010)	Серия объективов с фокусными расстояниями от 50 до 350 мм, с относительными отверстиями до 1:2, для приемников с размещением охлаждаемой диафрагмы на расстояниях от 20 до 10 мм (от плоскости чувствительной площадки приемника). Число линз - 7; два оптических материала. Спектральный диапазон 3 - 5 мкм.
10. Короткофокусный объектив (на базе объектива 9)	Фокусное расстояние 13 мм; угловое поле 31°; масса 8,5 г.
Объектив с переменным фокусным расстоянием для тепловизоров с охлаждаемыми матричными приемниками	
11. Инфракрасный объектив с двумя полями зрения и вынесенной апертурной диафрагмой. (Патент RU 2400784, 2010 г.)	Фокусное расстояние 210 / 70 мм; Относительное отверстие 1 : 2; Угловое поле 3,3° / 10,5°.
Объективы для использования совместно с болометрическими матричными приемниками излучения	
12. Линзовый объектив с изменяемым фокусным расстоянием для работы в ИК-области спектра (варианты). (Патент RU 2339983, 2008 г.)	Фокусное расстояние 180 / 60 мм; Относительное отверстие 1:1,2; Спектральный диапазон 8 - 12 мкм
13. Линзовый объектив с изменяемым фокусным расстоянием для работы в ИК-области спектра. (Патент RU 2339983, 2008 г.)	Фокусное расстояние 40 / 20 мм; Относительное отверстие 1:1. Спектральный диапазон 8-12 мкм.
14. Инфракрасный объектив с переменным фокусным расстоянием. (Патент RU 2348954, 2009 г.)	Фокусное расстояние 120 / 40 мм; угловое поле 8° / 24°; относительное отверстие 1,5 / 1,1.
15. Инфракрасный светосильный трехлинзовый объектив. (Патент RU 2348953, 2009 г.)	Фокусное расстояние 35 мм; относительное отверстие до 1 : 0,7.
16. Светосильный широкоугольный объектив для инфракрасной области спектра (варианты). (Патент RU 2385475, 2010 г.)	Фокусное расстояние 8 мм; угловое поле 150°; относительное отверстие 1:1.
Двухдиапазонный объектив для тепловизоров с охлаждаемыми приемниками	
17. Двухспектральный инфракрасный объектив с вынесенной в пространство изображений апертурной диафрагмой. (Патент RU 2410733, 2011 г.)	Обеспечена фиксированная плоскость изображения для любого рабочего диапазона в пределах от 3 до 12 мкм. Продольный хроматизм не превышает $1/2500 f'$ для диапазонов 3 - 5 мкм и 8 - 12 мкм.

В докладе приводятся и обсуждаются конкретные оптические схемы, характеристики и технические подробности. Все оптические системы обеспечивают расчетное качество изображения, близкое к дифракционному, содержат сферические преломляющие поверхности (кроме объектива под номером 13 - в нем одна асферическая поверхность). Разработанные объективы могут представлять интерес для разработчиков тепловизионной аппаратуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терешин, Е.А. Оптические системы тепловизоров / Е.А. Терешин, Т.Н. Хацевич // ГЕО-Сибирь-2009. Т.5: Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. Ч.1: сб. матер.V Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009», 20-24 апр. 2009 г., Новосибирск. - Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 41-42.
2. Хацевич, Т.Н. Оптические системы тепловизоров на основе охлаждаемых приемников инфракрасного излучения / Т.Н. Хацевич, Е.А. Терешин // Труды 9 Международной конференции «Прикладная оптика-2010» / под ред. Ю.И. Солдатова, В.А. Зверева, М.В. Даниловой, Л.Л. Полосина, Ю.Е. Шелепина, Санкт-Петербург, 18-22 окт. 2010 г. – СПб, 2010. – Т.3. - С. 96.
3. Терешин, Е.А. Алгоритм эффективного проектирования многокомпонентных систем для инфракрасного спектрального диапазона / Е.А. Терешин, Т.Н. Хацевич // Труды Оптического общества им. Д.С. Рождественского: междунар. конф. «Прикладная оптика -2008», Санкт-Петербург, 20-24 окт. 2008 г. - СПб, 2008. - Т.3. Компьютерные технологии в оптике. - С. 69-73.
4. Олейник, С.В. Способ построения оптической системы с дискретным изменением фокусного расстояния / С.В. Олейник, Т.Н. Хацевич // Изв. вузов. Приборостроение. - 2009. № 6. - С. 58-63.

© Т.Н. Хацевич, 2011

УДК 681.7

Г.Н. Попов¹, В.В. Малинин², В.А. Большаков¹, А.А. Топорков¹

¹ЦКБ «Точприбор», Новосибирск

²СГГА, Новосибирск

ИСТОРИЯ ЦКБ «ТОЧПРИБОР»

В истории СГГА существенную роль сыграл Новосибирский приборостроительный завод (НПЗ). НПЗ явился инициатором факультета оптики и лабораторного корпуса СГГА. В то же время большое количество сотрудников НПЗ является выпускниками СГГА. В 2012 г. исполняется 40 лет конструкторской кузнице ПО «НПЗ»: ЦКБ «Точприбор». Этому юбилею посвящена книга «Точприбор» в трех томах.

В книге описаны приборы собственной разработки, стоящие на вооружении Российской армии: дневные, ночные, дневно-ночные приборы и комплексы, тепловизионные, лазерные.

Кроме того, в книге описаны оптические и оптико-электронные приборы широкого применения: автоколлиматоры, инструментальные микроскопы, спектральные, измерители линейных перемещений, приборы для станкостроения, инструментальные проекторы, телескопы и охотничьи прицелы.

G.N. Popov¹, V.V. Malinin², V.A. Bolshakov¹, A.A. Toporkov¹

¹CDB «Tochpribor», Novosibirsk

²Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

HISTORY OF THE CENTRAL DESIGN BUREAU «TOCHPRIBOR»

Novosibirsk instrument-making plant has played an important role in the history of SSGA. It was on its initiative that the faculty of optics and the laboratory building of SSGA were founded. A great number of the plant employees are graduates of the academy. In 2012 the design bureau of «Tochpribor» will be 40. The book «Tochpribor» (three volumes) has been devoted to this jubilee.

The book describes the instruments developed by the plant, which were adopted by the Russian army: day-, night-, day-night vision devices and complexes, thermal imagers and laser devices. The book presents optical and optoelectronic devices of general-purpose: autocollimators, toolmaker's microscopes, linear displacement gauge sensors, instruments for machine-tool industry, projectors, telescopes and hunting sights.

Том 1. Оптические и оптико-электронные приборы, системы прицеливания, разведки и наблюдения для сухопутных войск. В книге описаны

приборы: дневные, ночные, дневно-ночные приборы и комплексы, тепловизионные, лазерные. Оптические прицелы для стрелкового оружия и гранатомётов Прицелы, приборы наблюдения и системы управления огнём танков. Прицелы и системы управления огнём для артиллерии.

Лазерные дальномеры, локаторы, прицелы-обнаружители оптико-электронных систем, лазерные имитаторы оружия ближнего боя.

Том 2. Оптические и оптико-электронные приборы гражданского и общепромышленного назначения. Кроме того, в книге описаны оптические и оптико-электронные приборы широкого применения: автоколлиматоры, инструментальные микроскопы, спектральные, измерители линейных перемещений, приборы для станкостроения, инструментальные проекторы, телескопы и охотничьи прицелы.

Оптические системы астрономических телескопов: Система Ньютона, Рефракторы, Катадиоптрические телескопы, Монтировки, Экваториальные монтировки, Конструктивные особенности монтировок телескопов, новые положения небесной механики.

Том 3. Прошлое и настоящее ЦКБ «Точприбор». Виды обеспечения разработок. Оптическая промышленность России в первой половине 20-го века. История конструкторской службы НПЗ. Конструкторское бюро (КБ, 1931 г.). Отдел главного конструктора (ОГК, 1939 г.). Красногорский период. Отдел главного конструктора (ОГК, 1941 г.). Новосибирский период. Опытное конструкторское бюро (ОКБ, 1959 г.). История ФГУП «ЦКБ «Точприбор» (ЦКБ, 1972 г.). Хронология руководства НПЗ и ЦКБ. Конструкторское обеспечение изделий оптоэлектроники: Сквозное конструкторское обеспечение разработок, Конструирование электронных узлов и блоков, Испытания приборов, Особенности конструирования изделий оптоэлектроники, Специфика работы конструктора-оптика, История конструкторских подразделений. Каталог разработок ФГУП «ЦКБ «Точприбор». Хронология разработок КБ-ОГК-ОКБ-ЦКБ. Список работников ЦКБ «Точприбор», награждённых орденами и медалями за производственные заслуги. Охранные документы на объекты интеллектуальной собственности, полученные ФГУП «ЦКБ «Точприбор».

Все три тома сопровождаются библиографиями, предметными и именными указателями.

© Г.Н. Попов, В.В. Малинин, В.А. Большаков, А.А. Топорков, 2011

УДК 620:191.33:681.7.624.012

Б.Н. Рахимов¹, А.Н. Серьезнов², С.С. Игнатенко³

¹ТУИТ, Ташкент, ²СибНИА им С.А.Чаплыгина, Новосибирск, ³СГГА, Новосибирск

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ТРЕЩИНЫ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

В данной работе приведен оптико-электронный метод определения трещин в различных строительных конструкциях. Предлагается оптико-электронная информационная измерительная система, которая может контролировать параметры строительных и механических конструкций.

B.N. Rakhimov, A.N. Seryoznov, S.S. Ignatenko

Tashkent institute of information technologies,

Siberian S.A. Chaplygin research institute of aviation.

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

OPTOELECTRONIC METHOD FOR THE STRUCTURE CRACK CONTROL BY OPTICAL FIBER

The optoelectronic method for detecting cracks in different building structures is considered. The optoelectronic information-and-measurement system is presented. It may be used for the control of building and mechanical structures parameters.

В настоящее время разрабатываются средства мониторинга физико-химического состояния различных материалов и технологических процессов. Этими средствами обеспечивается регулярное целенаправленное получение объективной информации об условиях эксплуатации технических объектов и дифференцированный учет расходования их ресурса. Самым массовым (благодаря сравнительной простоте и дешевизне) средством мониторинга могут стать оптоэлектронные системы на основе полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД), лазерных диодов (ЛД), приёмников оптического излучения (ПОИ) и волоконных световодов (ВС).

Одно из перспективных применений ВС в мониторинге строительных и металлических конструкций можно считать получение характеристик, по которым оператор создаваемой системы мониторинга может делать вывод о надежности контролируемой конструкции, и, соответственно об уровне безопасности.

В отличие от других методов (акустического, тензометрического и т. п.) оптоэлектронные системы с применением ВС позволяют проводить контроль по

сколь угодно сложной конструкции, могут быть внедрены внутрь железобетонных изделий.

К сожалению, производство и применение современных волоконно-оптических датчиков (ВОД) сосредоточены в развитых зарубежных странах. Исходя из этого соображения, целью настоящей работы является рассмотрение возможности использования оптического волокна (ОВ) в качестве чувствительного элемента оптоэлектронной измерительно-информационной системы.

В системах оптоэлектронного неразрушающего контроля с применением ВОД ОВ закрепляется в местах прогнозируемого зарождения трещин. При появлении разрушения волокно повреждается, теряя проводимость оптического потока Φ .

Поток Φ измеряется в начальный момент времени t_0 , когда заведомо известно, что датчик цел, а затем в моменты времени t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – при нагружении испытываемой конструкции.

Конструкция считается разрушенной, если $\Phi(t_i) / \Phi(t_0) < \alpha$, где α ($\alpha < 1$) определяется исходя из условий нарушения пропускания светового потока в месте разрыва ОВ с учетом стабильности ЛД и ПОИ, а также аналогового тракта обработки сигналов.

На рис. 1 представлена оптоэлектронная измерительно-информационная система (ОИИС) для обнаружения трещины конструкций с помощью волоконных световодов.

для излучения клея (рис. 2). Источник питания 5 вырабатывает импульсы, которые либо через микроконтроллер 6, либо через усилитель 31 подаются световодом 7 на усилитель-коммутатор 8 (рис. 1). От блока резисторов 9 - 15 с сопротивлением R и ограничивающего резистора 16 с сопротивлением R_0 световой поток поступает на оптическое волокно 4. Оптический сигнал преобразуется в электрический, он подается на блок приемников 24 - 30 и далее попадает на усилитель 31 и микроконтроллер 6, где сигнал преобразуется в цифровой код. Сигнал попадает на приемопередатчик RS232 - 32 и передается на АЦП - 33, и данные с которого поступают в компьютер, где записываются в виде файла. При статических нагружениях испытуемой конструкции имеет смысл производить опрос раз в 10 - 20 секунд, а при испытаниях оптических волокон при постоянной нагрузке или фиксированном удлинении опрос производится через 10 - 15 минут. Дальнейшая обработка сигнала производится с помощью специально разрабатываемого программного обеспечения, она обеспечивает цифровую фильтрацию, определение глубины трещины - предразрушения и выполнение задач исследований, рассчитывая одновременно, например, двадцать таких датчиков.

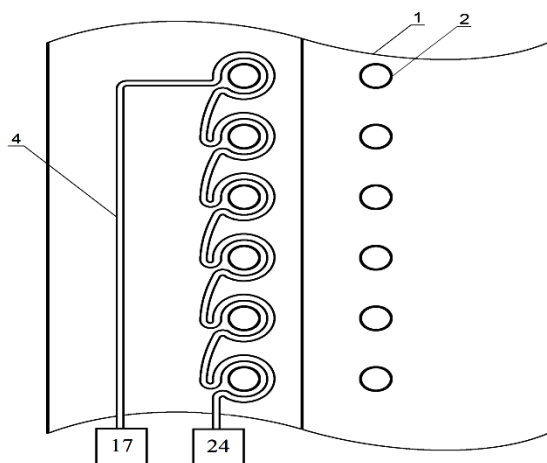


Рис. 2. Фрагмент испытываемой конструкции летательного аппарата

На рис. 3 представлена временная диаграмма работы устройства при опросе оптических каналов. Здесь сигналы включения излучающих диодов, которые вырабатывает контроллер, обозначены как $U_0 - U_6$. Сигнал на выходе усилителя-преобразователя фототока приемных диодов обозначен как U_{adc} , т.к. он является входным сигналом АЦП контроллера. На диаграмме показана форма сигнала U_{adc} для случая, когда волокна двух первых каналов повреждены образовавшейся под ними трещиной.

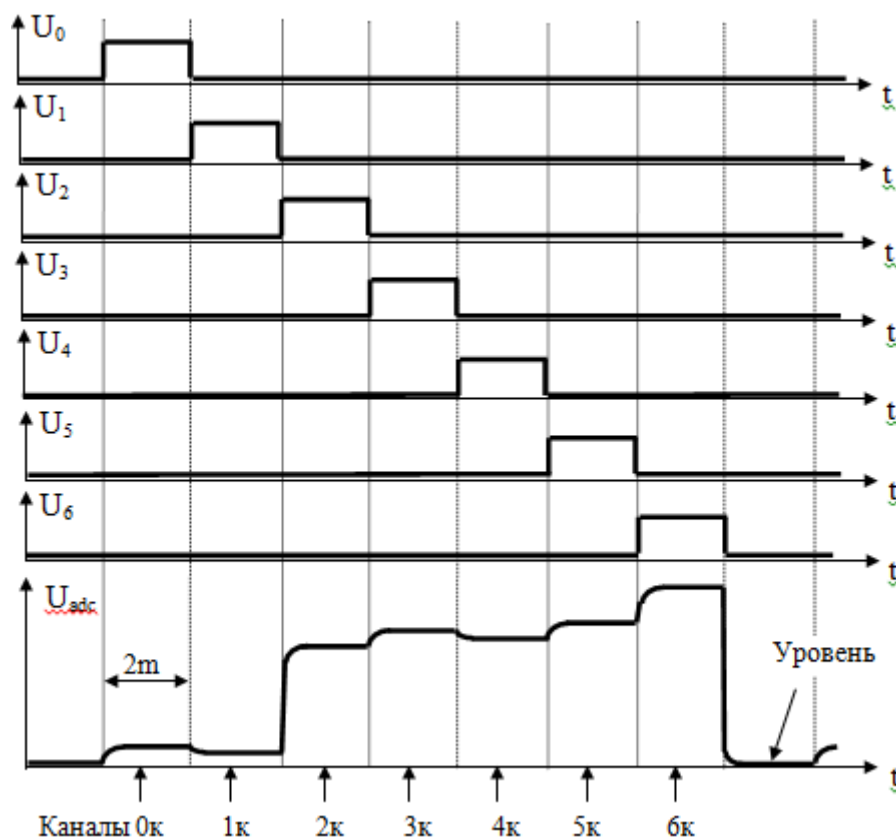


Рис. 3. Временная диаграмма работы устройства при опросе оптических каналов

На рис. 1 и рис. 3 канал 6к использован в качестве опорного, сигнал с которого может быть использован для учета влияния температуры окружающей среды на мощность излучения светодиодов, т.к. известно, что с ростом температуры окружающей среды, а значит и корпуса светодиода, мощность излучения уменьшается. Чтобы избежать влияния разогрева диодов при прохождении тока через них, выбран режим непрерывного опроса каналов даже в том случае, если канал не используется или компьютер не запрашивает данные измерения в течение длительного времени. При этом можно считать тепловой режим работы излучателей относительно стабильным, а мощность излучения неизменной. Для дополнительной стабилизации мощности излучения питание светодиодов осуществляется от стабилизированного источника напряжения.

Развитие волоконной оптики (в частности направления по ВОД) и стремительный прогресс полупроводниковой техники позволяют в настоящее время решать задачи, ранее казавшиеся неразрешимыми по той или иной причине. Так, для диагностики предразрушений использовались пьезоэлектрические датчики, что было не только очень дорого, но и весьма неудобно из-за сложностей при монтаже датчиков. Однако в настоящее время эту проблему можно решить достаточно простыми методами с помощью применения ВОД деформации, что позволяет не только сократить затраты при испытаниях на тех же оборонных предприятиях, но и использовать такие

датчики в ранее практически закрытых областях – таких, как мониторинг зданий и инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2261430 Российская Федерация, Способ определения мест предразрушения конструкций / Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГУП Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина. - №2003132159; заявл. 03.11.03; опубл. 27.09.05, БИ 2005, №8.

2. Пат. 231675 Российская Федерация, Способ определения мест предразрушения конструкций / Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГУП Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина. - №2006112021/28; заявл. 11.04.06; опубл. 10.02.08., БИ 2008, №4.

© Б.Н. Рахимов, А.Н. Серьёзов, С.С. Игнатенко, 2011

УДК 681.17.18

Е.С. Смирнов^{1,2}, И.Г. Пальчикова^{1,2}

¹ КТИ НП СО РАН, Новосибирск

² НГУ, Новосибирск

КАЛИБРОВКА ЦИФРОВЫХ КАМЕР ДЛЯ МИКРОСКОПНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

При использовании цифровой камеры для получения количественной информации в задачах цитометрии необходимо с высокой степенью точности определять распределение оптической плотности в микроскопном изображении. Предложенный способ калибровки позволяет определять степень линейности передаточной характеристики устройства, состоящего из цифровой камеры и микроскопа. Представлены экспериментальные данные и проведено сравнение нескольких камер, применяемых в микроскопах.

E.S. Smirnov^{1,2}, I.G. Palchikova^{1,2}

¹ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering of Siberian Branch RAS

41 Russkaya Ul., Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University

2 Pirogova str, Novosibirsk, Russian Federation

CALIBRATING THE DIGITAL CAMERA FOR MICROSCOPY CYTOMETRY

In cytometry the optical density distribution has to be accurately calculated from the microscope image of specimen. The image acquisition is performed with help of digital camera. The technique for testing the linearity of the transfer characteristics of the device consisting of the microscope and a digital camera is proposed. The experimental data for several cameras are presented, the comparison the transfer characteristics are performed.

Новые направления микроскопии связаны с разработкой новых способов освещения и, соответственно, модификацией осветительной части микроскопов; с использованием новых фотоприемных систем, регистрирующих изображения; с созданием алгоритмов и программ обработки цифровых микроскопических изображений. В настоящее время количественный обсчет изображений все чаще используется в микроскопии. Получение высококачественных изображений и количественный обсчет изображений с высокой точностью возможны лишь с применением соответствующих цифровых камер. При использовании цифровой камеры для фотограмметрических съемок основное значение имеет точность передачи геометрических размеров объектов. Калибровка камеры в этом случае

подразумевает определение таких параметров как: радиальная дисторсия, фокусное расстояние, разность масштабов по осям X и Y, координаты главной точки. В микроскопии все перечисленные параметры задаются главным образом качеством изображения, которое строится в микроскопе, то есть характеристиками микрообъектива.

Основными составляющими частями цитометрической установки являются микроскоп, цифровая камера, компьютер и программное обеспечение. Точность микроскопных цитофотометрических измерений зависит главным образом от следующих двух факторов. Во-первых, от стабильности характеристик освещения, а именно, от стабильности яркости во времени в каждой точке картины и однородности освещения поля зрения. Это достигается использованием освещения по Кёлеру и стабилизацией мощности излучения источника. Во-вторых, от выбора и оптимизации режимов работы камеры по отношению к динамическому диапазону микроскопного изображения.

В цитометрических экспериментах для получения цифровых изображений препаратов использовались инвертированный микроскоп Axiovert-200 (Carl Zeiss) в режиме проходящего света и исследовательский микроскоп DIALUX 20 EB (Leitz) с микрообъективом Achroplan 20^x/0,40. Измерения проводили при максимально закрытых полевой и апертурной диафрагмах с использованием интерференционного светофильтра, пропускающего свет с длиной волны 551 ± 10 нм. Цифровое изображение получали с помощью тестируемых цифровых камер.

Точность цитофотометрических измерений зависит, в частности, от линейности передаточной характеристики установки в целом. В качестве первого тестового объекта мы предложили использовать аттестованный 9-ти ступенчатый ослабитель N 780171 к спектрографу ИСЛ-51. Пропускание $1 \div 9$ ступеней имеет следующие значения: 100; 70,79; 50,12; 31,62; 19,95; 14,80; 8,91; 6,31; 100 % соответственно. Вторым тестовым объектом служит фотографический клин, изготовленный из серого в массе стекла. Размеры клина – 70×15 мм. Тестирование установки проводится следующим образом. Производится последовательное получение цифровых изображений различных областей тестового объекта со значением ISO равным 100, значение установки выбора баланса белого – вручную. На каждом изображении выделяется один и то же сегмент, по которому проводится усреднение значений уровней серого по всем пикселям. Значение уровня серого, соответствующее пропусканию 100%, выбирается равным среднему арифметическому значению уровней серого в изображении 1-ой или 9-ой ступени тестового объекта. Строится передаточная характеристика, отражающая соотношение между значением пропускания, полученным с помощью цитометрической установки и соответствующим значением пропускания тестового объекта.

Производилось тестирование трех камер различных производителей: AxioCam MRc, Canon EOS 500D, Leica DFC420. В таблице представлены отдельные характеристики каждой из камер.

Таблица. Характеристики камер

Характеристика	Модель камеры		
	AxioCam MRc	Leica DFC 420	Canon EOS 500 D
Датчик, тип	CCD	CCD	CMOS
Размер матрицы, мм	8,9×6,7	8,1×6,64	22,3×14,9
Количество пикселей, пикс	1388×1040	2592×1944	4752×3168
Диапазон оцифровки изображений (дигитализация)	8 bit	12 bit	14 bit
Ручной баланс белого	-	Да	Да

На рис. 1 представлена зависимость пропускания ступеней ослабителя T_1 найденная в результате эксперимента, от величины значений пропускания T_2 , указанных в паспорте ослабителя. Точками различной формы обозначено среднее значение пропускания тестовой полоски, вычисленное путем усреднения по пикселям изображения; вертикальные отрезки, расположенные рядом, отмечают среднеквадратичное отклонение. Некоторая гамма коррекция позволила линеаризовать зависимость.

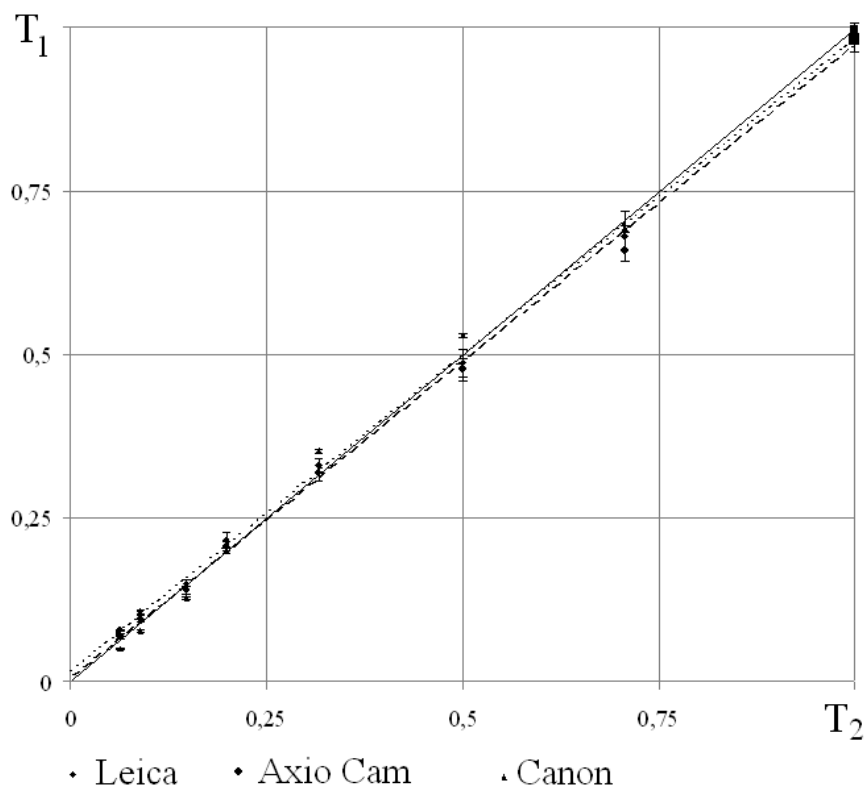


Рис. 1. Передаточные характеристики установки с тестируемыми камерами линейной аппроксимации равны 0,96; 0,96 и 0,99, соответственно.

На рис. 1 график линейной зависимости $T_1 = k \times T_2$ построен с помощью метода наименьших квадратов по экспериментальным точкам среднего значения. Изображение тестового объекта получалось со следующими параметрами камеры: ISO – 100, экспозиция 2 сек, ручной баланс белого. На рис. 1 приведены результаты тестирования камер AxioCam MRc (количество

рабочих пикселей после бининга – 650x514), Leica DFC 420 и Canon EOS 500 D. Коэффициенты k .

Наибольшие вариации величины уровней серого по кадру демонстрирует AxioCam. Среднеквадратичное отклонение достигает $\pm 6,2$ % на второй ступени пропускания. Прямая линейной аппроксимации на всех графиках лежит в пределах среднеквадратичного отклонения экспериментальных данных. Величина доверительного интервала составляет 0,99. В процессе тестирования наилучшие результаты показала камера Canon EOS 500 D.

Более детальное тестирование передаточной характеристики устройства возможно выполнить с помощью стеклянного фотометрического клина серого путем сравнения результатов прямого фотометрирования клина с передаточной характеристикой установки, снятой с помощью этого клина. Первоначально оптическая плотность клина экспериментально определяется при помощи планшетного сканера EPSON Perfection V200 Photo (полноцветный планшетный сканер с линейным датчиком CCD). Сканирование проводится на просвет с разрешением 4800 dpi / 48 bit. После чего клин помещается на предметный столик и проводится серия снимков цифровой камерой. Каждый снимок в серии делается после перемещения столика на равные отрезки в одном направлении. Столик перемещается от темной части клина к светлой. Продольная координата клина задается микрометрическим винтом предметного столика микроскопа. Оптическая плотность клина в зависимости от его продольной координаты рассчитывается из цифровых изображений как логарифм пропускания. Мы применяли несколько способов получения усредненного значения уровня серого по площадкам различной формы и содержащим различное количество пикселей на изображении. Минимальная площадка, сигнал с которой не искажается шумами, имеет размер 50x50 пикселей.

В верхней части рис. 2 приведен график зависимости оптической плотности от координаты вдоль клина, построенный из экспериментальных данных сканирования клина. Величина доверительного интервала найденной линейной аппроксимации составляет $R = 0,9988$. Таким образом, имеется клин достаточно хорошего качества.

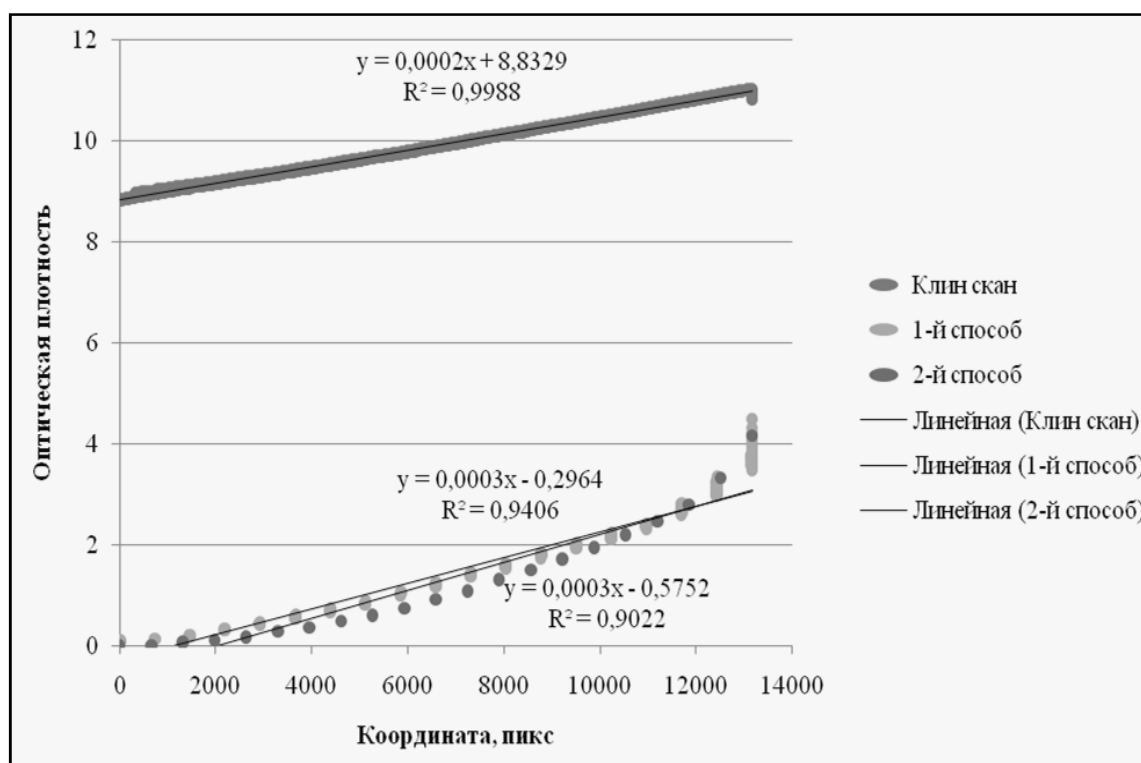


Рис. 2. Результаты тестирования камеры Canon EOS 500 D. Тестовый объект – клин серого

В нижней части рис. 2 представлены экспериментально полученные точки передаточной характеристики (по оптической плотности) установки (с клином в качестве тестового объекта) и прямые линейной аппроксимации с доверительным интервалом 0,94 для камеры Canon EOS 500 D.

Видно, что передаточная характеристика камеры стремится к линейной во всем диапазоне чувствительности.

Как показывают зарубежные исследования приёмных матриц камер фотоаппаратов [1], передаточная характеристика камер имеет линейные участки и характерные прогибы. Сравнивая полученные экспериментальные данные для камеры Canon EOS 500D и приведенные в [1] для иных камер, применяемых в микроскопах, можно сделать вывод о качественном совпадении вида передаточных характеристик. Однако, проведенное нами тестирование, выявило, что Canon EOS 500D имеет более линейную характеристику, нежели представленные в литературе [1].

На цитометрической установке проведены измерения на биологических тестовых препаратах. Апробирован метод оценки количества ДНК в ядрах, окрашенных по Фельгену, с помощью цифровых изображений. Методика измерений описана в [2]. Денситометрическое измерение количества ДНК в клетках крови четырёх видов позвоночных (*Gallus domesticus*, *Danio rerio*, *Homo sapiens*, *Rana arvalis*) показывают хорошее соответствие с данными литературы. В качестве меры, отражающей варьирование содержания ДНК в клетках одного вида, обычно используют стандартную ошибку среднего (SEM),

отнесенную к величине содержания ДНК. В наших экспериментах достигалось относительное значение SEM равное 2,6%. В то же время общепринятым методом определения содержания ДНК в ядрах являются денситометрические измерения, проводимые на сканирующем денситометре Vickers M8 [3], где при обмере ядер взрослых особей *Mesocyclops edax*, относительное значение SEM составило 3,8%. Таким образом, использование сканера Vickers M8 не дает существенных преимуществ в отношении точности измерений.

То есть, точность экспериментальных данных, полученных на цитометрической установке, сравнима с точностью данных других методов цитофотометрии (<http://www.genomesize.com>). Поскольку в настоящее время технические параметры цифровых камер постоянно улучшаются, то предлагаемый метод количественного определения ДНК ядер имеет перспективу для развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puech, M. Standardisation of DNA quantitation by image analysis: quality control of instrumentation/ Puech, M., Giroud, F.//Cytometry.– 1999.–V.36. P.11–17.
2. Интегральный метод измерения количества ДНК в клетке с использованием цифровой микрофотографии [Текст] / И.Г. Пальчикова, Л.В. Омелянчук, В.Ф. Семешин, А.Л. Алексеева, И.Ф. Жимулев // Цитология. – 2010. – Т. 52, № 4. – С. 349 – 353.
3. Rasch, E.M. Heterochromatin Endoreduplication Prior to Gametogenesis and Chromatin Diminution During Early Embryogenesis in *Mesocyclops edax* (Copepoda: Crustacea)/ Rasch, E.M., Wyngaard, G.A., Connelly, B.A.//Journal of Morphology. –2008.–V.269 P.387–397.

© Е.С. Смирнов, И.Г. Пальчикова, 2011

УДК 681.7

В.А. Михайлова, А.А. Торопов, В.М. Тымкул

СГГА, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В статье рассмотрены основные физические параметры, которые характеризуют теплозащитные свойства строительных ограждений, а так же влияние на них внешних факторов среды в условиях естественного освещения.

V.A. Mikhailova, A.A. Toropov, V.M. Tymkul

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TEMPERATURE FIELD MODELING FOR THE OBJECTS IN THE DAYLIGHT

The article presents basic physical characteristics of the heat-shielding and its being affected by the environmental factors under the daylight conditions.

Энергетический кризис в России и, в частности, в Западной Сибири и Дальнем Востоке требует использование наукоёмких методов и технологий в вопросах контроля энергоснабжения жилых и производственных зданий.

Одним из научных методов является метод исследования теплового поля различных объектов, сред и веществ.

Классические системы, используемые для этого метода, это тепловизионные и ИК-системы.

Физическими величинами, которые характеризуют теплозащитные свойства строительных ограждений, являются термическое сопротивление R_o и сопротивление теплопередаче R_o' ограждения.

Основным физическим параметром, который характеризует теплозащитные свойства ограждений является поле температур их наружных поверхностей, которое существенно зависит от состояния атмосферы, её температуры, влажности, метеорологической дальности видимости, скорости ветра, высоты Солнца, а также от степени черноты (коэффициента излучения) поверхности ограждения, его толщины и теплопроводности. В этой связи актуальной задачей в дистанционных исследованиях теплозащитных свойств ограждений с использованием ИК-пирометров и тепловизоров является разработка методики математического моделирования поля температур строительных ограждений.

Один из основных параметров, характеризующий теплозащитные свойства различных ограждений является термическое сопротивление ограждений.

Согласно определению термическое сопротивление определяется по формуле [1]:

$$R_o = \frac{T_{nv} - T_{nn}}{\Delta\Phi / S}, \quad (1)$$

где T_{nv} – температура внутренней поверхности ограждения; T_{nn} – температура наружной поверхности ограждения; $\Delta\Phi$ – плотность теплового потока проходящего через ограждение; S – площадь ограждения.

Данная формула показывает, что точность измерения термического сопротивления зависит от таких параметров температуры как: T_{nv} и T_{nn} . Так как термическое сопротивление R_o напрямую зависит от температуры наружной поверхности ограждений T_{nn} , необходимо разобраться какие внешние факторы среды влияют на эту температуру. Для этого рассмотрим уравнение теплового баланса.

Геометрия воздействия составляющих теплового баланса в математической модели формирования поля температур ограждений представлена на рис. 1.

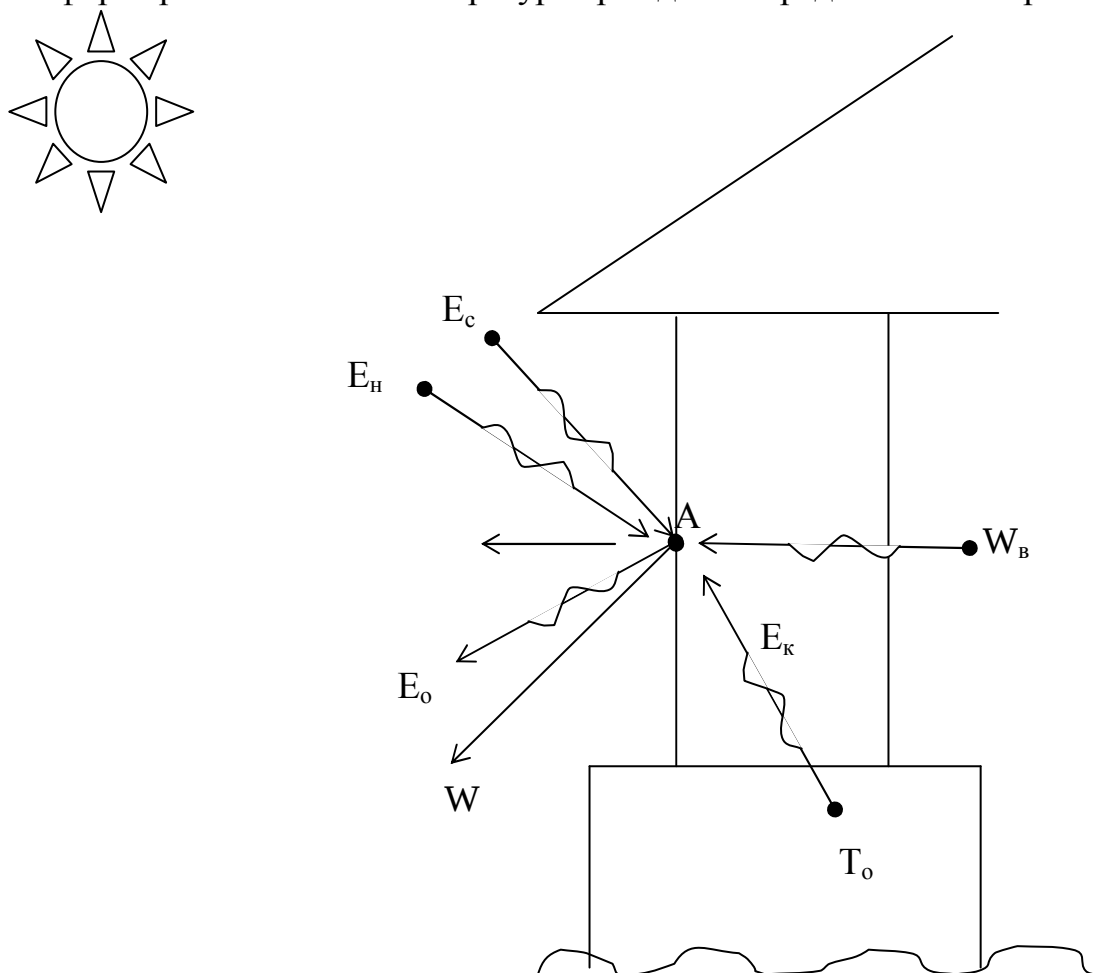


Рис. 1. Геометрия воздействия составляющих теплового баланса в математической модели формирования поля температур ограждений

Если рассмотреть произвольную точку A на внешней поверхности ограждения, то в формирование температуры в этой точке участвуют следующие физические явления [2]:

– Отток тепла с поверхности за счёт конвекции, которая определяется формулой Ньютона:

$$E_o = h_c(T_n - T_{nn}), \quad (2)$$

где h_c – коэффициент конвективного теплообмена, который зависит от скорости ветра и равен:

$$h_c = 4 + 3,8 \times V_v^{0,8}, \quad (3)$$

где V_v – скорость ветра;

– Приток тепла прямого излучения Солнца, который на основе законов Кирхгофа и Ламберта определяется по формуле:

$$E_c = \alpha_s E \cos Q_o, \quad (4)$$

где α_s – коэффициент поглощения солнечных тепловых лучей ограждением; E – освещённость прямыми тепловыми лучами в точке A ; Q_o – высота Солнца;

– Приток тепла (холода) за счёт полусферического излучения неба, который определяется по законам Стефана-Больцмана и Кирхгофа формулой:

$$E_n = \sigma T_n^4 \{1 - e^{-(\beta_p + \beta_n)L_o}\}, \quad (5)$$

где T_n – температура наружного воздуха; β_p и β_n – показатель рассеяния и поглощения земной атмосферы; L_o – геометрическая толщина всей атмосферы;

– Приток тепла (холода) от подложки. Физика этого потока определяется явлением теплопроводности материала ограждения, и этот тепловой поток определяется также формулой Ньютона:

$$E_k = h_k(T_{nn} - T_o), \quad (6)$$

где T_o – температура подложки; h_k – коэффициент, который зависит от теплопроводности материала k , и толщины ограждения d и определяется по формуле:

$$h_k = k / d. \quad (7)$$

Если есть термоизоляция с фундамента, то значение E_k часто приравнивают к нулю;

– Отток за счёт теплового излучения поверхности. При функционировании сооружений в точку A поступает и поток тепла из самого объёма стены и эта наружная поверхность ограждения как граница раздела также является источником теплового излучения, которая из теории теплового излучения поверхностей определяется законами Кирхгофа и Стефана-Больцмана в виде формулы:

$$W = \varepsilon_n \sigma T_{nn}^4, \quad (8)$$

где ε_n – коэффициент теплового излучения наружной поверхности ограждения.

Таким образом для каждой точки A наружной поверхности ограждения имеет место как приток, так и отток тепла. Естественно, что имеет место тепловое равновесие между притоком и оттоком тепла, которое формируется в виде:

$$E_c + E_n + E_k = E_o + W, \quad (9)$$

где W_g – плотность потока теплового излучения внутренней части помещения на выходе ограждения, которая определяется по формуле:

$$W_g = \tau_n \sigma T_g^4 = (1 - \varepsilon_n) \times \sigma T_g^4 \quad . \quad (10)$$

В результате данного теплового равновесия в точке A и установится равновесная температура наружной поверхности T_{nn} .

Следует отметить, что параметры α_c , ε_n , h_k зависят от координат x , y , z точек на поверхности объекта. Поэтому с учетом этих факторов и получается поле температур $T_{nn}(x, y, z)$.

Подставляя выражения (1-8) в (9), в окончательном виде модель поля температур наружных поверхностей и ограждений получим в виде уравнения в неявной форме относительно T_{nn} . Для непрозрачных ограждений уравнение для определения T_{nn} получается в виде:

$$\alpha_c E \cos Q_o + \sigma T_n^4 \{1 - e^{-(\beta_p + \beta_n)l_o}\} + \frac{K}{d} (T_{nn} - T_o) = \varepsilon_n \sigma T_{nn}^4 + h_c (T_n - T_{nn}) \quad . \quad (11)$$

Анализ уравнения (11) показывает, что температура T_{nn} сложным образом зависит от значения освещенности от Солнца, высоты Солнца, показателей рассеяния и поглощения атмосферы, температуры атмосферы, скорости ветра, коэффициента теплопроводности и толщины ограждения, температуры основания ограждения (подложки).

В работе приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований поля температур T_{nn} в зависимости от естественных параметров атмосферы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [Текст]. – Введ. 1984 – 02 – 08. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
2. Справочник по ИК-технике [Текст] / под ред. И. Вольф, Т. Циссис в 4-х томах. Т.1. Физика ИК-излучения. - М.: Мир, 1998. -138 с.

© В.А. Михайлова, А.А. Торопов, В.М. Тымкул, 2011

УДК 621.382:530.93:365.2

С.Х. Шамирзаев¹, Н.Р. Рахимов², Д.Д. Алижанов² Ш.С. Отажонов³

¹ФТИ АН Руз, Ташкент, ²СГГА, Новосибирск, ³ФерГУ, Фергана

О ПЕРСПЕКТИВЕ РАЗРАБОТКИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АФН-ПРИЕМНИКА

В данной работе рассматривается технология получения АФН-пленок. Предлагается технология изготовления приемника оптического излучения на основе АФН-пленок. Также предлагается разработка оптоэлектронных датчиков для контроля физико-химических параметров веществ и материалов на основе АФН-приемника.

S.Kh. Shamirzayev¹, N.R. Rakhimov², D.D. Alizhanov², Sh.S. Otazhonov³

Physical and Technical Institute of the Academy of Science of the Republic of Uzbekistan, Tashkent¹, SSGA, Novosibirsk² FerGU, Fergana³

ABOUT POSSIBILITY OF DEVELOPMENT OF OPTOELECTRONIC SENSORS FOR THE CONTROL OF SUBSTANCES AND MATERIALS PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS ON THE BASIS OF APV-DETECTOR

The technology of APV (abnormal photovoltage) films production is considered. The technology for creating optical detector on the basis of APV-films is offered. The development of optoelectronic sensors for the control of substances and materials physical and chemical parameters on the basis of APV-detector.

Известно [1, 2], что пленки, обладающие аномальным фотонапряжением (АФН), представляют собой функциональный преобразователь, трансформирующий световой поток в аномально большое фотонапряжение. В связи с этим, исследование и изучение влияния внешних воздействий на свойства пленок играют немаловажную роль.

Исследованные АФН-пленки CdTe были получены из порошкообразного CdTe в вакууме по оптимальной технологии при температуре подложки $200 \div 250$ °С и толщине пленок в пределах $0,7 \div 1,5$ мкм.

При освещении обратной стороны АФН-пленки источником света интенсивностью $\sim 8 \cdot 10^{-2}$ Вт/см² генерировались АФН до 300 В/см². Это означает, что при отражении света тоже генерируется АФН. Если покрыть обратную сторону стеклянной или кварцевой подложки отражающим покрытием Ag, величина АФН-эффекта должна измениться. Нанесение на противоположную сторону стеклянной подложки отражающего слоя из серебра производится при давлении 10^{-4} мм рт. ст. и температуре подложки $250 \div 600$ °С

для того, чтобы уменьшить окисление отражающего слоя из серебра. Изготовление такой пленки осуществляется в следующей последовательности: на одну сторону стеклянной подложки, расположенной под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при температуре $420 \div 600^\circ\text{C}$ и давлении 10^{-5} мм рт. ст. наносят слой из теллурида кадмия толщиной 0,2 мкм, затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра толщиной 1 мкм термическим испарением при температуре подложки $250 \div 300^\circ\text{C}$ и давлении 10^{-4} мм рт. ст.

Например, фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 400°C в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, до толщины пленки 0,2 мкм. Затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра термическим испарением при температуре подложки 250°C и вакууме 10^{-4} мм рт. ст. Толщина пленки должна составлять примерно 1 мкм. Величина аномального фотонапряжения в этом случае будет 215 В при освещенности 10^4 лк.

Принцип действия любого оптрона основан на преобразовании излучения из электрического сигнала в оптический, с последующим преобразованием оптического излучения в электрический ток или напряжение. Физический смысл оптрона заключается в том, что фотон используется в качестве носителя информации и обеспечивает очень высокую оптическую изоляцию входа и выхода оптрона. В настоящее время стоит задача создания оптрона на основе АФН – пленок аналогичного по своим свойствам оптронам «излучатель – фотодиод», «излучатель – фотоэлемент» и т. п. Оптрон на основе АФН-пленок характерен тем, что с помощью АФН-пленок усиливаются очень слабые сигналы. Кроме того, в оптроне с прямой оптической связью, действующем на базе АФН-эффекта снимается усиление сигнала приемника оптического излучения (ПОИ). Такой оптрон представляет собой оптоэлектронный трансформатор напряжения, который функционально работает подобно трансформатору с электромагнитной связью.

В данной статье предлагается разработка оптоэлектронного датчика для контроля физико-химических параметров веществ и материалов на основе АФН-эффекта. Для этого нами [3 - 4] разработана технология получения эффективных АФН-пленок на основе CdTe с примесью In, Cu, Al, и Se. Структура и принцип работы АФН-пленки показаны на рис. 1

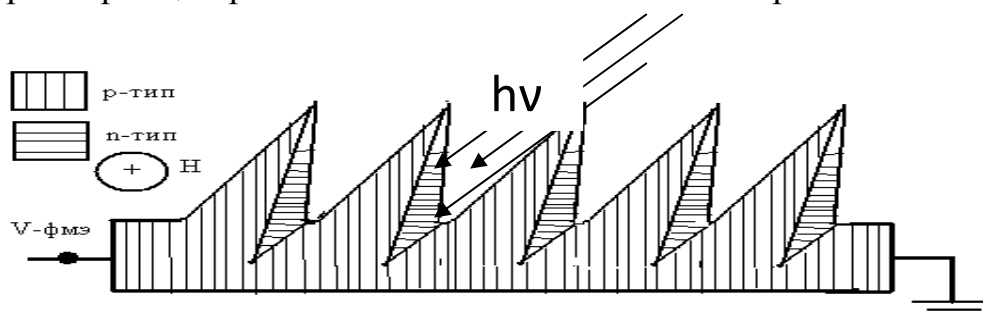


Рис.1 Структура АФН-эффекта и его принцип работы

ПОИ можно получить из тонких полупроводниковых материалов в виде клина и с разными спектральными диапазонами. Состав фотоприемников, в которые входят отдельные пленки, их число, виды, состав, а также характеристики подложки, определяют возможности технологического контроля. Процесс изготовления пленок зависит от толщины и количества слоев, выбрав оптимальную технологию изготовления, можно получить фотоприемники, состоящие из многих слоев (МС), и при этом можно изменить структуру проходящих электронов, например, получить (гетеропереход) p-i-n.

Для автоматизации и повышения производительности труда, миниатюризации и повышения качества продукции, а также для того, чтобы оградить людей от работы во вредной среде, требуются самые различные дистанционные датчики. Использование в качестве датчика фотоприемников генераторного типа на основе МС позволяет быстро и точно производить измерения и контроль без контакта с объектом при значительных его размерах. Развитие методов измерений (контроля) с использованием оптики сопровождается появлением различных оптоэлектронных приборов. Эти оптоэлектронные приборы в системах неразрушающего контроля выполняют разнообразные функции (работы). Обычные фотоприемники (фотодиод, фоторезистор, фототранзистор и т. д.) в оптронной паре используются для контроля всего одного параметра объекта. Если в качестве фотоприемника применен МС-фотоприемник генераторного типа, тогда измерительная цепь становится универсальной.

Предлагаемые ПОИ на основе АФН-эффекта обладают очень высокой фотопроводимостью. Спектральная область их fotocувствительности охватывает от УФ-диапазона до ИК-области [5].

Такие приборы (с МС-элементами) очень чувствительны к магнитным полям. В МС-элементах наблюдаются аномально-высокие фотомангнитные эффекты. С помощью оптоэлектронных приборов с МС-элементами можно измерять и исследовать топологию магнитных полей и объектов. Для работы обычных фотоприемников в цепи приемника необходим источник электрического питания, в МС-фотоприемниках с АФН-эффектом источник питания не нужен. Такие фотоприемники, при освещении становятся источниками напряжения. Таким образом, ПОИ оптоэлектронного прибора становится автономным фотоприемником со световым питанием. Используя в системах неразрушающего контроля такие приборы, можно измерять механические, геометрические параметры различных объектов, определять состав или структуру материала. МС-фотоприемник реагирует на поляризацию света. Это свойство можно использовать для обнаружения дефектов, оценки шероховатости поверхности и измерения толщины объектов сложной структуры. Кроме того, под воздействием света в МС возникают внутренние поля, что придает МС новые фотоэлектронные свойства.

На основе МС можно разработать матричный фотоприемник без внешнего источника электрического питания, работающего в качестве преобразователя изображения (различных объектов и предметов) в электрический

потенциальный рельеф. В этом случае оптоэлектронный прибор на основе МС работает как устройство контроля внешнего вида продукции.

Оптоэлектронные первичные преобразователи с применением АФН-приёмников в качестве автономного ПОИ открывают широкие возможности в области разработки контрольно-измерительных устройств физико-химических параметров веществ и материалов, что целиком и полностью подтверждается имеющимся к настоящему времени значительным опытом применения АФН-приёмников в этом плане.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов, Н.Р. АФН-пленки и их применение / Н.Р. Рахимов, А.Н. Серьёзов. – Новосибирск: СибНИА, 2005. – 64 с.
2. Рахимов, Н.Р. Приемник оптического излучения на основе АФН-пленок / Н.Р. Рахимов, Л.К. Мамадалиева // Изв. вузов. Приборостроение. - 2004. - № 8. – С. 53–56.
3. Рахимов, Н.Р. Получение отражающих серебряных покрытий ионной бомбардировкой для увеличения АФН-эффекта / Н.Р. Рахимов, С.О. Хатамов // Взаимодействия ионов с поверхностью ВИП – 2001. – М., 2001. – Т. 2. – С. 191 – 194.
4. Пат. 2246779 Российская Федерация МП⁷ Н 01 L 31/09 Координатно-чувствительный автономный приемник оптического излучения / Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н.; заявитель и патентообладатель СибНИА - №2003132159; заявл. 21.10.03; опубл. 27.06.05, БИ 2005, №5.
5. N.R. Rahimov, A.A. Dzhurakhalov. Investigation of APV-CdTe-films and development of optoelectronic devices on their basis / The European material research conference EMRS 2002 Spring meeting. – Strasbourg–France, 2002. – P. 242.

© С.Х. Шамирзаев, Н.Р. Рахимов, Д.Д. Алижанов, Ш.С. Отажонов, 2011

УДК 681.7.014.3: 004.946

Е.А. Крапивко, А.С. Рафаилович

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОТОБРАЖЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В докладе предложена концепция построения программно-аппаратного комплекса отображения оперативной информации, а также приведен обзор основных существующих концепций.

E.A. Krapivko, A.S. Rafailovich

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of Russian

Academy of Sciences, «Technological Design Institute of Applied Microelectronics» (NB ISP SB RAS «TDI AM») 2/1, Prosp. Akademika Lavrentieva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE CONCEPT OF THE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR SHOWING OPERATIVE INFORMATION

The conception of the Hardware-Software Complex for Showing Operative Information is proposed. The review of concepts of complexes which have the same purpose, is considered.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс предназначен для решения следующих задач:

- Осуществления управления транспортными средствами (в том числе и летательными аппаратами), обладающими ограниченным обзором с места оператора, а также управления транспортными средствами в условиях ограниченной видимости;
- Управления мобильными беспилотными объектами, в том числе роботизированными устройствами, предназначенными для работы в непригодных для функционирования человеческого организма условиях;
- Автоматизированного контроля объектов в пределах охраняемого периметра, в качестве дополнения существующих охранных систем различного типа;
- Для автоматизированного управления транспортными средствами в условиях современного города;
- В качестве тренажерного комплекса обучения вождению.

При использовании в качестве обзорно-прицельных систем разнополюсных и многоспектральных приборов возникают следующие проблемы:

- Ограниченность поля зрения оператора (наличие «слепых» зон);
- Сложность сопоставления изображений объектов, полученных различными каналами;
- Сложность управления транспортным средством, при ориентации только по оптическим приборам;
- Сложности распознавания объектов.

Данные ограничения могут быть сняты, если предоставить оператору возможность наблюдения стереоскопических (объемных) изображений трехмерной сцены, адекватной оперативной обстановке.

При этом оператор сможет наблюдать как изображение, непосредственно полученное с камеры или тепловизора, так и сгенерированное компьютером изображение цифровых трехмерных моделей элементов окружающего ландшафта и актуальных для него объектов.

Самым естественным для человека является пространственное (стереоскопическое) зрение. Утомляемость оператора монокулярного прибора гораздо выше, чем того же оператора при работе аналогичного характера с прибором бинокулярным. Это вызвано тем, что при наблюдении двумя глазами большинство людей способно непосредственно воспринимать взаимное пространственное расположение предметов – пространственную глубину сцены, что даёт оператору дополнительную информацию облегчающую восприятие.

Физиологические особенности человека таковы, что бинокулярная острота зрения выше монокулярной в среднем в 1,3 раза. [1, 2] Причина этого в том, что разрешающая способность глаза в среднем равна одной угловой минуте, в то время как разрешающая способность стереоскопического зрения может составлять десять угловых секунд и менее (для тренированного наблюдателя). [3].

Кроме того, в работе [4] отмечается, что времена распознавания и воспроизведения для объёмных зрительных стимулов, возникающих только при стереоскопическом зрении меньше, чем для плоских.

Блок-схема программно-аппаратного комплекса отображения оперативной информации приведена на рис. 1.

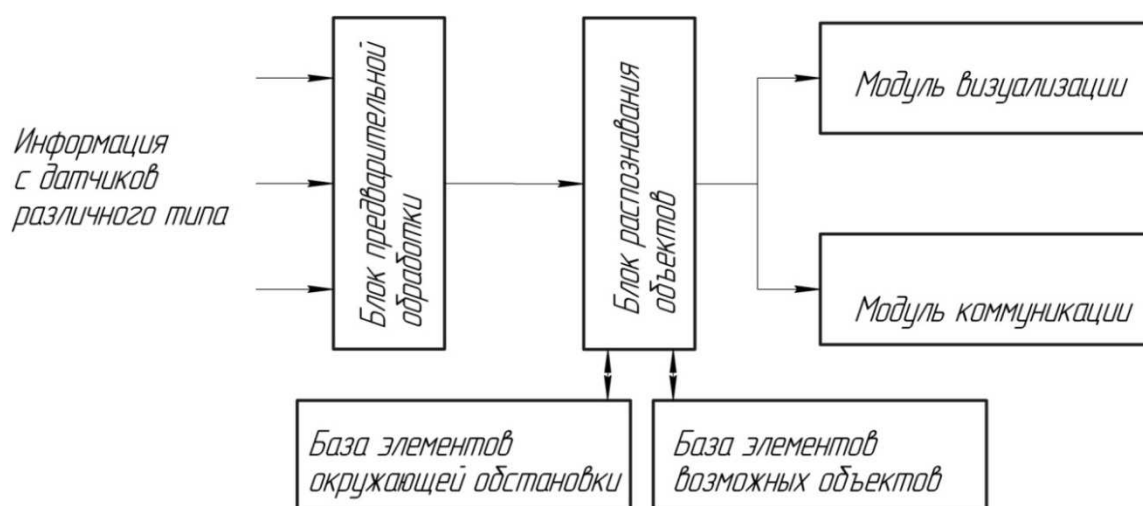


Рис. 1. Блок-схема программно-аппаратного комплекса

Универсальный программно-аппаратный комплекс отображения оперативной информации работает следующим образом. Система создает трехмерную сцену окружающей обстановки с помощью данных, полученных с различных оптических и неоптических датчиков.

Получение трехмерного изображения пространства становится возможным при обработке изображений с использованием двух камер наблюдения. Добавление третьей камеры устраняет неоднозначность, присущую задаче согласования двух изображений [5]. Синтез же оптических и неоптических датчиков открывает гораздо больше возможностей для подобных систем.

Изображения с оптических (и неоптических) датчиков, установленных на движущейся платформе, поступают в блок предварительной обработки, где происходит выделение контура и бинаризация изображения.

В блоке распознавания изображение трехмерной модели с выделенными контурами объектов в бинарном виде накладывается на сгенерированное трёхмерное изображение модели местности, подгружаемое из базы элементов окружающей обстановки. Элементы изображения, не являющиеся ландшафтом, сопоставляются со сгенерированными для каждого датчика индивидуально изображениями на основе базы возможных объектов. В случае совпадения, в трёхмерную модель ландшафта добавляется трёхмерная модель распознанного объекта. Если объект нераспознан, в ландшафт добавляется специальная модель, соответствующая вычисленным габаритам нераспознанного объекта.

Модуль коммуникации должен обеспечивать согласование с системами на других объектах и передачу данных в общую базу оперативной обстановки.

Модуль визуализации предназначен для отображения обработанного сигнала в удобном для восприятия оператора формате.

В процессе работы оператору обеспечивается возможность наблюдения виртуальной трехмерной сцены в режиме реального времени с разных ракурсов, а также масштабирование изображения. Модуль визуализации отслеживает изменения направления взгляда оператора. Для этого в системе установлены два микроэлектромеханических датчика – акселерометра. Один

отслеживает движение головы оператора по горизонтали, второй – по вертикали. Информация о перемещениях поступает на ЭВМ, управляющую разворотом оптических датчиков (телевизионные, тепловизионные и др.) синхронно с поворотом головы оператора.

Модуль визуализации может закрепляться либо на шлеме оператора, либо непосредственно на голове при помощи ремней. Помимо информации, полученной с помощью оптических датчиков, система предоставляет возможность введения в поле зрения оператора дополнительной информации (служебная информация о текущем состоянии объекта, на котором установлена система, информация из других секторов, на которые в данный момент не направлен взгляд оператора, но куда направлены неиспользуемые им в данный момент оптические датчики). При этом могут использоваться условные обозначения для облегчения смысловой нагрузки на оператора.

Отличительной особенностью предлагаемой концепции программно-аппаратного комплекса является то, что не требуется передавать по каналам связи изображения большого объема. Достаточно передать в блок визуализации числовой код модели, информацию об ориентации объекта в пространстве и характере его движения, что значительно снижает требования к пропускной способности каналов коммуникации и позволяет оперативно отображать оперативную информацию, в том числе и на значительном удалении от оптических датчиков.

В настоящее время активными темпами развиваются системы отображения оператору стереоскопического изображения. На данный момент уже существуют различные концепции. Например, разработана концепция дополнительной реальности. Эта система уже воплощена в жизнь в качестве очков дополнительной реальности. Виртуальная реальность транслирует в глаза полностью искусственный цифровой пейзаж, а дополненная реальность смешивает в режиме реального времени виртуальную информацию, такую как текст или изображение, с существующим миром [6].

На данный момент в вооруженных силах США существуют системы так называемого «3Д камуфляжа» [7], позволяющие создавать маскировочное оформление для боевой техники методом нанесения на борт сгенерированного стереоизображения, таким образом, убирая объекты с радаров противника. Также уже существуют системы, которые анализируют пейзаж, окружающий технику и точно проецирует его на объекты, которые необходимо скрыть. Предлагаемая концепция программно-аппаратного комплекса может быть использована как для создания такого «камуфляжа», так и для обнаружения объектов, скрытых таким образом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пинегин, Н.И. Квант света и зрения [Текст] // Труды ГОИ. – 1963. Т.132, вып. 161.- С. 90.
2. Хацевич, Т.Н. Медицинские оптические приборы. Физиологическая оптика [Текст]. - Новосибирск: СГГА, – 2010.- 135с.

3. Бегунов, Б.Н. Теория оптических систем [Текст] Б.Н. Бегунов, Н.П. Заказов. – М.: Машиностроение, 1973. – 488с.
4. Крумина, Г. Проблемы кодирования стереоизображений в памяти человека [Текст] Г. Крумина, В.А. Ляховецкий // Оптический журнал – 2010. - №7. – С.14 – 18.
5. Форсайт, Дэвид А. Компьютерное зрение. Современный подход[Текст] Понс, Жан; пер с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.: ил.
6. Информационный портал cnews [Электронный ресурс]. Раздел «Новости». - Электронн. дан. - М., 2010.- Режим доступа: <http://www.cnews.ru/news/line>.
7. Информационный портал utro.ru [Электронный ресурс]. Раздел «Наука и техника». - Электронн. дан. –М., 2010.- Режим доступа: <http://www.utro.ru/news>.

© Е.А. Крапивко, А.С. Рафаилович, 2011

УДК 665.681:622.629

С.Х. Шамирзаев, Н.Р. Рахимов, Ш.И. Мадумаров

ФТИ АН Рuz, Ташкент, СГГА, Новосибирск

ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ В НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТАХ

В работе рассматриваются методы определения серы в нефти и нефтепродуктах, что является актуальной задачей в современном мире.

S.Kh. Shamirzayev, N.R. Rakhimov, Sh.I. Madumarov

Physical and Technical Institute of the Academy of Science of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

REVIEW OF ANALYTICAL METHODS OF CONTROL AND DEVELOPMENT OF OPTOELECTRONIC SYSTEMS FOR DETECTING SULPHUR IN OIL AND OIL PRODUCTS

The methods of detecting sulphur in oil and oil products as an urgent problem of the modern world are considered.

В настоящее время в нефтяной отрасли применяются десятки оптоэлектронных методов и сотни оптоэлектронных устройств, которые являются основой для определения серы в нефтепродуктах и приняты в различных системах стандартизации: ASTM, EN ISO, IP, ГОСТ. В обзоре рассматриваются оптические методы для определения общей серы в нефти и нефтепродуктах. Наша работа основывается на разных результатах и выводах исследовательских работ, выполненных в США, Европе и России, которые получены различными оптическими методами в межлабораторных испытаниях. Рассматриваются оптические методы, допущенные к применению европейскими спецификациями на нефтепродукты и российскими техническими условиями.

Органические соединения серы являются природным компонентом сырой нефти. При термическом воздействии в процессе переработки нефти сера и ее соединения встречаются в нефтепродуктах в различных концентрациях.

Основные существующие серосодержащие соединения и сера в нефтепродуктах имеют следующие формы:

- Сероводород H_2S , образующийся при термическом разложении серосодержащих соединений;
- Элементарная сера, продукт окисления сероводорода;
- Меркаптаны $R-SH$;

- Сульфиды или тиоэфиры R-S-R;
- Дисульфиды и политиоэфиры R-S...S-R;
- Тиофен C₄H₄ S и его производные и др.

Мы знаем, что присутствие этих соединений нежелательно, т. к. они придают нефтепродуктам неприятный запах, вызывают коррозию оборудования и загрязняют атмосферу при сгорании. Также соединения серы разрушают дорогостоящие катализаторы переработки нефти и, выделяя в атмосферу оксиды серы при сгорании, создают нам глобальные экологические проблемы.

В мире разработано ряд оптических методов и приборов для определения серы ультрафиолетовом, рентгеновском, ближнем инфракрасном и ИК-диапазоне. Выбор подходящего оптического метода для решения этой аналитической задачи зависит от природы и состава анализируемого объекта, требуемого диапазона концентраций, точности, а также бюджетных возможностей лаборатории. Цель настоящей работы является анализ существующих лабораторных оптических методов определения серы, сравнительное рассмотрение их возможностей, ограничений и разработка оптоэлектронного метода для определения содержания серы в нефти и нефтепродуктах.

Некоторые стандартные оптические методы определения общей серы в нефти и нефтепродуктах в лабораторных условиях приведены в таблице:

Таблица. Оптические методы определения серы

Методы	ASTM ¹	IP ²	EN ³ ISO ⁴	ISO ⁴	UOP	ГОСТ
Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ (ВД РФА)	D2622, D6334	497, 447	14596, 20884	14596, 20884	-	Р 52660 - 2006
Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ (ЭД РФА)	D4294, D6445	336, 496	20847, 8754	8754, 20847	836	Р 50442, Р 51947
Окислительный пиролиз и УФ флуоресценция	D 5453	490	20846	20846	-	Р ЕН ИСО 20846:2006

ASTM¹ - American Standard methods for Testing Materials – Американские Стандартные методы Испытаний Материалов (США); IP² – Institute of Petroleum – Институт Нефти, новое название Энергетический Институт (Energy Institute EI), Великобритания; EN³ – Стандарты Западной Европы, ISO⁴ – International Organization for Standards – Международная Организация по Стандартизации, Швейцария.

Недостаток лабораторных оптических методов заключается в том, что требуется очень длительное время для анализа, и они трудно поддаются автоматизации процесса.

Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ предназначен для определения низких содержаний серы в бензинах и дизельных топливах. Определение серы методом энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометры предназначен для определения содержания общей серы в

нефтепродуктах, таких как газойль, мазут, сырая нефть методом энергорассеивающей рентгенофлуоресцентной спектromетрии, который является точным, неразрушающим, экономичным и экспрессным методом. Но в рентгеновском методе определения общей серы в нефти и нефтепродуктах необходимо каждый раз менять пленку или кювету при повторном измерении. Кроме того существующие в нефти атомы некоторых элементов могут излучать в том же спектральном диапазоне, что и атомы серы (свинец, кремний, фосфор и др.) [1].

Также для контроля используются спектрофотометры – двулучевые сканирующие спектрофотометры УФ и видимой области спектра для автоматических измерений. Они отличаются высокой стабильностью, гибкостью в выборе методов анализа, удобством представления и обработки полученных данных. Приборы могут комплектоваться кюветами различной длины и объема, системами автоматической смены кювет и термостатирования кювет автодозатором, держателями для твердых образцов и гелей, интегрирующей сферой и волоконно-оптической системой для дистанционного анализа, но в ультрафиолетовом методе для определения серы в лабораторных условиях в нефти и нефтепродуктах, галогены мешают и влияют на точность измерения. Этим оптическим методом в основном пользуются в лабораторных условиях измерения доли серы в готовых нефтепродуктах (бензин, дизель и др.).

Предлагаемое нами оптоэлектронное устройство, работающее в ИК диапазоне избегает лишних оптических сложностей, в отличие от оптических методов в УФ-области и рентгеновской области. Наиболее надежным из них является фотометрический метод, где использована реакция взаимодействия свободной серы с цианидами щелочных металлов. В лабораторных условиях после добавления хлорного железа в раствор образовавшегося роданистого калия измеряется интенсивность поглощения в области $\lambda = 465$ нм. Содержание серы затем определяется по калибровочному графику: оптическая плотность – концентрация [2].

Предлагаемое оптоэлектронное устройство на основе элемента нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) в инфракрасном диапазоне для определения содержания серы в нефти и нефтепродуктах позволило реализовать требования к структуре и оптической схеме автоматического анализатора. С этим оптическим анализатором можно определять доли серы в лабораторных условиях и при бурениях нефти.

Анализатор (рис. 1) включает датчик НПВО, выполненный в виде полуцилиндра 1, по всей длине полуцилиндра 1 на его цилиндрической поверхности расположены источники излучения 4 - 7, оптически связанные с измерительными фотоприемниками 8-11. Анализатор также включает компенсационный источник излучения 12 и фотоприемник 13, оптически связанные между собой, задающий генератор 2, соединенный с коммутатором 3, один выход которого соединен с компенсационным источником излучения 12, а другие выходы – с источниками излучения 4 - 7, выход каждого измерительного фотоприемника 8 - 11 соединен с одним из входов сумматора 14, выход которого

соединен с первым входом блока обработки фотоэлектрического сигнала 15, второй вход которого соединен с компенсационным фотоприемником 13, а выход – с регистрирующим прибором 16. Каждый источник излучения 4 - 7 оптически связан через измерительную грань полуцилиндра 1 с соответствующим измерительным фотоприемником 8 -11. Вместо регистрирующего прибора 16 может быть использована ЭВМ. В качестве источников излучения 4 - 7 и компенсирующего источника излучения 12 могут быть использованы светодиоды.

Анализатор работает следующим образом. Задающий генератор 2 вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой следования 8-10 кГц, поступающие на вход коммутатора 3, который делит их на две части. Одна часть импульсов поступает на источники излучения 4 - 7, а другая часть - на компенсирующий источник излучения 12. Потоки излучения от источников излучения 4 - 7 фокусируются на измерительной грани полуцилиндра 1, отражаются и поступают на измерительные фотоприемники 8 - 11, где оптический сигнал преобразуется в электрический, который поступает на входы сумматора 14 и суммируется в нем. Оптическое излучение от компенсирующего источника излучения 12 поступает на компенсационный фотоприемник 13 [3,4].

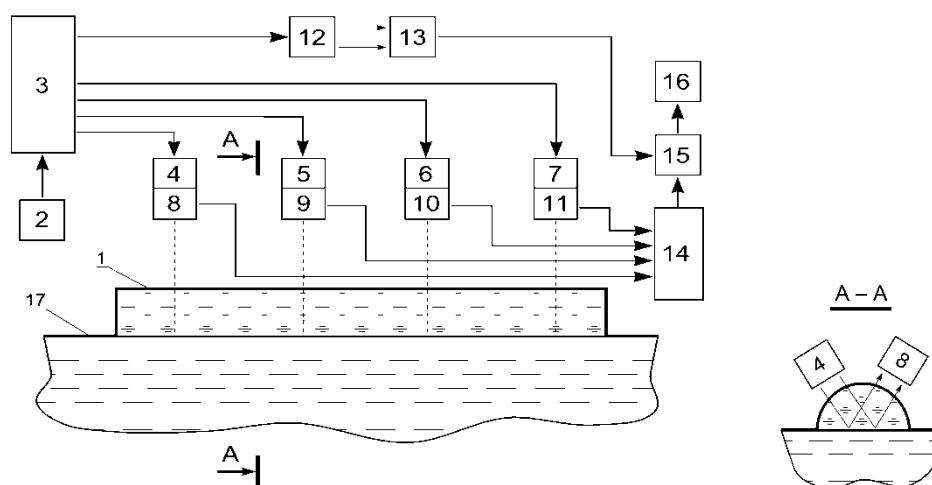


Рис. 1. Функциональная схема анализатора содержания серы

Электрические сигналы с выхода сумматора 14 и компенсационного фотоприемника 13 поступают в блок обработки фотоэлектрического сигнала 15, где определяется отношение величин электрических сигналов, соответствующих компенсационному потоку и измерительным потокам излучения, которые пропорциональны содержанию серы. Электрический сигнал с выхода блока обработки фотоэлектрического сигнала 15 поступает на регистрирующий прибор 16 (или ПК), по показанию которого судят о содержании серы.

Используя этот оптический метод, зная, что сера в нефти поглощает именно в этой длине волны, установив это оптоэлектронное устройство можно определить содержание серы при бурении нефти и при протекании ее через трубу. Зная содержание серы в нефти, можно определить с какого она

месторождения, так как для каждого из них характерна определенная доля серы в нефти, это, в свою очередь, позволит разработать паспорт качества нефтепродукта.

В последнее время для анализа содержания одного вещества в другом все чаще используют ИК-спектроскопию. Суть ИК-метода с использованием эффекта НПВО состоит в том, что длина волны измерительных светодиодов лежит в полосе поглощения ИК-спектра серы, а опорных светоизлучающих диодов (СИД) – вне полосы поглощения, но близко к длине волны измерительных светодиодов и служит для компенсации неинформативных параметров.

В заключение можно сказать, что предлагаемое устройство повышает точность измерения за счет многократного измерения параметров контролируемой жидкости и суммирования электрических сигналов от нескольких фотоприемников. Кроме того, с помощью данного устройства в лабораторных условиях можно определять содержание серы, передать спектры серы на ПК и оператор имеет возможность заполнить паспорт нефтепродукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иоффе, Б.В. Рефрактометрические методы в химии. - Л.: Химия, 1983.
2. Рахимов, Н.Р. Оптический контроль в нефтеперерабатывающем производстве: монография. - Фергана: Техника, 2004. - 91 с.
3. Рахимов, Н.Р. Оптоэлектронные системы на основе эффекта НПВО для контроля технологических параметров нефти и нефтепродуктов / Н.Р. Рахимов, Л.Ф. Парфирьев // Изв. вузов. Приборостроение. - 2005. - № 10. – С. 41 – 45.
4. Рахимов Н.Р. Оптоэлектронные системы с применением эффекта НПВО для анализа состава нефти и нефтесодержащих сред // Современные проблемы геодезии и оптики. – Новосибирск: СГГА, 2004. – С. 163–167.

© С.Х. Шамирзаев, Н.Р. Рахимов, Ш.И. Мадумаров, 2011

УДК 681.7.015.2

Т.В. Парфёнова, Т.Н. Хацевич

СГГА, Новосибирск

ДВУХДИАПАЗОННЫЕ ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Обоснована необходимость разработки объективов для тепловизионных приборов и систем, обеспечивающих высокое качество изображения в спектральном диапазоне от 3 до 12 мкм при фиксированном положении плоскости изображения, приведен пример разработки такого объектива с малым полем зрения.

T.V. Parfyonova, T.N. Khatsevich

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DOUBLE-RANGE LENSES FOR INFRARED SPECTRUM

The authors substantiate the necessity of developing lenses for thermal imagers and systems providing high quality image in 3 – 12 μm spectral range with the image plane being fixed. The small-field lens development is presented as an example.

Разработкой двухдиапазонных матричных приемников инфракрасного излучения занят ряд ведущих зарубежных и отечественных фирм [4]. В настоящее время наиболее значительные успехи достигнуты при создании матричных приемников на базе тройных соединений КРТ (кадмий-ртуть-теллур) и структур с квантовыми ямами (СКЯ). И те, и другие могут работать как в средневолновом (3...5 мкм), так и в длинноволновом (8...12 мкм) ИК-диапазоне. Совершенствование технических характеристик таких приемников осуществляется быстрыми темпами [1].

Использование двухдиапазонных инфракрасных приемников дает возможность при проектировании двух- и многодиапазонных оптико-электронных систем [2] обеспечить объединение каналов и существенно снизить конструктивный объем тепловизионных приборов, обеспечив при этом реализацию преимуществ интегрального изображения наблюдаемых объектов, формируемых на основе изображений, полученных в нескольких спектральных диапазонах.

Вместе с тем для разработчиков оптики тепловизионных приборов и систем актуальной становится задача создания объективов, обеспечивающих высокое качество изображения в спектральном диапазоне от 3 до 12 мкм при фиксированном положении плоскости изображения. В совокупности с дополнительными требованиями к объективам тепловизионных приборов,

обусловленными, например, особенностями сопряжения с охлаждаемыми приемниками излучения [3], задача создания широкоспектральных объективов для инфракрасного диапазона спектра (по существующей классификации, относящихся к суперапохроматам) является достаточно сложной задачей оптического проектирования.

подавляющее большинство оптических систем современных тепловизионных приборов и систем рассчитаны на определенный спектральный диапазон работы, определяемый спектральным диапазоном работы применяемых приемников излучения, а именно: либо в диапазоне от 3 до 5 мкм, либо в диапазоне от 8 до 12 мкм. Имеется ограниченное число линзовых объективов, обеспечивающих высокое качество изображения, одновременно в двух указанных инфракрасных спектральных поддиапазонах при неизменном положении плоскости изображения [3]. И вместе с тем отсутствуют конкретные рекомендации, позволяющие создавать исходные базовые оптические системы для их дальнейшего расчета с помощью известных проектировочных оптических программ. Именно такая задача поставлена в исследовании, при этом настоящий доклад является результатом исследований материалов для ИК-области спектра и расчёта оптической системы двухдиапазонного объектива коллиматорного типа.

Исходным условием оптического проектирования является тщательный анализ свойств материалов, которые могут быть использованы для расчета оптики конкретного типа. На данном этапе на основании условия обеспечения апохроматической коррекции в тонком объективе проведено исследование свойств материалов, позволившее составить таблицы комбинаций материалов, обеспечивающих возможность апохроматической коррекции в спектральном диапазоне от 3 до 12 мкм. Эффективность полученных рекомендаций по выбору материалов проверена расчетом нескольких вариантов объектива коллиматорного типа (с малым угловым полем), обеспечивающим высокую степень хроматической коррекции на оси системы.

В частности, один из вариантов двухдиапазонного объектива (рис. 1) представляет собой пятилинзовую систему апохромата со следующими характеристиками: фокусное расстояние 40 мм; относительное отверстие 1 : 0,75; рабочий спектральный диапазон от 3 до 12 мкм.

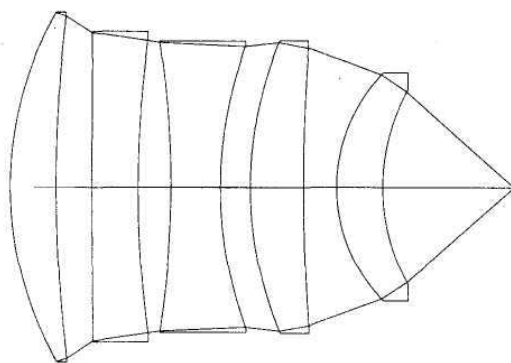


Рис. 1. Оптическая схема двухдиапазонного объектива коллиматорного типа

Оценка качества изображения представлена на рис. 2–4.

На рис. 2 приведен график хроматической aberrации положения для спектрального диапазона 3...12 мкм, демонстрирующий апохроматическую коррекцию в рассчитанном варианте объектива.

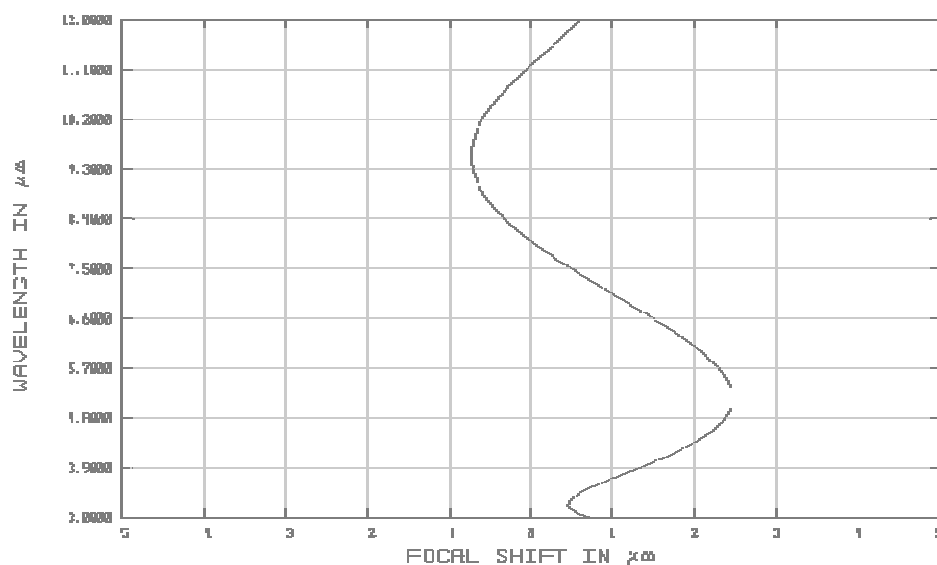


Рис. 2. Хроматическая aberrация положения

На рис. 3 представлен график функции концентрации энергии для спектрального диапазона 3...5 мкм, а на рис. 4 - для спектрального диапазона 8...12 мкм, рассчитанные в фиксированной плоскости изображения.

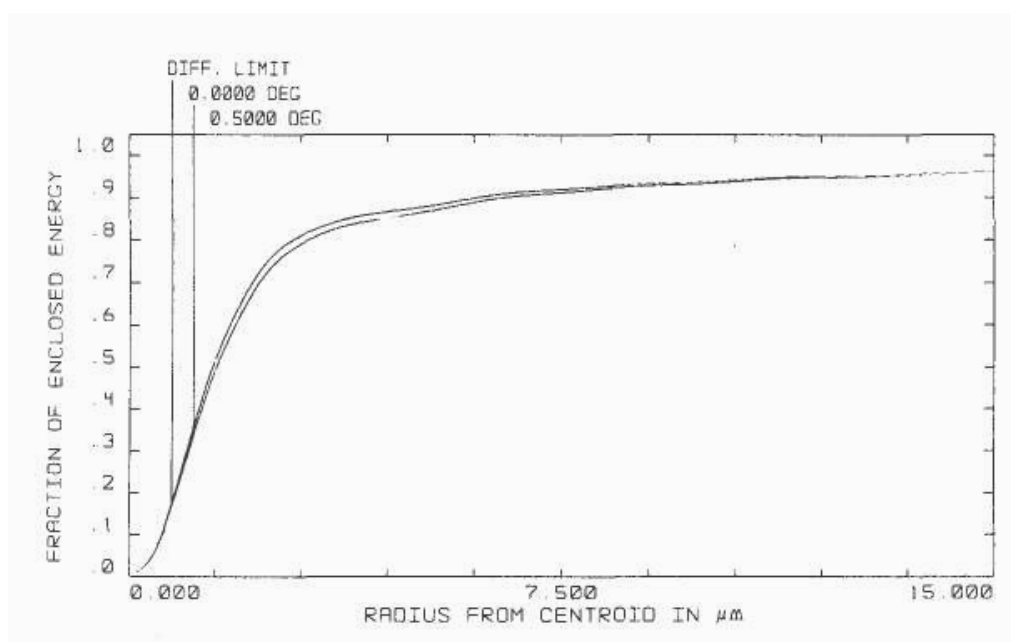


Рис. 3. График функции концентрации энергии в изображении точки, построенном объективом в спектральном диапазоне 3...5 мкм

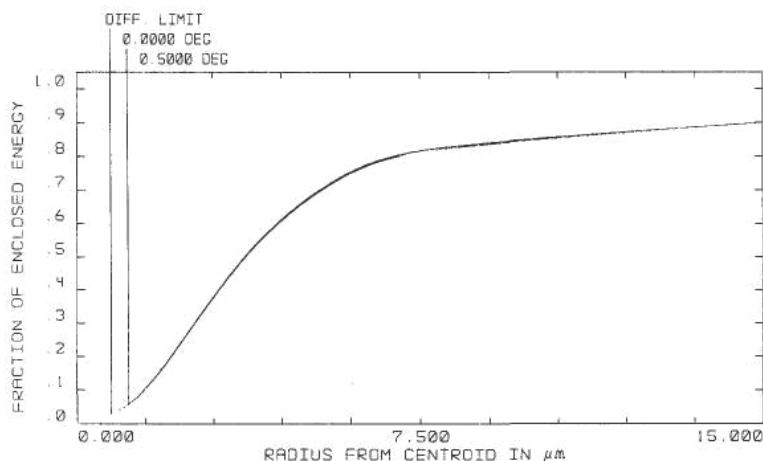


Рис. 4. График функции концентрации энергии в изображении точки, построенном объективом в спектральном диапазоне 8...12 мкм

Проведенные исследования и оптическое проектирование вариантов объектива коллиматорного типа, подтвердившие возможность обеспечения высокой степени коррекции хроматических и сферохроматических aberrаций в линзовой системе для рабочих спектральных диапазонов, лежащих в пределах от 3 до 12 мкм, являются первым этапом в разработке двухдиапазонных объективов для тепловизионных приборов, построенных на современных двухдиапазонных матричных приемниках инфракрасного излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасов, В.В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приёмниками излучения [Текст] / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. –192 с.
2. Оптические приборы наблюдения, обработки и распознавания объектов в сложных условиях [Текст] / Б.С. Алешин, А.В. Бондаренко, В.Г. Волков, Э.С. Дрaб, Л.М. Цибулькин. – М.: Гос. научно-исследоват. ин-т авиац. систем, 1999. – 139 с.
3. Хацевич, Т.Н. Оптические системы тепловизоров на основе охлаждаемых приемников инфракрасного излучения / Т.Н. Хацевич, Е.А. Терешин // Труды 9 Международной конференции «Прикладная оптика-2010»; под ред. Ю.И. Солдатов, В.А. Зверева, М.В. Даниловой, Л.Л. Полосина, Ю.Е. Шелепина. - Санкт-Петербург 18-22 октября 2010 г.- СПб., 2010. - Т.3. – С. 96.
4. Пат. RU 2410733 С1 Российская Федерация, МПК G02В 13/14 (2006.01), G02В 9/64 (2006.01). Двухспектральный инфракрасный объектив с вынесенной в пространство изображений апертурной диафрагмой [Текст] / Хацевич Т.Н., Терешин Е.А.; заявители и патентообладатели Хацевич Т.Н., Терешин Е.А. - 2010101899/28; заявл. 21.01.2010; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. – 16 с.: ил.

УДК 29.31.26

А.Г. Верхогляд¹, М.А. Завьялова¹, Б.А. Князев², С.Н. Макаров¹, М.Ф. Ступак¹

1 – КТИ НП СО РАН, Новосибирск

2 – Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН, Новосибирск

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ БЛИЖНЕПОЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ПРИСТАВКИ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО СПЕКТРОМЕТРА НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

В статье описана концепция построения ближнеполевой сканирующей приставки для терагерцового спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения. Приведены экспериментальные результаты по использованию конфокального датчика с хроматическим кодированием для измерения расстояния.

A.G. Verkhogliad¹, M.A. Zavyalova¹, B.A. Knyazev², S.N. Makarov¹, M.F. Stupak¹

1 – Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering (TDI SIE) Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS)

41, Russkaya str., Novosibirsk, 630058, Russia

2 – Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS

11, Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090 Russia

FEATURES OF CONSTRUCTION OF NEAR-SCANNING ATTACHMENTS FOR TERAHERTZ SPECTROMETER FRUSTRATED TOTAL INTERNAL REFLECTION

The design concept of near-field scanning attachment for terahertz spectrometer frustrated total internal reflection is presented. Experimental results on the use of confocal 3D surface sensor which is based on the diffraction-chromatic coding principle are shown.

Изучение свойств веществ в диапазонах электромагнитного излучения, выходящих за пределы видимого, представляет большой интерес для исследователей. В настоящее время идет активное изучение терагерцового диапазона во многом благодаря созданию в Новосибирском Академгородке лазера на свободных электронах, генерирующего мощное монохроматическое, перестраиваемое в широком диапазоне длин волн излучение [1]. Использование терагерцового диапазона открывает принципиально новые возможности в исследованиях свойств различных материалов в молекулярной и клеточной биофизике, биофотонике, молекулярной электронике, в диагностиках наноскопии и многих других важных приложениях. Растущий интерес к терагерцовым системам связан с фундаментальной особенностью терагерцового спектра, связанную с тем, что именно в нем лежат собственные

частоты колебаний и энергии конформационных переходов биомолекул, вращательные переходы многих молекул, характерные энергии современных полупроводниковых структур.

Целью работы является разработка концепции построения ближнеполюной сканирующей приставки для исследования генерации поверхностных плазмонов терагерцового диапазона монохроматическим излучением на базе спектрометра нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), спектроскопия тонких плёнок и нанообъектов на поверхностях. По сути дела, в будущей установке будут объединены два метода – метод терагерцовой НПВО-спектроскопии с методом ближнеполюной зондовой сканирующей микроскопии.

Рассмотрим основные узлы данной конструкции (см. рис. 1). В схеме изображающего НПВО-спектрометра эффект полного внутреннего отражения от границы раздела между НПВО-элементом (например, призмой из кремния) с высоким показателем преломления $n_0 = 3,4$ и образцом с меньшим показателем преломления n при угле падения больше критического $\theta_c = \arcsin(n/n_0)$ нарушается, если исследуемый образец поглощает терагерцовое излучение. Тогда на границе раздела возникает затухающая эванесцентная волна, которая не является «свободным излучением», а представляет неразрывное целое с поверхностным плазмоном – колебаниями свободных электронов вблизи поверхности проводника [1]. Введение зонда в область локализации эванесцентной волны позволит реализовать метод ближнеполюной зондовой сканирующей микроскопии [2, 3]. Сканирование поверхности объекта и детектирование результата взаимодействия объекта и зонда дает возможность исследовать оптические свойства образца в локальных областях, соответствующих размеру зонда (как правило, диаметр апертуры которого много меньше длины волны излучения). Тем самым можно преодолеть дифракционный предел с целью исследования субстанций и объектов макро-, микро - и наноразмеров.

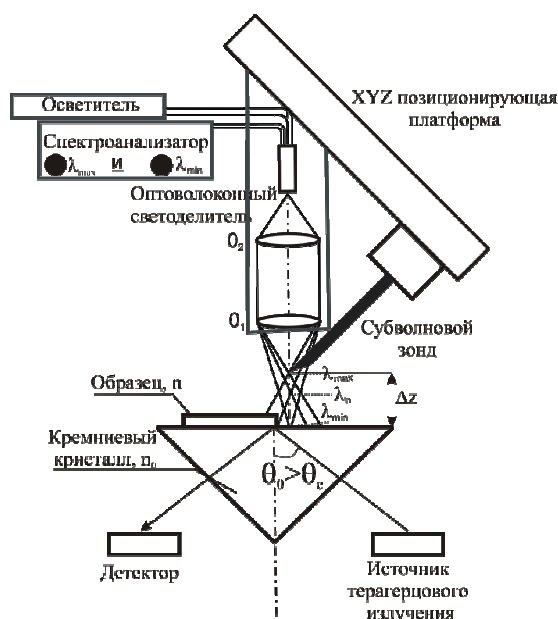


Рис. 1. Геометрия ближнеполюной сканирующей приставки в схеме изображающего НПВО-спектрометра

Основным элементом ближнепольной сканирующей приставки является конфокальный датчик на основе хроматического кодирования [4] (см. рис. 1), позволяющий проводить прецизионные измерения расстояния до поверхности.

Датчик расположен на XYZ–позиционирующей платформе на основе пьезоподвижек для прецизионного сканирования поверхности субволновым зондом. Оптическая схема датчика описана ниже.

Излучение осветителя фокусируется на торец многомодового оптоволоконна и проходит через оптоволоконный светоделитель, расширяется объективом O_2 и фокусируется на грань кремниевой призмы объективом O_1 . Оптоволоконный светоделитель представляет собой два многомодовых волокна, сваренных вместе, и позволяет объединять или расщеплять световые потоки. Рассеянный свет собирается объективом O_1 и фокусируется объективом O_2 на торец светоделителя, через который излучение попадает на спектроанализатор. Торец светоделителя выполняет роль конфокальной диафрагмы, его диаметр равен 50 мкм. Для реализации метода хроматического кодирования нами предложено использовать гибридный рефракционно-дифракционный объектив (РД-объектив) O_1 , который позволяет расщеплять падающий поток на хроматические составляющие в измерительном диапазоне ΔZ . В зависимости от расстояния между объективом и кремниевым кристаллом на поверхности последнего фокусируется свет только с определенной длиной волны $\lambda_{\min}$ из всего спектрального диапазона $[\lambda_{\min} \dots \lambda_{\max}]$. Все другие спектральные компоненты освещают широкую площадь поверхности. Использование конфокального принципа приводит к прохождению на спектроанализатор практически монохроматического света с длиной волны $\lambda_{\min}$, все остальные спектральные компоненты из диапазона ΔZ отсекаются. Длина волны $\lambda_{\min}$ однозначно связана с расстоянием до объекта. По изменению $\lambda_{\min}$ судят о величине смещения.

РД-объектив состоит из стандартного микрообъектива ($40\times$, $f = 4.3$ мм) и дифракционного оптического элемента (ДОЭ). ДОЭ представляет собой фазовую зонную пластинку с окружностями, радиус которых совпадает с радиусами зон Френеля [5]. На ДОЭ лучи дифрагируют, а микрообъектив осуществляет фокусировку (рефракцию) дифрагированных лучей. Отсюда название объектива – дифракционно-рефракционный. Следует отметить, что в существующих зарубежных аналогах для формирования хроматического отрезка используется набор линз из особых стекол, за счет которых объектив имеет увеличенный хроматизм положения. Применив вместо такой комбинации линз ДОЭ, можно существенно упростить конструкцию и уменьшить массогабаритные характеристики конфокального датчика.

Фокус ДОЭ РД-объектива можно найти, решая систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{1}{f_m} + \frac{1}{f_{\lambda_{\min}}} = \frac{1}{f} \\ \frac{1}{f_m} + \frac{1}{f_{\lambda_{\max}}} = \frac{1}{f + \Delta z} \end{cases},$$

где f_m – фокусное расстояние микрообъектива, $f_{\lambda_{\min}}$ и $f_{\lambda_{\max}}$ – фокусные расстояния ДОЭ для длин волн $\lambda_{\min} = 450$ нм и $\lambda_{\max} = 650$ нм, ΔZ – длина хроматического отрезка, f – фокусное расстояние РД-объектива.

Так как фокусное расстояние фазовой маски определяется формулой $f_{\lambda} = \frac{r_n^2}{2n\lambda}$ (где r_n – радиус n -ой зоны, n – номер зоны), то $\frac{f_{\lambda_{\min}}}{f_{\lambda_{\max}}} = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}$. С учетом последнего выражения формула для нахождения фокусного расстояния ДОЭ примет следующий вид:

$$f_{\lambda_{\min}} = \frac{\sqrt{\left[1 + \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} + \frac{f_m}{\Delta Z} \left(1 - \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}\right)\right]^2 - 4 \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} - 1 - \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} - \frac{f_m}{\Delta Z} \left(1 - \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}}\right)}}{2 \frac{\lambda_{\max}}{f_m \lambda_{\min}}}.$$

По этой формуле можно оценить фокус ДОЭ для получения хроматического ΔZ отрезка нужной длины.

Были рассчитаны и изготовлены два ДОЭ с $\Delta Z = 100$ и 200 мкм.

Для реализации метода хроматического кодирования на выходе датчика необходим спектроанализатор, например, спектрометр. Нами предложено вместо спектрометра, в котором длина волны измеряется напрямую, использовать цветную камеру. Это позволит уменьшить себестоимость датчика и в целом упростить его конструкцию.

Цветное изображение с камеры характеризуется яркостью, координатами цвета и координатами цветности, которые позволяют определить доминирующую длину волны, то есть такую длину волны, на которой в спектре имеется преобладающее по мощности излучение. Алгоритмы определения доминирующей длины волны подробно описаны в [6]. Спектральное разрешение камеры было оценено с помощью компьютерного моделирования шума матрицы. Для этого на изображение фокального пятна накладывался шум и вычислялась доминирующая длина волны на 20 итерациях. Разница между максимальной и минимальной длиной волны определило разрешение, которое составило $0,01 - 0,06$ нм при отношении сигнал/шум $30 - 50$ dB (для рядовых камер). Таким образом, погрешность измерения, обусловленная шумом камеры, для измерительного диапазона $\Delta Z = 200$ мкм составляет от 7 до 42 нм.

Следует отметить, что ширина спектра, регистрируемого спектроанализатором, напрямую зависит от размера диафрагмы. Расчеты показали, что, например, при размере диафрагмы 10 мкм и размере пятна на камере 10 мкм ширина спектра пропускания 7 нм.

Экспериментальные результаты

Экспериментальные исследования конфокального метода осуществлялись на макете с использованием в качестве источника галогеновой лампы или белого светодиода, а в качестве спектроанализатора – цветной видеокамеры (TUCSEN 1.3 Mp). Объект смещался с помощью пьезоподвижек фирмы Physik Instrumente (PI) с шагом 1 мкм и погрешностью позиционирования 0,2 мкм. Данные обрабатывались с помощью разработанного программного

обеспечения. На рис. 2 представлен график, показывающий характер изменения длины волны на спектроанализаторе (камере) в зависимости от расстояния до объекта при глубине фокусировки $\Delta Z = 200$ мкм.

Из графика видно, что зависимость довольно линейная (нелинейность составляет 4 %), а уровень локальных отклонений соответствует погрешности применяемого оборудования. Результаты эксперимента подтверждают возможность создания ближнепольной приставки на основе конфокального датчика с хроматическим кодированием с чувствительностью к смещениям порядка 1 мкм, которая на порядок выше, чем характерная глубина ближнепольной области.

Основные результаты

Предложено использовать конфокальный метод с хроматическим кодированием для измерения расстояний с целью использования в ближнепольной приставке изображающего НПВО-спектрометра.

Рассчитаны гибридные рефракционно-дифракционные объективы с различной глубиной фокусировки ($\Delta Z = 100$ и 200 мкм).

Проведено программное моделирование и экспериментальная апробация конфокального метода с хроматическим кодированием. Разработано программное обеспечение, позволяющее по значениям R , G , B – координатам цвета изображения вычислять доминирующую длину волны. Получена чувствительность к смещениям поверхности порядка 1 мкм при глубине фокусировки 100 и 200 мкм для микрообъектива $40\times$.

Направлением дальнейших исследований является разработка оптимальной конструкции ближнепольной приставки для изображающего НПВО-спектрометра. Для калибровки конфокального датчика в настоящее время разрабатывается датчик касания к поверхности. Это позволит подвести рабочий зонд на заданное расстояние от поверхности с большой точностью. Для контроля расстояния между зондом и поверхностью планируется снимать конфокальный сигнал одновременно и с зонда, и с исследуемого образца. Расхождение значений длин волн и определит смещение поверхности в процессе сканирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gerasimov, V. V., Knyazev, B. A. and Cherkassky, V. S. Obtaining spectrally selective images of objects in attenuated total reflection regime in real time in visible and terahertz ranges. Optics and Spectroscopy, 108 (2010) 859-865.

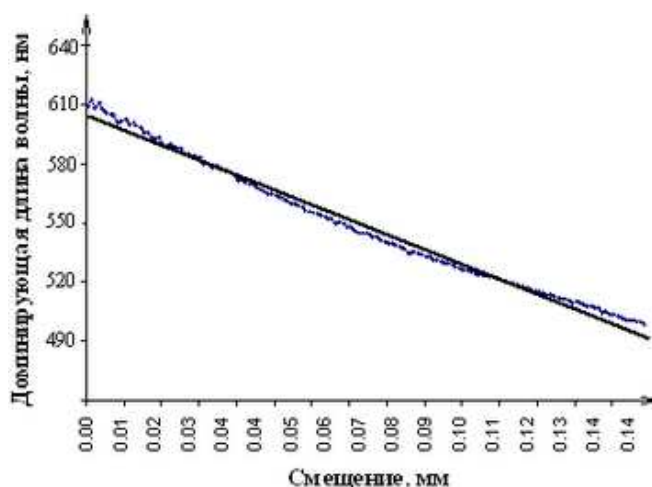


Рис. 2. Зависимость доминирующей длины волны, рассчитанной по изображениям с цветной видеокамеры, от смещения поверхности

2. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии // РАН Институт физики микроструктур. - Нижний Новгород, 2004.
3. Pawley, J. B. Handbook of Biological Confocal Microscopy // New York: Plenum Press. – 1995. – 632 p.
4. Stern, H., Metzger R., Chromatic optical ranging sensor // Пат. 5790242 США МКИ G01C3/08. – Оpubл. 04.08.1998.
5. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. - М.: Наука, 1970. – 856 с.
6. Ginzbul, A. V., Zavjalova, M. A, Obidin, Y. V., RGB image processing method for color classifying diamonds [Текст] // Proceedings of ISMTII-2009 (The 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments). Published by D.S. Rozhdestvensky Optical Society, Russia. Saint-Petersburg, Russia, 29 June – 2 July 2009. Vol. 4. – P. 4-167 – 4-171.

© А.Г. Верхогляд, М.А. Завьялова, Б.А. Князев,
С.Н. Макаров, М.Ф. Ступак, 2011

УДК 681.7.067.22

А.В. Турбин, А.С. Рафаилович, П.А. Алдохин

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

ОБЪЕКТИВ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Рассматривается оптическая схема и технические характеристики объектива для ультрафиолетовой области спектра.

A.V. Turbin, A.S. Rafailovich, P.A. Aldokhin

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of Russian

Academy of Sciences, «Technological Design Institute of Applied Microelectronics» (NB ISP SB RAS «TDI AM») 2/1, Prosp. Akademika Lavrentieva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE OBJECTIVE FOR ULTRAVIOLET AREA SPECTRUM

The optical scheme and technical characteristics of the lens for ultraviolet area of a spectrum is considered.

Интерес к созданию современных оптико-электронных приборов (ОЭП), работающих в ультрафиолетовой (УФ) области спектра, обусловлен широким использованием данных приборов в различных областях науки и техники, например, для обнаружения разливов нефтепродуктов, мест радиационного загрязнения, для проведения профилактических работ на высоковольтных ЛЭП и др [1].

Применение современных ОЭС требует создания объективов с высоким качеством изображения в ультрафиолетовой области спектра. Разработка оптических систем для спектрального диапазона 230-410 нм сама по себе затруднительна. Трудности многократно возрастают, если к оптической системе предъявляются повышенные требования в части оптических характеристик и качества изображения. Вызваны эти трудности главным образом тем, что материалы, прозрачные в указанной области спектра, обладают малыми значениями показателей преломления [2]. Кроме того, ассортимент этих материалов ограничен. Наиболее пригодными чаще всего используемыми здесь являются кварц и флюорит. Ввиду малого показателя преломления при относительно высокой дисперсии, такие объективы всегда содержат большее число линз, чем объективы для видимой области спектра с аналогичными характеристиками [3]. В настоящем докладе, сообщается о разработке в Филиале ИФП СО РАН «КТИПМ» линзового объектива предназначенного для работы в УФ области спектра.

Объектив выполнен на основе двух оптических материалов, кварцевого стекла марки КУ2 и кристалла фтористого лития ФЛУ и содержит шесть последовательно расположенных на оптической оси компонентов. 1 и 5 компоненты представляют собой положительные двояковыпуклые линзы, 2 компонент отрицательную двояковогнутую линзу, 3, 4 и 6 компоненты представляют собой отрицательные мениски обращенные вогнутостью к изображению. Апертурной диафрагмой является оправа 1 компонента объектива. Оптическая схема объектива показана на рис. 1.

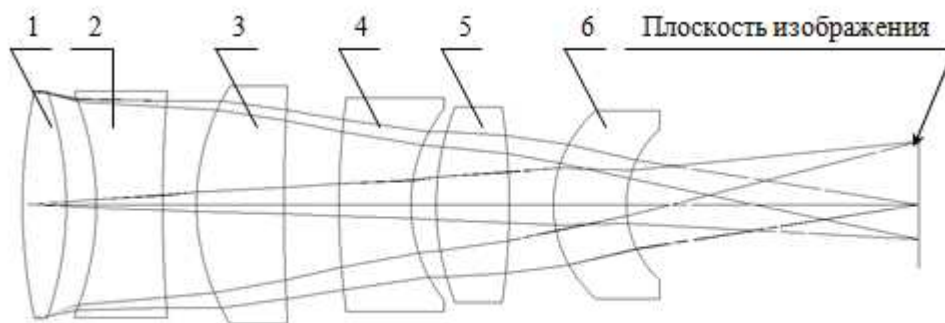


Рис. 1. Схема объектива

Объектив имеет следующие технические характеристики:

Рабочий спектральный диапазон, $\Delta\lambda$, нм 290...400

Фокусное расстояние, f , мм 100

Относительное отверстие D/f 1:3

Линейное поле зрения, $2y'$, мм 18

Задний фокальный отрезок, S'_f , мм 40

Масса объектива (без оправы), гр 106

На рис. 2 показана расчетная частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) объектива для различных позиций поля зрения.

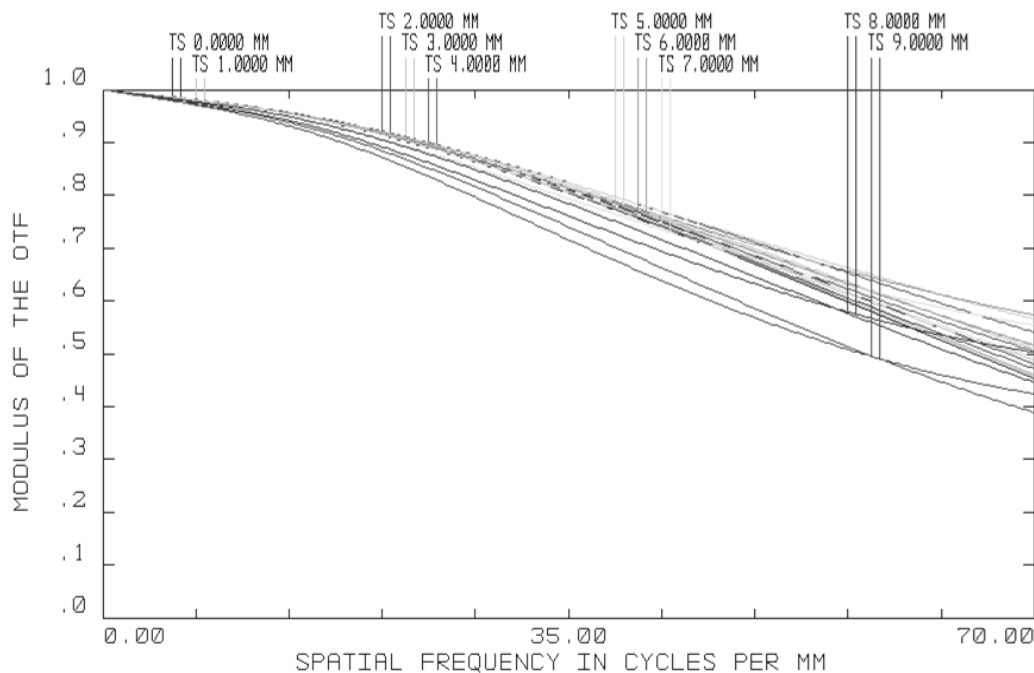


Рис. 2. График ЧКХ объектива

Из графика ЧКХ видно, что коэффициент передачи контраста на краю поля зрения для пространственной частоты 70 штр/мм составляет 40 %, а для центра поля зрения не менее 50 %. На рис. 3 приведена расчетная диаграмма пятен рассеивания объектива для различных точек поля зрения.

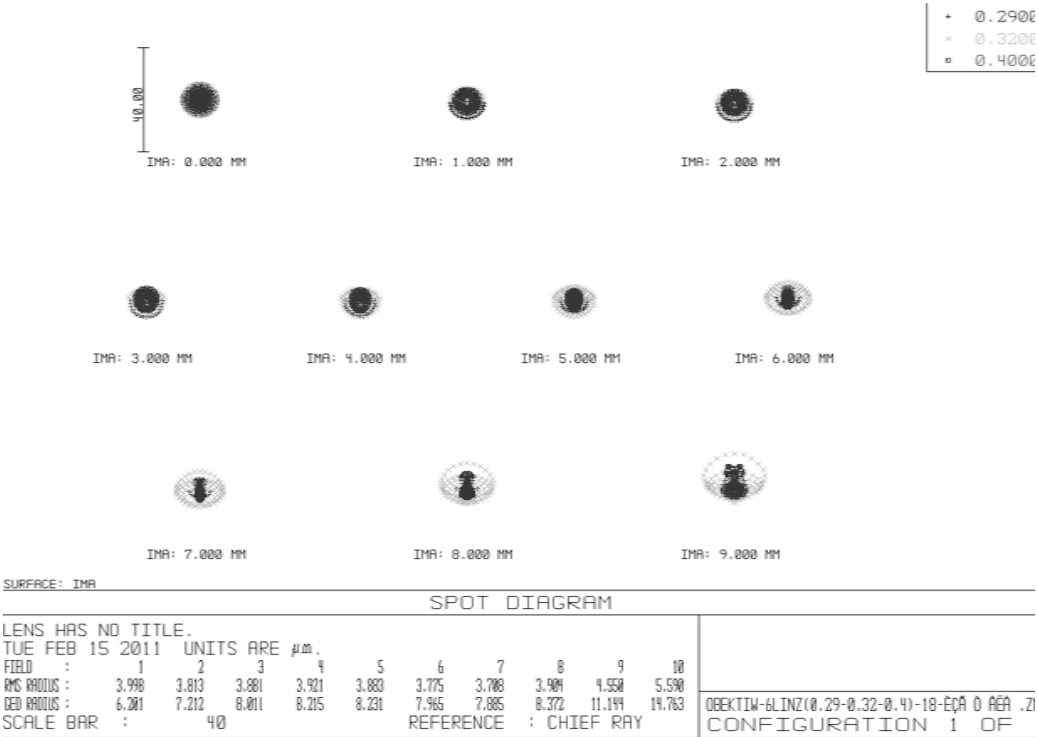


Рис. 3. Диаграмма пятен рассеивания объектива

Из рис. 3 следует, что пятно рассеивания в центре поля зрения не превышают 13 мкм, а на краю поля зрения не превышают 30 мкм.

Объектив имеет насыпную конструкцию. Конструкция объектива приведён на рис. 4.

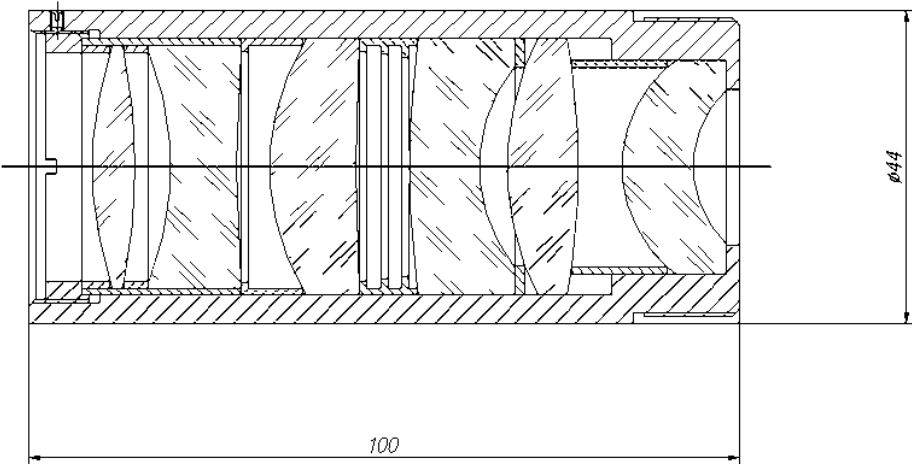


Рис. 4. Конструкция объектива

Межлинзовые расстояния выдерживаются при помощи подрезных колец. Внутренние поверхности некоторых колец выполнены в виде круглых

диафрагм, диаметром, соответствующим диаметру сечения светового конуса в данной плоскости. Диафрагмы, а также зазоры между наружной поверхностью последнего (по ходу луча) кольца и внутренним цилиндром корпуса, выполняют функцию оптических ловушек, и предназначены для снижения бликов, возникающих на конструктивных элементах объектива. Масса объектива в корпусе составляет 282 гр.

Отметим, что данный объектив может быть использован для работы в различных ОЭС, построенных как на основе матричных фотоприемных устройств, так и на основе электронно-оптических преобразователей имеющих спектральную чувствительность в УФ области спектра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алдохин П.А. Телевизионные системы для УФ области спектра / П.А. Алдохин, А.С. Рафаилович // ГЕО - СИБИРЬ – 2005: Сб. материалов научного конгресса – Новосибирск: СГГА, 2005. –Т.6 - С. 42 – 47.
2. Тарабукин, В.В. Объективы – анастигматы для ультрафиолетовой области спектра // Оптический журнал. 2002. Т. 69, № 5.
3. Пейсахсон, И. В. Зеркально – линзовые объективы для широкой области спектра // Оптический журнал. - 1998. – Т.65, №1.

© А.В. Турбин, А.С. Рафаилович, П.А. Алдохин, 2011

УДК 681.586.5:621.384.3

М.П. Исаев, Н.Р. Рахимов, П.В. Петров

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА ИК-ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТАХ

Предлагается оптоэлектронный метод контроля влажности нефти и нефтепродуктов. Для этого предлагается оптрон открытого канала, как первичный преобразователь влажности в дальнейшем обработка сигналов производится электронным устройством.

M.P. Isayev, N.R. Rakhimov, P.V. Petrov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DEVELOPMENT OF INFRARED SENSOR FOR OIL AND OIL PRODUCTS HUMIDITY AND WATER CONTENT CONTROL

The optoelectronic method for oil and oil products humidity control is offered. The open-channel optron is to be used as a humidity sensor, with further signal being processed by an electronic device.

В настоящее время существует большое разнообразие методов измерения влажности жидких сред [1- 6]:

- Прямые методы;
- Физические методы;
- Высокочастотный метод;
- Сверхвысокочастотные методы;
- Теплофизические методы;
- Метод ядерного магнитного резонанса;
- Радиометрические методы;
- Акустические методы;
- Сорбционно-резистивный метод;
- Сорбционно-емкостный метод;
- ИК-методы;
- Рефрактометрические методы и т. д.

Применяемые в настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности аналитические методы определения влажности не обеспечивают повсеместное, точное и быстрое получение информации о ней. В связи с этим, одной из актуальных задач дальнейшего развития производства нефтепереработки и повышения эффективности оценки выпускаемой

продукции является разработка и внедрение современных методов и технических средств измерения влажности нефти и нефтепродуктов. С помощью современных методов, основанных на физических методах исследования состава и свойств веществ, при этом используется элементная база физики полупроводников, оптоэлектроники и т. д. С помощью этих современных отраслей физики можно создать эффективные информационно-измерительные системы. Для нефтеперерабатывающей промышленности эти методы и оптоэлектронный контроль являются новыми.

Различные виды и формы влаги влияют на отражение и поглощение ИК-лучей. Но можно выявить определенную систему и оптическим методом обеспечить возможность непрерывного неразрушающего автоматического контроля влажности в производстве нефтепереработки.

ИК-метод измерения влажности основан на определении спектральной характеристики в области ИК-диапазона влажного вещества. При этом определяется полоса поглощения ИК-излучения на измерительных и опорных длинах волн.

Принцип метода основан на измерении логарифма отношения световых потоков, учитывая закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$\ln(\Phi_{\lambda}/\Phi_{0\lambda}) = K_n C m = D, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент поглощения воды; C – концентрация воды; m – толщина нефти или нефтепродуктов (при этом эффективная толщина должна быть 0.5 мм); D – оптическая плотность; $\Phi_{0\lambda}$ – первоначальный падающий световой поток; Φ_{λ} – прошедший через вещество световой поток. При этом чаще всего в таких влагомерах используются ИК-излучения в диапазоне 0,8 ÷ 6,63 мкм. Это объясняется тем, что вода и водяной пар имеет в этой области несколько пиков поглощения. По данным международного каталога HITRAN [7] представлен детальный спектр поглощения воды в диапазоне 1.5÷4 мкм на рис. 1.

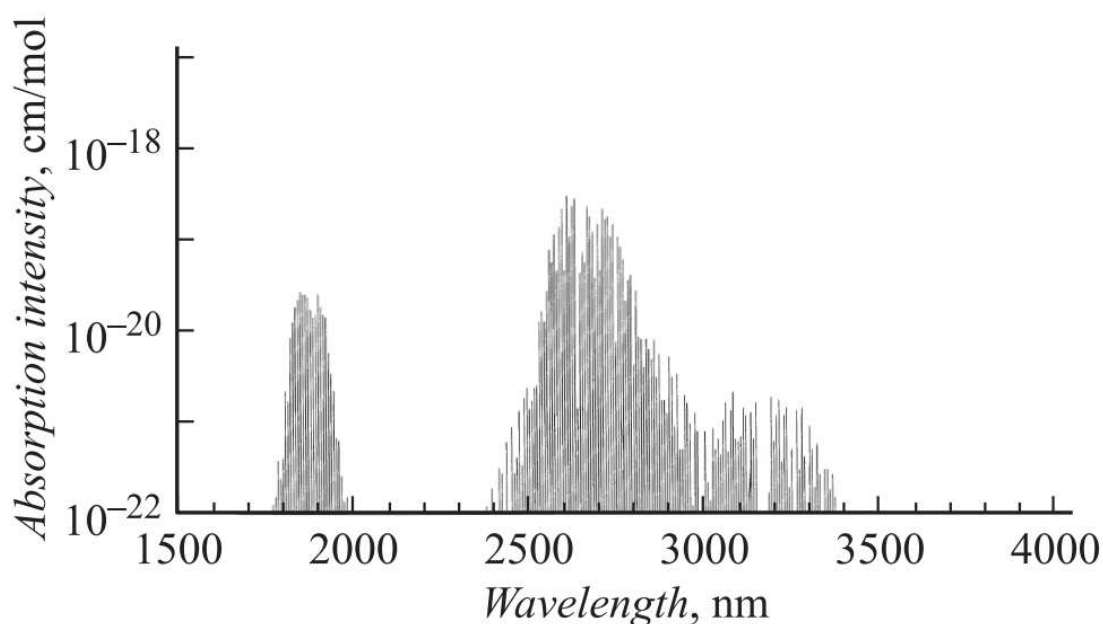


Рис. 1. Спектр поглощения воды по данным HITRAN

При создании ИК-влажномеров чаще всего применяется двухканальный вариант (рис. 2), который обеспечивает наибольшую чувствительность к помехам, колебаниям внешних условий. При этом обычно в одном канале используется световой поток светоизлучающего диода (СИД) с длиной волны λ_1 (измерительный), а в другом канале используется световой поток СИД с длиной волны λ_2 (опорный), близкой к λ_1 , но находящейся вне ближайшего пика поглощения влаги.

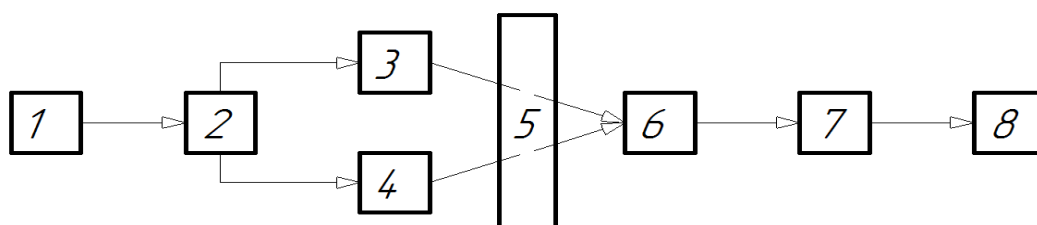


Рис. 2. Блок-схема оптоэлектронного двухканального метода контроля влажности

- 1 – задающий генератор; 2 – триггер; 3,4 – измерительный и опорный СИД;
 5 – нефть или нефтепродукты; 6 – приемника оптического излучения;
 7 – блок обработки фотозлектрического сигнала; 8 – измерительный прибор

Использование λ_1 и λ_2 , относящихся к ИК-диапазону, позволяет исключить влияние погрешности на результат измерений важного фактора, как, например, окраска исследуемой жидкой среды.

Для исследования метрологических характеристик при различных длинах волн применяемых СИД, был проведен эксперимент. В результате эксперимента было практически установлено, что вода очень хорошо поглощает излучения с длинами волны 0,93; 1,39; 1,94; 3,4 мкм. Наиболее оптимальным является длина волны 1.94 мкм. Так как поглощение воды в этом диапазоне носит характер индуцированной поляризации, сопутствующей колебаниям атомов, такое явление считается атомной поляризацией. Влага, попадающая в вещество, меняет его спектр. Из разных спектральных характеристик сухого вещества (рис. 3, кривая 1) и при влажности 9 % (кривая 2) следует, что на длине волны 1.94 мкм вода обладает значительным поглощением. Следовательно, если контролируемый объект облучить ИК-излучением с такой длиной волны и измерять мощность прошедшего или отраженного потока излучения, то она будет изменяться в зависимости от влажности. По результатам экспериментальных данных зависимости отношения сигналов в функции от потоков, падающего $\Phi_{0\lambda}$ и прошедшего Φ_{λ} , через материал излучений при различных влажностях и при применении в измерительном канале СИД с длинами волн максимума спектральной характеристики $\lambda_1 = 1,94$ мкм и, соответственно, $\lambda_2 = 1,7$ мкм в опорном канале. В качестве приемника оптического излучения (ПОИ) для данного спектрального диапазона СИД

выбраны сернисто-свинцовые фоторезисторы, обладающие достаточной чувствительностью в диапазоне 0,5 ÷ 3,6 мкм. Также можно использовать фоторезисторы ФСА-Г2 и ФР-1-ЗВ.

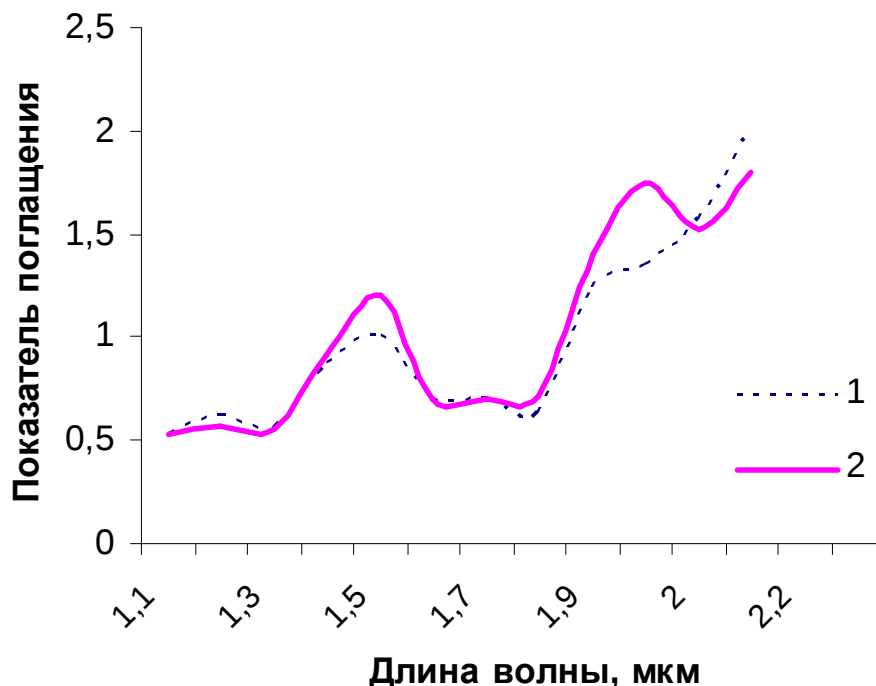


Рис. 3. Спектральные характеристики сухого (1) и влажного (2) нефтепродукта

Если слой нефти или нефтепродукт облучать двумя потоками ИК-излучения $\Phi_{0\lambda 1}$ (опорный) и $\Phi_{0\lambda 2}$ (измерительный), то прошедшие через вещество потоки будут соответственно [3]:

$$\Phi_{\lambda 1} = \Phi_{0\lambda 1} e^{-k_1 m_1}; \Phi_{\lambda 2} = \Phi_{0\lambda 2} e^{-(k_1 m_1 + k_2 m_2)}, \quad (2)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты поглощения на опорной и измерительной длинах волн; m_1, m_2 – масса вещества и влаги соответственно.

Предварительно выровняв начальные значения потоков $\Phi_{0\lambda 1}$ и $\Phi_{0\lambda 2}$ по реакции ПОИ, при временном разделении потоков (используется один ПОИ) получим:

$$U_1 = R_n I_{\Phi 1}; U_2 = R_n I_{\Phi 2}, \quad (3)$$

где R_n – сопротивление нагрузочного резистора, включенного последовательно с ПОИ; $I_{\Phi 1}, I_{\Phi 2}$ – фототоки опорного и измерительного каналов.

Так как фототок связан с потоком зависимостью $I_{\Phi} = U_{\nu} \Phi^{\alpha}$, то получаем:

$$I_{\Phi 1} = c U^{\gamma} (\Phi_{0\lambda 1} e^{-k_1 m_1})^{\alpha}; I_{\Phi 2} = c U^{\gamma} (\Phi_{0\lambda 2} e^{-(k_1 m_1 + k_2 m_2)})^{\alpha}, \quad (4)$$

где γ и α – показатели нелинейности; c – постоянный коэффициент.

Если применяется один ПОИ, который питается от напряжения U , то имеем:

$$U_1 = A (\Phi_{0\lambda 1} e^{-k_1 m_1})^{\alpha}; U_2 = A (\Phi_{0\lambda 2} e^{-(k_1 m_1 + k_2 m_2)})^{\alpha}, \quad (5)$$

где $A = c U^{\alpha} R_n$

Для получения сигнала, пропорционального влажности, необходимо произвести операцию деления и логарифмирование; в этом случае:

$$U_1 / U_2 = (\Phi_{0\lambda 1} e^{-k_1 m_1})^{\alpha} / (\Phi_{0\lambda 2} e^{-(k_1 m_1 + k_2 m_2)})^{\alpha}, \quad (6)$$

откуда следует:

$$\ln U_1 - \ln U_2 = k_2 m_2 \alpha \quad (7)$$

Полученная зависимость нелинейна, и в выражение входит показатель степени α , что создает дополнительные погрешности и приводит к искусственному сужению диапазона измерения. Следует отметить, что опорный поток в какой-то мере также зависит от влажности. Возможно построение влагомеров с более сложной обработкой сигнала.

Двух волновые ИК-влагомеры для нефти и нефтепродуктов позволяют исключить такие факторы, как влияние неинформативных параметров объекта, нестабильность ПОИ, старение источников и приемника оптического излучения. Если контролируемая среда, как нефть и нефтепродукты многокомпонентная, то для исключения влияния различных компонентов среды вводят дополнительно еще одну опорную длину волны. Трехволновые влагомеры в основном применяются в лабораторных исследованиях. Следует так же отметить, что увеличение числа используемых длин волн анализирующего излучения значительно усложняет прибор, снижает его надежность, а в ряде случаев приводит к неоправданным затратам.

Существует также ряд других методов преобразования влажности в фотоэлектрический сигнал, позволяющих одновременно с влажностью определять массу, как влаги, так и вещества. Таким образом, для построения ИК-влагомеров необходимы, прежде всего, спектральные характеристики объекта. По спектральным характеристикам выбирают оптимальные с точки зрения чувствительности и приборной реализации длины волн на полосе поглощения влагой (измерительная) и вне полосы поглощения (опорная). Далее выбирают источник излучения. В качестве источника излучения могут быть использованы светодиоды или полупроводниковые лазеры. Для приема и преобразования сигнала выбирают ПОИ, чувствительные к выбранному рабочему диапазону спектра. Обработку сигнала производят электронными устройствами.

Принцип действия влагомеров для нефти и нефтепродуктов, использующих отражение от контролируемого объекта излучение, основан на облучении объекта так же двумя потоками (на опорной и измерительной длинах волн) и на приеме отраженного излучения.

Многообразие схемных решений оптоэлектронных влагомеров говорит, в частности, о неполноте проведенных ранее исследований и об отсутствии критериев, позволяющих выбрать оптимальный вариант. Считаем, что в ближайшем будущем будут исследованы метрологические характеристики различных вариантов оптоэлектронных влагомеров, а так же их конструктивные, экономические и эксплуатационные характеристики, что позволит прийти к различным базовым вариантам оптоэлектронных влагомеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов, Н.Р. Оптический контроль в нефтеперерабатывающей промышленности. - Фергана: Техника, 2005.-91с.

2. Свиргун, С.П. Исследование аналитических возможностей ИК-метода определения влажности сыпучих материалов// Автоматизация химического производства. - М., 1976. - Вып. 4 - С. 48-53.
3. Мухитдинов, М. Оптические методы и устройства контроля влажности./ М.Мухитдинов, Э.С. Мусаев. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -96 с.
4. Моик, И.Б. Термо - и влагометрия пищевых продуктов./ И.Б. Моик, Н.А Рогов, А.В. Горбунов. - М.:Агропромиздат, 1988. -304с.
5. Оптический метод определения содержания воды в нефтепродуктах / Н.Р. Рахимов, Ш.М. Сайдахмедов и др.// Узбекский журнал нефти и газа.- 2001.- №1.- С. 40-42.
6. Оптоэлектронный анализатор цвета полупрозрачных жидкостей / Н. Р. Рахимов, О. К. Ушаков, Е. Ю. Кутенкова, М. П. Исаев //Сб. материалов V Междунар. науч. Конгр. «Гео-Сибирь-2009». – 2009. - Т. 5.- С.123-128.
7. Каталог HITRAN < <http://www.cfa.harvard.edu/HITRAN>>.

© М.П. Исаев, Н.Р. Рахимов, П.В. Петров, 2011

УДК 681.782.473 + 658.562; 681.786.23/.24 : 621.039

Ю.А. Лемешко¹, Е.С. Сенченко^{1,2}, Д.Р. Хакимов^{1,2}

¹ КТИ НП СО РАН, Новосибирск

² НГТУ, Новосибирск

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИИ ТВС МЕТОДОМ СТРУКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В работе рассмотрен способ контроля геометрии тепловыделяющей сборки (ТВС) на основе метода структурного освещения. Предложенный способ позволяет определять деформации ТВС после эксплуатации в реакторе атомной электростанции: изгиб и скручивание. Описан алгоритм получения дифракционного оптического элемента (ДОЭ), формирующего структурное освещение заданной конфигурации. Представлены экспериментальные данные.

Yu.A. Lemeshko¹, E.S. Senchenko^{1,2}, D.R. Khakimov^{1,2}

¹ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering of Siberian Branch RAS

41 Russkaya Ul., Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University

20 Marx Pr., Novosibirsk, Russian Federation

FUEL ASSEMBLY GEOMETRY INSPECTION BY STRUCTURAL LIGHTING METHOD

Geometry inspection method of fuel assembly on the basis of structured lighting method is considered. Proposed method allows determining deformations of fuel assembly after operation in reactor of nuclear power station: bending and twisting. Synthesis algorithm of diffraction optical element which forms structural lighting with specified configuration is shown. Experimental results are presented.

Контроль ТВС [1] является важной задачей атомной промышленности. К системам контроля ТВС предъявляются требования высокой точности, производительности, компактности, универсальности. После работы в реакторе, сборка поступает в бассейн выдержки (БВ), где должен проводиться контроль для определения возникших деформаций. В процессе работы реактора возможно появление двух видов деформаций ТВС, которые необходимо измерять в БВ: изгиб и скручивание.

На рис. 1 представлен вид ТВС. Она содержит несколько сотен тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ). ТВЭЛы выполнены в виде циркониевых трубок диаметром около 9 мм, внутри которых находится ядерное топливо. Несущий каркас ТВС включает в себя дистанционирующие решетки (ДР), изготовленные в виде сотовой структуры, в ячейках которой помещаются

ТВЭЛы. С помощью решеток задается требуемое строго дистанционное расположение пучка ТВЭЛ в поперечном и продольном сечениях (по высоте ТВС).

В работе представлен способ бесконтактного контроля геометрии ТВС в условиях бассейна выдержки, основанный на методе структурного освещения [2], суть которого заключается в определении деформации объекта по смещению световых маркеров, сформированных на его поверхности с помощью полупроводникового лазера и ДОЭ. Регистрация происходит с помощью фотоприемной камеры.

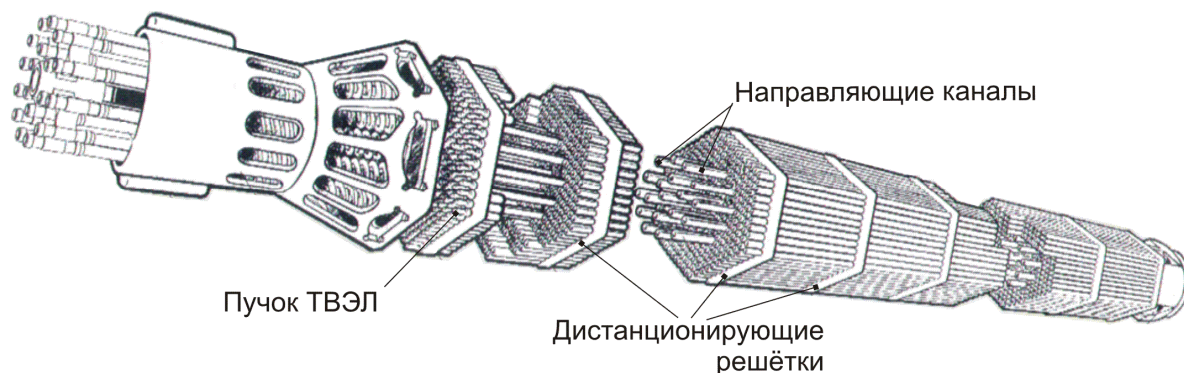


Рис. 1. Внешний вид тепловыделяющей сборки для реактора ВВЭР-1000

На рис 2. представлена измерительная схема контроля геометрии ТВС. Схема состоит из трех одинаковых измерительных блоков, расположенных вокруг контролируемого изделия под углом 120° (рис. 2, а). Каждый из измерительных блоков включает в себя два осветителя и одну фотоприемную камеру (рис. 2, б). В момент измерения в кадре камеры одновременно находятся две соседних решетки ТВС. Изгиб ТВС определяется как сдвиг одной решётки относительно другой, скручивание – как поворот двух соседних ДР одна относительно другой.

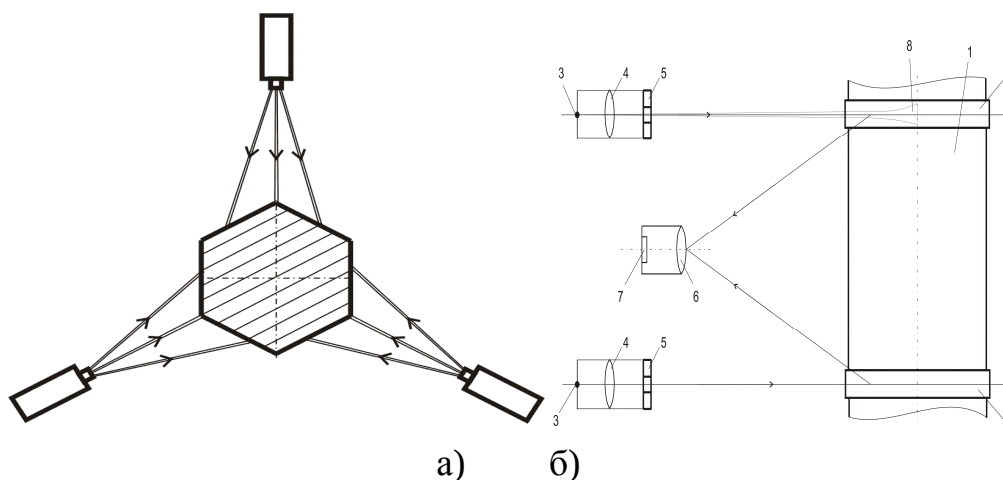


Рис. 2. Измерительная схема: а) общая схема способа контроля; б) оптическая схема контроля фрагмента ТВС;

1 – ТВС; 2 – ДР; 3 – лазерный диод; 4 – коллиматор; 5 – ДОЭ; 6 – объектив камеры; 7 – фотоприемная матрица; 8 – набор световых маркеров

Излучение лазерного диода 3 (ADL – 66Z51DL фирмы Laser Components) проходя через коллимирующий объектив 4 (рис. 2,б), попадает на ДООЭ 5, который формирует на ДР 2 световые маркеры 8. Рассеянное излучение регистрируется камерой на базе матрицы 7 (IBIS4-A-6600 фирмы Cypress Perform) размером 2210x3002 пикселей (размер пикселя 3,5x3,5 мкм) и объектива 6 (Мир-11). Зарегистрированное изображение поступает на компьютер и обрабатывается с помощью специальной программы.

Получая последовательность изображений фрагментов в процессе перемещения всей ТВС через измерительную систему, можно определить деформацию всей сборки. Результатом обработки сигнала с каждой из камер является набор координат маркеров от двух граней решётки.

На рис. 3 представлена фотография экспериментальной установки, моделирующей работу отдельно взятого измерительного блока на одной решетке ТВС.

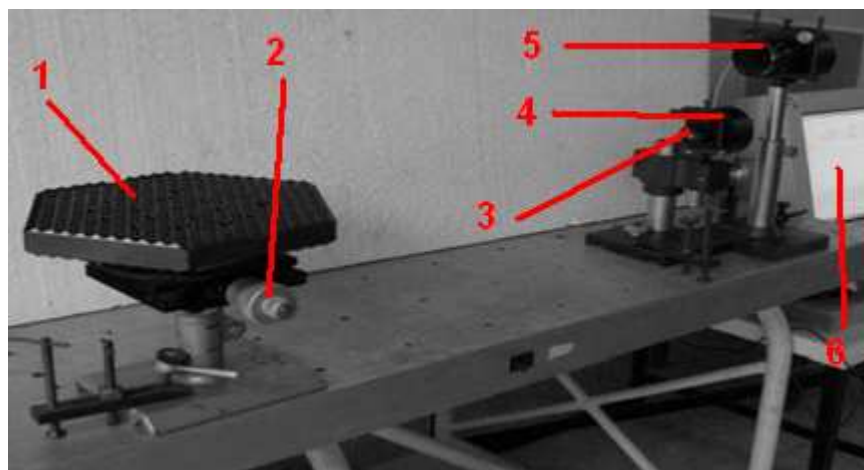


Рис. 3. Фотография экспериментальной установки:

1 – ДР; 2 – координатный столик; 3 – ДООЭ; 4 – лазерный диод; 5 – камера; 6 – компьютер

Важной составляющей измерительной системы является ДООЭ. Он представляет собой амплитудную дифракционную пластинку, изготовленную с помощью лазерного фотопостроителя CLWS-300/C-M [3].

Для расчета топологии ДООЭ использовался метод обратного хода лучей: предположим, что в определенных точках решетки локализованы входные сигналы, которые представляют собой δ -функции. Выходным сигналом будет являться суперпозиция входных сигналов, преобразованных свободным пространством. Свободным пространством в данном случае является промежуток от поверхности решетки до плоскости размещения ДООЭ (локализация выходного сигнала).

Благодаря фильтрующему свойству δ -функции в каждой точке участка выходной плоскости (рис. 4, а) формируется суперпозиция восемнадцати импульсных откликов свободного пространства. Каждый из них описывается функцией:

$$h_i(r) = \frac{e^{j \cdot k \cdot r_i}}{j \cdot \lambda \cdot r_i}, \quad (1)$$

где $r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$, x, y, z – координаты точек в области ДОО, x_i, y_i, z_i – координаты точек на поверхности ДР; $1 \leq i \leq 18$; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина волны излучения ($\lambda = 0,66$ мкм).

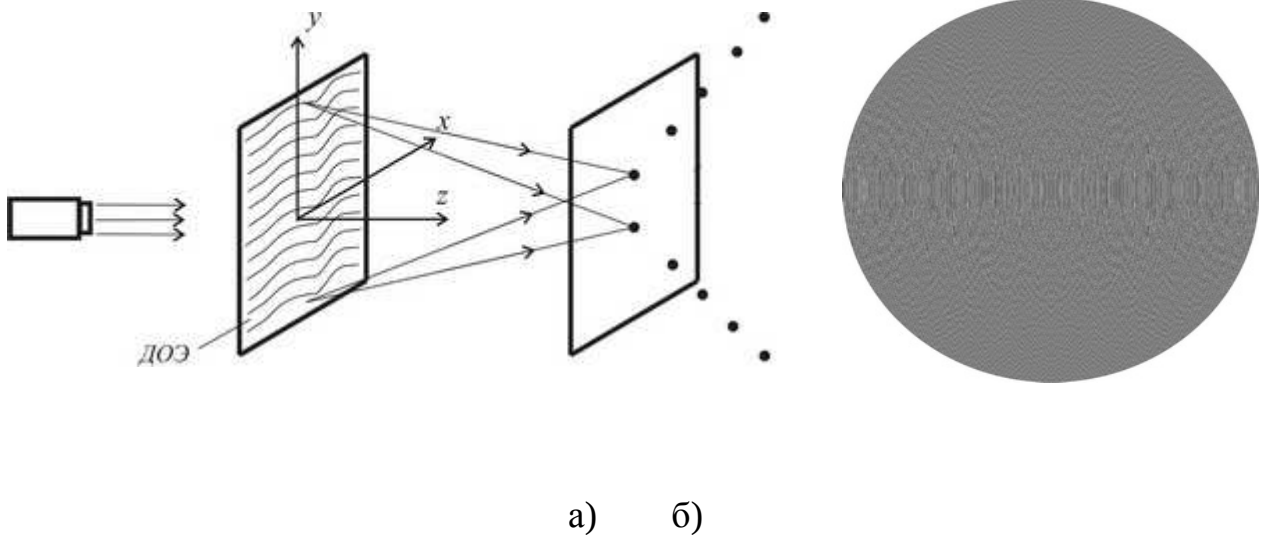


Рис. 4. Расчет ДОО: а) математическая модель расчета; б) топология ДОО (размер изображения 8000 x 8000 пикселей)

После упрощений формулы (1) и расчета суммарного сигнала в выходной плоскости, получаем изображение ДОО с функцией пропускания

$$T(x, y) \sim \left| \sum_{i=1}^{18} \sqrt{\eta_i} \cdot \frac{\exp[j \cdot k \cdot \sqrt{(x - x_i)^2 + y^2 + z_i^2}]}{j \cdot k \cdot \sqrt{(x - x_i)^2 + y^2 + z_i^2}} \right|^2 \quad (2)$$

где η_i – весовой коэффициент маркера (интенсивность точки). Топология ДОО представлена на рис. 4, б. Рис. 5, на котором показан снимок с фотоприемной камеры при освещении ДР точечными маркерами, иллюстрирует работу ДОО:

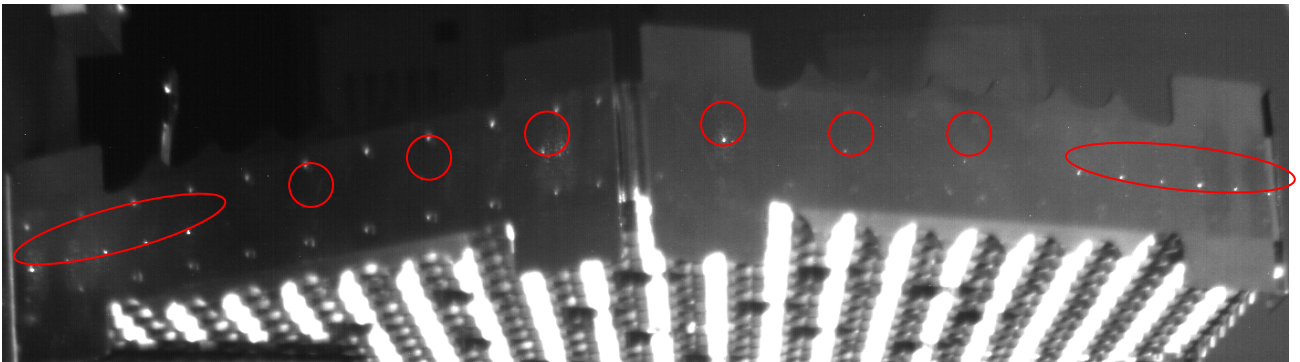


Рис. 5. Изображение решетки при освещении точечными маркерами

Для оценки чувствительности во всем измерительном диапазоне эксперимент проводился в трех положениях решётки: $z = +20$ мм, -20 мм, 0 мм (нулевая отметка соответствует середине измерительного диапазона). В каждом из положений проводилось 10 измерений с шагом 200 мкм. Чувствительность метода составила ~ 3 пикс/мм, что обеспечивает погрешность контроля геометрии ТВС не более 1 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левин, В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы: учебник для техникумов. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 206с.
2. Finogenov L.V., Lemeshko Yu.A., Zav'yalov P.S., and Chugui Yu.V. 3D laser inspection of fuel assembly grid spacers for nuclear reactors based on diffraction optical elements. // Measurement science and technology. – 2007. Vol. 18. – № 6. – P. 1779-1785.
3. Gurenko, V.M., Kastorsky, L. B., Kiryanov, V.P., Kiryanov, A.V., Kokarev, S.A., Vedernikov, V. M., Verkhoglyad, A.G.: Laser writing system CLWS-300/C-M for microstructure synthesis an the axisymmetric 3-D surfaces. Proc. SPIE 4900 – 2002 – P. 320-325.

© Ю.А. Лемешко, Е.С. Сенченко, Д.Р. Хакимов, 2011

УДК 004.922, 004.932

А.М. Ковалев

КТИ НП СО РАН, Новосибирск

Ю.Л. Кравченко, С.В. Хрящев

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

Н.А. Елыков

ИАиЭ СО РАН, Новосибирск

Е.В. Власов, А.О. Морозов

НГТУ, Новосибирск

БИФОКАЛЬНЫЙ ОБЪЕМНЫЙ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ ДИСПЛЕЙ

Для согласования дистальных стимулов глубины – конвергенции и аккомодации глаз – разработан стереоскопический дисплей с бифокальными окулярами. Каждый окуляр содержит две микродисплейные матрицы на органических светодиодах, изображения которых комбинируются с помощью светоделительного кубика. Таким образом, объемное изображение представлено четырьмя SVGA-изображениями. Рассмотрена структурная схема устройства, принцип формирования объемного изображения и программное обеспечение для экспериментальных исследований визуального восприятия.

A.M. Kovalev

Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering (TDISIE),
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Russkaya 41, Novosibirsk,
630058 Russia

Y.L. Kravchenko, S.V. Hryashev

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the
Russian Academy of Sciences, «Technological Design Institute of Applied
Microelectronics», Novosibirsk

N.A. Elykov

Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences, Novosibirsk

E.V. Vlasov, A.O. Morozov

Novosibirsk State Technical University

BIFOCAL VOLUMETRIC STEREOSCOPIC DISPLAY

A stereoscopic display featuring bifocal eyepieces has been created for the purpose of matching the distal depth stimuli - namely convergence and accommodation of eyes. Each eyepiece comprises two OLED matrices and the images are combined using beam-splitting cube. As a result, three-dimensional image is represented by four SVGA-images. The structural diagram of the device, the

principle of forming 3D image and software for experimental studies of visual perception are presented.

В основе трёхмерного кино и телевидения, а также компьютерных средств объёмной визуализации, лежит принцип работы стереоскопа Уитстоуна (1838). Диспаратность образов, проецируемых стереопарами на сетчатки глаз, инициирует особое восприятие глубины и объема, называемое стереоскопическим зрением, или *стереопсисом*. В дисплеях на основе стереоскопа Уитстоуна расстояние, на которое фокусируются глаза, не изменяется в зависимости от содержания визуальной сцены или изменения области интересов наблюдателя на переднем или дальнем плане сцены. Поскольку глубина фокуса незначительна ($0,15 \div 0,3$ дптр) между аккомодацией и конвергенцией глаз возникает конфликт [1]. Если сознание следует за резким изображением, то появляется двоение, или диплопия. Если сознание следует за слитным изображением, то ухудшается его резкость. Естественное стремление видеть слитное изображение резким приводит к визуальному дискомфорту, появляется *бинокулярный стресс*, головная боль, утомление глаз, иногда тошнота и рвота. Наряду с медицинскими проблемами ухудшаются когнитивные способности и увеличиваются погрешности в оценке размеров и удаленности предметов [2].

Кардинальным решением проблемы является обеспечение соответствия между конвергенцией и аккомодацией глаз, или построение мультифокального стереодисплея. Известен ряд исследований на эту тему [3,4,5]. В [3] предлагалось использовать катадиоптрические окуляры, вогнутые зеркала которых создают множество виртуальных сферических экранов, стимулирующих фокусировку глаз на разные расстояния до предметов. К недостаткам такого дисплея следует отнести потери контраста с увеличением числа фокусов. В [4] исследован прототип стереодисплея с двумя каналами, в каждом из которых используется три плана, которые комбинируются с помощью светоделителей. Расстояние между планами $\approx 0,67$ дптр. Объём аккомодации $1,34$ дптр. Глубина изображения $0,31 \div 0,54$ м. Поле зрения $6,1^\circ \times 4,4^\circ$. Основная идея – это фильтрация и интерполяция интенсивности изображений по глубине между соседними планами. В [5] рассмотрен вариант мультифокального стереодисплея с интерполяцией глубины, в котором создаётся четыре фокуса на глаз с помощью «быстропереключаемых» линз на кальците. Расстояние между планами $0,6 \div 0,77$ дптр. Объём аккомодации $1,8 \div 2,3$ дптр. Глубина изображения $0,285 \div 0,97$ м. Источник изображения – монитор на ЭЛТ с частотой кадров 180 гц. Частота регенерации стереоизображения $22,5$ гц.

В работе рассматривается бифокальный стереодисплей для комфортного восприятия внешней визуальной обстановки с глубиной объёмного изображения от 1 м до ∞ , полем зрения $28^\circ \times 21^\circ$, разрешением ≈ 2 угл. мин. и частотой регенерации стереоизображения 60 гц.

На рис. 1 представлена схема формирования бифокального изображения. Компьютер 1 с помощью видеокарты 2 формирует изображение, которое разделяется на четыре видеовыхода – по два на каждый окуляр стереодисплея.

Через модули управления 3,4 изображения подаются на входы микродисплеев 5,6. Затем через кубик 7 изображения попадают в окуляр 8, проецирующий изображения на сетчатку глаза 9. Регулировка глубины изображений производится изменением расстояний между микродисплеями 5,6 и светоделительным кубиком 7.

Матрицы микродисплеев фирмы eMagin на органических светодиодах (технология AMOLED) имеют формат 852×600 элементов и размер отображаемой области 12,78×9 мм. Модуль управления на микропроцессоре иницирует работу микродисплея в реальном времени по шине I2C и позволяет хранить настройки в памяти микродисплейной матрицы. При этом возможно управлять такими параметрами микродисплеев как формат отображаемого кадра и его частота, а также яркость, контрастность и насыщенность изображения. Модуль управления транслирует видеосигнал с видеокарты непосредственно на входы R,G,B и синхронизации микродисплея. На каждом из четырёх микродисплеев формируется цветное полутоновое изображение SVGA формата 800×600 точек с частотой обновления кадров 60 Гц.

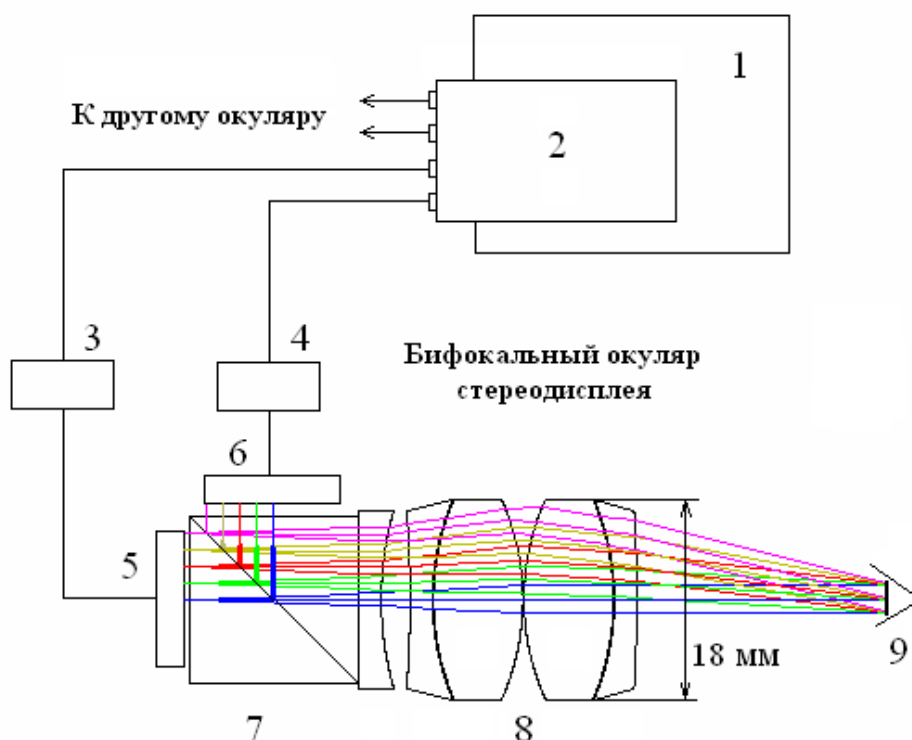


Рис. 1. Состав экспериментального образца:

1 – компьютер (Intel Core 2 Quad QS400); 2 – видеокарта (ATI Radeon HD 5870, 2 Gb); 3, 4 – модули управления; 5, 6 – микродисплеи (eMagin OLED SVGA+); 7 – светоделительный кубик; 8 – окуляр; 9 – глаз.

В качестве средства аппаратного ускорения визуализации 3D графики выбрана видеокарта ATI Radeon HD 5870 с поддержкой технологии ATI Eyefinity. К ключевым особенностям данной технологии следует отнести

возможность прозрачно для приложения растягивать изображение одного окна на четыре монитора, что позволило в краткие сроки адаптировать существующие технологии визуализации к требованиям бифокального объёмного стереоскопического дисплея.

Процесс формирования четырёхканального изображения для бифокального стереодисплея можно разделить на два этапа. На первом этапе методом рендеринга в текстуре для каждого из глаз строится пара изображений – первое изображение собственно сама сцена – $I(u,v)$, второе – глубина каждого пикселя сцены – $Z(u,v)$. Для увеличения точности представления глубины используется 32-битная текстура, содержащая числа в формате с плавающей запятой. На втором этапе для того, чтобы получить картинки для ближнего – $I_n(u,v)$ и дальнего – $I_f(u,v)$ плана каждого из глаз, полученные изображения компонуются путем интерполяции интенсивности по глубине. В процессе интерполяции вычисляется коэффициент

$$\beta(u,v) = \begin{cases} 0, \text{ при } Z(u,v) < Z_n \\ 1, \text{ при } Z(u,v) > Z_f \\ \frac{\frac{1}{Z_n} - \frac{1}{Z(u,v)}}{\frac{1}{Z_n} - \frac{1}{Z_f}}, \text{ при } Z_n \leq Z(u,v) \leq Z_f \end{cases},$$

где Z_n – линейное расстояние до ближнего плана, Z_f – линейное расстояние до дальнего плана. При этом изображение для ближнего плана вычисляется по формуле $I_n(u,v) = (1 - \beta(u,v)) \times I(u,v)$ а для дальнего плана по формуле $I_f(u,v) = \beta(u,v) \times I(u,v)$.

Полученные таким образом четыре изображения выводятся каждое в свою часть окна, а затем видеокарта с помощью технологии ATI Eyefinity разделяет изображение на четыре видеовыхода, которые подаются каждый на свой вход бифокального стереодисплея.

В заключение следует отметить, что помимо визуального комфорта дисплей обеспечивает прямые и косвенные признаки глубины, позволяющие естественным образом оценивать расстояния и размеры предметов. Прямые признаки глубины стимулируют близкую к корректной аккомодацию глаз, их конвергенцию и стереоскопическую диспаратность. Косвенные признаки поддерживаются программным обеспечением и включают окклюзии и автоокклюзии, многовариантную перспективу, изменение контраста и градиента текстуры, двигательный параллакс и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев А.М. О мультифокальных дисплеях, дифракционной глубине фокуса и визуальном комфорте // Автометрия. 2010. Т 46, № 3. С. 86–94.
2. Ковалев А.М. Описание визуального пространства в моделях Клейна и Пуанкаре // Автометрия. 2006. Т 42, №4. С.57-66.
3. Пат. 2201610 Российская Федерация, МКП G02B027/22, назв. Мультифокальный стереодисплей/ Ковалев А.М.; заявитель и патентообладатель Институт автоматизации и электрометрии СО РАН; опубл. 27.03.2003; Бюл. № 9.

4. Akeley K., Watt S.J., Girshick A.R., Bancks M.S. A stereo display prototype with multiple focal distances // ACM Trans. Graph. 2004. **23**, No.3. 804-813.

5. Love G.D., Hoffman D.M., Hands P.J., Gao J., Kirby A.K., Bancks M.S. High-speed switchable lens enables the development of a volumetric stereoscopic display // Optics Express. 2009. **17**, No.18. 15716-15725.

© *А.М. Ковалев, Ю.Л. Кравченко, С.В. Хрящев,
Н.А. Елыков, Е.В. Власов, А.О. Морозов, 2011*

УДК 681.723.26; 681.786.5

И.А. Выхристюк, Р.В. Куликов, А.К. Потапников, Е.В. Сысоев, В.В. Широков
КТИ НП СО РАН, Новосибирск

ЗАВИСИМОСТЬ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПРОФИЛОМЕТРА ОТ ДЛИНЫ КОГЕРЕНТНОСТИ СВЕТА

Рассмотрено влияние длины когерентности источника света на случайную погрешность измерений микрорельефа поверхности методом дифференциальных интерферограмм в интерферометре продольного сдвига. Получена ее зависимость от длины когерентности. Показано, что на один микрометр увеличения длины когерентности погрешность измерений увеличивается на 0,03 мкм.

I.A. Vykhristyuk, R.V. Kulikov, A.K. Potashnikov, E.V. Sysoev, V.V. Shirokov
TDI SIE SB RAS, Novosibirsk

MICRORELIEF MEASUREMENT ERRORS CAUSED BY COHERENCE LENGTH IN WHITE LIGHT INTERFEROMETER

Influence of coherence length in white light interferometer on measurement error of the differential interferogram method was considered. Dependence of measurement error caused by coherence length of light source was obtained. It was shown that increase of coherence length leads to decrease of measurement accuracy 0,03 mkm on 1 mkm coherence length increase.

В настоящее время методы низкокогерентной интерферометрии широко используются для контроля качества поверхностей [1]. Интерференционные измерительные системы отличаются бесконтактностью, высокими быстродействием и разрешающей способностью измерений. Одной из важных задач проектирования таких систем является исследование путей снижения погрешности измерений [2].

В данной работе приводятся результаты исследований погрешность измерений микрорельефа поверхности методом дифференциальных интерферограмм [3] в зависимости от длины когерентности используемого в интерферометре света.

Исследования проводились методом математического моделирования и в натурных экспериментах. Программная модель позволяла изменять такие параметры как: длина волны, длина когерентности света, тип рельефа поверхности и др.

Эксперименты выполнялись на установке, основанной на интерферометре Линника с интерференцией в сходящихся пучках света [4]. В качестве

источника света были использованы светодиоды и галогенная лампа. Спектральная плотность мощности излучения для них измерялась спектрометром «Колибри-2».

В качестве объекта измерения использовалась плоская поверхность стеклянной пластинки, наклоненная к оси интерферометра Z под углом $\sim 2^\circ$. Погрешность измерения рассчитывалась как среднеквадратичное отклонение измеренного рельефа поверхности пластинки от заданного. Для модельных экспериментов формировалась плоская поверхность с таким же наклоном, как и в эксперименте. В обоих случаях сканирование производилось с шагом 1 мкм. Уровень шума в интерферограммах составлял 9 %. На рис. 1 представлены графики погрешности измерений.

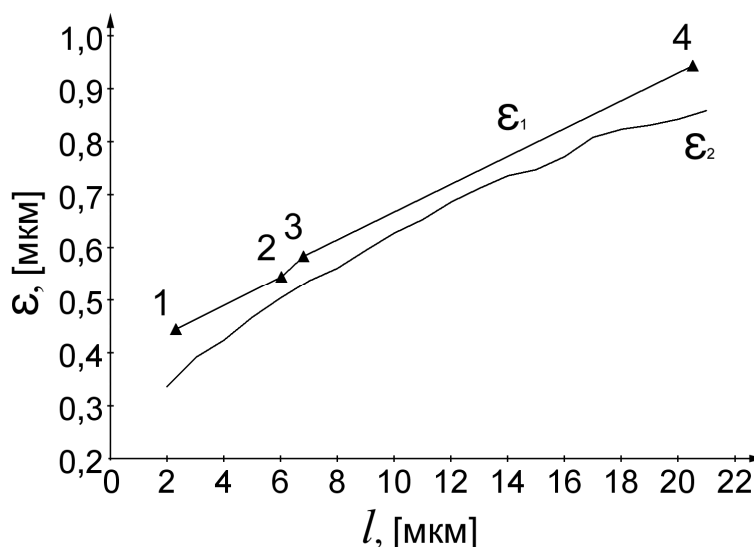


Рис. 1. Зависимость погрешности ϵ от длины когерентности l рассчитанная по результатам измерений рельефа поверхности – ϵ_1 для источников света:

1 – галогенная лампа ($l_1 = 2,42$ мкм, $\lambda_1 = 597,23$ нм); 2, 3, 4 – светодиоды ($l_2 = 6,03$ мкм, $\lambda_2 = 534,47$ нм; $l_3 = 6,8$ мкм, $\lambda_3 = 467,18$ нм; $l_4 = 20,51$ мкм, $\lambda_4 = 629,39$ нм); по результатам моделирования процесса измерения – ϵ_2

Как видно из графиков (рис. 1), при увеличении длины когерентности источника света на один микрометр, погрешность измерений возрастает приблизительно на 0,03 мкм. Полученные зависимости позволяют выбрать оптимальный источник света из условия минимизации максимальной допускаемой погрешности при измерении рельефа поверхности методом дифференциальных интерферограмм.

Получена зависимость величины случайной погрешности от длины когерентности при измерении рельефа поверхности методом дифференциальных интерферограмм. Показано, что при увеличении длины когерентности источника света на один микрометр погрешность измерений возрастает приблизительно на 0,03 мкм.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых высокоточных измерительных систем для контроля продукции промышленного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. David J. Aziz Interferometric measurement of surface roughness in engine cylinder walls // Optical Engineering. – 1998. – V. 37. – Issue 5. – p. 1429-1434.
2. Claus Richter, Bernhard Wiesner, Reinhard Groß and Gerd Häusler White-light interferometry with higher accuracy and more speed // Fringe 2005: the 5th International Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns. – p. 605-612.
3. Е.В. Сысоев, И.В. Голубев Способ измерения профиля поверхности. Патент РФ № 2245515, 2005.
4. Е.В.Сысоев, И.А.Выхристюк, Р.В.Куликов, А.К.Поташников, В.А.Разум, Л.М. Степнов Интерференционный микроскоп-профилометр // Автометрия. – 2010. – №2. – Т. 46. – с. 119-128.

© И.А. Выхристюк, Р.В. Куликов, А.К. Поташников,
Е.В. Сысоев, В.В. Широков, 2011

УДК 681.723.26; 681.786.5

И.А. Выхристюк, А.В. Запреев, Р.В. Куликов, А.К. Поташников, Е.В. Сысоев
КТИ НП СО РАН, Новосибирск

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрено влияние нелинейности устройства сканирования на погрешность измерения нанорельефа методом частичного сканирования коррелограмм (ЧСК) в интерферометре продольного сдвига. Показано что погрешность измерения нанорельефа методом ЧСК составляет менее 1 нм при нелинейности вплоть до 20 %. Предложена методика расчета нелинейности по результатам измерений нанорельефа. Получена зависимость погрешности измерения высоты нанорельефа от степени нелинейности устройства сканирования.

I.A. Vykhristyuk, A.V. Zapreev, R.V. Kulikov, A.K. Potashnikov, E.V. Sysoev
TDI SIE SB RAS, Novosibirsk

NANORELIEF MEASUREMENT ERRORS CAUSED BY SCANNING NONLINEARITY IN WHITE LIGHT INTERFEROMETER

Influence of white light interferometer scanning nonlinearity on measurement errors with partially corelogramm scanning method was observed. It was shown that nanorelief measurement error is less than 1 nm when nonlinearity level is up to 20 %. Method of nonlinearity computation by measurement results was presented. Relation of nanorelief measurement error to nonlinearity level of scanning device was obtained.

Интерферометрия продольного фазового сдвига широко используется для измерения рельефа поверхности с нанометровым разрешением [1]. Как правило, для реализации измерительных систем используются оптические схемы интерферометров Майкельсона, Линника, Мира. Измерения основаны на расчете фазы рассеянного измеряемой поверхностью света. Устройства, используемые для сканирования фазы интерференции, обладают нелинейностью, дающей вклад в погрешность измерения нанорельефа [2].

Для расчета величины погрешности, определяемой нелинейностью сканирования, была собрана экспериментальная установка на базе интерферометра Линника с интерференцией в сходящихся пучках. Измерение нанорельефа осуществлялось с использованием метода ЧСК [3]. Сканирование фазы производилось перемещением опорного зеркала, установленного на пьезоэлектрический актюатор, посредством подачи на него линейно

изменяющегося от шага сканирования напряжения $U_{(k)} = U_0 + \Delta U \cdot k$, где $k \in [0..K-1]$ – номер шага, K – количество шагов сканирования. Диапазон сканирования составлял ~ 1 мкм. Для каждого шага сканирования на ПЗС матрице регистрировалась интерферограмма. По набору интерферограмм для каждой измеряемой точки рельефа рассчитывалась коррелограмма как зависимость интенсивности света от шага сканирования $I_{(k)}$ (см. рис. 1). Поскольку изменение положения опорного зеркала $Z_{(k)}$ от поданного на актюатор напряжения $U_{(k)}$ является параллельным переносом его отражающей поверхности вдоль оси интерферометра, то в плоскости ПЗС матрицы изменение фазы отраженного зеркалом света будет одинаковым для любой точки измеряемой поверхности. Поэтому, для определения зависимости $Z_{(k)}$ достаточно проводить анализ $I_{(k)}$ для одной произвольно выбранной точки.

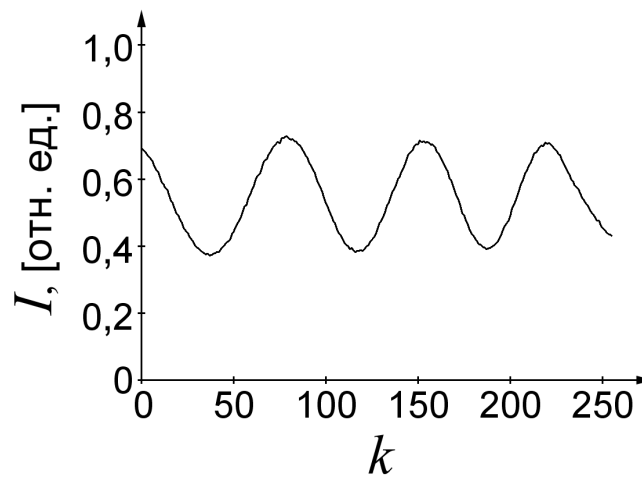


Рис. 1. Коррелограмма, k – номер шага сканирования

Зависимость положения опорного зеркала $Z_{(k)}$ от приложенного напряжения $U_{(k)}$ может быть нелинейной (нелинейность пьезоэлектрического актюатора связана, в основном, с гистерезисом и может достигать 20 %).

Для установления характера и степени нелинейности перемещения сканирующего устройства зависимость $Z_{(k)}$ аппроксимировалась полиномом порядка N

$$\tilde{Z}_{(k)} = \sum_{n=0}^N a_n k^n.$$

Для поиска коэффициентов полинома a_n , параметров уровня сигнала B и амплитуды интерференции A использовался алгоритм, основанный на минимизации среднеквадратического отклонения значений функции $\tilde{I}_{(k)}$ от экспериментальных данных $I_{(k)}$.

$$\tilde{I}_{(k)} = B + A \left(1 - \exp \left(\left(\frac{\tilde{Z}_{(k)}}{l_c} \right)^2 \right) \right) \cos \left(\frac{\tilde{Z}_{(k)} \cdot 4 \cdot \pi}{\lambda} \right),$$

где l_c – длина когерентности, а λ – длина волны излучения используемого источника света. Построенный полином определяет характер нелинейности. Степень нелинейности η определялась как

$$\eta = \frac{Sz(2)}{Sz(1)}, \text{ где } Sz(s) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n=s}^N a_n k^n$$

Далее проводилось моделирование процесса измерения наклонной поверхности с выявленным характером и с различной степенью нелинейности с последующим расчетом рельефа. Погрешность рассчитывалась как максимум разницы высот для точек поверхности модели и рассчитанного по ней рельефа. Полученная зависимость погрешности от степени нелинейности представлена на рис. 2.

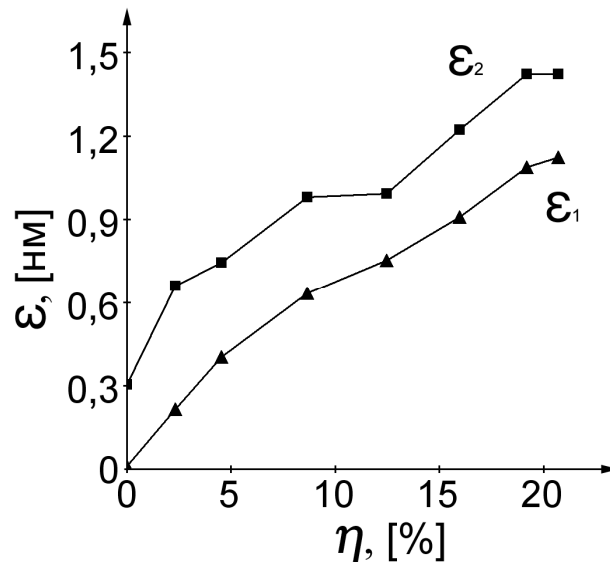


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения нанорельефа (на моделях) от степени нелинейности сканирования и разного уровня шума в интерферограммах: ε_1 – в отсутствии шума, ε_2 – для уровня шума 1 %

Для проверки корректности моделирования нелинейности производилось измерение аттестованного калибра (мера шероховатости Rz, рабочий эталон I разряда, номинальное значение 101 нм, погрешность ± 3 %). Результат измерений составил $103,1 \pm 2,8$ нм. Моделирование измерения ступеньки высотой 101 нм с нелинейностью и шумом, определенными по результатам измерения калибра (нелинейность составляла 8,6 %, а шум 0,7 %) дало результат $100,6 \pm 0,4$ нм. Таким образом, результаты измерений и расчет высоты ступеньки (по модели калибра) совпадают (в пределах погрешности) с паспортным значением калибра.

Полученные результаты дают возможность оценить вклад нелинейности сканирования в погрешность для других диапазонов измеряемого нанорельефа. Выполненные расчеты, например, показывают, что для нанорельефа с перепадом высот ~10 нм этот вклад не превышает 0,03 нм.

Показано, что при использовании метода частичного сканирования коррелограмм вклад нелинейности сканирующей системы интерферометра (вплоть до 20 %) в погрешность измерения высоты нанорельефа в диапазоне до 150 нм не превышает 1 нм.

Результаты данной работы могут использоваться при проектировании новых прецизионных измерительных систем измерения рельефа поверхности на основе интерференции частично когерентных волн, разработки новых алгоритмов обработки интерферограмм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. B. K. A. Ngoi, K. Venkatakrishnan, N. R. Sivakumar and T. Bo Instantaneous phase shifting arrangement for microsurface profiling of flat surfaces // Optics Communications. – 2001. – V. 190. – Issues 1-6. – p. 109-116.
2. Min-Gu Kang, Sang-Yoon Lee, Seung-Woo Kim. Self-Compensation of PZT Errors in White Scanning Interferometry // Journal of Optical Society of Korea. - 1999. – V. 3. – N. 2 p. 35-40.
3. Сысоев Е.В. Метод частичного сканирования коррелограмм для измерения микрорельефа поверхностей. //Автометрия.–2007.–43.–№1.–с. 107.

© И.А. Выхристюк, А.В. Запреев, Р.В. Куликов,
А.К. Поташиников, Е.В. Сысоев, 2011

УДК 621.315.593

С.М. Отажонов, Н. Жураев, Д.Д. Алижанов

ФерГУ, Фергана, СГГА, Новосибирск

ФОТОДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Целью работы является повышение фоточувствительности к излучению, вызывающему люминесценцию селенида цинка (ZnSe) к ультрафиолетовым, рентгеновским лучам и лазерному излучению путем прямой передачи фотосигнала от сцинтиллятора к фотоприемнику за счет накопления зарядов на поверхности фотоприемника и исключение источника внешнего напряжения.

S.M. Otazhonov, N. Zhuraev, D.D. Alizhanov

Fergana state university, Uzbekistan

PHOTODETECTOR FOR X-RAY AND ULTRAVIOLET RADIATION RECORDING

The promising pair of semiconductors CdTe-ZnSe have been created. On their basis scintillation photodetectors of ionizing radiation (X-ray and ultraviolet) have been developed. Thereby the efficiency increases by 80 %.

Расширение функциональных возможностей фотодетектора по сравнению с известными [1] решается тем, что фотодетектор излучения, содержащий сцинтиллятор, снабжен фотоприемником и оптически связаны между собой, причем фотоприемник выполнен в виде АФН-пленки на основе поликристалла теллурида кадмия, легированного серебром, а сцинтиллятор выполнен в виде пластины из монокристалла селенида цинка.

Способ изготовления сцинтилляционного фотодетектора излучения заключается в следующем: Пластину из селенида цинка помещают в камеру при вакууме $133,32 \cdot (10^{-4} - 10^{-5})$ Па под углом $40-45^\circ$ к направлению молекулярного пучка и нормалью к подложке, нагревают ее до температуры 260°C , затем термическим напылением наносят слой теллурида кадмия со скоростью конденсации $0,35$ нм/с толщиной $1,2$ мкм, проводят легирование серебром из отдельного тигля (для компенсации электропроводности теллурида кадмия и создания глубоких уровней в запрещенной зоне, участвующих в возникновении фото-ЭДС). Масса легирующей примеси при этом составляет 0.3 ± 0.1 ат. % Ag от массы полупроводникового материала.

На рис. 1 приведена схема сцинтилляционного фотодетектора излучения. Принцип действия сцинтилляционного фотодетектора излучения заключается в следующем. Заряженная частица проходит через сцинтиллятор, ионизирует атомы и молекулы и возбуждает их. Возвращаясь в исходное состояние,

ионизированные атомы и молекулы испускают фотоны в виде квантов света и попадают на поверхность фотоприемника 2-АФН-пленку теллурида кадмия за счет накопления зарядов и возникновения на ней напряжения без приложения внешнего поля. Этот фотосигнал напрямую передаётся от сцинтиллятора 1 к фотоприемнику 2, так как они оптически связаны между собой. Для определения фотосигнала сцинтилляционный фотодетектор излучения освещают ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами, вызывающими люминесценцию ZnSe. Лазерный или рентгеновский луч, проходя через сцинтиллятор 1, переводит – электроны из валентной зоны в зону проводимости или с глубоких уровней в зону проводимости[2].

Возвращаясь в исходное состояние (происходит излучательная рекомбинация), они испускают фотоны в виде квантов света и прямо попадают на АФН-пленку CdTe, при этом возникает фотосигнал, который снимают с контактов и регистрируют электрометром.

АФН-пленка CdTe детектирует люминесценцию селенида цинка с малыми потерями на отражение от границы ZnSe – CdTe.

Коэффициент отражения рассчитывают по формуле

$$R = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = \frac{3,4 - 2,6}{7} = \frac{0,8}{7} \approx 0,1,$$

где R – коэффициент отражения от границы раздела между ZnSe и CdTe; n_1 -показатель преломления ZnSe; n_2 - показатель преломления CdTe.

Коэффициент отражения известных сцинтилляционных фотодетекторов учитывает отражение на границе ZnSe и воздуха ($n_0=1$), тогда $R=0,5$. В нашем случае потеря фотосигналов на отражение незначительна по сравнению с известными фотодетекторами. Оценим изменение эффективности фотодетектора с АФН-пленкой:

$$L_R = R \cdot L_0,$$

$$L'_R = (R - \Delta R) L_0,$$

где R – коэффициент отражения, L_0 – интенсивность падающего света,

$$T = \frac{L_0 - L_R}{L_0} = 1 - R,$$

где T – коэффициент пропускания. Тогда

$$T' = \frac{L_0 - (R - \Delta R)L_0}{L_0} = 1 - (R - \Delta R),$$

$$x = \frac{T'}{T} \cdot 100 = \frac{1 - (R - \Delta R)}{1 - R} \cdot 100\% = \left(1 + \frac{\Delta R}{1 - R}\right) \cdot 100\%$$

Отсюда

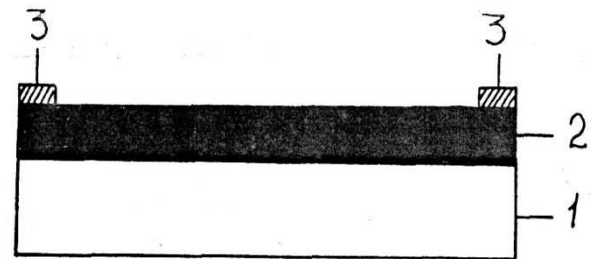


Рис. 1 Схема сцинтилляционного фотодетектора излучения на основе Te-ZnSe: 1-ZnSe, 2-CdTe:Ag, 3-контакты

$$\Delta x = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta R}{1-R};$$

$$\Delta x = \frac{0,4}{1-0,5} = 0,8;$$

т. е. эффективность на 80 % увеличивается.

Для определения значения фотосигнала фотодетектор на основе АФН-пленки теллурида кадмия освещают ультрафиолетовым светом со стороны сцинтиллятора ZnSe и спектрометром.

СФ 26 измеряют фото-ЭДС, она была равна 200 мВ (без АФН-слоя –120мВ). Затем сцинтиллятор возбуждают мягким рентгеновскими лучами (УРС-60 с трубкой 0,4 ВСВ-4С, напряжение на трубке равно 20 кВ), при этом оказалась, что амплитуда сигнала равна 500 мВ (без АФН-слоя –280 мВ). Фотосигнал между контактами измеряют электрометром.

Для определения фоточувствительности структуры CdTe–ZnSe рассчитывают оптическую энергию ионизации глубоких уровней, измеряют спектральную характеристику тока короткого замыкания слоя теллурида кадмия легированного серебром, которая в интервале энергии квантов света $h\nu = 0,45\text{--}2,7$ эВ обусловлена АФН-пленкой теллурида кадмия (рис. 2). В слое теллурида кадмия фото-ЭДС возникает как при возбуждении зона-зона, так и из глубоких уровней с энергией оптической ионизации, равной 1,04; 1,15; 1,32 эВ, чем охватываются практически все полосы люминесценции селенида цинка (рис. 2, кривая 2).

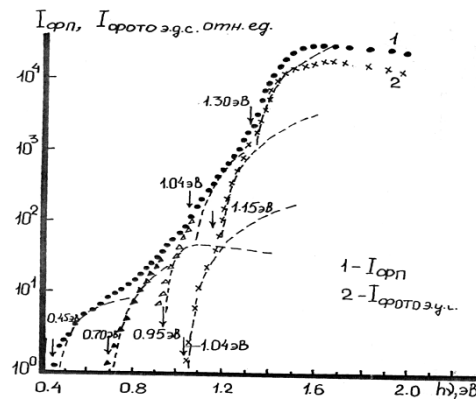


Рис. 2. Спектры $I_{фн}$, $I_{кз}$ АФН-плена CdTe:Ag на гетероструктуре CdTe-ZnSe при фронтальном освещении

Для определения фоточувствительности АФН-пленки теллурида кадмия, легированного серебром (CdTe:Ag), измеряют спектры в режимах фотопроводимости при фронтальном освещении. Кривая 1 на рис. 3. характеризует полярность приложенного поля, которая совпадает с полярностью АФН-пленки теллурида кадмия; кривая –2 - когда полярность приложенного поля противоположна. Аномальное фотонапряжение пленки теллурида кадмия определяют путем измерения фотопроводимости в зависимости от направления приложенного извне электрического поля. Приложенное электрическое поле стимулирует возникновение АФН-эффекта. В области края поглощения теллурида кадмия возникает большой АФН,

приводящий к изменению знака фотопроводимости. Выделенный фотосигнал АФН совпадает со знаком фото-ЭДС (кривая 1).

Это обусловлено тем, что приложенное электрическое поле втягивает носители в область асимметричных барьеров, из-за чего возрастает фото-ЭДС (кривая 1).

Управляя влиянием барьеров на поверхности CdTe и у поверхности ZnSe, можно получать как одинаковые, так и разные знаки фото-ЭДС в двух областях энергии квантов света, равных $1,4 \div 1,7$ эВ и $1,9 \div 2,3$ эВ (рис. 3).

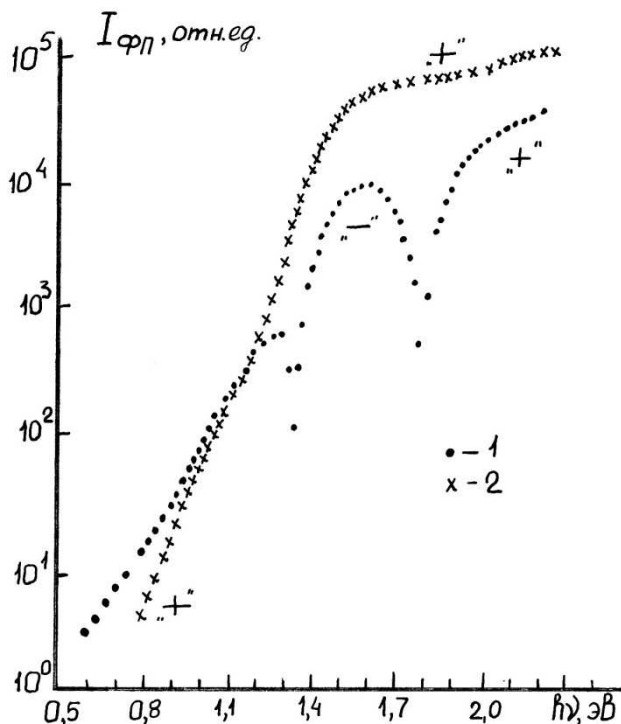


Рис. 3. Спектры I_{ph} АФН-пленок CdTe:Ag, полученных на ZnSe, при фронтальном освещении: 1- когда полярность приложенного поля совпадает с полярностью АФН и противоположно – 2. $U_{BH}=14V$

Важной особенностью АФН-пленки на основе теллурида кадмия является её автономный характер. Это представляет особый интерес в пленочной оптоэлектронике в качестве преобразователя излучения при ультрафиолетовых и рентгеновских излучениях в широком диапазоне принимаемого электромагнитного излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов, Н.Р. Исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок теллурида кадмия с серебром и разработка оптоэлектронных приборов на их основе: дис. канд. техн. наук. – Ташкент, 2001.- 140 с.
2. Рыжиков, В.Д. Сцинтилляционный фотодетектор излучения //Поверхность Рентгеновские, синхронотронные и нейтронные исследования.- 2002.- № 3.- С. 85-89.

УДК 681.7: 331.4

М.М. Кузнецов, А.Н. Соснов, В.П. Перминов, Н.К. Соснова
СГГА, Новосибирск

ОХРАНА ТРУДА В ОПТИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Статья посвящена описанию вопросов, связанных с правильной организацией охраны труда в оптическом цехе Новосибирского приборостроительного завода.

M.M. Kuznetsov, A.N. Sosnov, V.P. Perminov, N.K. Sosnova
SSGA, Novosibirsk

OCCUPATIONAL SAFETY IN OPTICAL PRODUCTION

The problems of proper occupational safety management in the optical workshop (Novosibirsk instrument-making plant) are described.

Технической прогресс ставит своей задачей не только рост производительности труда, но и создание безопасных и здоровых условий труда. Правила охраны труда и промышленной безопасности предусматривают создание таких условий труда, которые оградили бы работающих от профессиональных заболеваний, обеспечили бы наименьшую утомляемость и исключили возможность ожогов, ранений, отравлений, поражений электрическим током и других видов травматизма.

Правила охраны труда определяются типом оборудования и выполняемой работой. Некоторые правила являются общими для большинства выполняемых работ.

Контроль за обеспечением безопасных и здоровых условий труда на производстве состоит из:

- Организации и проведении проверок и обследований объектов производства;
- Выявления нарушений требований законодательства, правил и норм по охране труда;
- Выдачи представлений об устранении выявленных нарушений;
- Проводимых мероприятий по обеспечению безопасности на производстве.

Основными документами, регламентирующими вопросы обучения безопасности труда, являются:

- ГОСТ 12.0.004-90 «Организация обучения безопасности труда. Общие положения»;

– Постановление Министерства труда и социального развития Российской Федерации N 1 и Министерства образования Российской Федерации 13.01.03 «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».

По характеру и времени проведения инструктажи подразделяются на:

- Вводный инструктаж;
- Первичный инструктаж на рабочем месте;
- Повторный инструктаж;
- Внеплановый инструктаж;
- Целевой инструктаж;

Первичный инструктаж на рабочем месте проводят до начала производственной деятельности со всеми работниками:

- Вновь принятыми на предприятие;
- Переводимыми из одного подразделения в другое;
- Выполняющими новую для них работу.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводят с каждым работником индивидуально с практическим показом безопасных приемов и методов труда. Возможен инструктаж с группой лиц, обслуживающих однотипное оборудование, и в пределах общего рабочего места.

После проведения первичного инструктажа работники должны пройти стажировку в течение первых 2–14 смен (в зависимости от характера работы, квалификации работника) под руководством лиц, назначенных приказом (распоряжением) по структурному подразделению. Рабочие допускаются к самостоятельной работе только после стажировки, проверки теоретических знаний и приобретенных навыков безопасных способов работы.

Повторный инструктаж проводят, как правило, не реже одного раза в шесть месяцев (при работах с повышенной опасностью – не реже одного раза в три месяца) индивидуально или с группой работников, обслуживающих однотипное оборудование, и в пределах общего рабочего места по программе первичного инструктажа на рабочем месте в полном объеме.

Внеплановый инструктаж проводят:

- При введении в действие новых или переработанных правил, инструкций по охране труда;
- При изменении технологического процесса, замене и модернизации оборудования, приспособлений и инструмента, исходного сырья, материалов;
- При нарушении работающими требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии, взрыву или пожару, отравлению;
- По требованию органов надзора.

Целевой инструктаж проводят при:

- Выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями по специальности (погрузка, выгрузка, уборка территории, разовые работы вне предприятия, цеха и т. п.);
- Ликвидации последствий аварий, стихийных бедствий и катастроф;
- Производстве работ, на которые оформляется наряд-допуск, разрешение и другие документы.

Первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктаж проводит непосредственный руководитель работ.

При проведении инструктажей должны использоваться инструкции по охране труда по профессиям и (или) видам работ.

Инструкции по охране труда для работника осуществляется с учётом ст.212 ТК РФ.

Инструкции разрабатываются на основе межотраслевой или отраслевой инструкции по охране труда (а при её отсутствии – межотраслевых или отраслевых правил по охране труда), требований безопасности, изложенных в эксплуатационной и ремонтной документации организаций-изготовителей оборудования, а также в технологической документации организации с учётом конкретных условий производства. Эти требования излагаются применительно к должности, профессии работника или виду выполняемой работы.

Инструктажи на рабочем месте должны завершаться устным опросом, а также проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы. Знания проверяются работником, проводившим инструктаж, и уполномоченным.

Работники, показавшие неудовлетворительные знания, к самостоятельной работе не допускаются и обязаны вновь пройти инструктаж.

О проведении первичного инструктажа на рабочем месте, повторного, внепланового, стажировки и о допуске к работе работник, проводивший инструктаж, делает запись в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте и (или) в личной карточке с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего. При регистрации внепланового инструктажа указывают причину его проведения.

Целевой инструктаж с работниками, проводящими работы по наряду-допуску, разрешению и т. п., фиксируется в наряде-допуске или другой документации, разрешающей производство работ.

Требования к различным помещениям оптического цеха зависят от характера выполняемых в них работ. Все финишные операции, к которым относятся нанесение покрытий химическим и физическим способами, изготовление сеток, склейка оптических деталей, контроль оптических деталей, должны выполняться в условиях высокой технологической гигиены. Температура и влажность воздуха должны быть достаточно постоянными и соответствовать установленным нормам [1].

Оборудование размещается в соответствии с установленными нормами. При установке оборудования предусматриваются необходимые проходы для безопасного передвижения работающих, обслуживания и текущего ремонта

оборудования. Размещение оборудования должно соответствовать последовательности этапов технологического процесса и обеспечивать кратчайший путь обрабатываемых деталей.

В зависимости от назначения оборудования к нему подводится электрический ток, сжатый воздух, горячая и холодная вода, а так же подключается канализация. Центрировочные и фрезерные станки оборудуются централизованным питанием охлаждающей жидкостью.

Рабочие места, где имеются выделения вредных или горючих газов, паров или пылевидных материалов, оборудуются вытяжной вентиляцией. Вентиляционные устройства оформляются в виде бортовых отсосов, зондов или шкафов. Вытяжная вентиляция должна обеспечивать заданную чистоту воздуха. Допустимое наличие вредных веществ оговаривается специальными правилами.

Прием и хранение пищи на рабочих местах, особенно в мастерских с вредными выделениями, не допускается.

Все виды оборудования, питаемого электрическим током, должны быть безопасными и исключать возможность поражения током работающего. Оборудование должно быть надежно заземлено.

Центрировочные, сферофрезерные и шлифовально-полировальные станки, работающие с обильной подачей охлаждающей жидкости или абразивной суспензии, должны иметь дополнительные кожухи, тазы или экраны, защищающие работающего и рабочее место от брызг. Все виды тазов и ограждений не должны иметь острых краев, вызывающие порезы рук работающего.

Рабочие места для блокировки, наклейки, промывки, травления кислотами и др., на которых находятся нагревательные приборы или выполняются работы с выделением пылевидных или вредных отходов, оборудуются местными отсосами или вытяжными зондами.

На Новосибирском приборостроительном заводе разработан стандарт предприятия системы управления охраной труда СТП АЛ-45СК 06.07 [2] в числе прочих, в котором для оптического производства даны ссылки на следующие основные инструкции по охране труда предприятия:

- Для полировщика оптических деталей участка 6 оптического цеха;
- Для полировщика оптических деталей участка 4 оптического цеха;
- Для полировщика оптических деталей участка 5 оптического цеха;
- Для центрировщика оптических деталей оптического цеха;
- При обработке стекла ЛКЗ и ЛК103, ГМО, фтористого кальция;
- При работе на станках типа «АЛМАЗ», «АШС»;
- Для шлифовщика оптических деталей мастерской призм и пластин;
- При округливании оптических деталей;
- Для склейщика оптических деталей;
- Для оператора по нанесению просветляющих и защитных покрытий;
- При работе в полиритной мастерской;
- При разблокировке линз холодом;

- При работе в химической лаборатории оптического цеха;
- При промывке оптических деталей;
- Для лакировщика оптических деталей;
- При работе в физической лаборатории оптического цеха;
- Для шлифовщика оптических деталей при изготовлении ампул уровней в оптическом цехе;
- Для травильщика участка 2 оптического цеха;
- При фасетировании оптических деталей и подшлифовке по прибору;
- При работе в вакуумной лаборатории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулим, А.В. Производство оптических деталей. -М: Высшая школа, 1975. -315с.
2. СТП АЛ-45СК06.07-2010 ФГУП «ПО «НПЗ» Стандарт предприятия. Система управления охраной труда. Руководство по управлению охраной труда. - Новосибирск, 2010. -24с.

© М.М. Кузнецов, А.Н. Соснов, В.П. Перминов, Н.К. Соснова, 2011

УДК 681.723

М.М. Кузнецов, Н.К. Соснова, А.А. Марач

СГГА, Новосибирск

ОПТИКА СОВРЕМЕННЫХ МИКРОСКОПОВ

В статье систематизируются данные об объективах и окулярах современных биологических и инструментальных микроскопов выпускаемых отечественной оптической промышленностью, в связи с актуальностью тематики.

M.M. Kuznetsov, N.K. Sosnova, A.A. Marach

SSGA, Novosibirsk

OPTICS OF MODERN MICROSCOPES

Taking into account the urgency of the problem the paper systematizes the information on the lenses and eyepieces of modern biological and toolmaker's microscopes produced by the home optical industry.

За последнее десятилетие отечественная и зарубежная оптико-механическая промышленность достигли значительных успехов в области микроскопостроения.

В стране и в мире освоен выпуск новых, более совершенных металлографических, поляризационных и биологических микроскопов, причем исследовательские и лабораторные модели, как правило, комплектуются объективами с увеличенным полем зрения (планообъективами) и широкоугольными компенсационными окулярами.

В статье предпринята попытка систематизировать с разработанными окулярами и объективами микроскопов. Рассматриваются комплекты ахроматических и апохроматических объективов с плоским полем, ахроматические объективы с улучшенной коррекцией аберраций и компенсационные окуляры.

Объективы с плоской поверхностью изображения (планообъективы).

Основным преимуществом объективов с плоским полем, по сравнению с обычными ахроматами и апохроматами является существенно увеличенное поле зрения. Линейное поле в плоскости изображения у планообъективов достигает 25 мм, в то время как размер поля наблюдаемого резко без перефокусировки у обычных объективов и, в особенности, для сильных не превышает 8–12 мм. Следовательно, линейное поле объективов с плоской поверхностью изображения приблизительно в 2–3 раза, а по площади в 4–9 раз больше, чем у обычных объективов. Это делает планообъективы незаменимыми для проведения работ по микрофотографии, где перефокусировка исключается,

а так же в тех случаях визуального наблюдения, когда требуется одновременное рассмотрение больших участков препарата, шлифа или минерала.

Увеличение поля зрения приводит к необходимости более тщательной коррекции полевых аберраций и прежде всего кривизны поверхности изображения, астигматизма и комы.

В зависимости от состояния хроматической коррекции различают следующие типы планобъективов: планмонохроматы, планапохроматы, планопохроматы.

Планапохроматические объективы.

Особенностью планапохроматических объективов является высокая степень коррекции аберраций в пределах поля зрения для спектральной области в интервале длин волн от $\lambda=434$ нм до $\lambda=656$ нм.

В табл. 1 представлены характеристики планапохроматических объективов для проходящего света, в табл. 2 для отраженного света.

Таблица 1. Характеристики планапохроматических объективов для проходящего света

Увеличение, β	Числовая апертура, A	Рабочее расстояние, d
10	0,30	5,3
16	0,40	0,70
25	0,50	0,65
40	0,65	0,45
40	0,65	0,75
60	0,85	0,25
60	0,90	0,30

Таблица 2. Характеристики планапохроматических объективов для отраженного света

Фокусное расстояние, f	Числовая апертура, A	Рабочее расстояние, d	Расстояние от плоскости предмета до выходного зрачка, P
25	0,25	4,4	49
16	0,30	4,0	32,8
10	0,50	0,90	33,7
6,3	0,65	0,60	30,1
4,0	0,85	0,30	32,2
2,5	1,25	0,25	34,0

Планахроматические объективы.

Поляризационные микроскопы, как известно, служат для изучения объектов, обладающих двойным лучепреломлением и применяются для исследования минералов и других горных пород. Одним из необходимых условий их успешной работы является то, чтобы оптические детали, находящиеся между поляризатором и анализатором, не имели внутренних натяжений. Очень важно иметь так же большое поле.

В связи с этим и были разработаны планахроматические объективы. Особенностью представленных в табл. 3 и табл. 4 объективов является то, что они не содержат линз из флюорита, который в особенности искусственно выращенный, обладает внутренними напряжениями, вызывающими недопустимое двойное лучепреломление.

Таблица 3. Планахроматические объективы для проходящего света

Увеличение, β	Числовая апертура, A	Рабочее расстояние, d
2,5	0,05	9,0
10	0,20	4,6
25	0,50	0,60
40	0,65	0,50
60	0,85	0,25

Таблица 4. Планахроматические объективы для отраженного света

Фокусное расстояние, f'	Числовая апертура, A	Рабочее расстояние, d	Расстояние от плоскости предмета до выходного зрачка, P
40	0,10	23	34,0
25	0,25	4,4	49
16	0,30	4,4	34,7
6,3	0,65	0,60	30,0

Новые ахроматические объективы.

Биологические рабочие микроскопы представляют собой наиболее распространенную группу приборов, как по количеству моделей, так и по массовости промышленного выпуска. Входящий в них комплект ахроматических объективов хорошо освоен промышленностью. Однако, некоторые из объективов имеют недостаточно совершенную для современного уровня коррекцию аберраций. В табл. 5 представлены характеристики основных ахроматических объективов

Таблица 5. Характеристики основных ахроматических объективов

Увеличение, β	Числовая апертура, A	Рабочее расстояние, d
4	0,12	6,0
6,3	0,17	10
10	0,25	5,0
16	0,40	1,7
40	0,65	0,55
60	0,85	0,20

Компенсационные окуляры.

Широкое распространение в микроскопии получили окуляры Гюйгенса и компенсационный Аббе. Популярность их объясняется прежде всего простотой конструкции и сравнительно хорошим качеством изображения. Однако, несмотря на неоспоримые преимущества они обладают серьезным недостатком – несогласованностью коррекции хроматической разности увеличения с

объективами. В табл. 6 представлены характеристики основных компенсационных окуляров.

Таблица 6. Характеристики основных компенсационных окуляров

Увеличение, Г	Фокусное расстояние, f`	Линейное поле зрения, 2у`	Угловое поле зрения, 2W`	Удаление выходного зрачка, P`
Удаление выходного зрачка, P=160-250				
6,3	40	22	31°	8
10	25	15	34°	15
16	15,6	11	39°	8
Удаление выходного зрачка, P=500-∞				
6,3	40	20	28°	9
10	25	15	34°	10
10	25	18	40°	10
12,5	20	13	36°	8,5
16	15,6	11	39°	7

Широкое внедрение новых объективов и окуляров значительно повышает технический уровень выпускаемых оптико-механической промышленностью биологических, поляризационных и металлографических микроскопов.

Закключение.

Большинство рассмотренных объективов состоят из нескольких сферических линз. Радиус кривизны и тип оптического стекла каждого элемента, воздушный зазор между элементами разрабатывается так, чтобы в окончательной комбинации линз сократить aberrации различных линз до уровня, достаточного для достижения требуемых характеристик.

Сегодня компьютеры предоставляют технологии автоматизированного проектирования и моделирования, которые позволяют быстро разрабатывать высококачественные объективы. Однако использование только сферических линз представляет собой фундаментальную проблему: параллельные тучи света, проходя через сферическую линзу, теоретически не сходятся в одной точке, что приводит к ограничениям следующих параметров: качество объективов с большой апертурой, компенсация искажений в сверхширокоугольных объективах и минимальный размер компактный объективов.

Для того чтобы снять эти ограничения и создавать объективы даже с более высокими характеристиками, снизить искажения и уменьшить размер, остается один путь – использование технологии асферических линз [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Электронный ресурс].- Режим доступа:
<http://www.fotikdv.ru/index.php/2010/03/sverxtochnye-asfericheskie-linzy/>

© М.М. Кузнецов, Н.К. Соснова, А.А. Марач, 2011

УДК 681.7.066.3

А.Н. Соснов, М.М. Кузнецов, Н.К. Соснова, Л.А. Канушина
СГГА, Новосибирск

МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

В статье рассказывается об основных методах формообразования асферических поверхностей оптических деталей, приводится критический анализ их сильных и слабых сторон.

A.N. Sosnov, M.M. Kuznetsov, N.K. Sosnova, L.A. Kanushina
SSGA, Novosibirsk

METHODS OF ASPHERICAL SURFACES GEOMETRY GENERATION FOR OPTICAL DETAILS

The paper presents the main methods of aspheric surfaces geometry generation for optical details. Their advantages and disadvantages are reviewed.

В течение длительного времени пристальное внимание оптотехников привлечено к асферической оптике. Это связано с перспективами значительного сокращения габаритов оптических систем и улучшения их оптических характеристик, за счет использования асферических поверхностей.

Преимущества, которыми обладают оптические системы с асферическими поверхностями, благодаря наличию у них дополнительных, по сравнению с обычной сферической оптикой, расчетных параметров, достаточно широко и давно известны. Еще Декарт, Ньютон, Кассегрен, Грегори занимались исследованием этого вопроса и практически применяли асферические поверхности в своих оптических системах для устранения аберраций и улучшения качества изображения. Однако значительные трудности, связанные со сложностью расчета, изготовления и контроля асферической оптики, долгое время сдерживали и ограничивали ее широкое использование.

В последние годы здесь наметился значительный прогресс, который объясняется двумя обстоятельствами:

- Внедрением в расчетную практику современной электронно-вычислительной техники, что позволило преодолеть трудности, связанные с большим объемом вычислительной работы;

- Совершенствованием известных и разработкой новых методов контроля, благодаря использованию лазеров, разнообразных компенсаторов, анаберрационных точек поверхностей вращения второго порядка, сферических и асферических пробных стекол, применению средств контроля с использованием голографии.

В настоящее время, в нашей стране и за рубежом рассчитано большое количество оптических систем с асферическими поверхностями для телескопов, аэрофотоаппаратов, оптико-волоконных и лазерных линий связи, осветительных устройств микроскопов и проекционных приборов, окуляров, кино – и фотоаппаратов, микрообъективов и других приборов, отличающихся лучшим качеством изображения, повышенными оптическими характеристиками или меньшими габаритами.

Однако и сейчас проблема получения асферической оптики производительными методами с точностью, требуемой от поверхностей, применяемых в оптических системах, еще ждет своего окончательного решения.

Решение рассматриваемой проблемы производится за счет использования методов формообразования асферических поверхностей, основанных на:

- Пластическом изменении формы материала;
- Асферизации путем деформации материала в пределах его упругости;
- Нанесении дополнительного слоя материала;
- Удалении с заготовки избыточного слоя материала.

Последнее направление получения асферической оптики наиболее универсально и имеет широкую область применения. Поэтому к нему привлечено основное внимание технологов и исследователей.

Формообразование требуемой асферической поверхности методами, основанными на этом направлении, достигается благодаря:

- Распределению износа по зонам обрабатываемой поверхности;
- Исследованию геометрических свойств обрабатываемых поверхностей.

Актуальность и перспективность применения методов получения асферических поверхностей, благодаря использованию для этой цели геометрических свойств последних (геометрического формообразования), объясняется возможностями реализации этих методов с помощью плоских и сферических шаблонов и других простейших устройств. Кроме того, методы геометрического формообразования, во многих случаях, могут быть реализованы с использованием притира – метода, который до настоящего времени является в промышленности практически единственным средством получения поверхностей оптической точности (доли мкм).

Известные методы геометрического формообразования основаны на:

- Траекторном копировании;
- Копировании шаблона, контактирующего с заготовкой;
- Взаимном притире заготовки и инструмента;
- Взаимном притире с элементами траекторного копирования.

Траекторное копирование.

Все способы асферизации, относящиеся к этой группе, в конечном счете сводятся к обеспечению принудительного перемещения инструмента по заданной траектории, соответствующей профилю одного из сечений обрабатываемой поверхности.

Большие возможности в реализации этого направления открывает применение разнообразных шаблонов, профиль которых переносится инструментом на обрабатываемую поверхность.

Известны основанные на применении шаблонов станки Пери и Ванштейна, а так же станок Берча, в которых использованы для формообразования дифференциальные свойства обрабатываемых поверхностей. Шаблоном в этих станках служит кулачок с профилем, соответствующем эволюте образующей изготавливаемой поверхности.

Копирование шаблона, контактирующего с заготовкой.

Эти методы обработки, имеющие много общего с методами траекторного копирования, обеспечивают более высокую точность формообразования оптических поверхностей. Увеличение точности здесь достигается благодаря возможности притира заготовки к инструменту – шаблону с помощью связанного или свободного абразива.

Большинство методов, относящихся к этой группе, реализуют условия притира по таким линейным участкам поверхности, которые не изменяют кривизну при перемещении по поверхности.

Н.П. Заказнов и Л.Я. Шевченко предложили выполнить инструмент в виде пространственного шаблона, состоящего из стержней, которые расположены по прямолинейным образующим однополостного гиперболоида вращения. Таким образом, метод обработки с помощью названного инструмента можно отнести к методам использующим для формообразования свойства семейства линий постоянной кривизны на обрабатываемой поверхности. Метод позволяет обрабатывать выпуклые поверхности, эквидистантные двуполостному гиперболоиду вращения.

Взаимный притир.

Несомненно, что исключительные по точности результаты широкого применения в промышленности «классического» метода изготовления сферической оптики определяются, главным образом, совокупностью особенностей его геометрических предпосылок и взаимного притира инструмента и обрабатываемого изделия.

Поэтому одним из развивающихся направлений получения асферической оптики является выявление и использование геометрических свойств обрабатываемых поверхностей для создания условий формообразования асферических поверхностей, аналогичных тем, которыми характеризуется «классический метод».

В настоящее время достаточно широко известен и практически реализован метод обработки асферических поверхностей ножевым инструментом. Метод основан на свойствах плоских, проходящих через фокус сечений поверхностей вращения второго порядка, иметь постоянный радиус кривизны при вершине. В

этом случае, обработка поверхности производится пластиной типа ножа, которая притирается при помощи свободного абразива к поверхности вращающейся заготовки, совершая при этом колебательное движение вокруг оси, перпендикулярной оси вращения заготовки и проходящей через один из фокусов изготавливаемой поверхности.

Взаимный притир с элементами траекторного копирования.

Использование геометрических свойств обрабатываемых поверхностей позволяет построить процессы получения асферической оптики, аналогичные хорошо освоенному в промышленности методу обработки асферических поверхностей путем взаимного притира заготовки к инструменту.

Однако возможности методов геометрического формообразования этим не исчерпываются. Имеются данные, в которых обоснованы пути дальнейшего повышения точности процесса формообразования разнообразных оптических поверхностей, а так же возможности интенсификации этого процесса.

Например, за счет создания таких процессов обработки асферических оптических поверхностей, которые соединяют в себе взаимный притир заготовки и инструмента с элементами траекторного копирования. Последние обеспечивают непрерывную правку во время обработки рабочей поверхности инструмента, сохраняя тем самым ее стабильность, и открывают возможности активного контроля и автоматического управления процессом формообразования обрабатываемой поверхности.

Непрерывная правка инструмента реализуется благодаря использованию для этой цели геометрических свойств семейств линий постоянной кривизны на рабочей поверхности инструмента.

В начале 1980-х годов компания Canon провела исследования и разработки в области литья стеклянных асферических линз с большой апертурой и в 1985 году успешно разработала действующую производственную систему. Эти стеклянные асферические линзы производятся прямым литьем стекла в формовочной машине с использованием асферической металлической формы ультравысокой точности. При этом обеспечивается высокая точность, удовлетворяющая требованиям к качеству сменных объективов для зеркальных камер, а также возможность серийного производства при относительно низких затратах.

В 1990 году компания Canon добавила в свой арсенал четвертую технологию производства асферических линз, разработав технологию копирования асферических линз с использованием смолы, застывающей под действием ультрафиолетового облучения, для формирования асферического слоя на поверхности сферической линзы. При разработке объективов EF эти четыре типа асферических линз обеспечили конструкторам компании Canon исключительную гибкость, позволяя выбирать наилучший тип линз для каждого применения. Асферические линзы особенно полезны для: компенсации сферических aberrаций в объективах с большой апертурой, компенсации искажений в широкоугольных объективах, производства высококачественных компактных зум-объективов [1].

Заключение.

Общим свойством, объединяющим все методы геометрического формообразования, является использование для получения асферической оптики особенностей геометрических форм обрабатываемых поверхностей:

- Свойств плоских сечений;
- Инвариантных свойств;
- Дифференциальных свойств;
- Копирование асферических линз с использованием смолы;
- Линий постоянной кривизны на обрабатываемых поверхностях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. [Электронный ресурс]. -Режим доступа
<http://www.fotikdv.ru/index.php/2010/03/sverxtochnye-asfericheskie-linzy/>

© А.Н. Соснов, М.М. Кузнецов, Н.К. Соснова, Л.А. Канушина, 2011

УДК 620:191.33.681.7.624.012

Т.В. Ларина

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТРОНОВ ОТКРЫТОГО КАНАЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В статье приведены методика, и результаты экспериментального исследования характеристик полупроводникового оптрона открытого канала волоконно-оптических систем для контроля качественных параметров металлических поверхностей.

T.V. Larina

SSGA, Novosibirsk

INVESTIGATION OF OPEN-CHANNEL OPTRONS FOR THE CONTROL OF METAL SURFACES QUALITATIVE PARAMETERS

The paper deals with the techniques and the results of the experimental research as concerns characteristics of open-channel semiconductor optron in fiber-optical systems for the control of metal surfaces qualitative parameters.

Основными первичными элементами оптронов являются полупроводниковые излучатели: светоизлучающие диоды (СИД), суперлюминисцентные диоды (СЛД) и ЛД; приемники оптического излучения (ПОИ): фоторезисторы (ФР), фотодиоды (ФД), фототранзисторы (ФТ) и АФН-приёмники (АФ).

Основные требования, предъявляемые к излучателям: высокая мощность излучения, соответствие спектральной характеристики с характеристиками оптических волокон (ОВ), надёжность, малые габариты, доступная цена. СИД в этом плане просты, долговечны, недороги, но имеют низкую эффективность излучения в ОВ, ограниченную полосу пропускания и дальность передачи. Мощность оптического излучения 0,5...5 мВт.

Принцип работы СЛД аналогичен полосковым ЛД и отличается тем, что одно из зеркал убрано и ослаблена обратная связь. Спектр излучения их хуже, а энергетическая яркость выше, чем у СИД. Мощность оптического излучения (100...500 мкВт) намного ниже, чем у СИД, поэтому в наших исследованиях они не используются.

Основными достоинствами ЛД являются компактность, прочность и высокая эффективность. По сравнению с СИД они обладают большей мощностью оптического излучения (1...10 мВт), большей предельной частотой модуляции, меньшей шириной спектра и лучшей направленностью излучения.

Недостатками ЛД являются меньшая долговечность ($3 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^5$ часов) и высокая цена.

Ширина спектра излучения у ЛД $0,2 \dots 5$ нм, у СЛД – $5 \dots 8$ нм и СИД – $30 \dots 35$ нм [1].

Средняя угловая расходимость излучения у ЛД $3 \dots 5^\circ$ (в плоскости, параллельной р-п-переходу) и $30 \dots 60^\circ$ (в плоскости, перпендикулярной р-п-переходу); у СИД – $100 \dots 120^\circ$; у ЛД – $25 \dots 30^\circ$ (в плоскости, параллельной р-п-переходу) и $30 \dots 60^\circ$ (в плоскости, перпендикулярной р-п-переходу).

Основные требования, предъявляемые к полупроводниковым ПОИ: высокая чувствительность, согласованность спектральных характеристик с диапазоном длин волн излучения, высокое быстродействие, линейность сигнала и большой динамический диапазон преобразования оптического излучения в электрический сигнал.

Этим требованиям в настоящее время удовлетворяют полупроводниковые ФР, ФД, ФТ и АФ.

Из всего разнообразия ПОИ в [2] рассмотрены ФР, ФД, и ФТ – приборы, наиболее доступные и применяемые в оптоэлектронном приборостроении. Внимание уделено их параметрам и особенностям применения в оптопарах, принцип действия которых основан на совместном применении излучателей и ПОИ.

Далее изложена методика и приведены результаты экспериментального исследования характеристик полупроводникового оптрона открытого канала для волоконно-оптических систем. Исследованы четыре типа оптрона открытого канала: «излучатель – ФД», «излучатель – ФТ», «излучатель – ФР» и «излучатель – АФ». В качестве ОВ использован полимерный световод круглого сечения в защитной оболочке с диаметром сердцевины $d_c = 0,4$ мм, диаметром отражающей оболочки $d_o = 0,6$ мм и длиной 1 м.

Исследовано соединение «излучатель – разъём – оптоволокно – разъём – ПОИ». Для снятия его характеристик собраны экспериментальные стенды (рис. 1, 3). Из блока питания БП₁ через переменный резистор R_1 подаётся ток на излучатель СИД или ЛД (напряжение 2 В). Излучение СИД или ЛД через разъём Р подаётся через ОВ на светочувствительную поверхность ПОИ. Миллиамперметр mA_1 контролирует ток излучателя, а миллиамперметр mA_2 контролирует ток ПОИ через регулирующий резистор R_2 , оторый питается от БП₂. В схеме с АФ-приёмником в качестве измерительного прибора использован электростатический вольтметр.

Была снята характеристика оптронной пары, где в качестве излучателей использовались СИД АЛ108А и ЛД-ИЛПН-301-1. В качестве ПОИ служил фотодиод ФД290 (рис. 1).

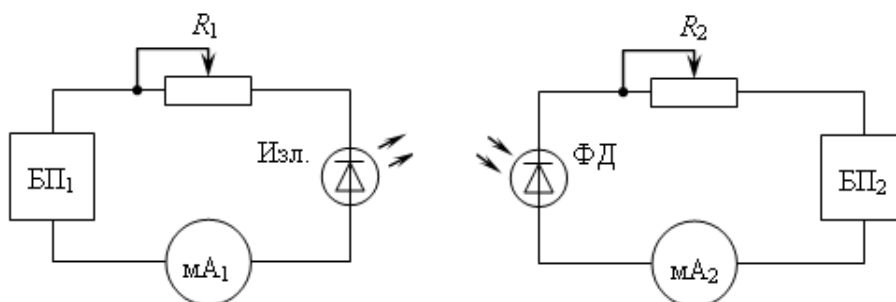


Рис. 1. Оптронная пара ИЗЛ-ФД

Для ЛД ИЛПН-301-1 характеристика идёт круче, так как этот ЛД обладает большей мощностью излучения по сравнению с СИД АЛ-107А. Очевидно, для ВОС имеет смысл брать источник излучения с более крутой характеристикой.

Эксперимент проводился при комнатной температуре ($t = 21^\circ \text{C}$). Результаты эксперимента представлены на рис. 2 в виде графической зависимости тока ПОИ от тока источника излучения. Из результатов эксперимента видно, что характеристика достаточно близка к линейной.

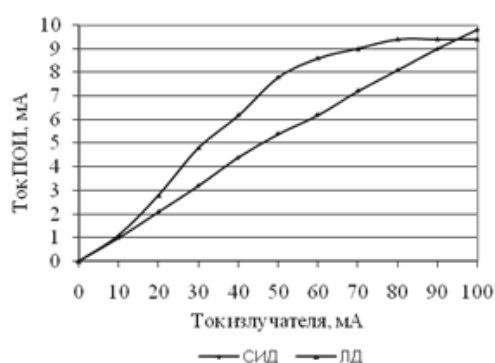


Рис. 2. Характеристика оптронной пары ИЗЛ-ФД

Были сняты характеристики оптронной пары, где в качестве ПОИ использовался фототранзистор ФТ-ЗГ. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 3. Результаты эксперимента представлены на рис. 4 в виде графиков. ЛД ИЛПН 301-1 обладает большим коэффициентом выхода излучения по сравнению с СИД АЛ-107А, а предельные значения тока, проходящего через излучатели, одинаковы.

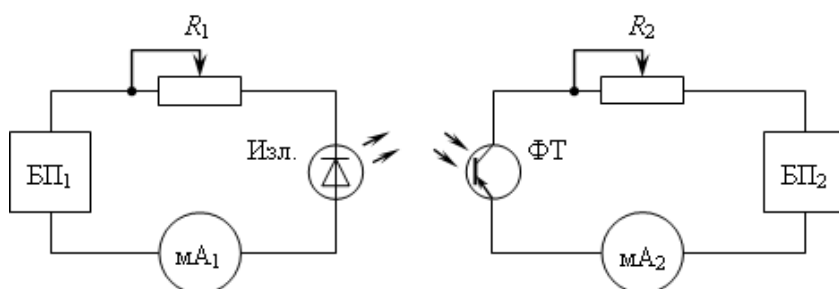


Рис. 3. Оптронная пара через ОВ ИЗЛ-ФТ

Крутизна характеристики оптрона открытого канала определяется напряжением питания ФТ, которое ограничивается предельным допустимым значением (15 В).

На основании проведенных исследований выбрана оптронная пара (рис. 1), которую удобно применять и она хорошо согласуется с излучателем. В настоящее время серийно выпускаются синие излучатели АЛ307. На основании данного оптрона открытого типа разработан анализатор для контроля характеристик металлических поверхностей.

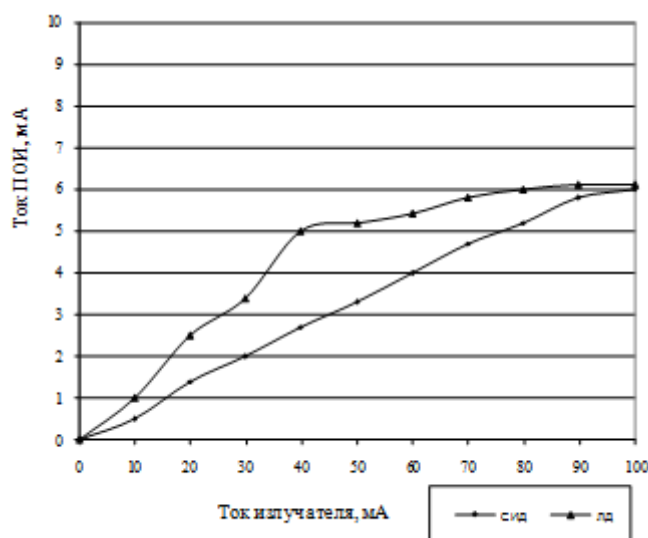


Рис. 4. Характеристика оптронной пары ИЗЛ-ФТ

На рис. 5 представлена структурная схема устройства анализатора цвета поверхности твердых материалов, а на рис. 6 один из вариантов выполнения датчика. Анализатор цвета состоит из датчика и электронного блока. Датчик выполнен в виде полусферы 1, в которую установлены три пары Y-образных подводящих 2-4 и отводящих 5-7 оптоволокон.

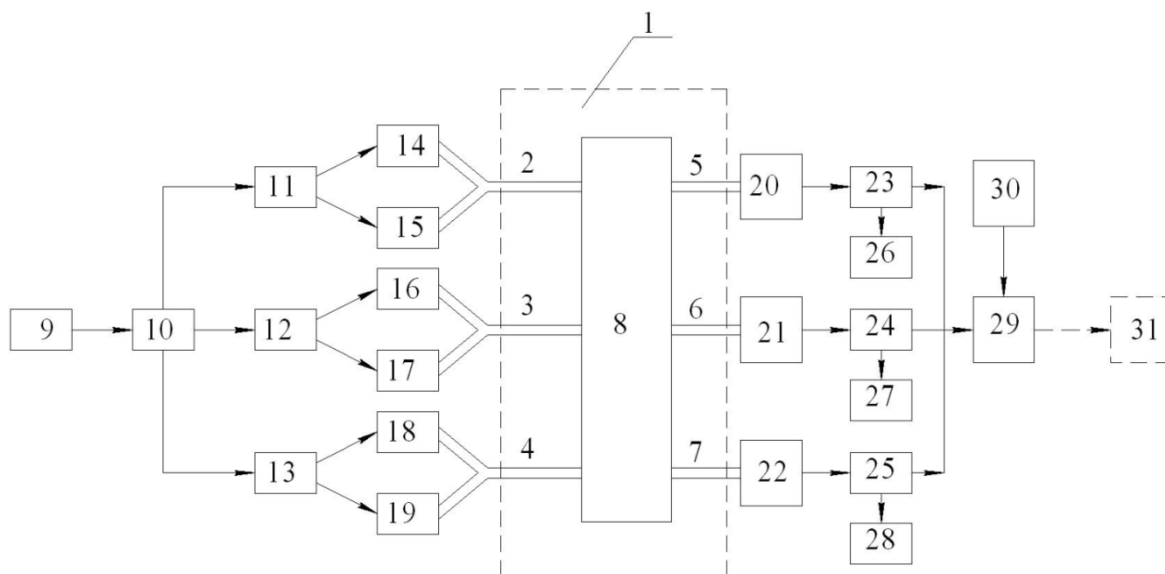


Рис. 5. Структурная схема устройства анализатора

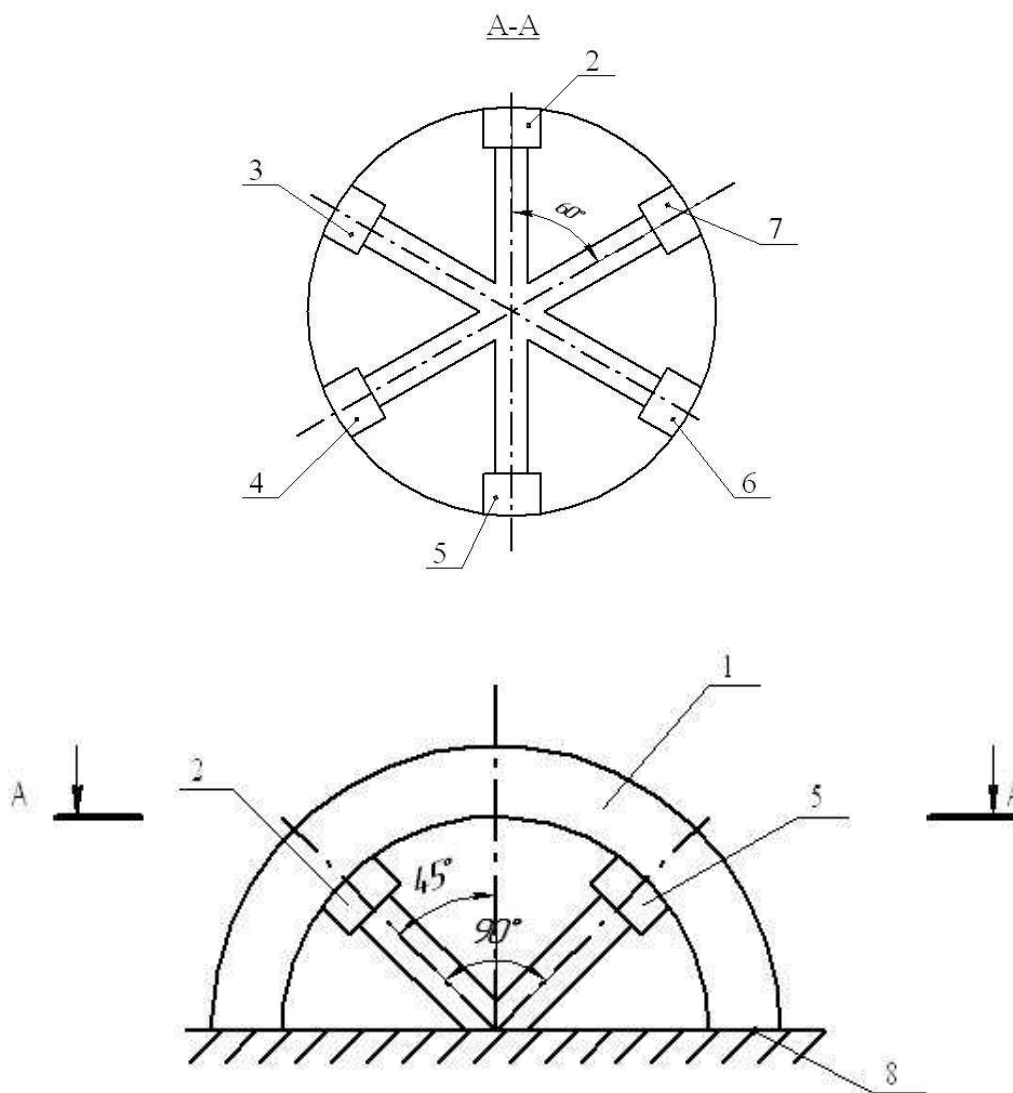


Рис. 6. Один из вариантов выполнения датчика

Электронный блок включает в себя задающий генератор 9, коммутатор 10, три триггера 11-13, три выхода которых соединены с тремя измерительными светодиодами 14, 16, 18, вторые три выхода – с компенсационными светодиодами 15, 17, 19, три приемника оптического излучения 20-22, выход каждого приемника оптического излучения подсоединен к входу соответствующего блока сравнения 23-25, выход каждого из которых соединен с соответствующим измерительным прибором 26-28. Далее электронный блок включает в себя блок обработки фотоэлектрического сигнала 29, запоминающее устройство 30 и измерительную систему, например, ЭВМ.

Устройство работает следующим образом. Задающий генератор 9 вырабатывает импульсы, которые подаются на вход коммутатора 10. Разделительные импульсы подаются на вход трех идентичных триггеров 11-13, три выхода которых соединены с тремя измерительными светодиодами 14, 16, 18, вторые три выхода – с компенсационными светодиодами 15, 17, 19 импульсы от триггеров поступают на соответствующие светодиоды. Каждый оптрон отвечает за контроль конкретного того или иного параметра.

Контролируемая поверхность 8, которая заключена в полусферу 1, по подводящим оптическим волокнам 2 - 4 облучается двумя световыми потоками (измерительным и компенсационным).

Оптоэлектронные пары заключены в кольцевой кожух из мягкой резины для необходимой ориентации датчика и светоизоляции оптического канала и расположены они под углом, например 45° , относительно друг друга и симметрично относительно нормали к контролируемой поверхности в точке отражения.

Оптическое излучение отражается от контролируемой поверхности и отводящими оптическими волокнами 5 - 7 подается на приемники оптического излучения 20-22, работающие на длинах волн $\lambda_1=680$ нм $\lambda_2=560$ нм $\lambda_3=450$ нм и преобразующие оптические сигналы в электрические.

Благодаря прохождению света через подводящее и отводящее оптоволокно подается и принимается узкий пучок излучения, который дает возможность контроля параметров. Далее сигнал попадает на свой блок сравнения 23, 24, 25, берется отношение двух сигналов (измерительных и компенсационных) и далее измерительной системой 26, 27, 28 определяют оттенки трех цветов. Процесс измерения на данном этапе можно закончить. Или три сигнала могут поступать на блок обработки фотоэлектрического сигнала 29, где сопоставляются с любым из ряда образцовых, хранящихся в запоминающем устройстве 30. Далее оба сигнала или их отношение подаются на измерительную систему или в ЭВМ 31.

Благодаря прохождению света через подводящие 2-4 и отводящие 5-7 оптоволокна подается и принимается узкий пучок излучения, который дает возможность контроля параметров.

При необходимости сигнал с выхода блока обработки фотоэлектрического сигнала можно подать в систему автоматического контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берикашвили, В.Ш. Волоконно-оптические системы контроля атмосферы угольных шахт // В.Ш. Берикашвили, М.В. Хиврин // Радиотехника. -2001. - № 5.- С.21–27.
2. Ямамото Хисааки. Оптоволоконные датчики и их применение / Отомэсён. Automation.- 1987.- Vol. 32, № 5.-С. 31–35.

© Т.В. Ларина, 2011

УДК 620:191.33:681.7.624.012

Т.Д. Раджабов¹, Б.Н. Рахимов¹, Т.В. Ларина²

¹ТУИТ, Ташкент, ²СГГА, Новосибирск

ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ – ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

В данной статье предлагается оптоэлектронная система для определения мест предразрушения металлических поверхностей.

T.D. Radgabow, B.N. Rakhimov, T.V. Larina

SSGA, Novosibirsk, Tashkent University of Information Technologu, Tashkent

DEVELOPMENT OF OPTOELECTRONIC SYSTEM FOR DETECTING PREFRACTURE AREAS ON METAL SURFACES

The optoelectronic system for detecting prefracture areas on metal surfaces is presented.

В настоящее время в России и за рубежом начались интенсивные разработки в области создания оптоэлектронных систем мониторинга механических конструкций с помощью волоконных световодов.

При этом очень важна замена электрических сигналов на оптические как в линиях связи, так и в местах преобразования информации. Причем в зарубежных разработках уже используются оптические волокна (ОВ) с диаметром сердцевины от 30 до 600 мкм в оптоэлектронных системах для измерения и контроля широкого спектра физических величин: давления, температуры, ускорения и напряженно-деформационного состояния элементов механических конструкций и т. д.

В течение последних двадцати лет бурно развивались волоконно-оптические датчики (ВОД) и быстрыми темпами разрабатывались оптоэлектронные системы на их основе, но прием их потребителями был медленным. Однако в последние годы в поисках путей расширения рынка современные различные фирмы мира убедились в выгоде применения систем на основе ВОД.

В настоящее время, благодаря новым разработкам в физике твердого тела и волоконной оптике, а также – существенного снижения стоимости оптического волокна и полупроводниковых приборов (в частности, полупроводниковых лазеров и фотоприемников), стало доступным применение датчиков на основе оптического волокна [1, 2]. Причем они применяются не только на машиностроительных предприятиях, но и в строительстве для неразрушающего контроля состояния зданий и других инженерных сооружений.

В настоящее время нами ведутся работы, направленные на разработку систем оптоэлектронного мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков.

Исследования развиваются в следующих направлениях:

- Исследование современного состояния и перспектив развития оптоэлектронных систем с использованием волоконно-оптических датчиков;
- Исследование волоконно-оптического тракта для разработки оптоэлектронной системы контроля усталостной повреждаемости элементов механических конструкций;
- Исследование механических характеристик оптического волокна для разработки оптоэлектронной контрольно-измерительной системы;
- Исследование характеристик полупроводниковых оптронов открытого канала для волоконно-оптических систем;
- Теоретическое исследование волоконно-оптических преобразователей на основе полупроводникового оптрона открытого канала с нарушенным полным внутренним отражением;
- Исследование систем мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков на строительных объектах.

Экспериментальные работы по разработке систем мониторинга макрообъектов с применением волоконно-оптических датчиков были разбиты на следующие циклы испытаний:

- Испытания оптоэлектронной системы с применением волоконно-оптических датчиков для контроля усилия (давления);
- Испытания волоконно-оптического световода на поперечные нагрузки в плоскости;
- Испытания волоконно-оптического датчика деформаций на базе многомодового и одномодового волоконно-оптического световода;
- Испытания волоконно-оптического датчика предразрушения;
- Испытания оптоэлектронной системы для определения предразрушения конструкций летательных аппаратов с помощью волоконных световодов.

С точки зрения контролируемых параметров экспериментальные исследования были направлены на создание систем, позволяющих контролировать следующие параметры объекта:

- Деформации (растяжение, сжатие);
- Перемещения;
- Трещинообразование;
- Предразрушения.

На данный момент в арсенале ГОУВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» имеются волоконно-оптический датчик деформаций амплитудного типа, датчик предразрушений, а также волоконно-оптический датчик влажности [3, 4].

В данной работе рассмотрена разработка семиканальной оптоэлектронной системы для обнаружения и регистрации усталостных трещин элементов механических конструкций. Система состоит из блока лазерная диода (ЛД), блока сигнализации, индикации и управления (СИУ), а также комплекта датчиков.

Функциональная схема системы состоит из следующих узлов (рис. 1).

- ЛД – лазерный диод;
- ДТ8 - датчики трещин (1);
- ПОИ - приемник оптического излучения;
- КОМ - коммутатор (2);
- УФ - усилитель фототока (3);
- ИОН - источник опорного напряжения (4);
- К - компаратор (5);
- СиАО - устройство сигнализации и автоматического отключения (6);
- ГИ - генератор импульсов (7);
- РИ - устройство распределения импульсов (8);
- ТСД - триггеры состояния датчиков (9);
- С - устройство совпадения (10);
- ПУ - пульт управления (11);
- D(Nк) - светодиодный дисплей «номер канала» (12);
- D(Tr) - светодиодный дисплей индикации номера разрушившегося датчик (13).

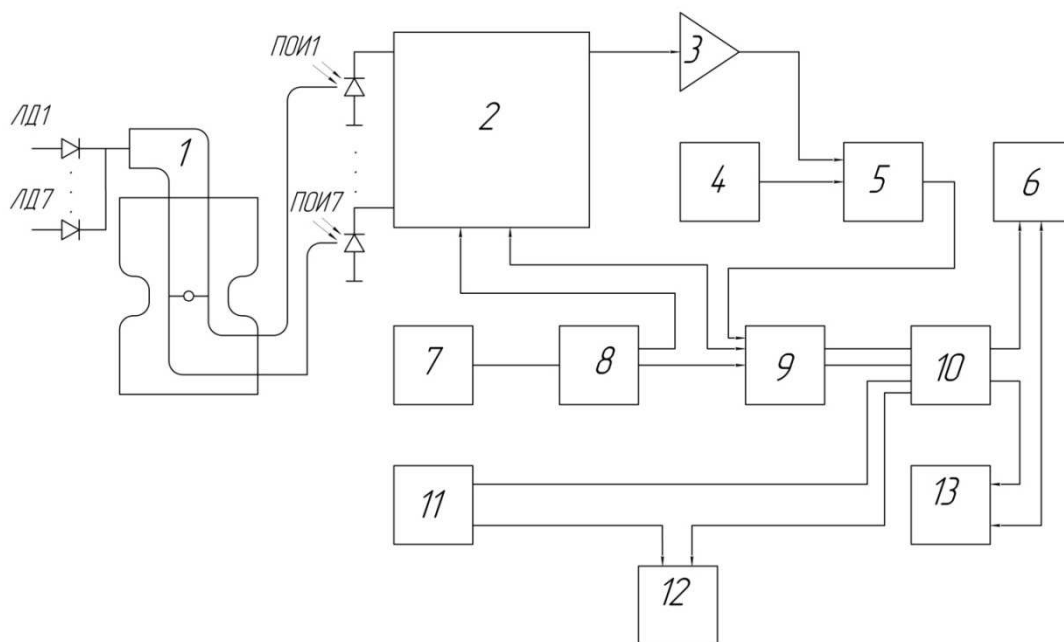


Рис. 1. Блок схема системы «ОСП-1Б»

Принцип работы системы на основе туннелирования мощности поверхностной волны через изменяющийся из-за давления малый зазор между двумя средами с высоким коэффициентом преломления (КП).

Работа ВОД основана на следующих теоретических идеях. При прохождении оптического излучения из среды с высоким КП в среду с меньшим КП происходит полное внутреннее отражение при угле падения луча, превышающем критический угол, но при этом небольшое электромагнитное поле проникает в среду с малым КП. Если приблизить третью среду с более высоким КП близким к первоначальной среде с зазором между ними из среды с малым КП, то луч света пройдёт в третью среду, т.е. произойдёт процесс туннелирования оптической мощности, величина которой зависит от толщины промежуточного слоя, углов падения света и КП сред.

Концы ВОД собираются с одной стороны в пучок, торец которого освещается лазером накаливания (ЛД). Другие концы датчиков подключены к индивидуальным фотоприемникам (блок СИУ). Сами датчики с помощью клея жёстко закрепляются на любом участке конструкции. Если на контролируемой поверхности начинает развиваться трещина, то происходит разрушение датчика и, следовательно, резкое ослабление интенсивности светового потока, попадающего на фотодетектор. Электронное устройство обрабатывает сигналы, поступающие с фотодетекторов, и реализует звуковую сигнализацию о моменте разрушения, индикацию номера разрушившегося датчика, а также оперативное отключение внешнего устройства. Возможно также визуальное обнаружение места разрушения по светящемуся пятнышку на контролируемой поверхности.

Устройство распределения импульсов представляет собой устройство с одним входом и восемью выходами. Импульсы, поступающие на вход (РИ), поочередно распределяются на его выходы. Временная диаграмма работы устройства показана на рис. 2.

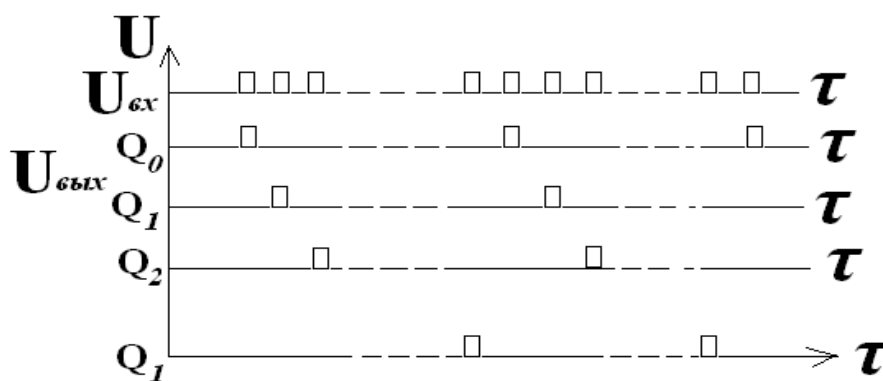


Рис. 2. Временная диаграмма

Устройство TCD состоит из восьми тактируемых D- триггеров. Их D- входы соединены друг с другом и образуют один D- вход TCD, на который поступает сигнал с выхода компаратора К. С- входы триггеров соединены с выходами РИ.

Принцип работы сигнализатора заключается в следующем. Торцы ОВ освещаются лазерными диодами ЛД1-ЛД7. Другие концы ОВ состыкованы с ПОИ₁-ПОИ₇.

С помощью ПУ в сигнализатор вводится информация о том, какие каналы используются для контроля. Номера используемых каналов высвечиваются на дисплее D(Нд). Импульсы, вырабатываемые ГИ, поступают на вход РИ. Импульсы с выходов РИ поступают на С- входы ТСД и адресные входы К_{СМ}. Напряжение, формируемое на выходе выбранного ФП и усиленное УФТ ($U_{\text{вых}}$), сравнивается с напряжением, генерируемым ИОН ($U_{\text{сн}}$), с помощью компаратора К, сигнал с которого поступает на D- вход ТСД. При этом соответствующий триггер устанавливается либо в состояние $Q = 1$, либо $Q = 0$, что соответствует целому и разрушившемуся датчику. Временная диаграмма работы ТСД по какому-либо из С-входов показана на рис. 3.

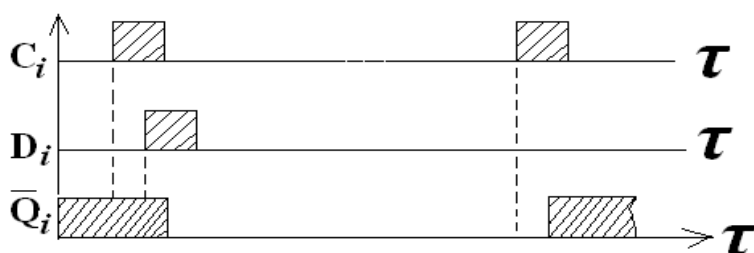


Рис. 3. Временная диаграмма

Сигналы с выходов ТСД и с ПУ поступают на устройство совпадения С, информация с выходов которого используется для управления устройством СиАО и D (Тр.). При разрушении какого-либо датчика загорается соответствующий светодиод дисплея D(тр.), включается звуковая сигнализация и формируется команда управления внешним устройством.

В сигнализаторе предусмотрены:

- Регулировка коэффициента усиления УФТ;
- Регулировка уровня срабатывания компаратора К-(ИОН);
- Блокировка реле управления внешними устройствами.
- Основные органы управления, сигнализации и коммутации расположены на передней панели блока СИУ:
- Разъёмы для стыковки световодов с фотодиодами:
- ПОИ 1÷7;
- Светодиоды дисплея D(Тр) «ТРЕЩИНА»;
- Светодиоды дисплея D(Нк) «НОМЕР КАНАЛА» для индикации номера используемого канала;
- Тумблеры блокировки неиспользуемых каналов;
- Тумблер и индикаторный светодиод блокировки реле управления «РЕЛЕ»;
- Ручка регулировки коэффициента усиления УФТ «ВЫХ»;
- Ручка регулировки выходного напряжения ИОН «ОП»;
- Разъёмы для подключения осциллографа к выходам УФТ и ИОН;

- Тумблер и индикаторный светодиод «СЕТЬ».

На задней панели блока расположены разъем питания 220В, предохранитель, клемма заземления, а также разъемы для подключения цепей управления внешними устройствами.

На передней панели блока ИС расположен разъем для подключения световодов и тумблер «СЕТЬ». На задней панели - разъем питания 220В, предохранитель и клемма заземления.

Инструкция по эксплуатации системы.

1. Перед первым включением прибора ознакомиться мерами предосторожности и правилами пользования, изложенными ниже.
2. Произвести внешний осмотр блоков прибора и убедиться в отсутствии ярко выраженных повреждений.
3. Заземлить блоки прибора.
4. Все тумблеры установить в нижнее положение.

Индикация разрушений.

Появление трещины на исследуемой конструкции сопровождается включением светодиода, соответствующего сработавшему датчику, включением звуковой сигнализации, а также срабатыванием реле управления внешними устройствами.

Преимущества данной системы по сравнению с другими известными устройствами состоят в том, что в отличие от датчиков, использующих электрический ток, оптоволоконные датчики не требуют изоляции, световоды не подвержены коррозии, а также обеспечивают визуализацию места разрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов, Н.Р. Оптоэлектронные системы с применением волоконно-оптических датчиков для контроля усилия (давления) / Узб. Физ. журнал, 2005. № 1. – С. 156–158.
2. Рахимов, Н.Р. Оптоэлектронная система с волоконными световодами для определения начального момента разрушения конструкций / ПТЭ, 2005. №4. – С. 161–162.
3. Серьёзов, А.Н. Оптоэлектронная система с волоконными световодами для обнаружения трещин в конструкциях летательных аппаратов //А.Н. Серьёзов, Н.Р. Рахимов, В.Н. Чаплыгин. сб. трудов Всероссийской отраслевой конференции. – Новосибирск: СибНИА, 2004. – С. 344–347.
4. Пат. 2261430 Российская Федерация, Способ определения мест предразрушения конструкций / Рахимов Н.Р., Серьёзов А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГУП Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина. - №2003132159; заявл. 03.11.03; опубл. 27.09.05, БИ 2005, №8.

УДК 681.723

М.С. Комбаров

ОАО «ПО НПЗ», Новосибирск

М.М. Кузнецов, А.Н. Соснов, Н.К. Соснова

СГГА, Новосибирск

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МИКРОСКОПА

Статья посвящена описанию системы автоматизированной обработки результатов измерений для инструментальных микроскопов типа ИМЦЛ.

M.S. Kombarov

Public corporation «Production association Novosibirsk instrument-making plant»

M.M. Kuznetsov, A.N. Sosnov, N.K. Sosnova

SSGA, Novosibirsk

SYSTEM OF AUTOMATED MEASUREMENT PROCESSING FOR THE TOOLMAKER'S MICROSCOPE

The system of automated measurement processing for toolmaker's microscope type IMSL is described.

Система предназначена для автоматизированной обработки результатов измерений и решения типовых измерительных задач при контроле деталей с помощью инструментальных микроскопов типа ИМЦЛ.

Система автоматизированной обработки результатов измерения предназначена для использования в составе инструментального микроскопа ИМЦЛ200х75А, или его аналогов. Программное обеспечение системы может применяться для других измерительных приборов аналогичного назначения (измерительных проекторов типа ПИ300, ПИ600).

Система предназначена для вывода изображения поля зрения наблюдаемого в инструментальный микроскоп на экран персонального компьютера, наложения визирных знаков («виртуальных сеток») на полученное изображение, анализ узкого участка полученного изображения с определением момента пересечения границы наблюдаемого объекта, сохранения и распечатки полученного изображения.

Функциональная схема системы захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерений микроскопа ИМЦЛ представлена на рис. 1.

Назначение функциональных блоков системы.

Видеокамера предназначена для преобразования визуального изображения, даваемого инструментальным микроскопом, в последовательность

электрических импульсов передаваемых в персональный компьютер по последовательной шине типа USB.

Блок устройства цифрового отсчетного УЦО-209С предназначен для обеспечения питания двух преобразователей линейных перемещений входящих в состав инструментального микроскопа [1].



Рис. 1. Функциональная схема системы захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерений микроскопа ИМЦЛ

Модуль обработки видеоинформации предназначен для преобразования последовательного потока поступающего от видеокамеры по шине USB в видеопоток для его дальнейшего анализа, преобразования и визуализации другими модулями.

Модуль анализа изображения и выделения края предназначен для проведения анализа видеопотока и определения края изображения поступающего с видеокамеры и выработки управляющего сигнала на передачу текущих координат измерительного стола инструментального микроскопа, а также передачи видеопотока для модуля визуализации информации.

Модуль геометрической обработки информации предназначен для получения текущих координат измерительного стола по команде оператора или управляющего сигнала модуля анализа изображения, определения отдельных геометрических параметров контролируемого объекта, архивации геометрических параметров, передачи информации о геометрических параметрах объекта в модуль формирования протокола и модуль визуализации информации.

Модуль формирования протокола предназначен для формирования протокола контроля объекта, расчета отклонения геометрических параметров от

заданных значений, передачи сформированного протокола на печать или архивации.

Модуль визуализации информации предназначен формирования графического пользовательского интерфейса, вывода на экран монитора видеоизображения поступающего от видеокамеры, с наложенным на него изображение «виртуальной сетки», визуализации геометрических параметров контролируемого объекта, отображения текущих координат измерительного стола, управляющих элементов графического интерфейса («программных кнопок»), а также ввода управляющих команд оператора.

Функциональное взаимодействие блоков и модулей системы.

Блок-схема системы захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерения представлена на рис. 2.

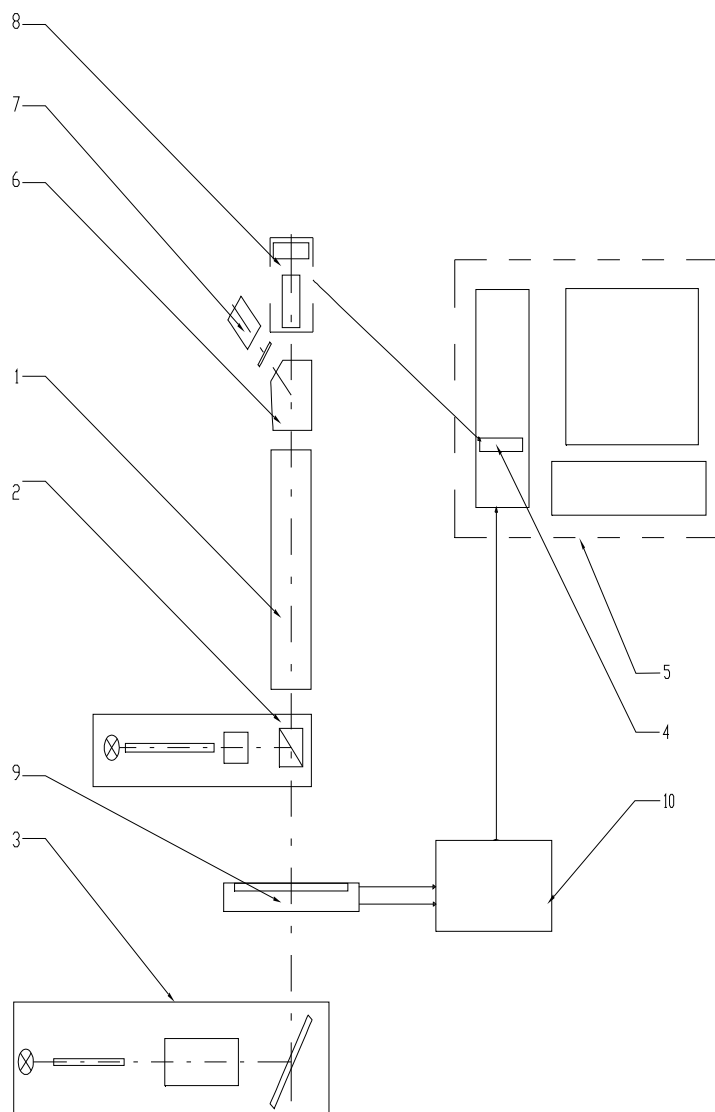


Рис. 2. Блок-схема системы захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерения

На схеме обозначены: 1 – объектив (сменный); 2 – осветитель отраженного света; 3 – осветитель проходящего света; 4 – плата видеозахвата; 5 – персональный компьютер; 6 – тубус микроскопа; 7 – окуляр; 8 – видеокамера; 9 – измерительный стол; 10 – блок УЦО-209С.

Осветитель проходящего света 3 предназначен для подсветки контролируемого объекта расположенного на поверхности двухкоординатного измерительного стола 9 при работе микроскопа в режиме проходящего света применяемого при контроле геометрических параметров внешнего контура объекта по теневой картине.

Осветитель отраженного света 2 предназначен для освещения контролируемого объекта, расположенного на поверхности измерительного стола при работе микроскопа в режиме отраженного света применяемого при контроле геометрических параметров на верхней поверхности объекта.

Сменный объектив 1 предназначен для построения увеличенного изображения контролируемого объекта и передачи его для наблюдения через визирный или видеоканал.

Тубус микроскопа 6 предназначен для разделения светового пучка от объектива 1 на два потока и их передачи в визирный и видеоканалы.

Окуляр 7 (или окулярная головка) предназначены для визуального наблюдения увеличенного изображения контролируемого объекта даваемого объективом 1.

Видеокамера 8 предназначена для преобразования увеличенного изображения контролируемого объекта от объектива 1 в поток электрических импульсов.

Измерительный стол 9 предназначен для расположения на его поверхности контролируемого объекта и его точного перемещения в процессе контроля, а также измерения величины этого перемещения по двум координатам с помощью двух датчиков линейных перемещений.

Плата видеозахвата 4 предназначена для преобразования видеосигнала от видеокамеры 8 в поток цифровых данных для дальнейшей обработки программным обеспечением.

Персональный компьютер 5 предназначен для обработки информации поступающей от блока УЦО 10 и платы видеозахвата 4 с помощью программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов, М.М. Применение программного обеспечения для измерительных микроскопов в производстве [Текст] / М.М. Кузнецов, М.С. Комбаров //Сб. научных трудов аспирантов и молодых ученых СГГА, 2009 г. - Новосибирск: СГГА, 2009. -Вып.6. - С. 25-28.

© М.С. Комбаров, М.М. Кузнецов, А.Н. Соснов, Н.К. Соснова, 2011

УДК 681.7:6811.2

П.В. Петров, Е.Г. Бобылева, А.А. Марач

СГГА, Новосибирск

АУДИТ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

В статье рассматривается задача более активного проведения аудита в приборостроении и, в частном случае, при подготовке специалистов для приборостроения.

P.V. Petrov, E.G. Bobileva, A.A. Marach

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

AUDIT IN INSTRUMENT-MAKING

The main aspects of the audit at instrument-making enterprises are considered.

Цель данной статьи – обратить внимание на необходимость дальнейшей научной проработки и практического применения аудита на предприятиях приборостроения и, в частном случае, в учебном процессе ГОУВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» (СГГА) в ходе подготовки высококвалифицированных кадров для приборостроения.

По данным Интернета, «аудит впервые появился наравне с возникновением товарно-денежных отношений, примерно за 700 лет до н. э. в Китае. По настоящему стал развиваться в 19 веке, в связи с бурным развитием промышленности и торговли. В СССР аудит развит не был и появился в России в конце 20 века».

Напомним, что аудит (в переводе с латинского – «слушание»), есть «независимая проверка, которая необходима для того, чтобы выразить то или иное мнение о достоверности». На сегодня существует множество разновидностей аудита. Например, финансовый, экологический, технический, операционный, промышленный, технологический.

Несмотря на то, что понятие аудита у всех «на слуху», складывается впечатление, что комплексная и независимая экспертиза производства в приборостроении остается мало востребованной, исключая финансовый аудит. Промышленный, энергетический, технический и технологический аудиты, хоть терминологически определены, не имеют четких границ между собой, а содержательная часть не регламентирована.

Мы не ставим перед собой задачу создания общей теории аудита. Нас интересуют вопросы совершенствования аудита в приборостроении, начиная с аудита производственной деятельности в рамках подготовки специалистов по направлению «приборостроение» в СГГА, и переходя к аудиту реального

производства, например, элементов технологий, выполняемых на Новосибирском приборостроительном заводе (НПЗ).

В настоящее время, аудит в учебном процессе СГГА в рамках подготовки инженеров-технологов практикуется только в инициативном порядке и в очень узком масштабе. Речь идет о цикле аналитических, практических и лекционных занятий в дисциплинах «технология приборостроения» и «специальные разделы технологии приборостроения».

В ходе практических занятий применяются, например, в течение 10 лет оригинальные авторские методические указания по отработке чертежей и конструкции деталей приборов на технологичность. Их оригинальность состоит в систематизации оценочных показателей (правил), которые могут настраиваться с учётом размерности задачи, а также – в создании соответствующих форм регистрации и отчетности.

В ходе лекционных занятий анализу подвергаются маршрутные и операционные описания технологических процессов (ТП) обработки резанием, выполняемых в условиях механических цехов Новосибирского приборостроительного завода. Анализ выполняется на основе датированных и поименованных исправлений в технологических документах.

Анализ, на сегодняшний день, предполагает следующие работы:

- Выявление не технологичности чертежей деталей, элементов конструкции деталей и элементов ТП;
- Выявление ошибок оформления технологической документации (при выполнении операционных эскизов, схем установок, описании переходов и средств технологического оснащения и т. п.);
- Реконструкция условий и динамики принятия технологических решений заводскими технологами;
- Обоснование принимаемых заводскими технологами решений;
- Рассмотрение возможных альтернативных технологических решений;
- Выявление профессионального «почерка» заводских технологов.

В перспективе стоит задача расширения масштаба аудита и его распространения по другим ключевым учебным дисциплинам, используя методы моделирования различных производственных ситуаций. Аудит, в форме самостоятельной работы студента в рамках курсового и (или) дипломного проекта, необходим для систематизации знаний, полученных в ходе обучения, воспитания аналитического и аргументированного подхода к решению любой производственной проблемы.

Аудит в реальной производственной обстановке должен отвечать более строгим требованиям, быть систематическим и содержать в себе следующие обязательные составляющие:

- Постановку четких целей и масштабов;
- Независимость проведения внешним или внутренним аудитором;
- Комплексный характер экспертизы;
- Результативность и объективность оценки (оценок);

– Чёткую форму отчётности и предписаний для исправлений выявленных замечаний.

Аудит в приборостроении, независимо от масштаба проведения относительно структурного подразделения (рабочее место, участок, отдел, цех, предприятие, объединение) должен обязательно включать в себя следующие основные компоненты, или разновидности аудита:

1) Социальный аудит (вопросы здоровья, охраны труда и безопасной жизнедеятельности человека, профессиональной компетенции, возрастного ценза, человеческих качеств);

2) Планово-экономический аудит (вопросы планирования, технического нормирования, оплаты труда и т. п.);

3) Организационно-технологический аудит (вопросы организации структурных подразделений производства, соблюдения технологической дисциплины, оснащённости новой техникой и технологий и т.п.);

4) Экологический аудит (экология производственной среды).

Судя по перечню основных компонент, аудит превращается в необозримую и сложную систему экспертных оценок, которая имеет не только техническую природу, но также юридическую и этическую. Но, во-первых, на сегодня имеются мощные и доступные вычислительные ресурсы, во-вторых, система может при необходимости менять свой масштаб, в-третьих, чаще всего важен именно комплексный характер аудита, дающий представление о состоянии объекта или процесса, в целом.

Тем ни менее есть несколько замечаний о научной и практической проработке аудита в приборостроении.

1. Чем более глубоким и разносторонним будет аудит на предприятии приборостроения, тем результативность аудита будет ценнее. Поэтому, проводя аудит в приборостроении, нельзя ограничиваться технологическим аудитом. Необходимо учитывать социальные моменты, экологические и т. п. Однако вопрос масштабности аудита является производным от мотива его проведения. Если заказчиком является само предприятие, то аудит проводится согласно заданию заказчика. Если аудит выполняется планово «по закону», то масштаб аудита будет другим.

2. Ключевым содержанием аудита является установление соответствия между реальными делами на производстве и нормативными положениями. Однако нормы могут не поспевать за современными тенденциями в приборостроении, либо не учитывать специфику сложившейся ситуации на производстве. Как быть?

3. Аудит, как любая задача, решается в системе ограничений и приоритетов, которые с самого начала требуют своего определения и ранжирования.

На текущий 2011 год по кафедре технологии оптического производства СГГА запланирована и выполняется научно-исследовательская работа (НИР) по

вопросу организации и проведения аудита в приборостроении. Результатом НИР должна стать методика аудита модели механического участка НПЗ.

© П.В. Петров, Е.Г. Бобылева, А.А. Марач, 2011

УДК 004.9

Г.А. Сырецкий

СГГА, НГТУ, Новосибирск

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ЦИФРОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Рассматриваются основные положения вычислительного интеллекта с ориентацией на идентификацию объектов по их цифровым изображениям. Уделяется внимание нейробиологическим, физиологическим и иммунологическим вычислениям. Рассматривается идентификация объектов по цифровым изображениям, полученным с помощью тепловизора, матричного ИК-приемника с подсветкой и сканера текстов и чертежей.

G.A. Syretsky

SSGA, Novosibirsk state technical university, Novosibirsk

COMPUTING INTELLIGENCE AND OBJECTS IDENTIFICATION BY THEIR DIGITAL IMAGES

The features of the computing intelligence oriented at identifying objects by their digital images are presented. Neurological, physiological and immunological computations are emphasized. Objects identification by digital images produced by the thermal imager, illuminated matrix infrared detector and texts and drawings scanner are considered.

Сейчас наблюдается рост востребованности в разработке новых технологий и систем искусственного интеллекта для различных сфер деятельности и приложений, в их числе при автоматизации процессов тактического и оперативного управления, автоматизации планирования и проектирования, автоматизации мониторинга, диагностики и прогнозирования обслуживания сложного технологического оборудования, автоматизации сложных научных исследований и технологических процессов. Такие технологии и системы базируются на моделировании биологических принципов обработки информации и элементов человеческого интеллекта, благодаря которым естественные системы могут эффективно и экономично решать в реальном времени многомерные задачи высокой вычислительной сложности. Возможность создания такого многообразия технологий, систем и сетей обусловлена, прежде всего, достигнутыми успехами в производстве средств вычислительной техники, символического искусственного интеллекта и интеллектуальных вычислений (Computational Intelligence, вычислительного интеллекта) [1,3]. Интеллектуальные вычисления связаны с применением, в частности таких технологий информатики как искусственные нейронные и

иммунные сети, вероятностные методы, фазиматематика и эволюционные вычисления (в их числе, генетические алгоритмы, генетическое программирование, эволюционное программирование и эволюционные стратегии).

В настоящее время многие прикладные системы содержат модули идентификации объектов по их цифровым изображениям. Примерами таких систем служат системы обнаружения летательных аппаратов и их сопровождения, системы зондирования поверхности планеты, системы мониторинга дорожно-транспортных нарушений, роботизированные технологические системы, системы производственной логистики, системы мониторинга состояния режущего инструмента станков с ЧПУ, системы контроля сварочных швов узлов, системы биометрической идентификации личности, системы оптического распознавания текста и чертежей, электронные микроскопы и зондовые сканирующие микроскопы. В частности, в таких системах идентификация осуществляется после цифровой обработки снимков тепловизоров и тепловизионных приборов ночного видения, сканирующих устройств с инфракрасной подсветкой, видеокамер и телескопов, ультрафиолетовых приемников и сканеров, флюорографических и рентгеновских аппаратов.

В докладе рассматриваются базовые составляющие ключевых направлений вычислительного интеллекта с ориентацией на идентификацию различных объектов. Цифровые изображения таких объектов получены на основе цифровой обработки снимков тепловизора, матричного ИК-приемника и оптического сканера компьютера.

На рис. 1 приведена формальная модель биологического нейрона, которая является базисом нейросетей, обсуждаемых в докладе. Нейросетевая идентификация основывается на использовании обучаемых и несупервизорных нейросетей различных топологий.

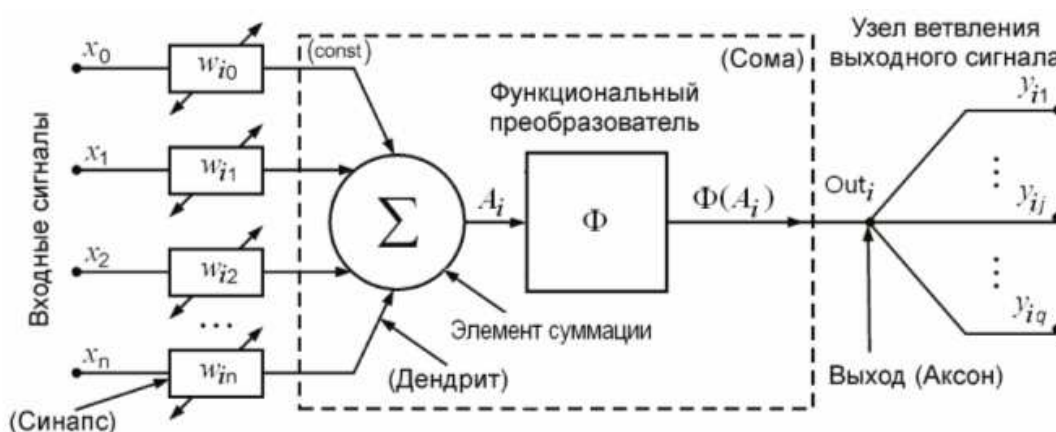


Рис. 1. Формальная модель нейрона

Основой нечеткого идентификатора служит многоканальный фазиконтроллер, структура которого приведена на рис. 2.

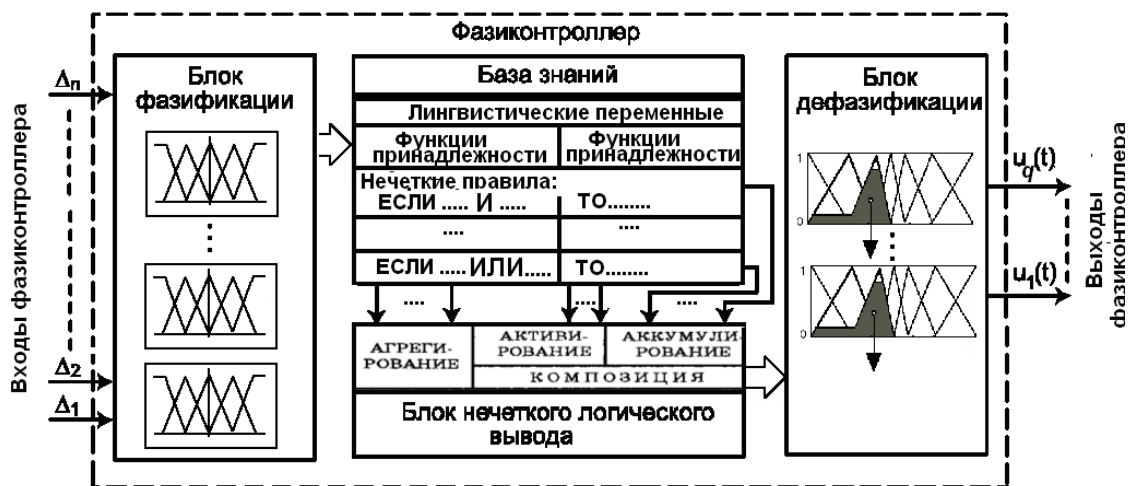


Рис. 2. Обобщенная структура фазиконтроллера

Анализ достоинств и недостатков идентификации объектов нейросетями и нечеткими контроллерами свидетельствует о целесообразности объединения достоинств нейробиологических и нечетких вычислений в нейронечетких сетях, простейшая структура которой приведена на рис. 3. В докладе осуждаются различные структуры нейронечетких и фазинейронных сетей, ориентированных на идентификацию объектов различной природы.

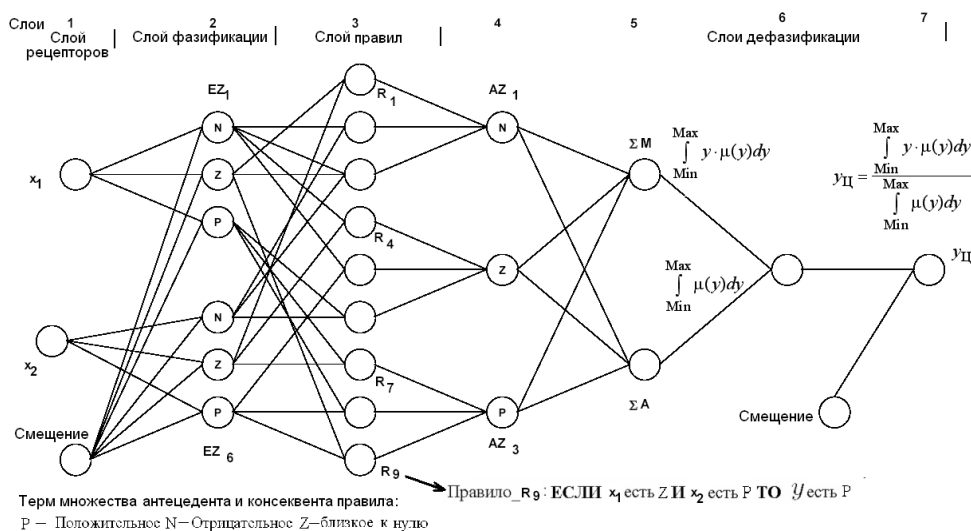


Рис. 3. Структура простейшей нейронечеткой сети

В заключительной части доклада уделяется особое внимание основам иммунологических вычислений и искусственным иммунным системам (ИИС), ориентированным на идентификацию текстовой информации и объектов изображений. Согласно [4] ИИС – «адаптивные системы, инспирированные теоретической иммунологией и наблюдаемыми иммунными функциями, принципами и моделями, которые применимы для решения проблем». Под *иммунитетом* понимают способность организма локализовать место вторжения чужеродных агентов, их распознавать, разрушать/нейтрализовать и удалять из внутренней среды организма. К чужеродным агентам (вредоносным клеткам и

молекулам – продуктам чужеродной генетической информации) относятся а) биологически агрессивные агенты (группы молекул (образы (паттерны) патогенности), характерные для патогенов (например, вирусов и бактерий) и распознаваемые паттернраспознающими рецепторами); б) антигены (распознаваемые антигенраспознающими рецепторами лимфоцитов); в) стрессорные молекулы (собственные молекулы организма, появляющиеся на мембране при клеточном стрессе и сигнализирующие об опасности. Их распознавание осуществляется преимущественно рецепторами клеток естественных киллеров).

В настоящее время существует две точки зрения о главной цели иммунной системы: а) точка зрения классической иммунологии. Она базируется на распознавании «свое» и «не-свое» (далее «свой-чужой») и последующем устранении влияния деструктивных чужих биологических объектов; б) точка зрения теории опасности (Danger Theory). Она предполагает, что ЕИС определяет опасные элементы и события независимо от их принадлежности к своим или чужим (<http://www.dangertheory.com>).

С классической точки зрения иммунная система человека имеет многослойную архитектуру, верхними уровнями которой служат барьерные системы многоклеточного организма (среди них, эпителий кожи, эпителий слизистой оболочки глаза и кишечника, жидкости с различными рН и температура), а самыми нижними защитными уровнями – системы врожденного (Innate Immune System) и приобретенного (адаптивного) (Acquired (Adaptive) Immune System) иммунитета, обеспечивающие внеклеточные и клеточные реакции.

Система адаптивного иммунитета характеризуется распознаванием и классификацией агентов на «свой» и «чужой», первичным гуморальным ответом и при повторном контакте с теми же антигенами меньшей дозы ускоренным вторичным иммунным ответом, основанном на клетках иммунологической памяти (рис. 5). В основном адаптивный иммунный ответ базируется на постоянных межклеточных контактах и кооперации между клетками. Компонентами данного иммунитета служат клетки памяти, лимфоциты и антитела (рис. 6). Они специфически распознают (связывают) конкретный возбудитель внутри и вне клеток, в тканевой жидкости и крови и инициируют иммунный ответ.

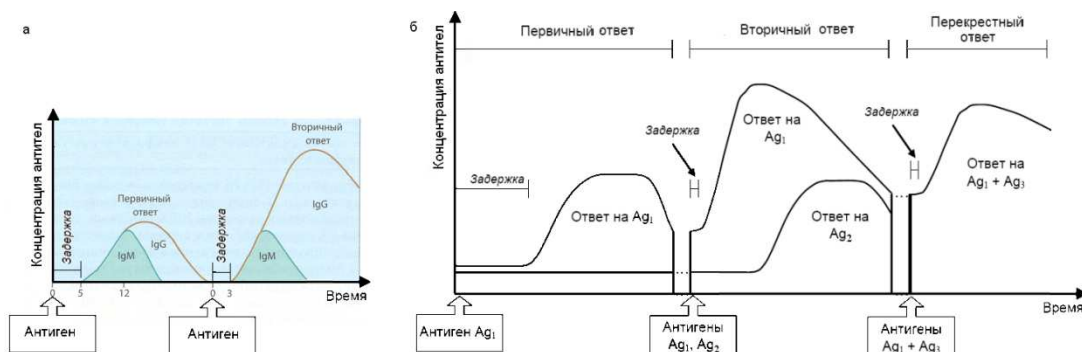


Рис. 5. Иммунный ответ адаптивного иммунитета на антигены одного (а) и нескольких (б) типов

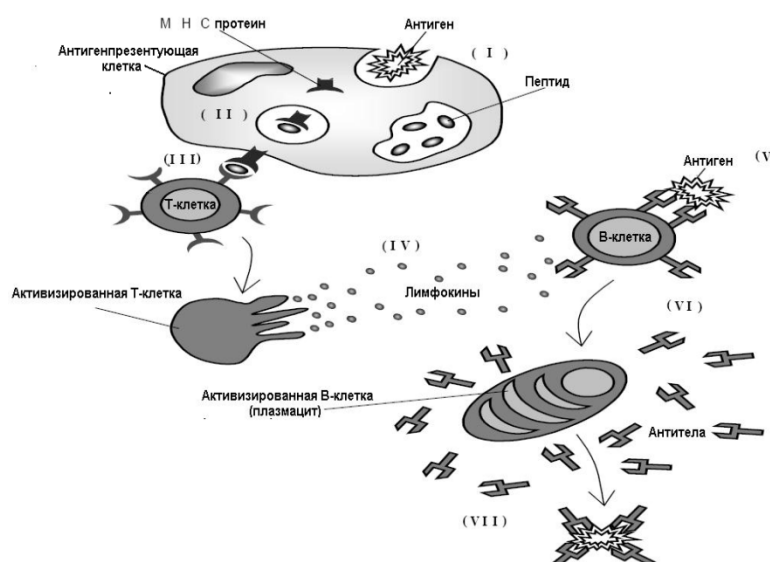


Рис. 6. Схематичное представление лимфоцитарных процессов иммунной системы

В иммунной системе антигенсвязывающие рецепторы лимфоцитов представлены антителами – рецепторами, существующими как виде отдельной молекулы, так и на мембранной поверхности В-клеток и Т-клеток. На рис. 4 приведены структуры эпитопов (молекулярных участков специфической связи с антителом) антигенов и структуры антител.

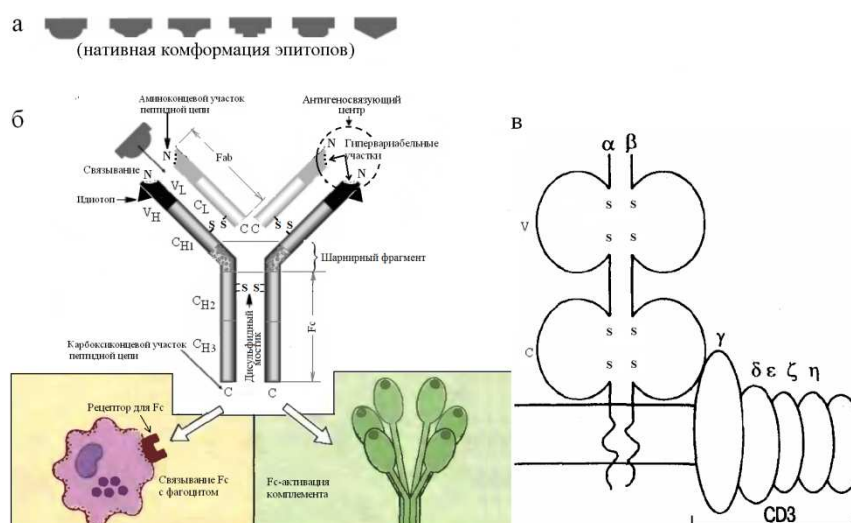
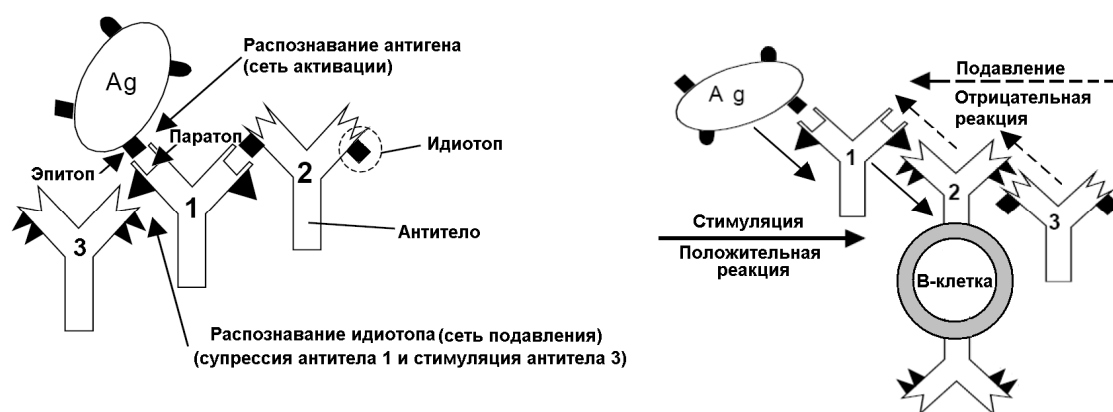


Рис. 4. Эпитопы антигенов (а), упрощенная структура антитела: рецептора В-клетки с двумя активными центрами (б) и упрощенное строение рецептора Т-клетки (в)

В докладе обсуждаются генетические механизмы формирования разнообразия антигенсвязывающих рецепторов В-клеток и Т-клеток.

Ныне в технических приложениях популярны такие алгоритмы иммунологии а) отрицательной селекции (Negative Selection Algorithms); б) клональной селекции (Clonal Selection Algorithm); в) иммунной сети (Immune

Network Algorithms); г) костного мозга (Bone Marrow Algorithms). На рис. 6 приведен пример идиотипических сетей гипотезы Ерне.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сырецкий Г.А. Моделирование систем. Часть 2. Интеллектуальные системы: учебн. пособие / Г.А. Сырецкий. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. — 80 с.
2. Сырецкий Г.А. Моделирование систем. Часть 3: учебн. пособие / Г.А. Сырецкий. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. — 100 с.
3. Konar A. Computational Intellingence: Principles, Techniques and Applications / Konar Amit. — Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
4. De Castro L.N. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach / L.N. de Castro, J. Timmis — Springer-Verlag, London. UK, 2002 — 364 p.

© Г.А. Сырецкий, 2011

УДК 543.423: 543.08

В.А. Лабусов^{1,2,3}, Д.О. Селюнин^{1,2}, И.А. Зарубин^{1,2}, С.А. Бабин^{1,2}, З.В. Семёнов^{1,2}

¹ ИАиЭ СО РАН, ² ООО «ВМК-Оптоэлектроника», ³ НГТУ, Новосибирск

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ МАЭС – СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Рассмотрены структура и характеристики современного средства регистрации и обработки эмиссионных спектров – анализаторов МАЭС, созданных на основе многокристальных сборок линеек фотодиодов, а также оптические схемы и параметры оснащаемых ими спектральных приборов. Приведены фотоэлектрические и конструктивные параметры базовых линеек фотодиодов, а также типы созданных на их основе термостабилизированных многокристальных сборок.

V.A. Labusov^{1,2,3}, D.O. Selunin^{1,2}, I.A. Zarubin^{1,2}, S.A. Babin^{1,2}, Z.V. Semenov^{1,2}

¹ Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 630090, Novosibirsk, prosp. ak. Koptuyuga, 1; ² JSC «VMK-Optoelektronika», 630090, Novosibirsk, prosp. ak.

Koptuyuga, 1;

³ Novosibirsk State Technical University, 630092, Novosibirsk, prosp. K. Marksa, 20

MULTICHANNEL ANALYZERS OF EMISSION SPECTRA MAES – MEASURING TOOLS FOR ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

Structure and characteristics of modern tools for registration and processing of emission spectra MAES created on the basis of multichip assemblies of photodiode arrays as well as the optical schemes and parameters of spectral devices equipped with them are considered. Photo-electric and design data of basic photodiode arrays, and also types of the thermally stabilized multichip assemblies of photodiode arrays are presented.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭС) в настоящее время – один из наиболее информативных многоэлементных методов анализа. Его широко используют для контроля технологических процессов и готовой продукции на предприятиях цветной и черной металлургии, в машиностроении, в атомной, автомобильной, авиационной промышленности, в геологии, при обогащении руд полезных ископаемых, в судебно-медицинской экспертизе и в других областях народного хозяйства. До последней четверти прошлого века типичной для АЭС была регистрация спектров на фотопластинках и с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Использование для регистрации многоэлементных твердотельных детекторов излучения (ТДИ) – линейных и матричных – произвело подлинную революцию в АЭС. И дело здесь не только в

том, что время выполнения анализа сократилось в десятки раз. Регистрация спектров ТДИ дала возможность существенно улучшить все параметры анализа: снизить пределы обнаружения аналитов, повысить точность анализа, эффективно учитывать спектральные наложения.

В современных зарубежных и отечественных атомно-эмиссионных спектрометрах применяются охлаждаемые линейные и матричные ТДИ - приборы с зарядовой связью (ПЗС), приборы с зарядовой инжекцией (ПЗИ), фотодиодные детекторы [1]. Матричные ТДИ используются в приборах со скрещенной дисперсией – эшелле-спектрометрах, линейные – в приборах с одномерной дисперсией. Достоинство эшелле-спектрометров состоит в их малогабаритности и простоте системы регистрации (один или два матричных детектора). Длина регистрируемого спектра в спектрометрах с одномерной дисперсией требует применения сборки линейных детекторов (до нескольких десятков), однако возможность использования второй координаты (высоты входной щели) для увеличения количества регистрируемых фотонов в каждой спектральной линии и, соответственно, чувствительности оправдывает технологические сложности изготовления таких сборок.

С конца прошлого века проводится работа по созданию и совершенствованию линейного многоканального анализатора эмиссионных спектров (МАЭС) на основе многокристальныхборок линеек фотодиодов. МАЭС нашел широкое применение в аналитических лабораториях России и стран СНГ, используется с разными источниками возбуждения излучения – дугой постоянного и переменного тока, искрой, лазером, индуктивно связанной плазмой и разными спектральными приборами – призмными и дифракционными, отечественными и зарубежными. В 2001 г. он включен в Государственный реестр средств измерений РФ под № 21013-01, как средство измерения интенсивности спектральных линий с последующим вычислением концентраций определяемых элементов. МАЭС непрерывно совершенствуется на основе опыта его использования в многочисленных аналитических лабораториях. В настоящей статье изложено современное состояние МАЭС.

Атомно-эмиссионные спектры, получаемые с помощью большинства существующих и создаваемых для АЭС спектральных приборов с одномерной дисперсией, обладают большой протяженностью (от 15 до 50 см и более), часто имеют неплоскую поверхность фокусировки, наблюдаются в области длин волн 160–900 нм и имеют большое количество спектральных линий шириной 20–30 мкм, высотой от 1 до 30 мм и диапазон изменения интенсивности $10^4 - 10^6$. Современный уровень решения задачи регистрации таких спектров состоит в использовании гибридныхборок из многих фотодетекторных линеек в бескорпусном (кристальном) исполнении, расположенных на монолитном термостабилизированном основании. При этом для каждого типа спектрального прибора изготавливается своя сборка, отличающаяся необходимым количеством линеек, расположенных по соответствующей поверхности фокусировки спектра.

Базовая линейка фотодиодов. Для построения гибридных сборок создана базовая линейка фотодиодов БЛПП-369 с фотоэлектрическими, геометрическими и конструктивными характеристиками, пригодными для регистрации атомно-эмиссионных спектров [2]. Линейка содержит 2612 фотодиодов с шагом размещения 12,5 мкм, высотой 1 мм и динамическим диапазоном 10^4 . Линейка выполнена в виде кремниевого кристалла длиной 33 мм. Расстояние фоточувствительной зоны до краев кристалла – 0,2 мм. С целью создания многокристальных сборок контакты линейки выведены на одну сторону кристалла. Как показано на рис. 1, они соединяются с разъемами электронной платы с помощью гибких полиамидных шлейфов.



Рис. 1. Внешний вид бескорпусной линейки фотодиодов БЛПП-369

Фотодиоды линейки БЛПП-369 чувствительны к излучению в области 160 ÷ 1100 нм [3]. На рис. 2, а приведен характерный график зависимости их квантовой эффективности от длины волны излучения. Видно, что линейки обладают высокой квантовой эффективностью в диапазоне длин волн от 180 до 800 нм. Достаточно высокие значения квантовой эффективности фотодиоды сохраняют вплоть до 160 нм (рис. 2, б).

Созданы три модификации линейки БЛПП-369. Первая из них (БЛПП-2Б) содержит два ряда фотодиодов с высотой 1000 мкм и 10 мкм, шаг размещения 12,5 мкм и две идентичные схемы считывания сигналов, обеспечивающие регистрацию атомно-эмиссионных спектров в динамическом диапазоне 10^6 . Вторая модификация – БЛПП-2В – имеет шаг размещения фотодиодов 6,25 мкм, обеспечивающий более высокую разрешающую способность. Третья модификация – БЛПП-369М4 имеет высоту фотодиодов 4 мм, что увеличивает количество зарегистрированных фотонов в каждой спектральной линии в четыре раза.

Многокристальные сборки линеек. Разработаны методы построения гибридных многокристальных сборок линеек фотодиодов, в том числе сборок без «мертвых» зон, позволившие решить проблему создания линейных детекторов оптического излучения большого размера для оснащения подавляющего большинства спектральных приборов, применяемых в атомно-эмиссионном спектральном анализе [4,5]. Бескорпусные кристаллы линеек с полиамидными шлейфами размещены на едином термостабилизированном основании. Задача стабилизации фотоэлектрических параметров фотоячеек и снижения порога их чувствительности решена за счет уменьшения и стабилизации температуры линеек с помощью микрохолодильников Пельтье. Влияние дрейфа спектральных линий на результаты анализа в этом случае практически исключено за счет автоматической коррекции температурного

сдвига спектров по 2-3 реперным линиям на сборку. Сборки выполнены в герметичном корпусе с кварцевым входным окном и наполнены сухим азотом с избыточным давлением. Внутри сборок установлены датчики давления и температуры, а также энергонезависимая память для хранения информации о сборке (тип кристаллов, их количество, заводской номер и т. д.). Выводы контактов линейки фотодиодов на одну сторону кристалла и применение полиамидного шлейфа, обеспечивающего разъемное соединение с печатной платой, позволяют разместить линейки по поверхности фокусировки спектра различной кривизны, а также в несколько рядов.

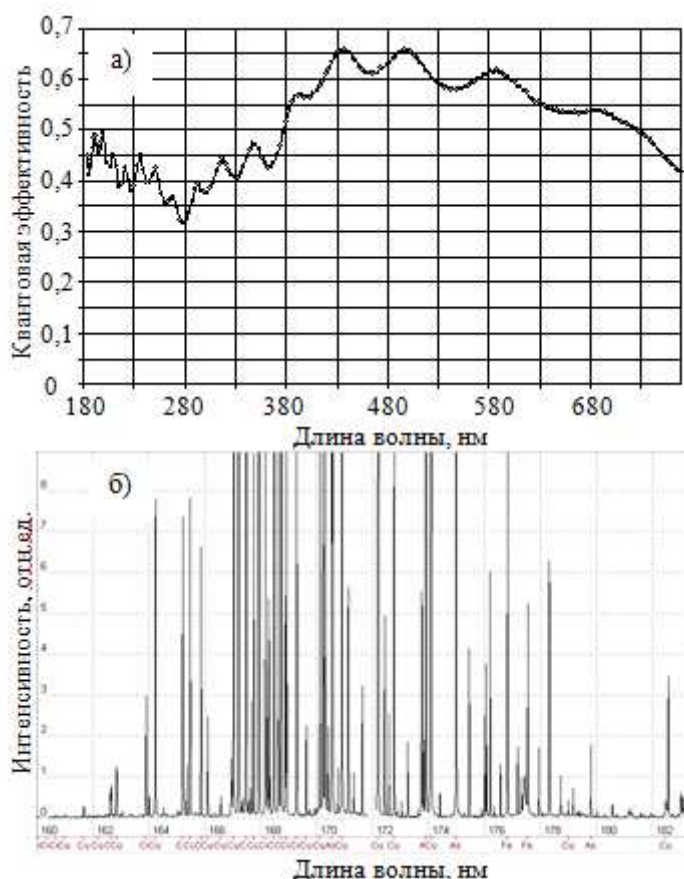


Рис. 2. Чувствительности фотодиодов линейки БЛПП-369:

а – зависимость квантовой эффективности от длины волны излучения, б – фрагмент атомно-эмиссионного спектра меди в области 160–182 нм, зарегистрированный линейками БЛПП-369

Основные типы многокристалльных сборок линейных детекторов представлены на рис. 3. *Плоские сборки* (рис. 3, а) используются для оснащения спектрографов с плоскими фокальными поверхностями и одномерной дисперсией, т. е. спектрографов, созданных для работы с фотопластинками (ИСП – 28, ИСП – 30, ДФС – 8, ДФС – 13, PGS – 2 и др.). В *вогнутых сборках* (рис. 3, б) линейки расположены по линиям аппроксимации дуги отрезками, равными длине одиночного кристалла. Такие сборки предназначены для использования в квантометрах с расположенными по кругу Роуланда фокальными

поверхностями и одномерной дисперсией взамен ранее используемых в них ФЭУ (МФС – 3, 4, 5, 6, 7, 8; ДФС– 10; ДФС – 36; ДФС – 41; ДФС – 44; ДФС – 51; ДФС – 458С и др.). *Многострочные сборки* (рис. 3, в) предназначены для регистрации спектров в спектрографах со скрещенной дисперсией. Линейки размещены в несколько рядов (строк) таким образом, чтобы обеспечить регистрацию каждого из порядков спектра. При этом кристаллы располагаются в направлении дисперсии дифракционной решетки. Такие сборки имеют выпуклость в горизонтальном направлении и используются в спектрографах со скрещенной дисперсией типа СТЭ-1. Варианты стыковки кристаллов линеек в многокристальных сборках показаны на рис. 3, г.

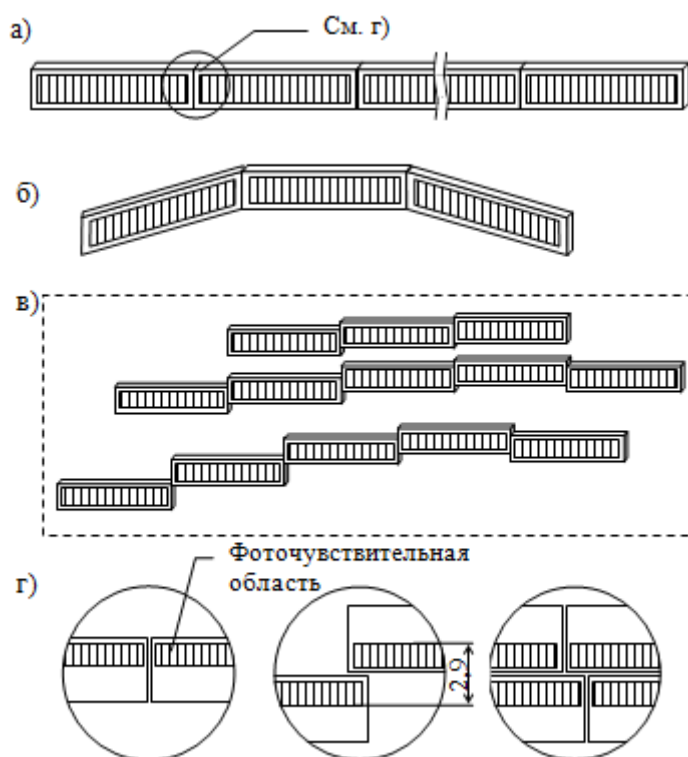


Рис. 3. Основные типы многокристальных сборок; а – плоские, б – вогнутые, в – многострочные, г – варианты стыковки кристаллов (с зазором, без зазоров, в две строки)

Многоканальные анализаторы эмиссионных спектров [6,7]. Структура МАЭС приведёна на рис. 4. Анализатор включает в себя многокристальную сборку, блок электронной регистрации, блок питания и компьютер. Изображение спектра, получаемое на выходе спектрального прибора, формируется на фоточувствительной поверхности многокристальной сборки. Фотодиоды линеек в многокристальных сборках регистрируют спектр одновременно. Полученные сигналы с помощью 16-разрядного АЦП преобразуются в цифровые значения, которые передаются в компьютер и подвергаются дальнейшей обработке как зарегистрированный спектр. Работа МАЭС осуществляется под управлением программного обеспечения (ПО) «Атом». Измерение интенсивностей спектральных линий проводится в

единицах условной шкалы (%) и предусматривает интегрирование фотооткликов нескольких ячеек, находящихся в зоне спектральной линии, с вычитанием интенсивности фона в их окрестности.

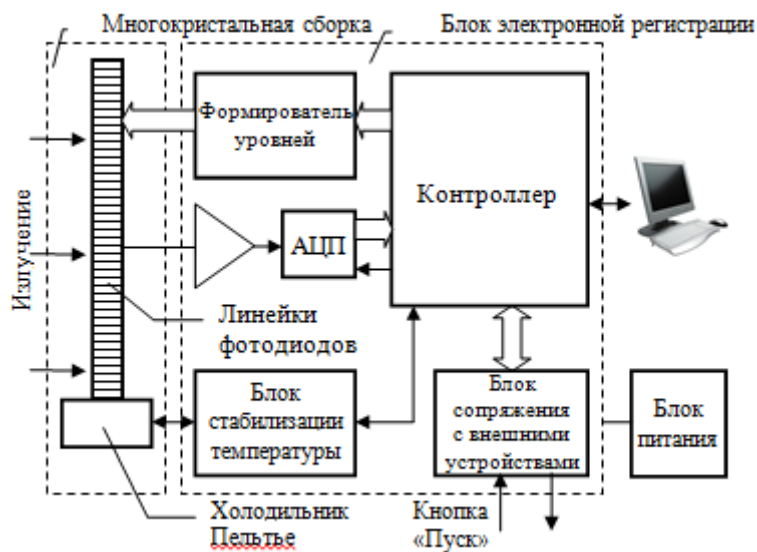


Рис. 4. Структурная схема анализатора МАЭС

Измерительный канал МАЭС – совокупность взаимосвязанных элементов его фотоэлектронной системы, обеспечивающая преобразование интенсивности входного излучения, падающего на одну фотоячейку, в выходной электрический сигнал, преобразованный в цифровую форму. Реально наблюдаемая зависимость выходного сигнала от интенсивности излучения является нелинейной и индивидуальной для каждого измерительного канала, что приводит к погрешности измерения интенсивности спектральных линий. Нелинейность зависимости фотоотклика от количества падающих на фотодиод фотонов Y за время экспозиции X характеризуется относительным отклонением этой зависимости от прямой: $\Delta Y(X) = \frac{Y(X) - \beta X}{Y(X)} \cdot 100\%$, где β – константа,

выбираемая из условия минимума максимального значения функции $|\Delta Y(X)|$. Структура линеек фотодиодов БЛПП-369 позволяет электронным способом в отсутствии излучения получить соотношение между значением выходного сигнала и напряжением на входе схемы измерения, т. е. осуществить её калибровку [8]. Современные МАЭС проводят электронную калибровку своих измерительных каналов в автоматическом режиме. Остаточная нелинейность измерительных каналов не превышает 0,5 %.

Разработан вариант МАЭС, обеспечивающий регистрацию последовательности из нескольких тысяч спектров со временем экспозиции до 1 мс в процессе возбуждения излучения пробы [9]. Структурная схема нового анализатора отличается от приведённой на рис. 4 параллельным считыванием сигналов с линеек. Для оценки аналитических возможностей созданный анализатор МАЭС был установлен на спектрограф СТЭ-1, оснащенный установкой для просыпки-вдувания «Поток». Результатом регистрации одного

спектра являлись несколько тысяч записей, отражающих поведение во времени небольших участков спектра со спектральными линиями и близлежащим фоном (рис. 5, а), что позволило корректно вычислить интенсивность линий в каждой записи спектра. После расчета получалась зависимость интенсивности этой линии от времени, отражающая поступление определяемого элемента в дуговой разряд (рис. 7, б). Видно, что в средне-арифметическом спектре, полученном по всем записям (рис. 6, а, нижний график) линия золота не наблюдается, а в одной из записей спектра она присутствует (рис. 6, а, верхний график). При этом в зависимости интенсивности линии от времени наблюдается 12 «вспышек» (рис. 7, б), интенсивность которых превышает заданный порог, что соответствует содержанию 12 крупинок золота в пробе. Высокое отношение сигнал/шум наблюдаемых «вспышек» интенсивности линии золота, которое в максимальной «вспышке» превышает порядок, говорит о возможности существенного снижения пределов обнаружения золота в сравнении с интегральным методом. Такой анализатор эффективно используется в сцинтилляционном спектральном анализе порошковых проб [10].

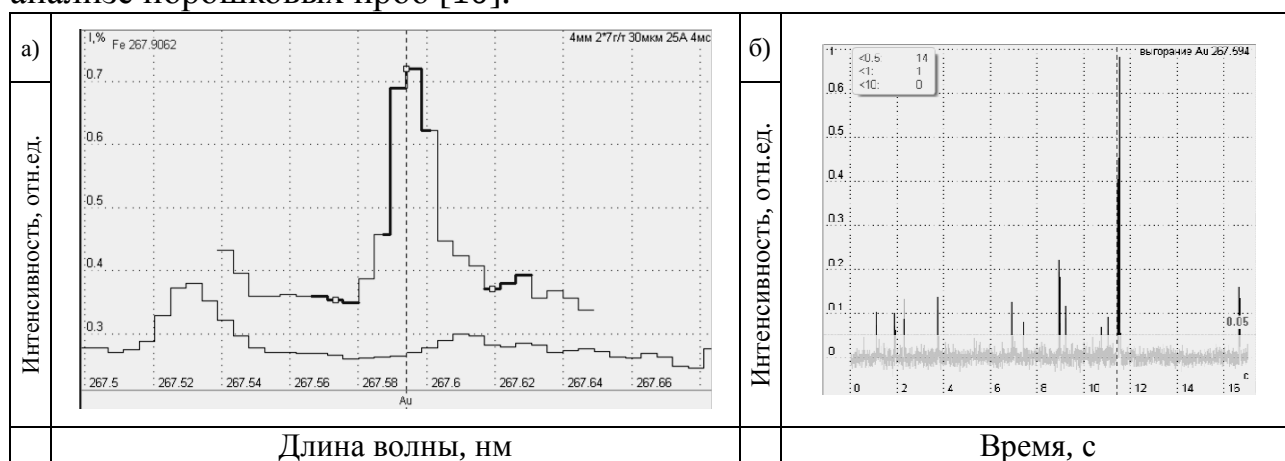


Рис. 5. Спектральная линия золота 267.595 нм: а – участок спектра с линией и разметкой точек интегрирования и фона; б – зависимость интенсивности линии от времени. Пунктир соответствует верхнему графику на рис. 5, а

В табл. 1 приведены значения достигнутых характеристик МАЭС, из которых следует, что по объему и качеству получаемой информации (разрешающая способность, динамический диапазон, погрешность измерения) созданный прибор удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным системам регистрации атомно-эмиссионных спектров.

Спектрометры с регистрацией и обработкой спектров МАЭС. Спектрометры с МАЭС создавались на основе существующих или новых спектральных приборов с одномерной дисперсией [11]. В первом случае в состав спектрального прибора, имеющегося в аналитической лаборатории, вместо традиционной системы регистрации спектров на основе фотопластинок или ФЭУ устанавливался МАЭС с последующей *частичной* оптимизацией оптической системы и конструкции прибора. Во втором случае оптическая

система многоканального спектрометра и многокристальная сборка анализатора проектировались одновременно с *полной* оптимизацией их характеристик.

Таблица 1. Характеристики анализаторов МАЭС

№	Наименование характеристики	Значение
1	Рабочий спектральный диапазон, нм	160 ÷ 1100
2	Количество измерительных каналов	2612 ÷ 72000
3	Размер входного окна измерительного канала – $\Delta x \times \Delta y$, мкм ²	12,5 × 1000
4	Длина регистрируемого спектра, см	46
5	Тип многокристальной сборки линеек фотодиодов	Плоские, по дуге, многострочные
6	Диапазон установки рабочей температуры кристаллов линеек, °С	-5 ÷ +20
7	Погрешность стабилизации рабочей температуры кристаллов линеек, °С	0,04
8	Время экспозиции, мс	1 ÷ 10000
9	Среднее квадратическое отклонение выходных сигналов измерительных каналов, не более, %	0,008
10	Нелинейность фотоотклика измерительных каналов, не более, %	0,5
11	Динамический диапазон выходных сигналов измерительных каналов	10 ⁴
12	Дрейф выходных сигналов измерительных каналов в течение 1 ч, не более, %	0,01
13	Диапазон измерения интенсивности спектральных линий, единиц условной шкалы, %	0.03 ÷ 100
14	Абсолютная погрешность измерения интенсивности при интенсивности спектральной линии меньшей 1 %, не более, %	0,03
15	Относительная погрешность измерения интенсивности при интенсивности спектральной линии большей 1 %, не более, %	3

Сведения о спектральных приборах с анализаторами МАЭС приведены в таблице 2. В ряде случаев удаётся расширить рабочий спектральный диапазон таких приборов, увеличить их разрешающую способность и светосилу, а также снизить уровень фона [12]. Улучшение характеристик достигается благодаря более широкому диапазону спектральной чувствительности МАЭС (160 – 1100 нм) в сравнении с фотопластинками и ФЭУ, возможности расположения линеек фотодиодов по криволинейной поверхности, компактности применяемыхборок и другим факторам. Например, путём удаления корректирующих линз, используемых для получения плоской фокальной поверхности спектра на выходе оптических систем спектрографов ДФС-458С, рабочий спектральный диапазон расширен до 192-370 нм для УФ решётки (раньше 230-350 нм), в 2 раза уменьшен предел разрешения на краях диапазона и существенно снижен уровень фона в спектре [13]. За счёт установки на выходе спектрографов ДФС-8, 13 и PGS-2 специальной цилиндрической линзы на порядок увеличена интенсивность спектральных линий. Путём небольшого изменения переднего отрезка и угла падения излучения на вогнутую дифракционную решётку квантометров МФС-3, 4, 5, 6, 7, 8 расширен рабочий спектральный диапазон в 1,5 раза.

Таблица 2. Параметры спектральных приборов и их многокристальных сборок

Оптическая система спектрального прибора	Наименование спектрального прибора	Обратная линейная дисперсия, нм/мм	Рабочий спектральный диапазон, нм	Радиус многокристальной сборки, мм	Количество линеек в сборках с зазорами и без зазоров **
Призменная	ИСП-28, ИСП-30	0,4÷30	210÷600	–	5
Черни-Тёрнера (с плоской дифракционной решёткой)	ДФС-8	0,3; 0,6	190÷1000	–	5
	ДФС-13	0,1; 0,2; 0,4	190÷1000	–	8
	PGS-2	0,74	190÷1000	–	9
Пашена-Рунге (с вогнутой дифракционной решёткой)	МФС-4,6,7,8	0,55	190÷410	+500	12
	МФС-3,5	0,83	190÷500	+500	12
	ДФС-10М	0,41	200÷700	+1000	12+1
	ДФС-36	0,26	200÷500	+1000	2×12+8
	ДФС-41	0,55	175÷380	+500	12
	ДФС-51	0,41	170÷340	+500	12
	ДФС-458С	0,52	230÷350 (190÷370)*	+520	10
	ДФС-44	0,27; 0,36	200÷350;340÷5	+750	12+8
	Гранд	0,4	50	+500	12+8
	Гранд-Эксперт	0,4	190÷350;385÷47	+500	14+10
	Экспресс	0,55	0	+520	2×10
	Аспект	0,8	169÷700	+260	10
	SpectroLab	0,35	190÷367;390÷54	+375	12
	Polyvac	0,5	5	+375	12
	Atomcomp/ICA	0,55	190÷445	+375	12
	P	0,6	170÷500	+500	12
	Baird HA12		175÷450 175÷450 210÷450		
Со скрещенной дисперсией	СТЭ-1	0,38	220÷270 (208÷272)*	-872	13
		0,47	252÷337 (272÷355)*		
		0,64	336÷450 (380÷445)*		

* – рабочий спектральный диапазон, если он изменяется при установке анализатора МАЭС

** – в двухстрочных сборках количество линеек удваивается.

Примером нового спектрального прибора, построенного с учетом параметров МАЭС, является стационарный светосильный многоканальный спектрометр высокого разрешения «Гранд» [14,15]. Он создан по оптической схеме Пашена-Рунге на основе отражательной нарезной неклассической вогнутой дифракционной решётки и двух многокристальных сборок с 12 и 8 линейками фотодиодов, установленных по радиусу 500 мм. Спектрометр

рассчитан для работы в диапазоне 190-470 нм с входной щелью в области 350-385 нм.

Использование в многоканальных спектрометрах анализаторов МАЭС в качестве системы регистрации спектров даёт возможность корректного сравнения таких их характеристик, как спектральный диапазон и разрешение. Программа «Атом» в окне «Тест-МАЭС» обеспечивает измерение спектрального разрешения (ширины спектральных линий на полувысоте) при включенной опции «Ширина пиков». Спектр вольфрама, полученный с помощью спектрометра «Гранд» при использовании дугового источника возбуждения спектров, приведён на рис. 6, а. На рис. 6, б приведена зависимость ширины его спектральных линий на полувысоте от длины волны. Видно, что значения ширины линий лежат в пределах $0,006 \div 0,011$ нм. Они аппроксимированы степенным полиномом второй степени методом наименьших квадратов.

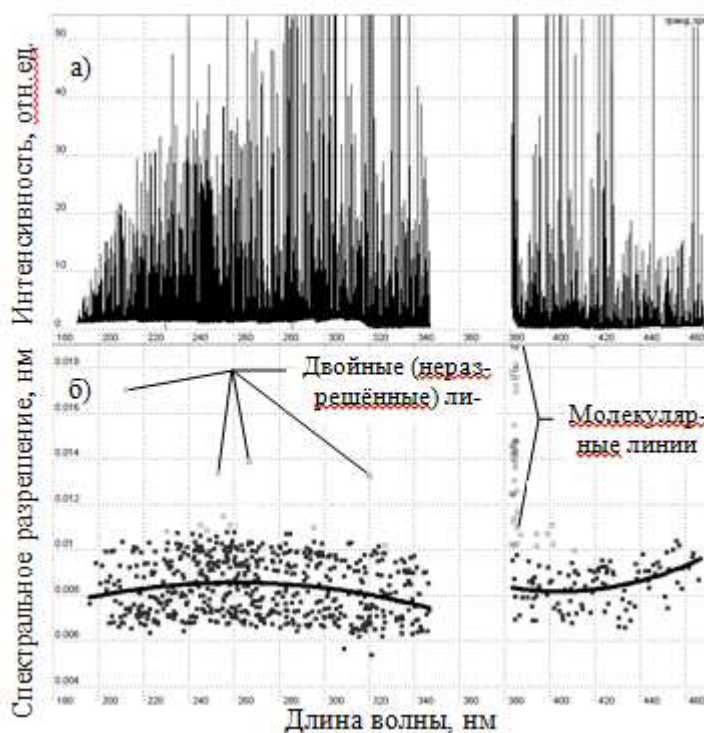


Рис. 6. Обзорный спектр металлического вольфрама (а) и ширина его спектральных линий на полувысоте (б)

По совокупности параметров (спектральному диапазону, разрешению, светосиле, количеству измерительных каналов, весу и габаритам) спектрометр «Гранд» превосходит существующие аналоги. Проводилось сравнение зависимости спектрального разрешения от длины волны для большинства многоканальных спектрометров, используемых в атомно-эмиссионном спектральном анализе. Зависимости спектрального разрешения от длины волны (аппроксимирующие кривые) строились таким же методом, как на рис. 6, б. Показано, что из спектральных приборов с призмами, плоскими дифракционными решётками и со скрещенной дисперсией спектрометр

«Гранд» по разрешению превосходят только ДФС-8 и ДФС-13 (до 1,5 раз), но при этом они имеют в 3-5 раз меньший спектральный диапазон. Все представленные зарубежные и отечественные приборы, кроме ДФС-36, построенные по схеме Пашена-Рунге, уступают спектрометру «Гранд» по разрешению. ДФС-36 несколько превосходит спектрометр «Гранд» по разрешению, но существенно уступает ему по спектральному диапазону, светосиле, весу и габаритным характеристикам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шелпакова И.Р., Гаранин В.Г., Лабусов В.А. Многоэлементные твердотельные детекторы и их использование в атомно-эмиссионном спектральном анализе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65, № 10. С. 3-16.
2. Лабусов В.А., Бехтерев А.В. Линейки фотодиодов – базовые элементы многоканальных анализаторов атомно-эмиссионных спектров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. 2007. Т. 73. С. 7-12.
3. Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Зарубин И.А., Галлямов Р.Г. Измерение квантовой эффективности многоэлементных фотодетекторов в спектральном диапазоне 180–800 нм // Автометрия. 2008. Т. 44, № 1. С. 27-38.
4. Лабусов В.А., Попов В.И., Бехтерев А.В., Путьмаков А.Н., Пак А.С. Многоэлементные твердотельные детекторы излучения большого размера для атомно-эмиссионного спектрального анализа // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 2. С. 104-109.
5. Лабусов В.А. Многокристальные сборки многоканальных анализаторов атомно-эмиссионных спектров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. 2007. Т. 73. С. 13-17.
6. Лабусов В.А., Попов В.И., Путьмаков А.Н., Бехтерев А.В., Селюнин Д.О. Анализаторы МАЭС и их использование в качестве систем регистрации и обработки атомно-эмиссионных спектров // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 2. С. 110-115.
7. Лабусов В.А., Кайдалов С.А., Щербакова О.И., Кошеров В.В. Метрологическое обеспечение комплексов приборов для атомно-эмиссионного спектрального анализа с анализаторами МАЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. 2007. Т. 73. С. 40-46.
8. Селюнин Д.О., Лабусов В.А., Петроченко Д.В., Мирошниченко В.Л., Неклюдов О.А., Речкин Г.В. Метод электронной калибровки измерительных каналов многоканальных анализаторов атомно-эмиссионных спектров МАЭС // Автометрия, 2010, т. 46, № 5. С. 67-76.
9. Селюнин Д.О., Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Неклюдов О.А., Бабин С.А. Анализаторы МАЭС для получения последовательности атомно-эмиссионных спектров с временем экспозиции 1 мс // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. В печати.
10. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Бусько А.Е., Кунаев А.Б. Методика определения содержания золота и серебра в геологических образцах с

использованием сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа с высоким временным разрешением // Аналитика и контроль. 2010. Т. 14, № 4. С. 201-213.

11. Лабусов Владимир Александрович. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук «Многоканальные оптические спектрометры для атомно-эмиссионного анализа». Специальность 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы // Новосибирск, 2009.

12. Путьмаков А.Н., Попов В.И., Лабусов В.А., Борисов А.В. Новые возможности модернизированных спектральных приборов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Специальный выпуск. 2007. Т. 73. С. 26-28.

13. Заякина С.Б., Путьмаков А.Н., Аношин Г.Н. Модернизация дифракционного спектрографа ДФС-458: Расширение возможностей атомно-эмиссионного спектрального анализа // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 2. С. 212-219.

14. Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Бехтерев А.В. Новый многоканальный спектрометр для атомно-эмиссионного спектрального анализа в диапазоне длин волн 190-450 нм // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 2. С. 135-140.

15. Лабусов В.А. Комплексы приборов для атомно-эмиссионного спектрального анализа на основе спектрометра «Гранд» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74, № 4. С. 21-29.

© В.А. Лабусов, Д.О. Селюнин, И.А. Зарубин,
С.А. Бабин, З.В. Семёнов, 2011

УДК 681,7
Т.В. Колмыкова
СГГА, Новосибирск

ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ОБЪЕКТИВА ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА

В статье рассмотрена возможность расчета объектива для терагерцового диапазона спектра с оптическими элементами, выполненными из лейкосапфира и кварца.

T.V. Kolmykova
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

OPPORTUNITY OF DEVELOPMENT OF THE OPTICAL OF TERAHERTZ WAVE

In clause the opportunity of calculation of an objective of terahertz a range of a spectrum with the optical elements executed from sapphire and quartz is considered.

Терагерцовый (ТГц) диапазон занимает место между микроволновой и инфракрасной частью электромагнитного спектра, что соответствует области частот 10^{10} - 10^{14} Гц. Эта область спектра продолжает оставаться наиболее неосвоенной как в смысле использования ее в фундаментальных исследованиях в области оптики, так и в большом количестве смежных научных дисциплин и технологических приложений. Необходимость освоения ТГц диапазона обуславливается рядом причин.

Большинство спектральных свойств различных конденсированных сред (твердых тел, жидкостей, биомедицинских тканей, водных растворов, комплексных макромолекул), характеристики излучения различных инородных включений в конденсированных средах попадают именно ТГц диапазон. Эти свойства отличают ТГц диагностику от существующих методов диагностики (рентгеновской, ультразвуковой и магниторезонансной томографии), где в качестве тестирующей характеристики используют значение плотности вещества.

Спектральные свойства ТГц диагностики определяются её важностью с точки зрения различных применений в технологиях безопасности, биомедицинских технологиях, фармацевтике, нанотехнологиях, микро и наноэлектронике, мониторинге климата, решении задач астрономии, космических исследованиях, связи и многих других областях [1].

Основной причиной слабого использования систем терагерцового диапазона от систем, использующих иные частотные диапазоны спектра,

заключается в том, что в настоящее время приемники и источники терагерцевого излучения находятся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок [2]. Такая же проблема стоит и в разработке оптических систем для ТГц диапазона спектра.

В данной работе рассматриваются варианты расчетов оптической схемы объектива для ТГц диапазона спектра, выполненные из разных материалов лейкосапфира и кварца.

Из [3] определяем показатели преломления для лейкосапфира и кварца, и рассчитываем коэффициенты дисперсии Аббе для диапазона длин волн от 100 мкм до 333 мкм.

При $\lambda = 100$ мкм, $n = 3,105$ (лейкосапфир);
 $n = 2,132$ (кварц);

При $\lambda = 200$ мкм, $n = 3,076$ (лейкосапфир); $n = 2,117$ (кварц);

При $\lambda = 333$ мкм, $n = 3,069$ (лейкосапфир); $n = 2,113$ (кварц).

Коэффициент Аббе для лейкосапфира $\nu = 27,316$, для кварца $\nu = 58,789$.

На рис. 1 представлена оптическая схема объектива. Данная конструкция позволяет разработать объектив из одного оптического материала, т.к. коррекция хроматизма в ней происходит за счет компенсации хроматических aberrаций в зеркалах Манжена.

Оптическое моделирование производилось при помощи пакета прикладных программ Zemax. Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3.

1. Объектив из лейкосапфира.

Объектив из лейкосапфира имеет следующие оптические параметры:

Фокусное расстояние, мм	136;
Относительное отверстие	1:1.16;
Диаметр входного зрачка, мм	120;
Рабочий спектральный диапазон, мкм	100-333;
Основная рабочая длина волны, мкм	200;
Угловое поле зрения в пространстве предметов, град	5.

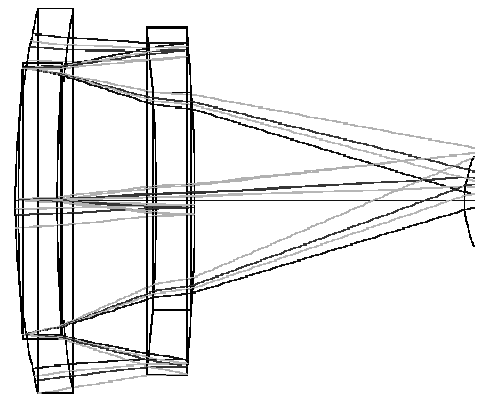


Рис. 1. Оптическая схема объектива

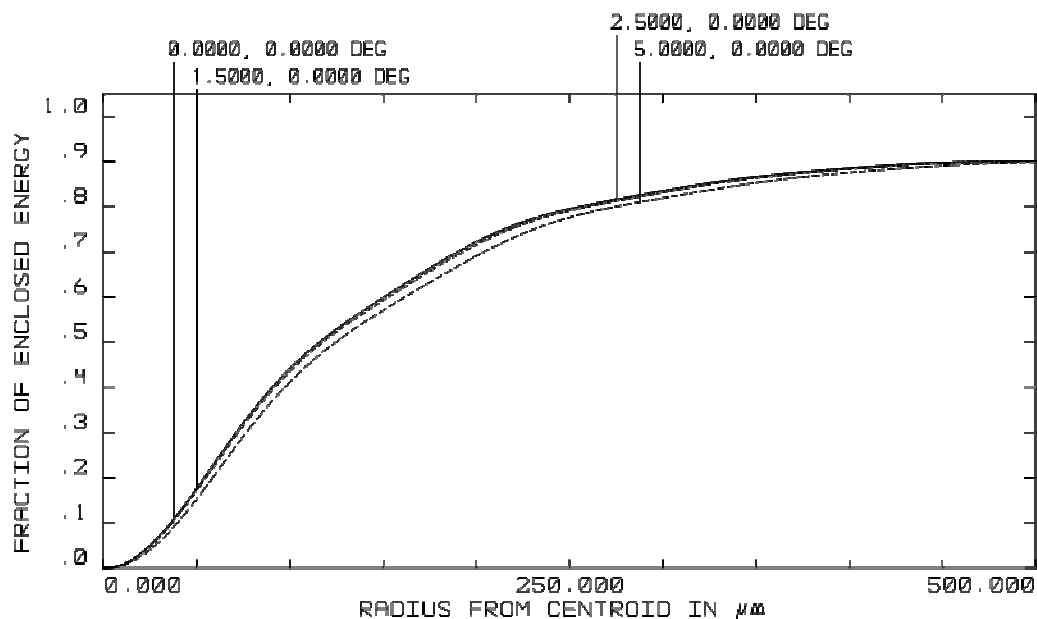


Рис. 2. Графики концентрации энергии в абберационном пятне объектива из лейкосапфира

2. Объектив из кварца.

Объектив из кварца имеет следующие оптические параметры:

Фокусное расстояние, мм	172.72;
Относительное отверстие	1:1.46;
Диаметр входного зрачка, мм	120;
Рабочий спектральный диапазон, мкм	100-333;
Основная рабочая длина волны, мкм	200;
Угловое поле зрения в пространстве предметов, град	5.

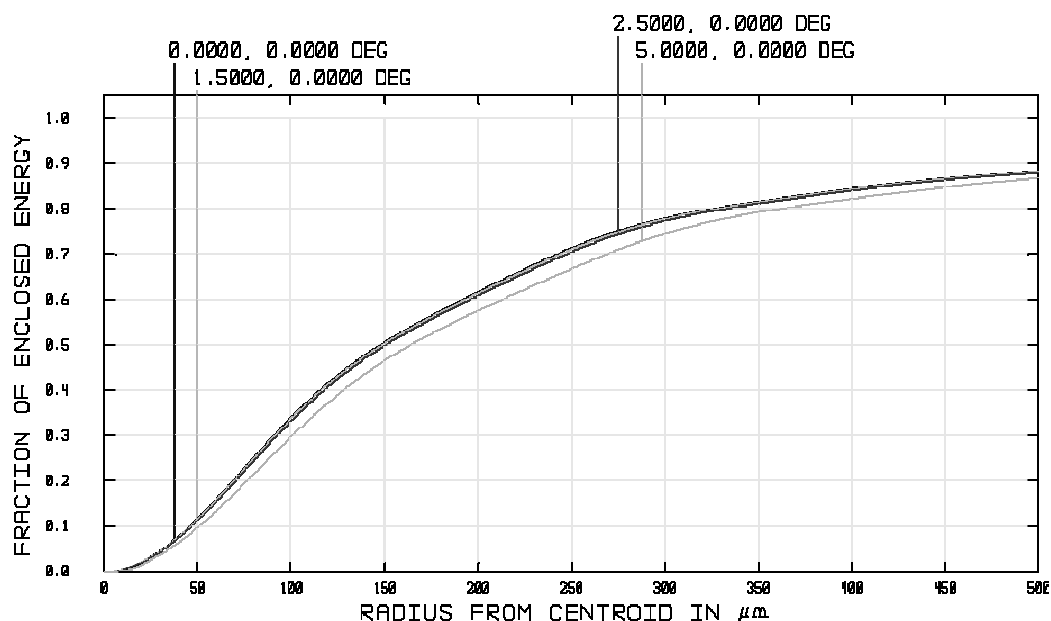


Рис. 3. Графики концентрации энергии в абберационном пятне объектива из кварца

Проведенное моделирование оптической системы с разными оптическими материалами позволяет сделать вывод, что данная схема позволяет рассчитывать объективы для ТГц диапазона спектра и при дальнейшей оптимизации будет получен хороший результат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гейко, П.П. Взаимодействие оптического излучения с веществом [Текст]: учеб. пособие/ П.П. Гейко. – Томск: ТУСУР, 2007. – 164 с.
2. Сизов, Ф.Ф. Фотоэлектроника для систем видения в "невидимых" участках спектра [Текст] / Ф.Ф. Сизов. – Киев: Академперіодика, 2008. – 240 с.
3. Золотарев, Оптические постоянные природных и технических сред [Текст]: Справочник / В.М. Золотарев, В.Н. Морозов, Е.В. Смирнова. – Л.: Химия, 1984. – 216с.

© *Т.В. Колмыкова, 2011*

УДК 681.7

Д.Г. Макарова

СГГА, Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА

В статье рассмотрены основные параметры и предельные значения оптических систем терагерцового диапазона спектра на основе существующих источников и приёмников этого излучения.

D.G. Makarova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

CHARACTERIZATION OF TERAHERTZ WAVE OPTICAL SYSTEMS

In the article are considering the main characteristics and maximum values of terahertz wave optical systems on basis of existents emitters and receivers of this emission.

Терагерцовое излучение — вид электромагнитного излучения, спектр частот которого расположен между инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами. Максимально допустимый диапазон ТГц частот 10^{11} — 10^{13} Гц, диапазон длин волн 3—0,03 мм соответственно. ТГц излучение — не ионизирующее, легко проходит сквозь большинство диэлектриков, но сильно поглощается проводящими материалами и некоторыми диэлектриками. Например, дерево, пластик, керамика для него «прозрачны», а металл и вода — нет. Существующие в настоящее время приборы для работы в данном диапазоне спектра не обеспечивают требуемое качество изображения, поэтому представляется актуальным исследование и разработка оптических систем по своим параметрам более совместимыми с существующими источниками и приемниками терагерцового излучения.

Рассматриваемые приборы, работающие в терагерцовом диапазоне спектра, относятся к приборам активного типа, поэтому при анализе оптической системы следует учитывать параметры искусственного источника излучения для подсветки объекта.

В работе [1] дан краткий обзор источников терагерцового излучения, которые можно разделить на три основных типа по генерации излучения: синхротрон, источник Смита-Парсела, лазеры на свободных электронах. К наиболее мощным источникам терагерцового излучения относятся лазеры на свободных электронах. Среди них — лазер на свободных электронах Джефферсоновской лаборатории (JLab FEL), Стэнфордского университета

(Stanford), FOM-института в Нидерландах (FELIX), Новосибирский ЛСЭ (NFEL). В табл. 1 представлены характеристики источников излучения в терагерцовом и соседних диапазонах спектра.

Таблица 1. Основные характеристики источников излучения

Параметры/ фирма	Stanford	UCSB		FELIX	NFEL
$\Delta\lambda$ (мкм), рабочий спектральный диапазон	15-80	63-340	340-2500	3-250	40-117, 120-235
ν , ТГц	3.75-20	0.88-4.8	0.12-0.88	1.2-100	-
Длительность импульса	2-10 пс	-	-	6-100 циклов	40 -100 пс
Частота повторения, МГц	11.8	-	-	1000, 50, 25	2,8 – 11,2
Максимальная средняя мощность	< 500 кВт	< 6 кВт	< 15 кВт	< 10 МВт (@20мкм); < 1 МВт(@100 мкм)	0,4 кВт (@11,2МГц)
Диаметр гауссова пучка на выходе, мм	0.5	-	-	-	80
Угол расходимости излучения, град	~1	~1	~1	~1	~1

При рассмотрении приемников (детекторов) терагерцового излучения их можно разделить на три группы [2]: детекторы теплового типа, детекторы, основанные на эффекте фотопроводимости, детекторы, основанные на диодах Шоттки. В табл. 2 представлены сравнительные параметры различных детекторов терагерцового диапазона спектра.

Таблица 2. Основные параметры детекторов

Тип / параметр детектора	NEP, Вт · Гц ^{-1/2}	f_{max} , Гц	Размер приемного элемента, мм ²
Детекторы теплового типа			
1. термопары, термодатчики, калориметры	-	25	1.5×3
2. пирозлектрические детекторы	6 10 ⁻¹⁰	200	1×1
3. охлаждаемые и сверхпроводящие болометры	10 ⁻¹⁰	25	-
4. микроболометры	2 10 ⁻¹⁰	25	1±0,1×1±0,1
5. охлаждаемые и сверхпроводящие болометры	3 10 ⁻¹⁵	200	2×2
Детекторы фотонного типа			
Детекторы на основе фотопроводимости	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻¹³	10 - 30	0,1×0,1
Детекторы на основе диодов Шоттки	10 ⁻¹²	90	1×1

Основными параметрами оптической системы являются: рабочий спектральный диапазон, фокусное расстояние, угол поля зрения, относительное отверстие.

Рабочий спектральный диапазон ($\Delta\lambda$) – определяется диапазоном спектра источника излучения. Согласно табл. 1 разные типы лазеров работают в разных диапазонах спектра – от 3 мкм до 2500 мкм. Каждый из лазеров излучает в своем интервале длин волн от 65 мкм до 280 мкм, за исключением одного из режимов лазера UCSB. Это позволяет сделать вывод, что $\Delta\lambda$ оптических систем, в основном, не будет превышать 220 мкм.

Фокусное расстояние (f') – определяется пространственным разрешением прибора и размером приемного элемента (пикселя) детектора излучения. Пространственное разрешение определяется элементом разрешения объекта, а размеры пикселя детекторов приведены в табл. 2.

Относительное отверстие оптической системы (D/f') – отношение диаметра входного зрачка (D) к фокусному расстоянию. Диаметр входного зрачка определяется энергетическим расчетом для обеспечения дальности действия прибора. Однако отношение D/f' , ограничивается дифракционной теорией и не может превышать значения 1:0,5. Диафрагменное число (f'/D) – обратная величина относительного отверстия определяется выражением:

$$f'/D = \frac{\Delta y'}{1.22 \lambda'}$$

где $\Delta y'$ - размер пикселя детектора в мкм;

λ - длина волны излучения в мкм.

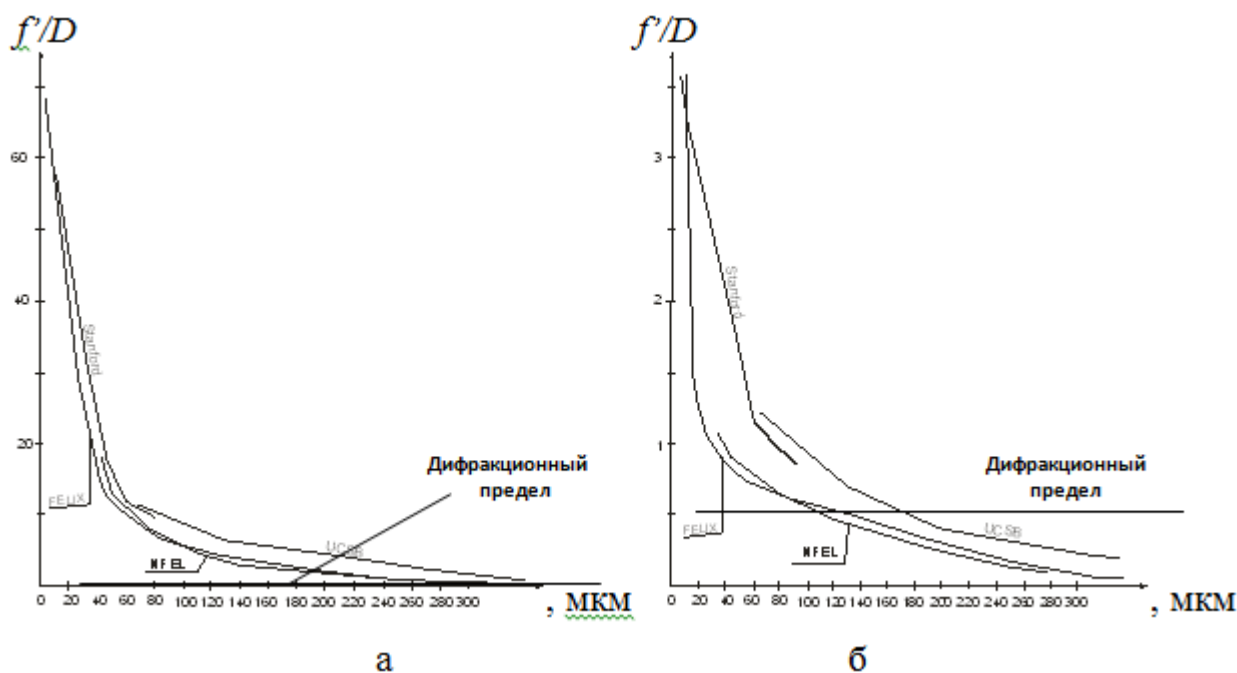
Зная λ источника излучения и размер пикселя детектора можно определить предельное значение f'/D для разного типа детекторов в зависимости от длины волны излучения (λ).

Таблица 3. Предельные значения f'/D для разных типов детекторов

Stanford						
Тип детектора	$\Delta y', \text{мм}^2$	$\lambda, \text{мкм}$				
		15	30	45	60	80
Пироэлектрические детекторы	1×1	55	27	18	13	10
Детекторы на основе фотопроводимости	0,1×0,1	5,5	2,7	1,8	1,3	1
UCSB						
Тип детектора	$\Delta y', \text{мм}^2$	$\lambda, \text{мкм}$				
		63	130	200	270	340
Пироэлектрические детекторы	1×1	13	6	4	3	2
Детекторы на основе фотопроводимости	0,1×0,1	1,3	0,6	0,4	0,3	0,2
FELIX						
Тип детектора	$\Delta y', \text{мм}^2$	$\lambda, \text{мкм}$				
		3	125	190	250	-
Пироэлектрические детекторы	1×1	273	6	4	3	-
Детекторы на основе фотопроводимости	0,1×0,1	27	0,6	0,4	0,3	-
NFEL						
Тип детектора	$\Delta y', \text{мм}^2$	$\lambda, \text{мкм}$				

		40	117	120	235	-
Пирозлектрические детекторы	1×1	20	7	6,9	3	-
Детекторы на основе фотопроводимости	0,1×0,1	2	0,7	0,69	0,3	-

На рис. 1 представлена зависимость f'/D оптической системы от длин волны и размера пикселя приёмника терагерцового диапазона спектра.



а - пирозлектрические детекторы;
б - детекторы на основе фотопроводимости.

Рис. 1. Зависимость f'/D оптической системы от длины волны и размера пикселя приёмника терагерцового диапазона спектра

Из рис. 1 видно, что диафрагменное число оптических систем с пирозлектрическими детекторами не превышает дифракционного предела до 240 - 340 мкм, а диафрагменное число оптических систем с детекторами на основе фотопроводимости за пределами 120 – 180 мкм превышает дифракционный предел.

Угол поля зрения (2ω) оптической системы в приборах активного типа в значительной мере определяется углом расходимости излучения лазеров. К сожалению, в открытой печати этот параметр не приводится, но зная тип источников излучения можно предположить, что он не превышает нескольких градусов.

На основании выше изложенного можно сделать некоторые выводы:

- Рабочий спектральный диапазон для оптической системы не будет превышать 220 мкм;
- Фокусное расстояние оптической системы определяет пространственное разрешение и может принимать любое значение;

– Оптические системы с пирозлектрическими детекторами имеют диафрагменное число, не превышающее дифракционный предел в более дальней области спектра до 240 - 340 мкм;

– Для увеличения угла поля зрения оптической системы на источники излучения необходимо устанавливать оптику, увеличивающую угол расходимости излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Князев, Б.А. Источники терагерцового излучения на электронных пучках и эксперименты с их применением (обзор) [Текст] / Б.А. Князев // Первое рабочее совещание «Генерация и применение терагерцового излучения» 24-25 ноября 2005 года: сб. трудов; ИЯФ им.Г.И. Будкера СО РАН, ИХКиГ СО РАН. – Новосибирск, 2006. - С. 26-31.

2. Кубарев, В.В. Детекторы терагерцового излучения (обзор) [Текст] / В.В.Кубарев // Первое рабочее совещание «Генерация и применение терагерцового излучения» 24-25 ноября 2005 года: сб. трудов; ИЯФ им.Г.И. Будкера СО РАН, ИХКиГ СО РАН. – Новосибирск, 2006. - С. 35-39.

3. Аксененко, М.Д., Приемники оптического излучения [Текст]: справочник / М.Д. Аксененко, М.Л. Бараночников. – М.: Радио и связь, 1987. – 296с.

© Д.Г. Макарова, 2011

УДК 681.7.015.2

В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, Ю.А. Фесько

СГГА, Новосибирск

Д.С. Шелковой

Филиал ОАО «ПО "УОМЗ"» «Урал-СибНИИОС», Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ДВУХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ТЕРМОГРАММ

В работе рассматривается математическая модель определения трехмерной формы объектов по двум поляризационным термограммам объекта, приводятся физико-математическое обоснование, алгоритм и результаты моделирования.

V.M. Tymkul, L.V. Tymkul, Yu.A. Fesko

SSGA, Novosibirsk

D.S. Shelkovoy

Branch «Production Association "Urals Optical & Mechanical Plant"» «Ural-SibNIIOS», Novosibirsk

MATHEMATICAL MODEL OF DETERMINING THE FORM OF THREE- DIMENSIONAL OBJECTS ON THE BASIS OF TWO POLARIZATION THERMOGRAMS

In work is considered the mathematical model of definition of the three dimensional form of objects on two polarising thermograms of object, the physical and mathematical substantiation, algorithm and results of modelling.

Для обработки и анализа оптических изображений, а также визуализации измерений в настоящее время широко используется представление результатов в трехмерном виде. Применяемые технологии трехмерного сканирования являются весьма трудоемкими и, как правило, требуют ручной доводки получаемых в итоге их применения результатов. Для получения недостающей третьей координаты сканируемого объекта, а именно глубины, в этих технологиях используются либо время задержки отражений лазерного сканирующего луча от объекта, либо степень искажения проекций на сканируемый объект специальной решетки, например, решетки в виде полос, смещение соответствующих точек сканируемого объекта на стерео изображениях, либо применяются методы вычисления третьей координаты, основанные на использовании эффекта размытия изображения, обусловленного конечностью глубины фокусировки оптической системы.

Перечисленные методы имеют следующие ограничения:

– Лазерные сканеры применяют в настоящее время для сканирования только крупных объектов, таких как здания, вышки, башни, заводские

территории, железнодорожные станции, аэропорты и т. д., поскольку погрешность измерения глубины при сканировании небольших объектов оказывается слишком большой;

– В случае применения технологий, когда на сканируемый объект проецируется специальная решетка в виде полос, возникает проблема сшивания изображений, полученных по нескольким проекциям. Поскольку у реальных объектов различные части имеют сильно различающуюся детализацию, то в областях высокой детальности в создаваемую модель приходится вручную добавлять точки, что делает метод трудоемким. Кроме того, при использовании нескольких камер, либо одной с различными ракурсами, нужно предварительно провести калибровку, т. е. определить их взаимное расположение;

– Недостаток технологии, основанной на использовании стереоизображений, заключается в том, что при её применении трудно обеспечить точное соответствие пикселей на изображениях объекта, полученных с двух камер в бесструктурных областях, вследствие чего невозможно обеспечить достаточную точность получаемых трехмерных изображений;

– При вычислении глубины резкости оптических систем основные недостатки – это низкая точность получаемых результатов и высокая трудоемкость.

Использование для визуализации трехмерного изображения исследуемого объекта методов, не требующих сложных дополнительных устройств, которые обеспечивали бы их работу, а только одно не габаритное устройство обладает рядом преимуществ.

В настоящей работе предлагается математическая модель получения трехмерного изображения исследуемого объекта на основе его собственного поляризованного излучения без использования устройств подсветки объекта либо дополнительных устройств активного сканирования. Для построения трехмерного изображения необходимо знать три координаты элементов поверхности объекта. Две из трех координат определяются размерами матричного фотоприемного устройства, а третья координата определяется по ниже описанному методу. Данная математическая модель основана на получении и обработке тепловизионных изображений исследуемого объекта, при этом в оптическую систему вводится вращающийся линейный ИК поляризационный фильтр, то есть используется два поляризационных изображения одной сцены с различными азимутами поляризации, а именно 45 и 90 градусов.

Рассмотрим подробно предлагаемую математическую модель.

Известно, что поток излучения можно описать выражением (1):

$$\Phi_j = \Phi \begin{pmatrix} 1 \\ P \cos 2t \cos 2\gamma \\ P \sin 2t \cos 2\gamma \\ P \sin 2\gamma \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Данное выражение представляет собой вектор-параметр Стокса, то есть является характеристикой оптического излучения, которая качественно и количественно описывает как энергетические, так и поляризационные свойства излучения объектов [1].

В выражении (1) Φ – поток собственного излучения объекта; P , t , γ – степень, азимут и степень эллиптичности поляризации теплового излучения объекта, $j = 1, 2, 3, 4$.

Поток, прошедший через ИК поляризационный фильтр можно представить в виде [2]:

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^4 \tau_{ij} \cdot \Phi; \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (10)$$

где τ_{ij} – матрица Мюллера [2].

В предлагаемой модели необходимо получить две термограммы с азимутами 45 и 90 градусов. Они получаются когда в схеме тепловизора используются линейные поляризаторы, матрицы пропускания которых имеют соответственно следующий вид [2]:

$$\tau_{i,j}^{(1)} = \tau_n \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (11)$$

$$\tau_{i,j}^{(2)} = \tau_n \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

С учетом этого, видеосигналы тепловизора при прохождении через фильтр теплового излучения объекта для каждого азимута поляризации, описываются следующими выражениями:

$$U_1(N, L) = U_0 [1 + P(N, L) \sin 2t(N, L) \cos 2\gamma(N, L)]; \quad (13)$$

$$U_2(N, L) = U_0 [1 - P(N, L) \cos 2t(N, L) \cos 2\gamma(N, L)]. \quad (14)$$

В выражениях (5) и (6) величина U_0 равна:

$$U_0 = S \cdot \Phi \cdot \tau_o \cdot \tau_i \cdot \tau_a, \quad (15)$$

где S – чувствительность приемника излучения, который располагается после комбинированного фильтра; τ_o , τ_n , τ_a – соответственно коэффициент пропускания оптической системы, поляризатора и слоя атмосферы между объектом и прибором.

Установлено, что степень поляризации собственного оптического излучения меняется в зависимости от угла ориентации участка наблюдаемой поверхности объекта относительно направления ее наблюдения [3]:

$$P(N, L) = P_{\max} [1 - \cos \psi(N, L)], \quad (16)$$

где P – степень поляризации излучения; $P_{\max}$ – максимум степени поляризации; ψ – угол излучения.

При этом предлагается следующая связь между параметрами $P_{\max}$, P_{ψ} , η и поляризованными компонентами коэффициента отражения $\rho_{\perp}$ и $\rho_{\parallel}$ материала поверхности объекта:

$$P_{\max} = P_{\psi} \cdot \eta = \frac{(1 - \rho_{\parallel}) - (1 - \rho_{\perp})}{(1 - \rho_{\parallel}) + (1 - \rho_{\perp})} \cdot \eta, \quad (17)$$

где

$$\rho_{\perp} = \frac{c^2 + b^2 - 2c \cos \psi_m + \cos^2 \psi_m}{c^2 + b^2 + 2c \cos \psi_m + \cos^2 \psi_m}; \quad (18)$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{c^2 + b^2 - 2c \sin \psi_m + \sin^2 \psi_m \operatorname{tg}^2 \psi_m}{c^2 + b^2 + 2c \sin \psi_m + \sin^2 \psi_m \operatorname{tg}^2 \psi_m} \cdot \rho_{\perp}. \quad (19)$$

Для непрозрачных материалов и материалов с комплексным показателем преломления $\hat{n} = n + ik$ [4], параметры b^2 и c^2 равны:

$$c^2 = \frac{1}{2n_0} \left\{ \left[n^2 - k^2 - (n_0^2 \sin^2 \psi_m)^2 + 4n^2 k^2 \right]^{1/2} + n^2 - k^2 - n_0^2 \sin^2 \psi_m \right\}; \quad (20)$$

$$b^2 = \frac{1}{2n_0^2} \left\{ \left[n^2 - k^2 - (n_0^2 \sin^2 \psi_m)^2 + 4n^2 k^2 \right]^{1/2} - n^2 + k^2 + n_0^2 \sin^2 \psi_m \right\}; \quad (21)$$

где n , k – оптические постоянные материала покрытия объекта; ψ_m – угол излучения, при котором наблюдается максимум степени поляризации теплового излучения материала поверхности объекта; n_0 – показатель преломления среды, в котором находится объект; η – коэффициент, зависящий от индикатрисы излучения и шероховатости материала поверхности объекта ($\eta = 1$, если высота неровности поверхности $h = 0$).

Для случая $(n^2 + k^2) \gg 1$ (металлы, сплавы), то имеем:

$$P_{\psi} = \frac{(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})}{(\varepsilon_{\parallel} + \varepsilon_{\perp})} = \frac{(n^2 + k^2 - 1) \sin \psi}{(n^2 + k^2 + 1)(1 + \cos^2 \psi) + 4n \cdot \cos \psi}. \quad (22)$$

Зависимость степени поляризации элемента поверхности от видеосигналов изображения элемента при прохождении излучения через поляризационный фильтр с азимутами поляризации 45 и 90 градусов, описывается следующим выражением [5]:

$$P(N, L) = \sqrt{\frac{[U_1(N, L) - 1]}{2 \sin \left\{ \arctg \frac{[U_1(N, L) - 1]}{[1 - U_2(N, L)]} \right\} - [U_1(N, L) - 1]}}. \quad (23)$$

С использованием (8), на основании (15), получаем выражение для расчета углов $\psi(N, L)$:

$$\psi(N, L) = \arccos[P_{\max} - P(N, L)], \quad (24)$$

где N – номер элемента в строке термограммы; L – номер строки.

При обработке термограмм, процесс определения третьей декартовой координаты вдоль линии сканирования осуществляется по формулам [3]:

$$x_N|_{z=\text{const}} = x_{N-1} + \Delta y_N \operatorname{tg} \psi_{xy}^{(N)}; \quad (25)$$

$$x_L|_{y=\text{const}} = x_{L-1} + \Delta z_L \operatorname{tg} \psi_{xz}^{(L)}, \quad (26)$$

где Δy_N и Δz_L – шаг сканирования вдоль координат OY и OZ .

На основе предлагаемой математической модели в работе выполнено компьютерное моделирование процесса формирования трехмерной формы поверхности металлических объектов в виде сферы, конуса и диска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розенберг, Г.В. Вектор-параметр Стокса [Текст] // Успехи физических наук. – 1955. Т.56.
2. Джерард, А. Введение в матричную оптику [Текст] / А. Джерард, Дж. Берч. – М.: Мир. – 1978 – 341с.
3. Тымкул, О.В. Методика определения объемной формы объектов на основе поляризационной комбинированной термограммы [Текст] / О.В. Тымкул, В.М. Тымкул, О.К. Ушаков // Оптический журнал. – 1999. – Т.66, №2. – С.54 – 59.
4. Свет, Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур [Текст] / Д.Я. Свет. – М.: Наука. – 1982. – 296с.
5. Пат. 2141735 РФ, МКИ H04N 5/33. Способ тепловизионного распознавания формы объектов / В.М. Тымкул, О.В. Тымкул, Л.В. Тымкул, М.И. Ананич /РФ/. - №95111870; заяв 11.02.95; опубл. 20.11.99, Бюл. №32.

© В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул, Ю.А. Фесько, Д.С. Шелковой, 2011

УДК 535.41:621

В.В. Ковалева, Д.Е. Аверьянова

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ФОНА НА РАБОТУ РАДИАЦИОННОГО ПИРОМЕТРА

В работе рассматривается методика формирования температуры излучающих объектов с учетом отражения их поверхностью теплового излучения окружающего фона. Приводится математическая модель формирования температуры объектов, алгоритм и результаты компьютерного моделирования.

V.V. Kovalyova, D.Ye. Averyanova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ANALYSIS OF BACKGROUND RADIATION EFFECT ON PYROMETER OPERATION

The methods of creating temperature field of the emitting objects are considered taking into account the reflection of their surface heat radiation. The mathematical model of the objects temperature fields, the algorithm and the results of computer simulation are presented.

В классических методах теории исследования термодинамической (истинной) температурой T поверхности излучающих объектов на основе радиационной T_{Σ} , яркостной $T_{\text{я}}$ и цветовой $T_{\text{ц}}$ температур отсутствуют параметры излучения окружающего фона, который, например, в низкотемпературных оптических пирометрах оказывает существенное влияние на качество их работы [1].

В работе [2] указывается на необходимость учета процесса отражения сторонних источников излучения поверхностью объектов при измерении температуры оптическими пирометрами.

Настоящая работа посвящена анализу влияния параметров излучения окружающего фона в методе радиационной температуры оптической пирометрии. Для анализа воспользуемся следующими допущениями:

1) Поверхности объекта и фона являются плоскими с интегральными коэффициентами излучения ε и $\varepsilon_{\text{ф}}$, температурой T и $T_{\text{ф}}$;

2) Нормаль к поверхности фона и направление на поверхность объекта составляют угол $\alpha_{\text{ф}} \leq \pi/2$;

3) Отражение излучения фона поверхностью объекта принимается однократным и диффузным, при этом ρ – это коэффициент отражения, а τ – коэффициент пропускания поверхности объекта.

В конечном итоге на внутренней поверхности наблюдаемого полупрозрачного объекта формируется следующее уравнение теплового баланса:

$$\varepsilon\sigma T^4 + \eta\rho\sigma T_{\text{вф}}^4 + \eta\tau T_{\text{нф}}^4 = \sigma T_{\Sigma\text{в}}^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана;

$T_{\text{вф}}$ – температура фона внутри помещения;

$T_{\text{нф}}$ – температура фона снаружи;

η – коэффициент, зависящий от геометрии расположения объекта и фона.

Тогда на внутренней поверхности объекта формируется температура T , которая связана с температурой $T_{\Sigma\text{в}}$ показаний пирометра:

$$T_{\Sigma\text{в}} = \sqrt[4]{\eta \cdot (\tau \cdot T_{\text{вф}}^4 + \rho \cdot T_{\text{нф}}^4) + \varepsilon \cdot T^4}. \quad (2)$$

Наблюдая наружную поверхность помещения, уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\varepsilon\sigma T^4 + \eta\rho\sigma T_{\text{нф}}^4 + \eta\tau T_{\text{вф}}^4 = \sigma T_{\Sigma\text{н}}^4. \quad (3)$$

На основании этого уравнения получаем следующее выражения для температуры по показаниям пирометра:

$$T_{\Sigma\text{н}} = \sqrt[4]{\eta \cdot (\tau \cdot T_{\text{нф}}^4 + \rho \cdot T_{\text{вф}}^4) + \varepsilon \cdot T^4}. \quad (4)$$

Для количественного учета влияния излучения наружного и внутреннего фона на измерение температуры полупрозрачных поверхностей радиационным пирометром проведено математическое моделирование работы радиационного пирометра.

При расчете были использованы параметры температур наружного и внутреннего фона в интервале от 233 до 333 К.

На основании сказанного выше, можно сделать следующие выводы:

- В результате температурного баланса внутри помещения формируется некая температура $T_{\Sigma\text{в}}$ и можно получить значение температуры T полупрозрачного ограждения при наличии как внутреннего, так и внешнего фона с температурами $T_{\text{нф}}$ и $T_{\text{вф}}$ и связь $T_{\Sigma\text{в}}$ с T ;

- В основании выражения (4), также можно получить температуру T по показаниям пирометра при наблюдении внешней поверхности полупрозрачного ограждения;

- В итоге, на основании этих соотношений, показания радиационного пирометра корректируются за счет влияния фонов на значение истинной температуры поверхности объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свет, Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур [Текст] / Д.Я. Свет – М.: Наука, 1982. – 296с.
2. Поскачей, А.А. Измерение температуры пирометрами с учетом стороннего излучения [Текст] / А.А. Поскачей, А.Д. Свенчанский // Электротермия. – 1978. - №1.- С. 3-4.

© В.В. Ковалева, Д.Е. Аверьянова, 2011

УДК 681.7

Е.В. Лантев

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ЗЕРКАЛАМИ МАНЖЕНА

В данной работе рассматривается разработка оптической системы с двумя зеркалами Манжена с минимальным хроматизмом увеличения, работающей в нескольких спектральных диапазонах

E.V. Laptev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DEVELOPMENT OF MULTISPECTRAL OPTICAL SYSTEM WITH TWO MANGIN MIRRORS

In the given work development of optical system with two mirrors Mangin with the minimal chromatism of the increase, working in several spectral ranges is considered.

На данный момент современные устройства наблюдения и регистрации данных (телескопы, тепловизионные приборы, видеокамеры) нуждаются в качественной и надёжной оптике, способной концентрировать излучение без искажений и в нескольких диапазонах спектра излучения. Оптические системы такого типа актуально располагать в приборах, установленных на беспилотных летательных аппаратах.

Основной задачей данной работы является минимизация величины хроматических aberrаций в многоспектральной оптической системе.

Предполагаемая оптическая система пропускает излучение в диапазоне длин волн от 0,3 мкм до 11,9 мкм. Такую область пропускания обеспечивают оптические элементы, выполненные из материала PbF_2 (фторида свинца).

На рис. 1 показана оптическая схема объектива, включающая такие элементы как: линза (1), зеркало Манжена с мениском (2), второе зеркало Манжена (3), линза Пиацци – Смита (4). Элементы подобраны таким образом, что становится возможным максимально минимизировать хроматизм увеличения.

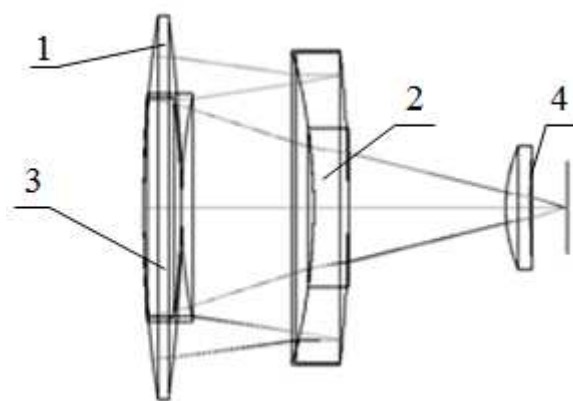


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема объектива

В работе [1] было исследовано влияние коррекционных свойств зеркала Манжена на хроматические aberrации для двух диапазонов спектра: визуального и тепловизионного. Из результатов работы видно, что коррекционные возможности зеркала Манжена использованы полностью. Увеличение спектральных диапазонов оптической системы до трёх и более возможно при условии повышения числа коррекционных параметров.

Данное повышение возможно за счёт замены второго зеркала объектива на зеркало Манжена. Для выяснения возможности создания оптической системы из двух зеркал Манжена, было проведено исследование. Для рассмотрения влияния изменения оптических сил компонентов на хроматизм увеличения (S_{IIx}) использованы обозначения принятые в работе [1].

В процессе исследования получены численные результаты расчёта S_{IIx} для четырёх спектральных диапазонов при $K_1 = K_2$, приведённые в табл. 1. При построении графиков зависимости хроматизма увеличения (S_{IIx}) от коэффициентов K_1 , K_2 выяснилось, что в интервале значений коэффициентов K_1 , K_2 от 0,1 до 0,5 имеется значительное количество разрывов функции, поэтому было решено исследовать область значений S_{IIx} лежащей в диапазоне коэффициентов K_1 , K_2 от 0,5 до 0,9.

Таблица 1. Влияние коэффициентов K_1 и K_2 на S_{IIx}

$K_1 = K_2$	S_{IIx} по компонентам (по четырём диапазонам спектра)							
	Линза				Зеркало Манжена + мениск			
	0,3–0,486 мкм	0,5–0,9 мкм	3–5 мкм	8–11,9 мкм	0,3–0,486 мкм	0,5–0,9 мкм	3–5 мкм	8–11,9 мкм
0,5	-0.0422	-0.0275	-0.0635	-0.1788	-0.0031	-0.0032	-0.0094	-0.0377
0,6	-0.0303	-0.0196	-0.0454	-0.1272	-0.0042	-0.0036	-0.0096	-0.0349
0,7	-0.0205	-0.0133	-0.0306	-0.0858	-0.0033	-0.0028	-0.0074	-0.0268
0,8	-0.0123	-0.0079	-0.0184	-0.0518	-0.0015	-0.0015	-0.0042	-0.0168
0,9	-0.0053	-0.0035	-0.0081	-0.0233	0.0005	-0.00006	-0.0008	-0.0064

$K_1 = K_2$	$S_{\text{Пхр}}$ по компонентам (по четырём диапазонам спектра)							
	Зеркало Манжена 2				Линза Пиацци-Смита			
	0,3–0,486 мкм	0,5–0,9 мкм	3–5 мкм	8–11,9 мкм	0,3–0,486 мкм	0,5–0,9 мкм	3–5 мкм	8–11,9 мкм
0,5	-0.0146	-0.0101	-0.0243	-0.0744	-0.3303	-0.1981	-0.4341	-1.0792
0,6	-0.0171	-0.0117	-0.0280	-0.0846	-0.2271	-0.1359	-0.2976	-0.7378
0,7	-0.0191	-0.0130	-0.0310	-0.0928	-0.1468	-0.0878	-0.1921	-0.4754
0,8	-0.0209	-0.0141	-0.0335	-0.0996	-0.0820	-0.0491	-0.1076	-0.2664
0,9	-0.0224	-0.0151	-0.0357	-0.1054	-0.0283	-0.0168	-0.0381	-0.0955

Характер изменений второй суммы Зейделя ($S_{\text{Пх}}$) относительно коэффициентов K_1 и K_2 для всех диапазонов спектра примерно одинаков. Однако, наиболее ярко это видно в диапазоне длин волн от 8 мкм до 11,9 мкм, который представлен на графике 2.

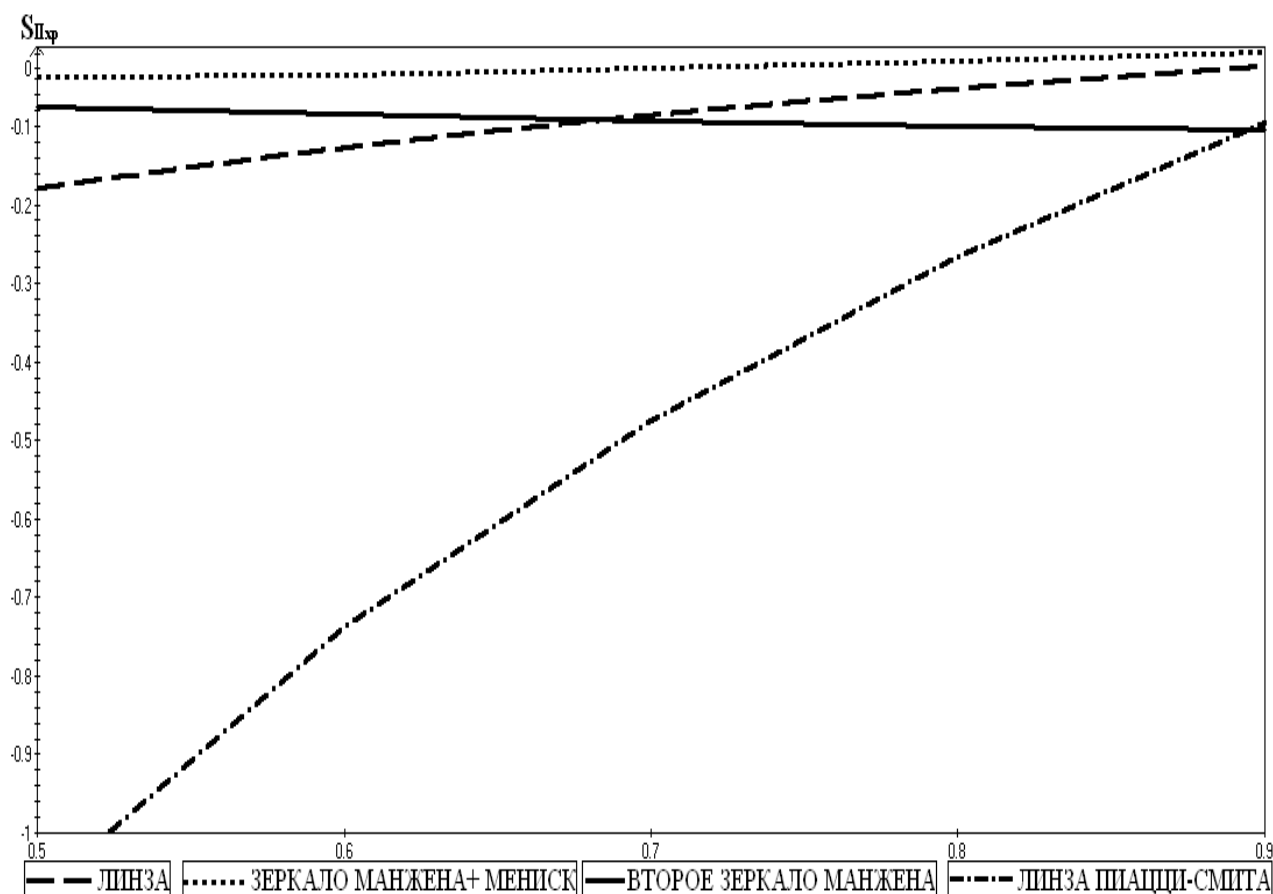


Рис. 2. Графики зависимости $S_{\text{Пхр}}$ от коэффициентов K_1 , K_2 в диапазоне длин волн от 8 мкм до 11,9 мкм

Из этого графика видно, что вторая хроматическая сумма $S_{\text{Пхр}}$ для всех элементов оптической системы, кроме линзы Пиацци - Смита лежит в узком диапазоне от 0 до -0,2. Основное увеличение во вторую хроматическую сумму вносит линза Пиацци - Смита от -0,35 в ультрафиолетовом диапазоне спектра

до -1 в тепловизионном. Исключить из схемы линзу Пиацци - Смита невозможно, поскольку она корректирует полевые aberrации. Поэтому хроматизм вносимый данной линзой может быть компенсирован вторым зеркалом Манжена при коэффициентах K_1 , K_2 близких к 0,9 во всех четырёх диапазонах спектра.

Данное положение было реализовано при расчёте объектива по схеме (рисунок 1), выполненного из материала фторида свинца (PbF_2). Результаты моделирования объектива представлены на рис. 3–6.

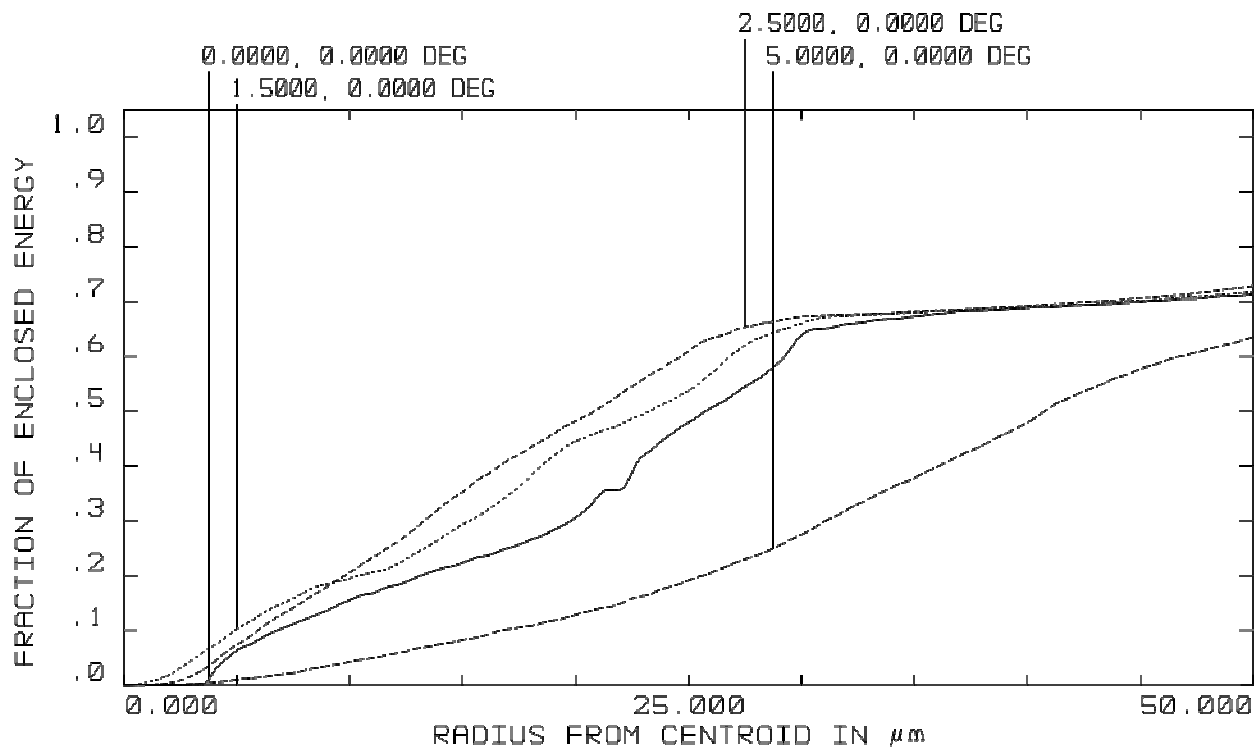


Рис. 3. Вид экрана монитора. Графики концентрации энергии в абберационном пятне для $\Delta\lambda = 0,3 - 0,486$ мкм

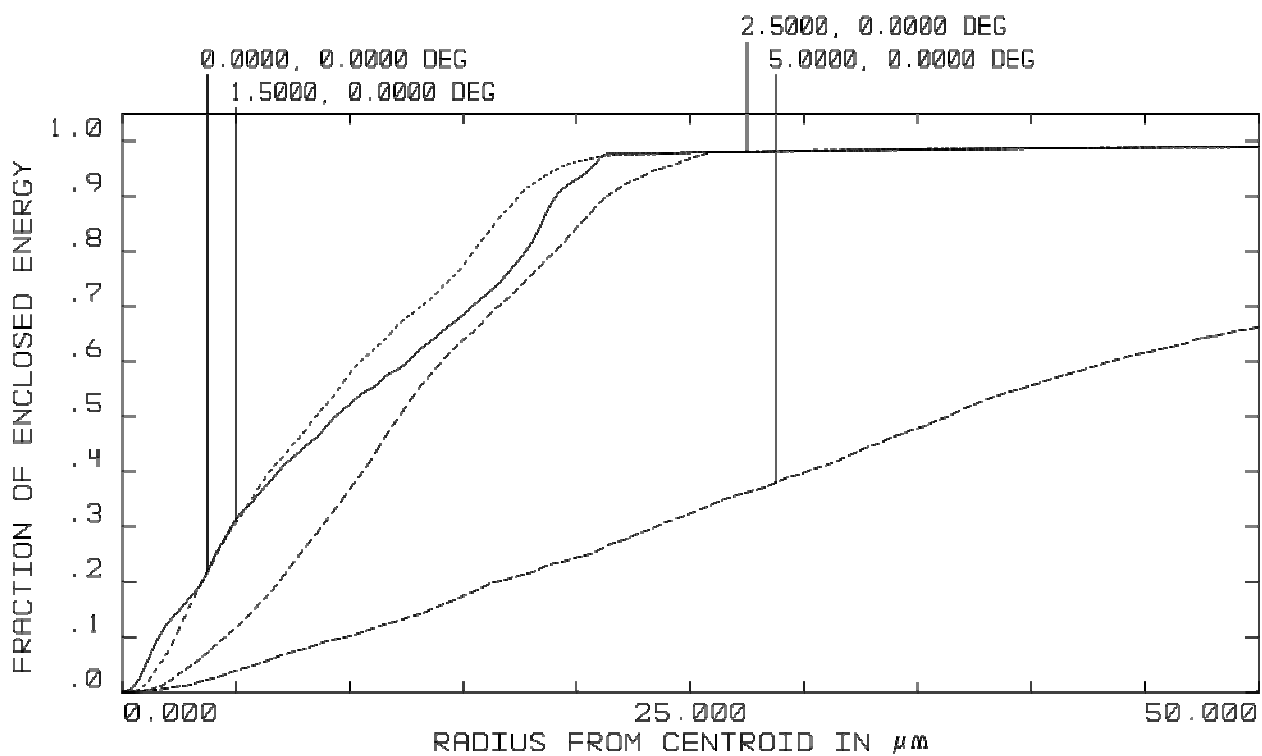


Рис. 4. Вид экрана монитора. Графики концентрации энергии в абберационном пятне для $\Delta\lambda = 0,5 - 0,9$ мкм

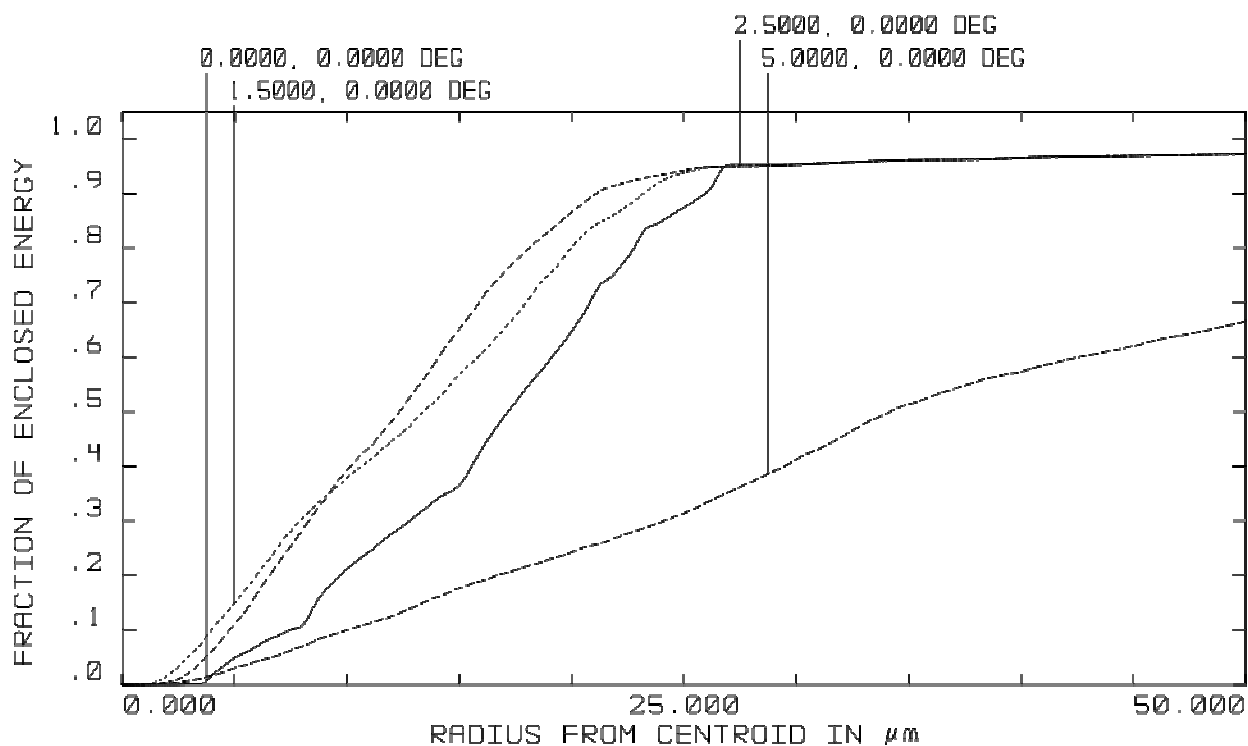


Рис. 5. Вид экрана монитора. Графики концентрации энергии в абберационном пятне для $\Delta\lambda = 3 - 5$ мкм

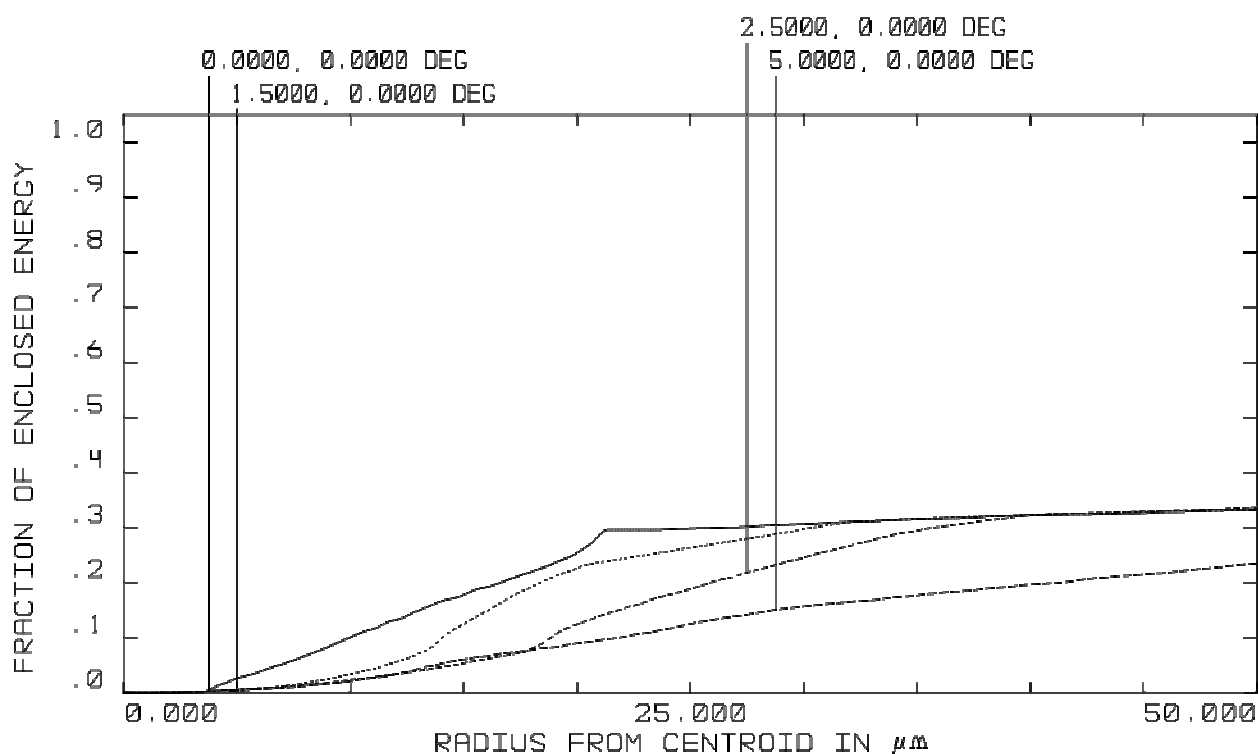


Рис. 6. Вид экрана монитора. Графики концентрации энергии в абберационном пятне для $\Delta\lambda = 8 - 11,9$ мкм

Результаты расчёта оптической системы показали принципиальную возможность разработки объектива для работы в четырёх диапазонах спектра с минимальной величиной хроматизма увеличения, преломляющие элементы которого выполнены из одного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуриловский, В.Н. Теория хроматизма и аббераций третьего порядка [Текст] / В.Н. Чуриловский. - Л. : Машиностроение, 1966 г.- 312 с.
2. Егоренко, М.П., Хроматические свойства зеркала Манжена в нескольких диапазонах спектра [Текст] / М.П. Егоренко, В.С. Ефремов // Изв. Вузов. Приборостроение. - 2009.-№6.-С.53-57.

© Е.В. Лантев, 2011

УДК 681.783

С.А. Шойдин

СГГА, Новосибирск

КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОЛОГРАММ

В докладе анализируются свойства голограмм, позволяющие использовать их как ключ для симметричного кодирования сигнала. Приводятся отдельные примеры применения такого кодирования. Обсуждается проблема создания голографического асимметричного ключа.

S.A. Shoydin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

CRYPTOGRAPHIC PROPERTIES OF HOLOGRAMS

In the report properties of the holograms are analyzed, allowing to use them as a key for symmetric coding of a signal. Separate examples of application of such coding are resulted. The problem of creation of a holographic disymmetric key is discussed.

Высокая информационная ёмкость голограмм представляет значительный интерес при исследовании информационных световых сигналов и потоков оптической информации [1-4]. Однако, в литературе почти не встречается применение голограмм в современных методах кодирования сигнала. Рассмотрим одну из наиболее распространённых современных систем кодирования – DES. На рис. 1 представлена его общая структура, из которой видно, что суть этого метода (как и множества других) состоит в многократных сдвигах и перестановках позиций того, или иного бита двумерного представления сигнала.

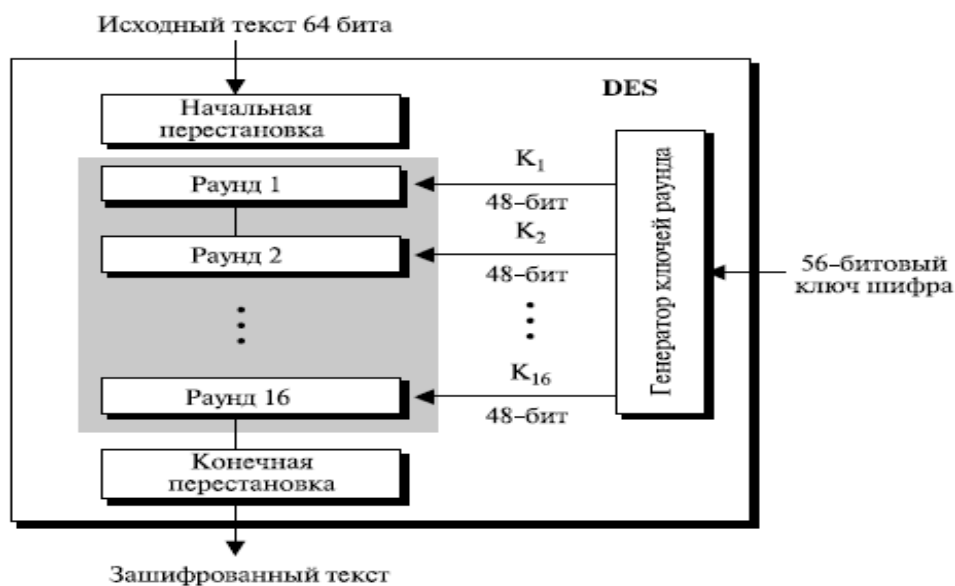


Рис. 1

Подобные сдвиги, или перестановки могут быть реализованы в голографических оптических устройствах, работающих согласно приведённой на рис. 2 схеме.

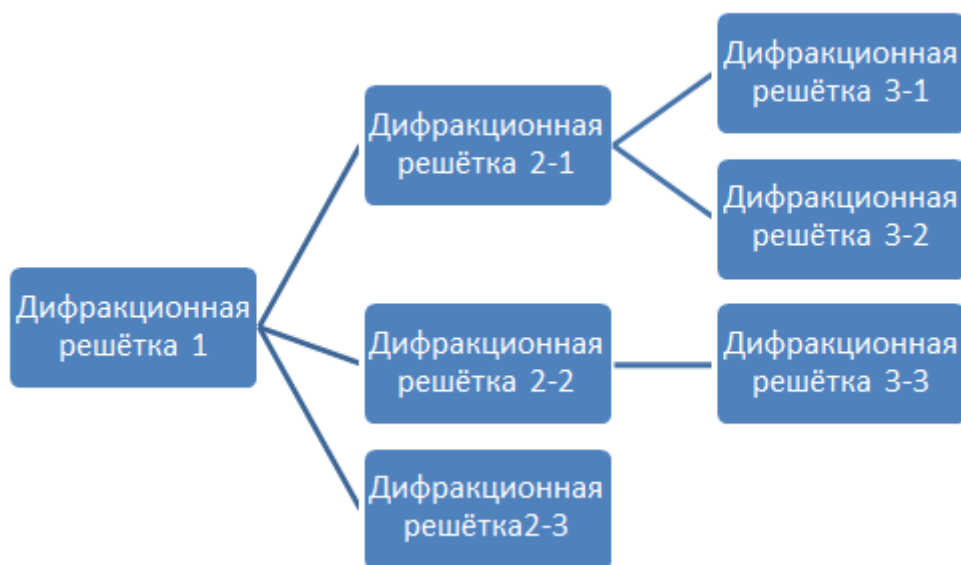


Рис. 2

Здесь показано только три слоя (1-3), каждый из которых представляет собой набор голографических дифракционных решёток, каждая из которых сдвигает, или переставляет один бит (одну точку двумерного изображения) с произвольной позиции в произвольную в соответствии с ключом перестановки. Набор голограмм может быть многослойным. Технически реализуемо в указанной схеме не только взаимно однозначное соответствие, но и выполнение логических «и», «или», «не». Это уже является не просто кодированием, а

вычислительным процессом. Простота реализации стационарной схемы (с фиксированными дифракционными решётками) и используемой для кодирования контрастирует с большой сложностью реализации динамической структуры, выполняющей произвольно программируемые операции. Это связано с проблемами технической реализации высокоэффективных динамических двумерных дифракционных решёток.

Следует отметить, что большая информационная ёмкость голограмм позволяет за один такт производить кодирование (а в обратном направлении декодирование) больших информационных массивов (6-8). Это напоминает наложение нескольких слоёв матового стекла, разрушающего наше восприятие изображения, но не удаляющего ни одного бита исходного изображения.

Такая аналогия с матовым стеклом подводит нас к пониманию теоретически возможного асимметричного голографического кодирования, когда существует один открытый ключ, известный неопределённому кругу лиц (это одна матовая пластинка, осуществляющая сдвиг фазы $e^{j\phi^1}$) и другой – закрытый ключ (другая матовая пластинка, осуществляющая сдвиг фазы $e^{j\phi^2}$), таким образом, при $\phi_1 + \phi_2 = \text{const}$, матовая пластинка перестаёт разрушать изображение, а передаёт его корректно. Распределение ключей в виде матовых, или голографических пластинок производится в соответствии с алгоритмом Диффи – Хеллмана [9].

Такая схема шифрования имеет недостатки в сравнении с электронной в связи с трудностями передачи голографической кодирующей пластинки по электронным каналам связи, однако эта трудность носит не принципиальный, а технический характер, и в случае необходимости может быть решена путём разработки динамических голографических решёток, или фазовых пластин. Преимущества голографического кодирования аналогичны преимуществам, реализующимся в «радужных» голограммах, используемых сегодня для защиты документов и кредитных карточек. Такие «радужные» голограммы могут нести не только воспринимаемую визуально кодовую картинку, но и картинку, содержащую машинно читаемый текст. Причем эту картинку, или машинно читаемый текст сможет увидеть, или прочесть не каждый, а только обладатель закрытого ключа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шойдин, С.А. Согласованный выбор кода и фазовой маски, повышающих равномерность интерференционной картины Фурье-голограмм / С.А. Шойдин, В.С. Ворожейкин // ЖТФ.-1982.- 52, №10.-С.2022-2026.
2. Шойдин, С. А. Информационная ёмкость голограмм в практических применениях/ С.А. Шойдин//: ГЕО-СИБИРЬ 2006: Сб. материалов междунар. науч. конгр.– Новосибирск: ГОУ ВПО "СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2006. - С. 52.
3. Шойдин, С.А. Вопросы информационной избыточности сформированных голограммой изображений / С.А. Шойдин// - ГЕО-СИБИРЬ 2006. Сб. материалов междунар. науч. конгр. – Новосибирск: ГОУ ВПО

"СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2007. - С. 27 .

4. Проблемы информационной избыточности для систем технического зрения/ ГЕО-СИБИРЬ 200. Сб. материалов междунар. науч. конгр.- Новосибирск: СГГА, 2007. - С.26

5. Шойдин, С.А. К вопросу сжатия голографической информации/ С.А. Шойдин // ГЕО-СИБИРЬ 2006. Сб. материалов междунар. науч. конгр.- Новосибирск: ГОУ ВПО "СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ", 2009. - С. 54 .

6. Шойдин, С.А. Оптимизация параметров голографического запоминающего устройства с учетом аберраций./ С. А. Шойдин// Опт. и спектр. – 1978. - Т. 44, - № 3. - С. 1163-1170.

7. А.с. №701350 СССР Шойдин, С.А. Голограммное запоминающее устройство. / С.А. Шойдин. 2468584/18-25; заявл. 01.04.77; зарег. в Гос.реестре 06.08.79.

8. Шойдин, С.А. Исследование голографического запоминающего устройства в режиме записи одиночных голограмм./ С. А. Шойдин// ОМП. – 1980. - № 11, С. 3-8.

9. Смарт, Н. Криптография/ Н. Смарт .- М: Техносфера, 2005.- 257 с.

© С.А. Шойдин, 2011

УДК 513.7

М.Н. Кистерева, О.К. Ушаков, И.В. Лесных, В.М. Тымкул
СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИКИ НЕГАУССОВЫХ ФУНКЦИЙ

Рассмотрена методика проведения оптико-электронных измерений с использованием статистического анализа функций распределения исследуемых величин. Приводится алгоритм проведения лазерных измерений дальности применительно к линейным измерениям в геодезии, а также методика теоретических исследований.

M.N. Kistereva, O.K. Ushakov, I.V. Lesnykh, V.M. Tymkul
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TECHNIQUES FOR ANALYZING OPTOELECTRONIC MEASUREMENTS USING NON-GAUSSIAN FUNCTIONS STATISTICS

The paper deals with the techniques of optoelectronic measurements using the statistical analysis of the distribution functions of values under study. The algorithm for laser ranging to be used in geodetic linear measurements is presented.

В теории и практике математической обработки результатов измерений широко используется формализм статистического анализа на основе нормального распределения Гаусса [1]. Тем не менее, в работе [2] отмечается, что в практике анализа результатов линейных и угловых измерений очень часто имеет место отличие статистики измеряемых величин от нормального распределения.

Целью настоящей работы является анализ методики оптико-электронных измерений с использованием негауссовых функций распределения.

Задача решается применительно к измерениям дальности l лазерными дальномерами. Суть работы заключается в следующем:

Проводится измерения N значений дальности:

$$l_1, l_2, l_3, \dots, l_{N-1}, l_N.$$

При измерениях дальности регистрируются метеорологическая дальность видимости S_m в атмосфере, абсолютная влажность α и температура T .

По полученным данным для l находят среднее арифметическое значение $\bar{l}$:

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i. \quad (1)$$

Находим также арифметическое отклонение Δl_i результатов от среднего:

$$\Delta l_i = l_i - \bar{l}. \quad (2)$$

Экспериментальное значение функции распределения измеренных величин находим на основе гистограммы значений $p(\Delta l)$ по формуле:

$$P(l) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{p(\Delta l)}{N}, \quad (3)$$

где $p(\Delta l)$ - число значений измеренной дальности, которые уложились в интервал $\Delta l_i = (l_{\max} - l_{\min}) / K$, где K – число градаций измеренных дальностей.

Следует отметить, что полученная функция $P(l)$ - экспериментальная измеренная функция распределения значений дальности. При этом, как правило, суммарная погрешность лазерного дальномера содержит как систематическую (инструментальную), так и случайную составляющую, и на наш взгляд, функция распределения $P(l)$ может иметь асимметричный характер, то есть может отличаться от функции распределения Гаусса.

На основе полученной функции распределения $P(l)$ оценивается математическое ожидание $M(l)$ и дисперсия $D(l)$ измеренных значений дальности:

$$M(l) = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} l \cdot P(l) dl; \quad (4)$$

$$D(l) = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} [l - M(l)]^2 \cdot P(l) dl, \quad (5)$$

Оценка измерений дальности проводится по формуле:

$$l_{изм} = M(l) \pm \sqrt{D(l)}, \quad (6)$$

где $\sigma = \sqrt{D(l)}$ среднеквадратическое отклонение (СКО) измеренных значений дальности от его математического ожидания.

Для теоретического анализа влияния параметров оптико-электронной схемы дальномера, оптических и метеорологических свойств атмосферы, в том числе структурной постоянной C_n показателя преломления атмосферы проводится расчет дальности лазерного дальномера с тетраэдрическим отражателем по формуле [4]:

$$l = \sqrt[4]{\frac{16 \cdot 10^8 \cdot \Phi \cdot A_0 \cdot A \cdot \rho \cdot \tau_n \cdot \tau_0 \cdot \tau_c^2 \cdot \cos \beta \sqrt{T_k}}{\mu \cdot \Phi_n \cdot \theta_0 \cdot \pi^2 \cdot \theta_n^2 [(\lambda/d \cdot \cos \beta + 0,05\delta)^2 \sqrt{K_f(1+m)}]}}, \quad (7)$$

Согласно работе [5] коэффициент пропускания атмосферы равен:

$$\tau_c = e^{-\left(\frac{3,91l}{S_m}\right) (\lambda/0,55)^{-n_s}}, \quad (8)$$

где λ - длина волны лазера;

d - линейный размер входной грани тетраэдрического отражателя;

A_0 - площадь отражающей поверхности всего блока угловых отражателей;

A - площадь входного зрачка приемной части дальномера;

ρ - коэффициент отражения катафота (отражателя);

Φ - мощность лазера;

Φ_n - пороговый поток приемника излучения дальномера;

δ - расходимость отраженного пучка из-за неточности изготовления отражателя;

K_f - коэффициент, учитывающий форму зондирующего импульса;

T_k - длительность зондирующего импульса;

μ - отношение сигнал/шум;

m - коэффициент перекрытия пространства при обзоре;

θ_n, θ_0 - угол расходимости лазерного пучка передающей части дальномера и угол обзора пространства;

β - угол падения лучей лазера на зеркальную грань отражателя;

τ_n, τ_0 - коэффициент пропускания передающей и приемной части дальномера;

$n_s = 0,585 \cdot S_m^{1/3}$ при $S_m \leq 6$ км;

$n_s = 1,3$ для средних метеоусловий;

$n_s = 1,6$ для хороших метеоусловий.

На основании формул (6) и (7) проводится сопоставительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований и систематизация данных по оценке влияния на дальность l как параметров атмосферы, а именно, C_n и S_m , так и параметров K_f и T_k зондирующего лазерного импульса.

Таким образом, в данной работе предлагается обоснованная методика анализа оптико-электронных измерений дальности, которая позволит оценить виды влияния функции распределения ошибки на конечный результат с учетом значений параметров атмосферы, внешних воздействий и функциональных параметров прибора.

Данная методика может быть использована для анализа различных линейных и угловых измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст]/ И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1986. - 544 с.

2. Лесных, Н.Б. Законы распределения случайных величин в геодезии [Текст]: монография // Н.Б. Лесных. - Новосибирск: СГГА, 2005. - 129 с.

3. Зуев, В.Е. Распределение лазерного излучения в атмосфере [Текст]/ В.Е. Зуев. - М.: Радио и связь, 1982. - 288 с.

4. Тымкул, В.М. Оптико-электронные приборы и системы. Теория и методы энергетического расчета [Текст]/ В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул. - Новосибирск: СГГА, 2005. - 215 с.

5. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа [Текст]/ В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. - М.: Логос, 2004. - 444 с.

УДК 574.669

В.П. Перминов

СГГА, Новосибирск

ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ МАГНИЕТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ IIA ПОДГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе делается попытка систематизации физико-химических свойств, областей возможного применения и негативных факторов, возникающих при магниетермическом получении и использовании металлов подгруппы IIa.

V.P. Perminov

SSGA, Novosibirsk

PROBLEMS OF THERMAL MAGNESIUM TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF METALS (IIA SUBGROUP OF THE PERIODIC SYSTEM OF ELEMENTS) AND THEIR SAFETY

The author makes an attempt to systematize physical-and-chemical properties, application fields and negative factors arising as a result of thermal magnesium production of IIa subgroup metals and their use.

В работе делается попытка систематизации физико-химических свойств, областей возможного применения и негативных факторов, возникающих при магниетермическом получении и использовании бериллия, кальция, стронция, бария.

В ранее опубликованных работах [1, 2] нами были показаны достоинства магниетермии как способа получения металлов, сплавов и соединений (металлидов).

К сожалению, до сих пор нет достаточной ясности об области применения магниетермии, т.е. не сформулированы четко преимущества магниетермии по сравнению с другими методами металлотермии: алюмотермией, кальциетермией, натриетермией, силикотермией и т.д. для каждого отдельного случая.

Несомненно, что при выборе металла – восстановителя следует учитывать не только вопросы термодинамики процессов, но и экономичность технологии и вопросы безопасности при ее осуществлении.

В работе [3] была сделана попытка вскрыть основные негативные факторы и описать эффективные методы защиты от них при использовании магниетермии для получения щелочных металлов.

В данной работе автор пытается, используя известные к настоящему времени справочные данные [4], установить закономерности изменения

некоторых негативных свойств (воспламеняемость и токсичность) металлов подгруппы IIa (Be, Ca, Sr, Ba), получаемых магниетермическими методами. (см. табл. 1).

Бериллий. Основные потребители бериллия – атомная техника, реактивная авиация и ракетная техника, цветная металлургия и огнеупорная промышленность.

С точки зрения термодинамики восстановление оксида бериллия магнием до металла при атмосферном давлении не возможно. ($\Delta G_{298K} = - 586$ кДж).

Галогениды бериллия менее устойчивы, чем галогениды магния, поэтому здесь возможно применение магниетермии.

В настоящее время бериллий получают двумя способами: восстановлением фторида бериллия магнием и электролизом из хлоридного электролита.

При использовании магниетермии процесс протекает по следующему реакции

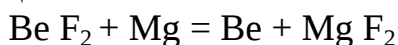


Таблица 1. Кристаллическая структура и некоторые свойства металлов IIa подгруппы периодической системы элементов

Металлы	Кристаллическая структура	Периоды кристаллич. решетки, Å	Атомный радиус, Å	Плотность, г/см³	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Температура воспламенения, °C*	Теплота плавления, ккал/г	Теплота испарения ккал/г	Предел прочности на разрыв σ_B , кг/мм²	Относит. удлинен. %	Твердость НВ или кг/мм²	Модуль упругости кг/мм²	Средняя летальная доза ЛД ₅₀ мг/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Be	Гекс.	a=2,2835 c=3,5840	1,13	1,8456	1284	2450	Более 2330	265	5943,3	20-55	0,2÷2,0	120 кг/мм²	3×10 ⁴	0,150
Mg	Гекс.	a=3,2072 c=5,2110	1,6	1,74	650	1107	623	2,2**	31,5**	12-20	8÷12	3÷3,6НВ	4500	3,59
Ca	ГЦК	a=5,56	1,97	1,54	851	1482	400÷550	37,2	917,5	6,0	50	20÷30НВ	2600	2,50
Sr	ГЦК	a=6,85	2,15	2,63	771	1380	720	15,62	380			19 кг/мм²	1600	5,73
Ba	ОЦК	a=5,019	2,21	3,76	710	1637	175	9,83	190,7			4,2НВ		0,258
Ra			2,35	5,0	960	1140								

*Температура воспламенения не является константой, а зависит от способа получения, в частности, дисперсности порошка. Она может быть даже равна комнатной температуре.

**Теплоты в ккал/моль;

Радий по ряду причин нецелесообразно получать магниетермическими способами.

Восстановление проводят в графитовых тиглях, нагреваемых в индукционных печах под флюсом из смеси MgF_2 и BeF_2 .

Бериллий и его соединения в высшей степени токсичны и обладают поливалентным действием: общетоксичным, аллергическим, канцерогенным и эмбриогенным. Они вызывают тяжелые заболевания, иногда со смертельным

исходом. В связи с этим на предприятиях бериллиевой промышленности остро стоит вопрос о безопасности работающих.

Строго соблюдаются нормы допустимых концентраций бериллия в воздухе. ПДК бериллия в воздухе рабочих помещений составляет $1 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, в атмосферном воздухе $1 \cdot 10^{-5}$ мг/м³. Концентрацию бериллия в воздухе контролируют на предприятиях непрерывно. В помещениях действует интенсивная вентиляция. В зданиях поддерживается некоторое разрежение, чтобы предотвратить возможное просачивание бериллия наружу. На всех операциях, связанных с пылеобразованием, предусмотрена возможно полная герметизация и местная вентиляция.

Работы с сухими порошками бериллия и его соединениями ведут в герметических рукавных боксах, работающих при разрежении 267 Па. Плавят бериллий в герметичных печах, установленных в кабинах с вентиляцией. Воздух из вентиляционных систем перед выбросом в атмосферу пропускают через стекловолокно и фильтры Петрянова. Фильтровальные ткани уничтожают.

Рабочие снабжены респираторами и полным комплектом спецодежды, в том числе и белья, которое должно меняться два раза в неделю, и подвергаются регулярному медицинскому освидетельствованию. От самих работающих требуется исключительная аккуратность и внимательность при проведении операций и безусловное выполнение всех без исключения правил техники безопасности. [4]

Наиболее токсичными и опасными для здоровья являются растворимые соединения бериллия, такие как фтористый, сернистый, уксуснокислый бериллий. Высокой токсичностью обладает также окись бериллия в виде паров и мелкодисперсных аэрозолей, образующихся при различных процессах плавки, и др. Соединения бериллия, находящиеся в воздухе в виде мелкодисперсных аэрозолей, паров, тумана, могут стать причиной заболевания органов дыхания (бериллиоз) и кожи (дерматит).

Из-за высокой токсичности бериллия необходима организация особых мер, предупреждающих проникновение в организм различных соединений бериллия в виде мелкозернистых аэрозолей, паров, а также загрязнение бериллием кожи, спецодежды, оборудования, поверхностей строительных конструкций.

Степень токсичности соединений бериллия во многом зависит от физического состояния вещества, его растворимости, дисперсности. Например, с повышением дисперсности аэрозолей бериллия токсичность его возрастает. Большое значение имеет и индивидуальная чувствительность человека к бериллию. Наиболее чувствительны к кожным поражениям люди с легкораздражимой кожей, противопоказана работа с бериллием людям с легочными и кожными заболеваниями.

Для обеспечения безопасности труда при работе с соединениями бериллия в производственных и лабораторных условиях необходимо выполнять санитарно-технические требования.

Все производственные или лабораторные работы с соединениями бериллия в виде порошков, паст, растворов или в виде металла и его сплавов следует

выполнять в изолированных помещениях с самостоятельным вытяжным устройством. В этих помещениях необходим 20-кратный обмен воздуха и следует поддерживать небольшое разрежение для предупреждения просачивания бериллия из помещения. Воздух из заводских помещений необходимо отводить во внешнюю атмосферу через специальные фильтры из шерстяной ткани или бумаги. Запрещается устанавливать оборудование, предназначенное для обработки бериллия или его соединений, в общем помещении цехов или лабораторией.

Все технологические операции, при выполнении которых возможно выделение в воздух аэрозолей бериллия, должны быть максимально герметизированы и механизированы.

Оборудование, предназначенное для обработки металлического бериллия и его сплавов (токарные и фрезерные станки, прокатный стан, пресс и др.), должно быть обеспечено укрытиями и местной вытяжной вентиляцией. Наилучшими являются укрытия типа боксов с минимальными проемами для рук и внесения деталей.

Небольшие партии бериллия и его соединений, поступившие в закрытой таре, можно хранить в общем складском помещении. Неупакованные чушки бериллия и его сплавов следует хранить в отдельном складском помещении.

Расфасовка и выдача бериллийсодержащих продуктов в порошкообразном состоянии должны производиться только в отдельном, отведенном для этого помещении, оборудованном вытяжным боксом.

Доступ в производственные помещения разрешается только через раздевальные комнаты (шлюзы), оборудованные индивидуальными шкафами и прочими санитарно-техническими приспособлениями, обычно применяемыми при работе с ядовитыми веществами. Бериллиевые заводы следует строить по возможности в малонаселенной местности с учетом розы ветров, грунтовых условий и других факторов, определяющих атмосферное распространение бериллия за пределами завода [4, 5].

При температуре ниже 2330 °С бериллий обычно не воспламеняется. Температура окружающей газовой среды, необходимая для воспламенения одиночных частиц, уменьшается с 2380 °С в атмосфере с большим недостатком кислорода до 2130 °С при парциальном давлении кислорода в несколько атмосфер. В смеси водорода и кислорода частицы бериллия не воспламеняются до температуры, несколько превышающей 2000 °С. Частицы бериллия при нагреве претерпевают существенный саморазогрев, так как разогрев за счет теплопроводности дополняется химическим саморазогревом. В отличие от алюминия момент воспламенения частиц бериллия менее четко выражен. Пленка окиси бериллия обладает меньшими защитными свойствами, чем пленка окиси алюминия, и при увеличении содержания окислителя в окружающей среде бериллий воспламеняется при значительно более низкой температуре среды. Возможно, имеет значение и то, что температура кипения бериллия в нормальных условиях (2490 °С) немного ниже температуры плавления окислов. Соединения бериллия: гидрид BeH_2 – при нагреве до 220 °С быстро выделяет кислород [5].

Кальций. Кальций нашел применение в металлотермии для восстановления из оксидов или галогенидов рубидия, цезия, циркония, ванадия, тория, урана и некоторых РЗМ, для раскисления сталей и бронз, для удаления серы из нефтепродуктов, при очистке инертных газов от азота, для поглощения остаточных газов в вакуумных приборах.

Сплавы кальция со свинцом применяют как антифрикционные материалы, при изготовлении аккумуляторных пластин и оболочек электрических кабелей [4].

Хотя в настоящее время кальций и получают алюмотермическим способом, наряду с получением путем электролиза, известны и попытки получить его магнитермическим способом из оксида несмотря на невозможность осуществления этого процесса с точки зрения термодинамики [6]. Соединения кальция токсичны.

Кальций является необходимой составной частью организма. Общее вредное воздействие на организм оказывают большие количества его, так что практическое значение имеет только местное действие.

Оксид и гидрооксид оказывают сильное прижигающее действие на слизистые оболочки органов дыхания, раздражает глаза и кожу, вызывая дерматит. Рекомендуемая ПДК для окиси кальция 3 мг/м^3 .

Карбид кальция вредно действует из-за выделения ацетилена при контакте карбида с влагой. Он обладает прижигающим действием, вызывая язвы на коже. Опасно попадание в глаза.

Окисная пленка на кальции не обладает защитными свойствами при низких температурах, поэтому температура воспламенения кальция около 400°C [5].

Металлический кальций энергично соединяется с водой и влагой воздуха, при этом выделяется водород и большое количество тепла, в результате может образоваться гремучая смесь, которая способна воспламениться или взрываться под действием ударов, сотрясений, местного нагревания, выделения тепла при реакции окисления и т.д. Поэтому склады для хранения металлического кальция должны быть несгораемыми, одноэтажными, иметь бетонные полы, стены толщиной не менее 1,5 кирпича и железобетонные перекрытия.

Куски металлического кальция весом от 0,5 до 60 кг предназначены для длительного хранения. Куски кальция размером от 20 до 100 мм разрешается хранить не более 10 суток. Куски размером от 2 до 20 мм упаковке и хранению не подлежат и должны быть переработаны в течение суток, а куски размером от 20 до 60 мм, упакованные в сухую герметичную тару, могут храниться не более трех суток.

Склады для хранения металлического кальция подразделяются на: базисные, предназначенные для длительного хранения; расходные (промежуточные), служащие для хранения и комплектации, и цеховые кладовые для хранения необходимого для производства металлического кальция, кальциевого сплава и оборотов.

Базисные и расходные склады должны быть расположены на расстоянии соответственно не менее 25 и 50 м от окружающих построек и должны состоять из отсеков (секций), разделенных капитальными стенами. Каждый отсек должен иметь два выхода, расположенные в противоположных стенах.

Перекрытия и кровля секций должны быть разделены брандмауэрами и устроены так, чтобы при разрушении перекрытия в секции, цельность стен и перекрытий смежных секций не нарушалась. Цеховые кладовые для металлического кальция, кальциевого сплава и оборотов должны располагаться только в одноэтажной части здания или в пристройке к нему. Цеховые кладовые должны иметь непосредственный выход наружу и проем в цех. Освещение складов должно быть взрывобезопасное. Выключатели, рубильники и предохранительные щитки должны быть расположены вне помещения, при выходе в склады. Устройство отопления и водопровода в складах не допускается.

Металлический кальций, предназначенный для длительного хранения на складах, предварительно должен полностью отделяться от мелочи и храниться в бумажных мешках, вложенных в железные оцинкованные барабаны (весом до 60 кг), с пропаянными и покрашенными швами и крышками, которые укладываются в деревянные ящики.

В секциях складов ящики с металлическим кальцием следует укладывать на стеллажи. Штабели не должны быть выше 2,2 м и шире двух барабанов. Между штабелями должны быть со всех сторон проходы шириной не менее 1 м.

Нормы загрузки складов металлического кальция. В базисных складах загрузка металлического кальция в отсеке не должна превышать 30 т. Общая емкость отдельного склада для металлического кальция не должна быть более 150 т.

В расходных (промежуточных) складах загрузка металлического кальция, а также кальциевого сплава в отсеке (секции) не должна быть более 10 т. Общая емкость такого склада не должна превышать 50 т. В цеховых кладовых общая загрузка металлического кальция, а также кальциевого сплава не должна превышать 2 т.

Тушение воспламенившегося металлического кальция и кальциевого сплава производится сухим песком и асбестовыми одеялами. Применение воды и огнетушителей для тушения кальция и его сплавов не допускается [6].

Стронций. Металлический стронций и отдельные его сплавы высокой чистоты успешно применяются в радиотехнике и электронике в качестве геттера (поглотителя газов), в производстве люминофоров, фотоэлементов.

В металлургии для раскисления меди, бронзы и модифицирования чугунов.

Наличие у стронция радиоактивных изотопов дает возможность применять его в атомной технике, автоматике и энергетике.

Sr^{89} используется для обнаружения повреждений телеграфных кабелей. Sr^{90} для изготовления «атомных батарей», работающих бессменно до 50 лет благодаря большому периоду полураспада этого изотопа.

Металлический стронций получают преимущественно алюмотермическим способом из оксида стронция в вакууме. Полученный технический металл в случае необходимости рафинируют.

Попытки восстановить SrO , $\text{Sr}(\text{OH})_2$ или SrCO_3 , а также SrCl_2 магнием не привели к положительным результатам, в частности, из-за сложности разделения продуктов реакции [1].

Ион стронция мало токсичен. Химически и биологически подобен кальцию. Токсические эффекты от нерадиоактивного стронция не отмечены. При попадании в организм (при вдыхании или заглатывании) откладывается в костях позвоночника.

Порошкообразный стронций обладает способностью к самовозгоранию. В силу этого хранение стронция возможно только в инертной среде (инертный газ или масло).

Барий. Практическое применение металлического бария невелико.

Барий и его сплавы с магнием и алюминием используют для поглощения остаточных газов в технике высокого вакуума (геттеры). Барием легируют некоторые антифрикционные сплавы. Сплавы бария с никелем применяют для изготовления электродов запальных свечей двигателей.

Соединения бария хорошо поглощают рентгеновские лучи и γ -излучение, вследствие чего их вводят в состав защитных материалов в рентгеновских установках и ядерных реакторах.

Для получения металлического бария известны два основных способа: термическое восстановление соединений бария алюминием, магнием, кальцием, натрием, кремнием и электрохимический способ. Основным методом получения бария служит термическое восстановление оксида бария алюминием в вакууме.

Магнийтермические способы оказались нецелесообразны из-за сложности разделения продуктов реакций.

Нерастворимые соли бария (в частности сульфат) неядовиты.

Растворимые соли бария (например, хлорид, сульфид, оксид бария и др.) ядовиты. При попадании через рот оказывают раздражающее действие. Соединения бария вызывают воспалительные заболевания головного мозга, действуют также на сердце, могут вызвать пневмокониоз.

Пыль барита и сернокислого бария при длительном воздействии может вызвать поражение легких.

Некоторые соединения бария в организме растворяются, чему способствует кислота желудочного сока. Может происходить отложение бария в костях, а так же в печени, мозгу, железах внутренней секреции.

Симптомами являются раздражение глаз, дыхательного тракта, заболевание кожи, выпадение волос, головокружение, озноб, рвота, колики, понос, учащенное дыхание, повышенное кровяное давление, сердечная аритмия, синюха, мышечная слабость и дрожь, боль в пояснице, конвульсии и паралич [1, 4, 5].

Способностью к самовозгоранию обладают порошки и пыли ряда сплавов щелочноземельных металлов. Это в первую очередь сплавы с высоким содержанием кальция, стронция и бария (см. табл. 2).

В поисках определенного критерия пирофорности Хала исходил из предположения, что пирофорность частиц одинаковой величины должна быть

тем выше, чем больше их теплота сгорания «Q» и чем меньше их теплопроводность «λ» и удельная теплоемкость «С». Вместо теплопроводности можно подставить электропроводность «К».

Тогда получают коэффициент пирофорности -
$$\frac{Q}{\lambda \cdot C} [1].$$

Таблица 2. Пирофорность сплавов щелочноземельных металлов

Сплав	Область пирофорности	Фазы
Ca – Mg	40 ÷ 80% Ca	CaMg ₂ + Ca
Sr – Mg	70 ÷ 82% Sr	SrMg ₂ + Sr
Ba – Mg	80 – 90% Ba	BaMg ₂ + Ba

В табл. 3 приведены коэффициенты пирофорности металлов IIa подгруппы периодической системы.

Таблица 3. Коэффициенты пирофорности металлов IIa подгруппы периодической системы

Металл	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Коэффициент пирофорности	34	52	69	360	850

Радий. Радий используют как источник получения радона, для приготовления радий-бериллиевых источников нейтронов, для изготовления светящихся красок. Иногда радий используют для дефектоскопии литья, сварных швов, для снятия электростатических зарядов и т.п.

Сведений о магниетермическом получении радия не найдено.

Радий оказывает специфическое действие на организм вследствие радиоактивности – способности ионизировать атомы и молекулы тканей организма. Биологический эффект зависит от поглощенной дозы, состояния организма и других факторов.

В результате поражения может возникнуть лучевая болезнь в острой или хронической форме.

В заключении можно отметить, что физико-химические свойства металлов IIa подгруппы периодической системы элементов, в том числе пирофорность и даже биологическая активность коррелируют с электронным строением, и следовательно, можно прогнозировать тенденции их изменения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самсонов, Г.В. Магниетермия /Г.В. Самсонов, В.П. Перминов. – М.: Металлургия, 1971. – 174 с.
2. Самсонов, Г.В. Магниты // Г.В. Самсонов, В.П. Перминов. - Киев: Наукова Думка, 1971. – 344 с.
3. Перминов, В.П. Вопросы безопасности при магниетермическом получении щелочных металлов // Сб. материалов научно-технического конгресса СПАССИБ-БЕЗОПАСНОСТЬ-2009, 15-17 сентября, СГГА.- Новосибирск, 2009. – С. 129-132.

4. Энциклопедия неорганических материалов. – Киев: 1977. – Т.1 – 840 с.; Т.2 – 813 с.
5. Злобинский, Б.М. Воспламеняемость и токсичность металлов и сплавов / Б.М. Злобинский, В.Г. Иоффе, В.Б. Злобинский. М.: Metallurgy, 1972. – 264 с.
6. Доронин, Н.А. Metallurgy кальция / Н.А. Доронин.- М.: Atomizdat. – 1959.

© В.П. Перминов, 2011

УДК 681.586.5:621.384.3

Е.Ю. Кутенкова

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ФОТОКОЛОРИМЕТРА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЖИДКИХ СРЕД

В данной работе предлагается конструкция оптоэлектронного фотоколориметра. Отличительными особенностями, которого является то, что кювета выполнена стационарно и может устанавливаться в ходе технологического процесса перекачки жидкости, при этом каждый параметр контролируется четырьмя оптронами открытого канала, а точность измерения повышается за счет двукратного прохождения излучения через исследуемый объект.

E.Yu. Kutenkova

SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF OPTOELECTRONIC PHOTOCOLORIMETER FOR AUTOMATED ANALYSIS OF FLUID MEDIA

The paper presents the construction of optoelectronic photocalorimeter featuring the fixed cuvette which can be set during the technological process of liquid pumping, with each parameter being controlled by the open-channel optrons and measurement accuracy being increased due to the radiation double passing through the object under study.

Фотоколориметры применяются в различных областях народного хозяйства для анализа жидких сред или дискретного контроля параметров объектов и для управления технологическим процессом в пищевой, химической, металлургической промышленности, в сельском хозяйстве, на предприятиях водоснабжения, нефтепереработки, медицине для контроля за состоянием человека и в других областях народного хозяйства.

Существуют стандартизованные методы контроля жидких сред, в которых используют колориметрический способ. Так, например, для определения цвета нефтепродуктов применяются стандартные лабораторные методы: для смазочных масел, печных и дизельных топлив и других нефтепродуктов по ГОСТ 20284 - 74 или ASTM D 1500 (США); для этилированных бензинов по ГОСТ 20924 - 75 или ASTM D 2392 (США) и т.д.

Во всех этих стандартизованных методах используют колориметрический способ контроля. Следовательно, процесс автоматизации измерения цвета нефтепродуктов на технологическом потоке сводится к разработке и

применению автоматических фотоэлектрических колориметров непрерывного действия.

Для непрерывного контроля за цветом нефтепродуктов на технологических потоках промышленностью выпускаются автоматические фотоэлектрические колориметры. В приборах используют дифференциальный метод измерения светопоглощения. Сравнительным образцовым средством может быть светофильтр из цветных стекол или подобранная жидкость с равноценной спектральной характеристикой. Отношение оптической плотности контролируемого продукта к оптической плотности образцового средства и измеряют при помощи оптической системы с электрической компенсацией. Пропорционально изменению отношения оптических плотностей изменяется выходное напряжение, подаваемое на регистрирующий прибор.

Например, для нефтепродуктопроводов разработан специализированный автоматический фотоэлектрический колориметр погружного типа для контроля за границами раздела последовательно перекачиваемых бензинов [1].

В верхней части корпуса 1 фотоэлектрического датчика (рис. 1) имеется отверстие, закрываемое крышкой 9 с прокладкой 8, обеспечивающее доступ во внутреннюю полость датчика. С двух сторон корпуса установлены штепсельные разъемы 4 и 13. В стенки корпуса герметично вклеены прозрачные защитные окна 7 и 10, которые изготовляют из стекла или пластмассы, пропускающие световой поток в видимой и ИК-областях спектра. Перед защитным окном 7 установлены два источника излучения: 5 для работы в видимой области спектра, 3 для калибровки показаний датчика в ИК-области. Между источником излучения 5 и окном 7 расположен интерференционный светофильтр 6, пропускающий видимую часть спектра, а перед источником излучения 3 установлен инфракрасный интерференционный светофильтр 2.

Перед защитным окном 10 находятся фоторезисторы 12 и 14, воспринимающие световой поток видимой части спектра при контроле за бензином и инфракрасное излучение при калибровке датчика. Светофильтр 11, установленный перед фоторезистором 12, пропускает излучение в видимом (зеленом) и инфракрасном диапазонах спектра, а светофильтр 15, установленный перед фоторезистором 14, - излучение в видимом (красном) и инфракрасном диапазонах спектра.

Источники излучения 3, 5 и фоторезисторы 12, 14 с помощью проводов подключены к штепсельным разъемам 4 и 13.

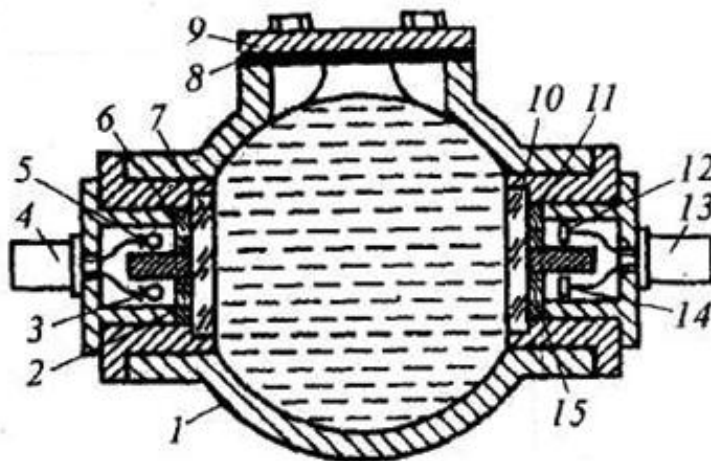


Рис 1. Конструкция фотоэлектрического датчика

Использование зеленого и красного светофильтров повышает чувствительность и точность контроля за цветом перекачиваемых бензинов и их смесей. Например, отношение пропусканий излучения красного и зеленого светофильтров для коммерческого и премиального бензинов изменяется от 0,9 до 7, т.е. максимальный предел отношений на границах раздела бензинов довольно высокий - 8:1. Кроме приведенного датчика в состав фотоэлектрического колориметра входят электронное устройство, блок питания и регистрирующий прибор.

Недостатками данного датчика является то, что контролируемая жидкость в данном случае заливается в отверстие датчика и при этом необходимо обеспечивать герметичность при контроле. Для каждого последующего анализа необходимо извлекать кювету мыть и протирать оптические поверхности от потеков исследуемой жидкости и заполнять очередной пробой. Использование светофильтров, с одной стороны, повышает чувствительность, а с другой - усложняет конструкцию, и вносит определенные погрешности.

В данной работе предлагается следующая конструкция оптоэлектронного колориметра для контроля цвета полупрозрачных жидкостей, в том числе нефтепродуктов, который лишен выше указанных недостатков. Блок-схема фотоколориметра представлена на рис. 2, а на рис. 3 конструктивное выполнение датчика [2].

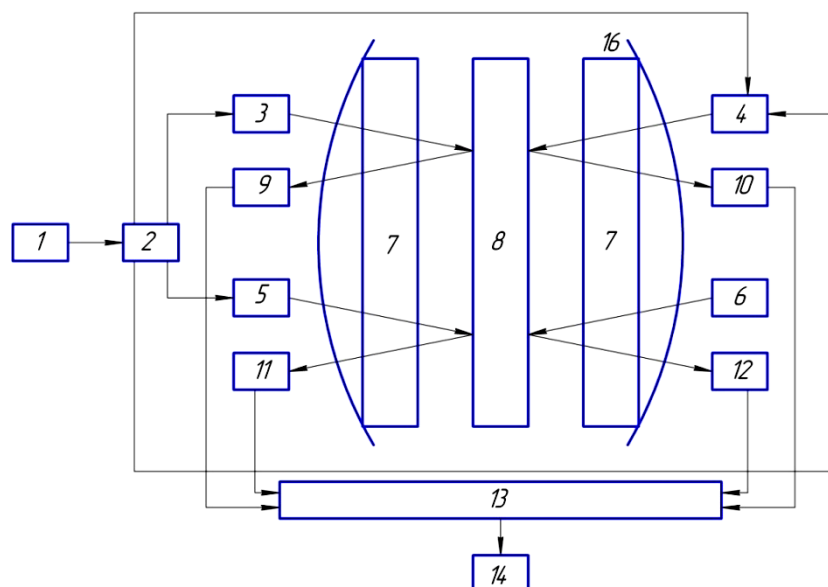


Рис. 2. Блок-схема оптоэлектронного колориметра

Оптоэлектронный фотоколориметр состоит из задающего генератора 1 (источника импульсного питания), коммутатора 2, светоизлучающих диодов СИД1 - 3, СИД2 - 4, СИД3 - 5, СИД4 - 6, контролируемого объекта 7, отражающей поверхности 8, приемников оптического излучения ПОИ1 - 9, ПОИ2 - 10, ПОИ3 - 11, ПОИ4 - 12, блока обработки фотоэлектрического сигнала - 13 и измерительного прибора 14 или ЭВМ - 15.

Датчик (рис. 3) включает в себя линзу-шар 16, в которой имеется полость, представляющая собой цилиндр, проходящий через ее центр, в котором установлен посеребренный вал с отражающей поверхностью 8. В процессе контроля возможно перекрытие потока исследуемой жидкости 7, для этой цели используется кран 17. Сам датчик помещается в корпус 18.

Устройство работает следующим образом. При заполнении цилиндрического отверстия линзы-шара 16 (то есть кюветы) контролируемой жидкостью, она облучается несколькими светодиодами с длиной волны 315 – 1200 нм, кроме того устройство также можно установить на технологическом потоке, т.е. можно контролировать нефть, протекающую через трубу по стрелке, указанной на рис. 2. При включении задающий генератор 1 вырабатывает прямоугольные импульсы 8 - 10 Гц. Разделенные импульсы через переключатели оптронов подаются на светоизлучающие диоды 3, 4, 5, 6.

В первом положении переключателя, поток излучения светоизлучающего диода 3 фокусируется и отражается от посеребренной поверхности вала 17 и далее попадает на приемник оптического излучения 8. Затем сигналы поступают в БОФС - 12, где реализуется отношение сигналов компенсационного и измерительного потока. Сигнал отношения пропорционален величине коэффициента пропускания, оптической плотности жидких сред и прозрачных твердых тел, а также измеряется концентрация веществ в растворе, после предварительного определения потребителем градуировочной характеристики,

подаются на измерительный прибор, по показанию которого судят об оптических параметрах жидких сред.

Предлагаемое устройство повышает точность измерения за счет двукратного прохождения излучения через исследуемый объект и стационарного расположения кюветы, через которую пропускается жидкость.

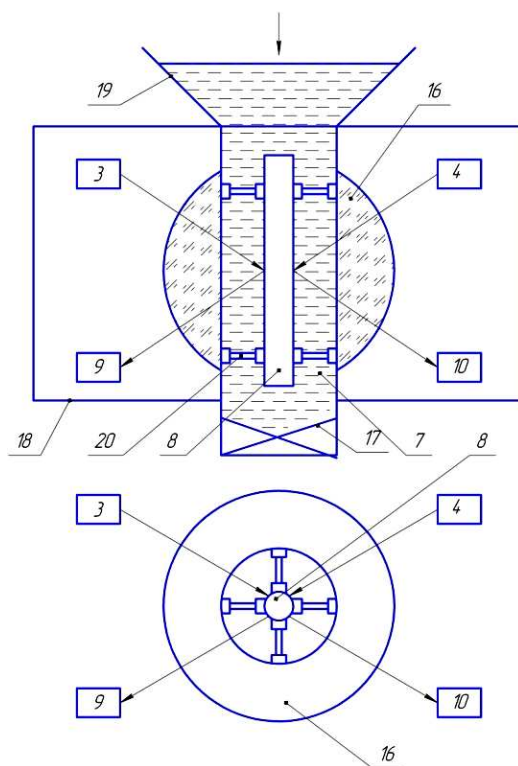


Рис. 3. Конструктивное выполнение датчика оптоэлектронного колориметра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неразрушающий контроль: справочник: В 7 т. /под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: Магнитные методы контроля, Оптический контроль, Радиоволновый контроль / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 2004.
2. Пат. 2413201 Российская Федерация, МПК⁵¹ G01N 21/03. Оптоэлектронный фотоколориметр/ Рахимов Б.Н., Ушаков О.К., Кутенкова Е.Ю., Ларина Т.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия». - №2009146659/28; заявл. 15.12.2009; опубл. 27.02.11, Бюл. №6. – 4 с.: ил.

© Е.Ю. Кутенкова, 2011

УДК 681.7:7. 067

С.В. Критинина

СГГА, Новосибирск

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В данной статье рассмотрены прогрессивные способы обработки сложных оптических поверхностей в сочетании с новейшими приборами контроля.

S.V. Kritinina

SSGA, Novosibirsk

INNOVATION TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT OF OPTICAL PRODUCTION

Progressive methods of complex optical details processing in combination with modern control devices are considered.

Состояние отрасли в недавнем прошлом

Оптическое производство и оптические технологии всегда представляли собой специфическую отрасль отечественного производства. Специфика эта обусловлена особенностями физико-химических свойств обрабатываемых материалов, необходимостью использования специального оборудования, обрабатывающего инструмента и средств контроля. Не секрет, что в последние годы оптическое производство испытывает такие же проблемы, как и многие другие отрасли отечественной промышленности - старение парка оборудования, недостаток квалифицированных кадров и разрушение структуры их подготовки.

С другой стороны, растет понимание того, что оптические устройства и технологии являются неотъемлемой частью сложных оптико-электронных устройств, используемых в промышленности, в научных исследованиях, для нужд обороны и требуют к себе самого пристального внимания.

В течение длительного времени одним из немногих производителей современного оптического оборудования для предприятий отрасли был Сморгонский завод оптического станкостроения (г. Сморгонь, Белоруссия). Это предприятие производило широкую номенклатуру станков для традиционной обработки (метод свободного поверхностного притира) и скоростной алмазной обработки оптических заготовок, оборудование для центрирования деталей (в т.ч. с лазерным контролем), а также вакуумные установки для нанесения оптических покрытий различного назначения. Конструкции станков постоянно совершенствовались в целях обеспечения максимальной производительности и высокой точности обрабатываемых поверхностей. При этом всегда присутствовало стремление учитывать передовой зарубежный опыт в этой

области. Но с распадом СССР предприятие стало испытывать серьезные трудности. Сморгонский завод продолжает выпускать оборудование и сейчас, но количество заказов, по известным причинам, резко сократилось.

Оборудование, изготовленное в те годы и имеющее солидный возраст, до сих пор можно встретить на многих предприятиях отрасли и, более того, оно в работоспособном состоянии и продолжает выполнять свои функции.

Понятно, что не всегда это происходит от хорошей жизни, т.к. стоимость современного импортного станка может составлять сотни тысяч евро.

Приборы для контроля оптических деталей ранее также выпускались в достаточном количестве и ассортименте, чтобы удовлетворить потребности контроля в отрасли. Производителями приборов для контроля оптических деталей были и остаются ведущие предприятия отрасли, такие как ЛОМО, НПЗ, КОМЗ, УОМЗ.

В некоторых случаях, в связи с большим разнообразием выпускаемых оптических деталей и узлов, использовались нестандартные средства контроля, которые зачастую проектировались и изготавливались самим производителем оптики. Определенные проблемы имелись с бесконтактным контролем сферических поверхностей - выпускаемые промышленные интерферометры типа ИТ-100 были рассчитаны только на контроль плоских поверхностей. К выпуску готовился первый интерферометр со сферическим компенсатором типа ИКДУ, но последовавший вскоре распад СССР и проблемы 90-х годов приостановили работы в этом направлении.

Стекловаренная промышленность в советский период имела четкую структуру. Существовало пять предприятий в России и Украине, которые в сумме выпускали всю необходимую номенклатуру оптических стекол. При этом была четкая специализация предприятий по маркам стекол. Так, практически все цветные стекла выпускались на Изюмском заводе (Украина). С распадом СССР стекловаренная промышленность также стала испытывать серьезные трудности. Производство большого числа марок цветного оптического стекла пришлось срочно осваивать на Лыткаринском заводе оптического стекла (Московская обл.). Трудности в стекловаренной промышленности продолжаются и в настоящее время. Так, Никольский завод оптического стекла находился на грани остановки. Как следствие - страдает качество выпускаемых оптических заготовок. В этой ситуации некоторые производители оптики обращают свои взгляды к иностранным производителям оптического стекла, таким как O'HARA и др.

Инновационные технологии в оптическом производстве

Тем не менее, развитие оптических технологий не стоит на месте. На базе развития микроэлектроники стали возможны новые конструктивные решения и использование их при создании оптического оборудования нового поколения. В первую очередь это относится к ведущим мировым фирмам по производству оптического оборудования - SatisLoh и OptoTech. В совокупности с достижениями в области числового программного управления это дало принципиальную возможность создать автоматизированное оборудование для обработки оптических деталей. Ранее речь могла идти только о механизации и частичной автоматизации некоторых видов оптического оборудования.

Конструкция нового оборудования в этом случае неразрывно связана с реализацией новой технологии.

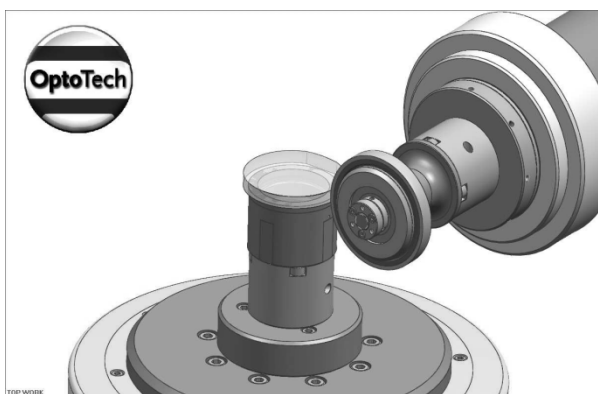


Рис. 1. Схема обработки на станке ASM100

Рассмотрим новые конструктивные и технологические решения на примере станков для обработки асферических поверхностей ASM100 CNC TC и ASM200 фирмы OptoTech. Шлифование заготовки на станке ASM100 (рис. 1) производится в 4-х жестких осях при скорости вращения алмазного инструмента до 10000 об/мин. Воспроизводимая точность позиционирования инструмента при этом составляет не более 1 мкм. Сущность предлагаемой новой

технологии заключается в том, что алмазный инструмент с рабочей поверхностью торической формы осуществляет движение по образующей оптической поверхности, находясь в точечном контакте с обрабатываемым материалом. Такая схема позволяет получать как сферические, так и асферические поверхности, в том числе поверхности высшего порядка.

Программное обеспечение AspheroTool обеспечивает эффективное управление и контроль над всеми функциями станка. Управляющая программа автоматически формируется после введения уравнения поверхности и исходных параметров детали.

Высокая точность позиционирования инструмента и заготовки обеспечивается также за счет использования гидропластовых патронов фирмы Schunk, сводящих погрешность повторного базирования к минимуму. На адаптере (оправке) возможно закрепление второго алмазного инструмента, что позволяет обрабатывать поверхность по диаметру торцевым инструментом.

Повышению точности обработки способствует наличие термостатированной системы подачи СОЖ. Емкость для СОЖ имеет автономную систему нагрева. Точность поддержания температуры - до 0,5°C. Режим термостатирования позволяет обрабатывать оптические материалы с большим коэффициентом линейного расширения, такие как бескислородные стекла, критичны к перепадам температуры. Необходимо добавить, что емкость для СОЖ содержит сепаратор, отделяющий твердую фазу шлама при обработке, тем самым сохраняя чистоту СОЖ и снижая необходимость ее замены. Как видно, в конфигурации станка тщательно продуманы все необходимые периферийные устройства.

Обработанная таким образом заготовка поступает затем на полирование на станок ASM200. Задачей полирования, по существу, является придание поверхности детали нужной шероховатости и чистоты, не меняя при этом формы поверхности, полученной при шлифовании. Полирование может осуществляться как полноразмерным инструментом, так и малым инструментом по специальной программе. Для полирования сферических

деталей используется режим «синхроспид», при котором относительная скорость движения всех точек детали одинакова. Корпус полировальника изготавливается из минерального материала с малым коэффициентом линейного расширения, что способствует точности и воспроизводимости формы деталей при обработке. Особенность состоит в том, что сам корпус полировальника может быть шлифован на станке ASM100.

Рабочей поверхностью полировальника служит специальная полимерная пленка - аналог пенополиуретана.

В случае полирования асферических деталей применяется режим малой осцилляции. Корпус полировальника при этом имеет форму эквидистантной асферической поверхности, на которую наклеивается слой специальной резины и полировальная пленка. Полирование происходит в интенсивном режиме, что позволяет сократить его продолжительность в 3-5 раз по сравнению с традиционным способом.

Система подачи полировальной эмульсии на станке ASM200 также термостатирована с точностью до $0,5^{\circ}\text{C}$. Для полирования оптических стекол используется суспензия тонкодисперсного полирита марки Cegox 1650, а для обработки кристаллов применяется структурированная эмульсия тонкой окиси алюминия марки UltraSol 500. Интересен тот факт, что сочетание интенсивных режимов обработки и современных полировальных материалов позволили получить оптические поверхности без сетки даже мельчайших ласин, что при традиционной обработке практически невозможно.

Кроме перечисленных функций указанное оборудование обладает дополнительными возможностями, которые обеспечиваются кинематикой станка и специальными опциями программного обеспечения. Так, при реализации сложного запрограммированного относительного движения верхнего и нижнего звена станка ASM100 становится возможным изготовление неосесимметричных деталей цилиндрической и торической формы, а также внеосевых параболоидов.

Практика показывает, что возможности станка в этом случае могут ограничиваться слишком большой крутизной поверхности, когда становится невозможным контакт вершины рабочей поверхности круга с обрабатываемой поверхностью. Специалистами было найдено решение, которое заключается в использовании большого металлического блока, составной частью которого являются внеосевые параболоиды. При этом оставшаяся поверхность блока заполнена вспомогательным материалом, принимающим форму блока и способствующим процессу полирования. Кроме рассмотренного способа обработки существуют и другие прогрессивные способы полирования. Один из них - это WPT- полирование полиуретановым шаровым инструментом (Wheel Processing Technology), используемое для поверхностей со сложной геометрией (рис. 2).

Еще одним высокопроизводительным и точным методом обработки является активная жидкостно-напорная полировка - A-FJP (Aktiv-Fluid-Jet-Polishing) - новая технология доводки, реализованная фирмой OptoTech (рис. 3).

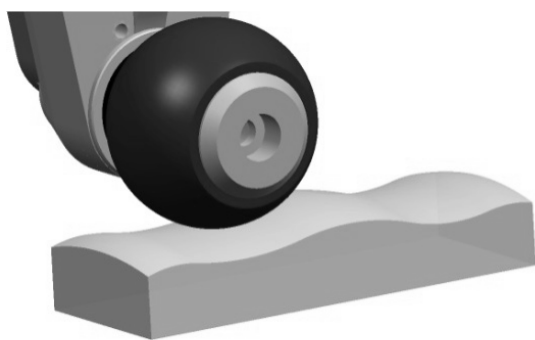


Рис. 2. Схема WPT-полирования



Рис. 3. Схема А-ФЖР - полировки

Особенностью данного вида полировки заключается в достижении минимальной шероховатости и возможности значительного съема материала, что позволяет легко удалять следы шлифования. Считается, что технология А-ФЖР активной жидкостно-напорной полировки в комбинации с технологией WPT - полировки шаровым инструментом в будущем может стать одной из самых передовых технологий обработки оптики.

Большое место занимают прогрессивные технологии точного контроля формы оптических поверхностей. Эти технологии включают как контактные, так и бесконтактные методы измерения. Важно, что все они имеют интерактивный характер, и результаты измерений по локальной сети передаются на станки для корректировки управляющих программ и устранения ошибок путем корригирующего полирования или шлифования.

Один из наиболее точных контактных методов - измерения на сверхпрецизионной координатно-измерительной машине типа PPM-C (Infinity 750) с трехмерной системой сканирования. Абсолютная точность такого сканирования может достигать менее 0,3 мкм, а воспроизводимость результата до 0,1 мкм.

Бесспорным достоинством бесконтактных интерференционных методов является очень быстрое получение результата контроля и отсутствие риска повредить поверхность. Асферические интерферометры типа OWI 150ASPH (OptoTech) обладают высокой точностью, широким диапазоном апертур, но требуют для контроля каждой отдельно взятой формы поверхности отдельной синтезированной голограммы (CGH), преобразующей плоский волновой фронт в асферический. Очевидно, что расчет и изготовление такого диспергирующего элемента всякий раз требует определенных затрат.

В этом смысле, несмотря на немалую стоимость, предпочтительнее выглядит асферический интерферометр абсолютного измерения сшивного типа марки VeriFire Asphere фирмы Zygo. Он базируется на совокупности схем интерферометра Физо и интерферометра смещения и не требует использования синтезированных голограмм.

Точность интерферометра VeriFire достигает $\lambda/60$ (100 нм) при воспроизводимости результатов до 3 нм. Максимально измеряемая асферичность – 800 мкм.

Нет сомнения в том, что рассмотренные выше прогрессивные способы обработки сложных оптических деталей в сочетании с новейшими приборами контроля, действительно создадут возможности для реализации самых смелых конструкторских идей и смогут обеспечить максимально достижимое качество оптики будущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инновационная комплексная программа оптического производства OptoTech GmbH Sandusweg 2-4 D-35435 Wettenberg (Germany).

© С.В. Критинина, 2011

УДК 621.75

Л.А. Канушина, А.Н. Соснов, Н.К. Соснова
СГГА, Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

В статье рассмотрена возможность обеспечения работоспособности алмазно-абразивного инструмента и удаления волнистости поверхности путем правильного подбора характеристик рабочего слоя инструмента и режимов обработки.

L.A. Kanushina, A.N. Sosnov, N.K. Sosnova
SSGA, Novosibirsk

TECHNOLOGICAL HEREDITY IN DIAMOND-ABRASIVE TREATMENT OF OPTICAL DETAILS

The paper deals with the possibility of the diamond-abrasive instrument operation and surface waviness removal by proper selection of the working layer characteristics and the production modes.

Технологическая наследственность - это изменения свойств поверхностных слоев заготовок (механических, структуры и т.д.) после обработки по сравнению со свойствами материала до обработки, способные влиять на результаты последующей обработки. Проще всего это представить на примере шлифования металлов, у которых в результате термического воздействия на поверхностный слой, он может стать закаленным или отпущенным, то есть изменить свои механические свойства.

После шлифования стекла абразивными зёрнами поверхностный слой стекла также меняет свои свойства. Он представляет собой рельефный и трещиноватый слой, причем количество трещин на единицу объема убывает от поверхности до определенной глубины. В некоторых случаях кроме рельефа изменяется макрорельеф, поверхность становится волнистой.

При изготовлении оптических деталей по принятой технологии обработка рабочих поверхностей производится в несколько переходов. После каждого перехода формируется определенный рельефный и разрушенный слой, зависящий от величины зерна (при шлифовании свободным абразивом) и от зернистости алмазных зёрен, скорости и давлении при шлифовании связанным абразивом.

В первом случае прямая зависимость между величиной зерна и глубиной разрушенного слоя объясняется возникновением сжимающих напряжений под зерном, при достижении предела прочности которых возникает хрупкое

разрушение. Эта закономерность наблюдается во всем диапазоне зернистостей [1].

При алмазно-абразивной обработке на деталь действуют тангенциальные силы и хрупкое разрушение происходит только при определенной глубине врезания зерна. Как показали исследования Крагельского И.В, хрупкое разрушение стекла наблюдается при размере алмазных зерен более 40 мкм, в интервале размеров от 40 до 14 мкм преимущественным видом разрушения будет микрорезание, при величине зерна менее 10 мкм – оттеснение [2]. Таким образом, алмазные зерна при зернистостях, характерных для среднего и тонкого шлифования, не способны интенсивно снимать припуск с монолитного материала с образованием стружки скола, что приводит к потере работоспособности инструмента.

В статье [3] показано, что работоспособность алмазно-абразивного инструмента на стадии среднего и тонкого шлифования зависит от глубины разрушенного предыдущей обработкой слоя, поэтому уже при грубом шлифовании необходимо подбирать режимы и характеристики рабочего слоя инструмента, обеспечивающие глубину разрушенного слоя большею, чем припуск на дальнейшую обработку.

Грубое алмазное шлифование производится на станках, имеющих три электродвигателя: для вращения инструмента, для вращения заготовки, для подачи СОЖ. При резонансных частотах этих двигателей возникают заметные колебания заготовки и обрабатываемая поверхность приобретает волнистость высотой в несколько десятков микрометров. При среднем шлифовании необходимо не только улучшить структуру поверхности, но и выровнять её. Для этого иногда производят шлифование этой поверхности свободным абразивом М40.

Увеличить глубину разрушенного слоя можно, подобрав зернистость и режимы обработки на стадии грубого шлифования. При шлифовании стекла инструментом с зернистостью 120/100, 100/80, 80/63 шероховатость обработанной поверхности практически одинакова - $R_a=2,5\text{ мкм}$, однако крупные зерна оставляют более глубокие трещины, потому что допускают более глубокое врезание, а значит, большую площадь сжимающего напряжения.

Глубина резания инструментом определяется глубиной врезания инструмента за один оборот [4], то есть зависит от окружной скорости изделия. Следовательно, для получения большей глубины врезания необходимо уменьшить скорость вращения заготовки.

Известно, что характер разрушения при алмазно-абразивном шлифовании носит вибрационный характер. При увеличении скорости вращения инструмента, частота циклов вибрации возрастает, рельеф и глубина разрушенного слоя уменьшаются. Для обеспечения большей глубины разрушенного слоя следует выбирать меньшую скорость обработки.

Таким образом, правильный подбор зернистости рабочего слоя алмазно-абразивного инструмента позволяет обеспечить его работоспособность на стадии тонкого алмазного шлифования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Формообразование оптических поверхностей /под ред. К.Г. Куманина – М.: Оборонгиз, 1962.-442с.
2. Крагельский, И.В. Трение и износ.– М.: Машиностроение, 1968.– 480с.
3. Изменение работоспособности алмазного инструмента в процессе тонкого шлифования оптического стекла / В.М. Альтшулер, В.Н. Алексеев, В.П. Коровкин, Г.С. Ходаков // ОМП. – 1976.– №5.-С.67-68.
4. Ардамацкий, А.Л. Алмазная обработка оптических деталей. – Л.: Машиностроение, 1978.– 232с.

© Л.А. Канушина, А.Н. Соснов, Н.К. Соснова, 2011

УДК 621.382:681.17

Р.У. Алиев

Андижанский госуниверситет, Андижан, Узбекистан

Н.Р. Рахимов

СГГА, Новосибирск

Э.К. Мухтаров

Андижанский госуниверситет, Андижан, Узбекистан

Е.Ю. Кутенкова

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР В КАЧЕСТВЕ ПРИЕМНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В данной работе предложен и физически обоснован способ измерения плотности потока ИК-излучения в широком диапазоне мощности с использованием кремниевых фотоэлектрических структур.

R.U. Aliyev, N.R. Rakhimov, E.K. Mukhtarov, E.Yu. Kutenkova

Andizhan state university, Uzbekistan

SSGA, Novosibirsk

RESEARCH OF SILICON PHOTOELECTRIC STRUCTURES USED AS OPTICAL RADIATION RECEIVERS

The authors present physical basis for the techniques of measuring IR radiation flux density in the wide power range by means of silicon photoelectric structures.

Разработка полупроводниковых приемников оптического излучения (ПОИ) с высокой чувствительностью и быстродействием для специализированных задач является актуальной прикладной проблемой оптико-электронного приборостроения [1]. В области ближнего ИК-излучения ($\lambda < 1,5\text{мкм}$) успешно применяются разнообразные ПОИ.

По принципу действия и изготовления ПОИ можно разделить на три большие группы (рис. 1) полупроводниковые (фотонные), тепловые (неселективные), фотоэлектронные и фотоемкостные. К тепловым относят радиационные, оптико-акустические, диэлектрические, металлические и криогенные болометры. Радиационные ПОИ, использующие термоэлектрические эффекты (термоэлементы); оптико-акустические ПОИ, основанные на расширении объема газа в результате его нагрева падающим излучением, диэлектрические (сегнетоэлектрические, пьезоэлектрические) ПОИ, использующий явление изменения спонтанной или обычной поляризации в пироактивном кристалле (диэлектрике) и появление несвязанных электрических зарядов в результате механических деформаций, при

неравномерном нагреве кристалла. К тепловым ПОИ относятся также металлические и криогенные болометры [2-3].

Основным достоинством тепловых ПОИ является постоянство чувствительности в широком спектральном диапазоне (0,1 - 100 мкм). К недостаткам можно отнести низкую чувствительность, очень малый уровень выходного сигнала и его сильную зависимость от окружающей температуры, поэтому в оптоэлектронных первичных преобразователях (ОПП) почти не применяется. В настоящее время тепловые ПОИ используются преимущественно для преобразования излучения в ИК-диапазоне, а также в качестве эталонных ПОИ в спектрометрических устройствах.



Рис. 1. Классификация ПОИ

Еще одна группа (рис. 1) фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ. К ним относят вакуумные и передающие ТВ-трубки с фотокатодами, диссекторы, электронно-оптические преобразователи, усилители яркости, фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и квантомеры. Обязательным условием, необходимым для нормальной работы этих ПОИ, является наличие вакуумированной среды и

больших рабочих напряжений, от сотен вольт до десятка киловольт, что снижает их надежность и долговечность и усложняет конструкцию. Поэтому в ОПП они редко применяются.

В ОПП, главным образом, применяются полупроводниковые ПОИ (рис. 1). Полупроводниковые ПОИ уступают по отдельным параметрам фотоэлектронным ПОИ, но использование их в условиях производства предпочтительно из-за малых габаритов, высокой надежности и небольших рабочих напряжений.

К этому классу ПОИ относятся: фоторезисторы (ФР), фотодиоды (ФД), фототранзисторы (ФТ), фототиристоры, приборы с зарядовой связью (ПЗС), АФН-приемники, фотоэлементы, полупроводниковые болометры.

ФР широко используются для приема оптического излучения в интервале от 0,3 до 40 мкм. Спектральная чувствительность ФР зависит от полупроводникового материала чувствительного слоя и охлаждения. Абсолютная спектральная чувствительность неохлаждаемых ФР при понижении температуры повышается, так как уменьшается генерация носителей тока.

Для охлаждения приемника подложку с чувствительным слоем монтируют в пластмассовом корпусе, имеющем форму сосуда Дьюара. Для охлаждения применяют твердую углекислоту (минус 78 °С) или жидкий азот (минус 195 °С).

Для регистрации и измерения с $\lambda = 10,6$ мкм применяется лишь несколько типов приемников. К ним относятся фотоэлементы на основе полупроводникового соединения кадмий-ртуть-теллур, германия с примесью золота или меди; полупроводниковые болометры; пироэлектрические приемники.

Фотоэлектрические приемники излучения считаются лучшими приборами, так как они непосредственно дают электрические сигналы. Однако такие фотоэлементы работают при глубоком охлаждении ($T = 77$ °К), что вызывает соответствующие трудности при их эксплуатации. Полупроводниковые болометры обычно характеризуются низкой чувствительностью и низким быстродействием. Пироэлектрические приемники имеют высокую чувствительность и хорошее быстродействие, но они рассчитаны для регистрации весьма слабых по мощности излучений.

В связи с этим, предстояла актуальная задача – разработать новый способ измерения мощности ИК-излучения, который позволил бы расширить функциональные возможности используемого прибора так, чтобы можно было измерять не только мощность излучения, но и распределение энергии по профилю луча. Является актуальным исследование и разработки полупроводниковых фото-, тепло - или электрических приборов на основе широко распространенного кремния.

Для решения данной задачи предложено использовать кремниевые фотоэлектрические приемники (ФЭП) в качестве приемника теплового потока ИК-излучения [4]. В результате действия теплового потока ИК-излучения на кремний температура ФЭП изменяется в зависимости от поглощаемой энергии. Если дополнительной подсветкой видимого излучения (в области спектральной

чувствительности кремния) создать исходную фото э.д.с., то под тепловым действием ИК-излучения изменяется значение исходного фото э.д.с. U_ϕ согласно известной формуле [5]:

$$U_\phi = (\beta k T / q) \ln ((J_\phi / J_0) + 1), \quad (1)$$

где J_ϕ - плотность фототока, J_0 - плотность темнового тока насыщения.

Известно, что уменьшение фото э.д.с. или напряжения холостого хода ФЭП связано с быстрым увеличением обратного тока насыщения при повышении его температуры [6]. Экспериментальные значения температурного коэффициента фото э.д.с. холостого хода кремниевых ФЭП (dU_ϕ/dT) обычно составляют $(1,9 \div 2,5)$ мВ/град и несколько меняются от элемента к элементу, но постоянны для каждого прибора в широком диапазоне освещенности и температуры. Самое главное - сохраняется прямолинейное изменение U_ϕ ФЭП от температуры в широком температурном диапазоне.

Для осуществления предложенного способа измерения мощности ИК-излучения разработано устройство, блок-схема которого приведена на рис. 2. Устройство содержит кремниевый ФЭП (4) с p - n -переходом (4□") и омическими контактами (4□ □), источник подсветки (6), регистратор напряжения (5). ФЭП изготовлен методом ионного внедрения атомов фосфора в поликристаллическую пленку кремния p -типа с удельным сопротивлением ~ 5 Ом×см, выращенной из газообразной фазы на низкоомной ($\sim 0,1$ Ом×см) подложке из кремния p -типа.

Сформированный источником (1) (CO_2 –лазер типа ЛГ-25) ИК-луч был направлен на ФЭП (4) через ослабитель мощности (2) (типа К945.04 от измерителя ИМО-2Н) и автоматический затвор (3), который позволяет экспонировать с погрешностью $\sim 0,01$ с.

На рис. 3 приведены графические зависимости фото э.д.с. холостого хода U_{xx} ФЭП и выходного сигнала S от мощности ИК-излучения W для времени экспонирования τ , равному (5) с (кривые 1, 1 □) и 10 с (кривые 2, 2 □).

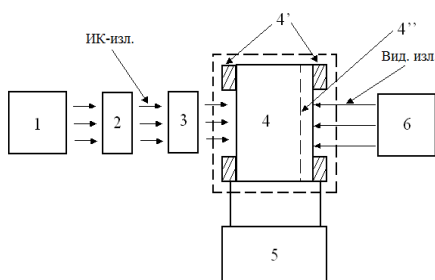


Рис. 2. Устройство для измерения мощности теплового потока ИК-излучения

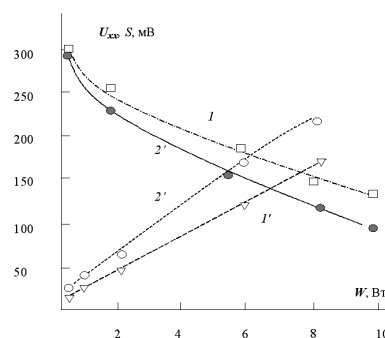


Рис. 3. Зависимость U_{xx} и сигнала ($S = \Delta U_{xx}$) от мощности потока ИК-излучения: 1 и 1' - для времени экспонирования $\Delta\tau = 5$ с; 2 и 2' - для $\Delta\tau = 10$ с

Как видно из графика, с ростом мощности излучения W линейно уменьшается U_{xx} (кривые 1 и 2), т.е. с изменением мощности излучения возникает

линейный сигнал S (кривые 1 □ и 2 □). Согласно зависимости $S(W=E/\tau)$ полученные кривые могут служить градуировочными кривыми для определения мощности луча или переносимой им энергии E .

Нарушение линейности $S(W)$ при $W > 7Bm$ (кривая 2) связано перегревом ФЭП. Как свидетельствуют эксперименты, можно исключить подобного рода нарушения линейности $S(W)$ путем снижения времени экспонирования (кривая 1). Следовательно, для расширения диапазона измерения по мощности ИК-излучения в большую сторону необходимо дальнейшее снижение времени экспонирования.

Таким образом, измерением сигнала S , т.е. изменения U_{xx} ФЭП, по градуировочной кривой можно определить мощность или энергию ИК-излучения. При этом важным является то, что ФЭП обладают высокой чувствительностью к нагреву по сравнению с полупроводниковыми болометрами, так как имеют диодную структуру с плоским p - n -переходом.

ФЭП в устройстве расположен так, чтобы подсветка направлена на его лицевую поверхность, вблизи которой сформирован p - n -переход, а измеряемое ИК-излучение направлено на противоположную ей поверхность (рис. 2). Преимущественное поглощение ИК-излучения происходит вблизи падающей поверхности, вследствие чего поверхностная область нагревается и возникает градиент температуры dT по толщине кремния dx . Тепловой поток dQ , направленный вглубь полупроводника через поперечное сечение ds за время dt определяется выражением:

$$dQ = -\lambda(dT/dx) ds dt, \quad (2)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала.

При достижении теплового потока dQ границы раздела p - n -перехода происходит измерение исходной фото э.д.с., созданной при помощи видимого излучения. Это измерение происходит до тех пор, пока температура области p - n -перехода не достигнет максимального значения, при котором зафиксируется измеряемый сигнал S . Инерционность этого устройства определяется промежутком времени dt или, как видно из выражения (2), толщиной dx . Другими словами, так как тепловой поток dQ передается через всю толщину ФЭП (dx_{Si}) и она намного превышает глубину залегания p - n -перехода ($dx_{Si} \gg dx_{h-g}$), предложенное устройство имеет высокую инерционность, что подтверждалось при экспериментальных измерениях. Восстановление исходного значения фото э.д.с. происходило в течении $1 \div 4$ с при выше указанном интервале мощности.

Для снижения инерционности ФЭП предложено расположить его так, чтобы ИК-излучение и подсветка были направлены на одну и ту же поверхность. Для повышения эффективного поглощения ИК-излучения в поверхностной области, на поверхность ФЭП нанесена пленка из окиси кремния SiO_x методом вакуумного термического испарения и одновременно служит в качестве антиотражающего покрытия для видимого излучения. Это позволяло предложить новое комбинированное фотоэлектрическое устройство для измерения ИК- и излучений (рис.4). Устройство (рис. 4) содержит полупроводниковый фильтрующий элемент 1, выполненный в виде плоской

пластины из монокристаллического германия, который имеет коэффициент пропускания для $\lambda = 10,6$ мкм порядка 90%, кремниевый ФЭП 2, излучатель видимого диапазона 4 (светодиод или лампочка накаливания), измерительную схему 3, источник питания 5 с переключателем 6.

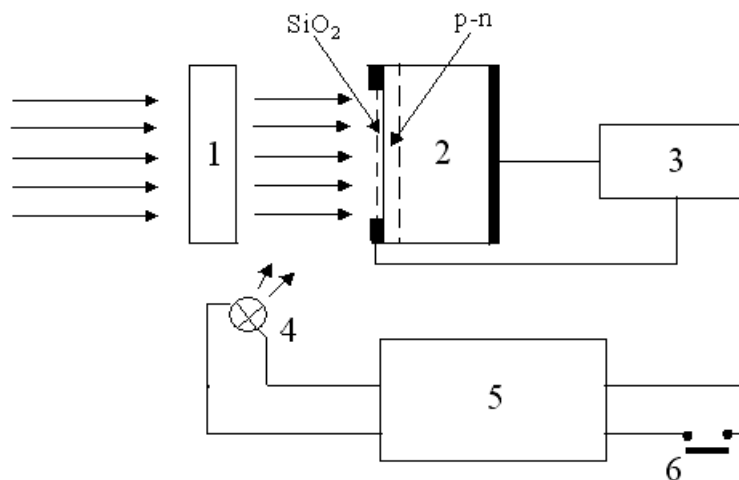


Рис. 4. Блок-схема комбинированной системы для измерения мощности потока видимого и ИК-излучения:

1 – фильтровая пластина, 2 - Si ФЭП с p-n переходом и SiO_2 – покрытием на фронтальной поверхности, 3 - измеритель, 4 – источник света, 5 - источник питания, 6 – переключатель

Комбинированное устройство, представленное на рис. 4, работает в двух режимах следующим образом:

а) Для измерения мощности видимого излучения необходимо снять фильтрующий элемент 1 (рис. 2); в результате световой поток падает на лицевую поверхность ФЭП(2), где непосредственно преобразуется в электрический сигнал (фотовольтаический режим); измерение сигнала (фото э.д.с.) при помощи схемы 3 позволяет определить мощность падающего излучения;

б) Для измерения мощности ИК-излучения, в частности для $\lambda = 10,6$ мкм, необходимо включить (переключателем 6) излучатель 4, который создает исходный фото э.д.с. на ФЭП 2; фильтрующий элемент 1 пропускает только ИК-излучение, под тепловым действием которого происходит изменение U_{xx} , т.е. возникает сигнал S ; измерением S по градуировочной кривой определяется мощность ИК-излучения.

Физическая сущность предложенного метода заключается в следующем. При падении теплового потока ИК-излучения на поверхность полупроводника преимущественное его поглощение происходит в поверхностной и приповерхностной областях, вследствие чего поверхностная область нагревается быстрее и возникает градиент температуры dT/dx по толщине образца. Тепловой поток dQ , направленный вглубь полупроводника по нормали

через поперечное сечение Δs за промежуток времени dt можно записать в виде [7]:

$$dQ/dt = -\lambda_T (dT/dx) \Delta s, \quad (3)$$

где λ_T - коэффициент теплопроводности материала.

Для решения задачи о распространении периодических температурных колебаний в однородном полупространственном теле уравнение теплопроводности (3) можно переписать в виде

$$\partial T / \partial t = a^2 (\partial^2 T / \partial x^2), \quad (4)$$

где a - коэффициент температуропроводности материала.

Решение уравнения (4), удовлетворяющее условию

$$T(0, t) = T \cos(2\pi f t), \quad (5)$$

может быть найдено, например в виде ряда [7]:

$$T(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \exp[-(\pi n f / a^2)^{1/2} x] \cos[(\pi n f / a^2 x) - 2\pi n f t]. \quad (6)$$

Значения коэффициентов T_n определяются граничными условиями, т.е. формой импульсов падающего теплового потока и их длительностью.

На основании решения уравнения (6) можно получить следующую характеристику процесса распространения температурной волны в теле. При периодическом изменении температуры на поверхности тела, устанавливается распространяющийся вглубь и изменяющийся с тем же периодом тепловой поток, вызывающий аналогично колеблющийся неравномерный нагрев тела по глубине, причем амплитуда колебаний температуры экспоненциально убывает с глубиной.

$$T(x) = T \exp[-(\pi f / a^2)^{1/2} x] \quad (7)$$

Прологарифмировав (7), получаем:

$$X = -\ln(T(x)/T) / (\pi f / a^2)^{1/2}. \quad (8)$$

Отсюда вытекает, что чем меньше период колебания температуры, тем меньше глубина проникновения теплового потока, т.е. тело на фиксированной глубине x нагревается меньше.

Предложенный способ измерения мощности ИК-излучения позволяет значительно упростить процесс измерения, который проводится при комнатной температуре. Как показывают эксперименты, мощность излучения в значительно более широком диапазоне по сравнению с другими методами можно измерить с использованием кремниевых ФЭП. Использование ФЭП с диодной структурой, к тому же на пленочной основе, позволяет создать приемники с высокой чувствительностью, которые могут конкурировать с пироэлектрическими приемниками.

Перспективным является возможность изготовления приемника в матричном виде на основе предложенного способа измерения. Матрицы из кремниевых ФЭП позволяют наиболее точно измерять распределение энергии по профилю луча. Создание многоэлементных матриц на основе ФЭП может иметь большое значение в разработке приемников теплового изображения с высокой разрешающей способностью. Описанную методику можно применять

для неразрушающего измерения глубины залегания p - n -перехода полупроводниковых фотоэлектрических структур.

Для повышения чувствительности устройств для измерения ИК-излучения целесообразно использовать высоковольтные фотоэлементы с вертикальными p - n -переходами, которые обладают выходным напряжением на порядок больше, чем единичные элементы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козелкин, В.В. Основы инфракрасной техники / В.В. Козелкин, И.Ф. Усольцев. - М.: Машиностроение, 1974. - 270 с.
2. Рахимов, Н.Р. АФН-пленки и их применение / Н.Р. Рахимов, А.Н. Серьёзов. – Новосибирск: СибНИА, 2005. – 64 с.
3. Рахимов, Н.Р. Приемник оптического излучения на основе АФН-пленок / Н.Р. Рахимов, Л.К. Мамадалиева// Изв. вузов. Приборостроение. - 2004. - № 8. – С. 53–56.
4. Алиев, Р.У. Применение кремниевых фотоэлектрических приемников для измерения мощности ИК-излучения // Приборы и техника эксперимента. – 1996. - №4, - С.132-133.
5. Васильев, А.М., Полупроводниковые фотопреобразователи / А.М. Васильев, А.П. Ландсман - М.: Сов. Радио, 1971. - 248 с.
6. Взаимодействие корпускулярных потоков с поверхностью твердого тела / Б.М. Абдурахманов и др. - Ташкент: Фан, 1991. – 220 с.
7. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. - М.: Наука, 1972. - 736 с.

© Р.У. Алиев, Н.Р. Рахимов, Э.К. Мухтаров, Е.Ю. Кутенкова, 2011