

ОГЛАВЛЕНИЕ



ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Балега Ю.Ю.	Российская наземная астрономия: перспективы развития и новые задачи для отечественной оптической промышленности	13
Белоусов С.П., Абдулкадыров М.А., Понин О.В. Игнатов А.Н., Румянцев В.В., Давиденко В.П.	Крупногабаритная оптика ОАО ЛЗОС для астрономии и космоса	13
Тарасов А.П., Архипов С.А., Донцов Г.А.	Космическая аппаратура ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева». Опыт создания и перспективы развития	15
Бурлаков И.Д., Пономаренко В.П., Филачев А.М.	Космическая фотосенсорика	18
Якушенков Ю.Г.	Некоторые положения системного подхода к проектированию оптико-электронных систем	20
Шаргородский В.Д.	Бортовые и наземные квантово-оптические системы ОАО «НПК «СПП» для ракетно-космической и авиационной техники (КОС РКАТ)	22
Барышников Н.В.	Развитие научной школы оптико-электронного приборостроения в МГТУ им. Н.Э. Баумана	23
Томас Рефельдт (Германия)	Сверхточная обработка поверхности, микрообработка, тонкое шлифование, притирка и полирование	24
Иоганн Дюк (Германия)	Ультра-прецизионная обработка оптических элементов до диаметра 2 м	25
Мирослав Ковач	История и будущее горшковых печей	26
Массимо Капаччоли	Русский зоркий глаз телескопа VLT Survey Telescope	28





СЕКЦИЯ № 1
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ
И КОМПЛЕКСОВ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Бакланов А.И., Стратилатов Н.Р., Понин О.В., Клюшников М.В., Забиякин А.С., Афонин А.Н., Блинов В.Д., Шаров А.А.	КШМСА – комплекс широкозахватной мультиспектральной съёмочной аппаратуры космического аппарата «Ресурс-П»	31
Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Шайда А.Н., Максимов С.В., Нонин А.С., Потапова Ю.В.	Напряженно-деформированное состояние составных стержней ферменного корпуса космического телескопа при воздействии градиентов температур	33
Архипова Л.Н.	Вклад ЛЗОСа в космическое объективостроение и перспективные работы	38
Галявов И.Р., Понин О.В., Гектин Ю.М.	Оптико-механические блоки сканирующих зеркал для гидрометеорологической аппаратуры	40
Аникеева И.А., Брагина Е.В., Горелов В.А., Попов С.М.	Анализ и перспективы развития группировки оптико-электронных систем ДЗЗ	41
Савицкий А.М., Сокольский М.Н., Трегуб В.П.	Оптические системы малогабаритных сканеров для ДЗЗ для космических аппаратов «Метеор-М	43
Солк С.В., Шевцов С.Е.	Вопросы проектирования и изготовления зеркально – линзовых многоспектральных оптико-механических систем	45
Власенко О.В., Яскович А.Л.	Оптическая система телескопа Т-170М	47
Ахметов М.М., Балоев В.А., Иванов В.П., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Мельников А.Н., Мирханов Н.Г., Муслимов Э.Р., Насыров А.Р.	Комплекс разрабатываемых в ГИПО лазерно-голографических методов и средств контроля сборки и юстировки центрированных оптических систем, в том числе телескопов типа Кассегрена и Ричи-Кретьена, на основе использования кольцевых синтезированных голограмм и полупроводниковых лазерных источников излучения видимого и ИК диапазонов спектра. Возможность их реализации в условиях обсерваторий космического базирования	49





Муслимов Э.Р.,
Насыров А.Р.,
Персев И.В.,
Штейнфельд В.О.,
Щербаков М.В.
Перчик А.В.

Широков Р.И.,
Алехнович В.И.

Аникеева И.А.,
Попов С.М.

Мак А.А.,
Поляков В.М.

Алёшин В.П.,
Гришин Е.А.,
Ивлев О.А.,
Сергеева А.Д.,
Сидорова Н.А.

Тарасенко И.В.,
Юрасов В.С.,
Михнев К.Н.

Демидов М.Л.,
Григорьев В.М.,
Чупраков С.А.,
Колобов Д.Ю.,
Коваadlo П.Г.,
Пуляев В.А.,
Скоморовский В.И.,
Семенов А.П.

Матвиенко Г.Г.,
Маричев В.Н.

Липунов В.М.

Гречухин И.А.,
Гришин Е.А.,
Ивлев О.А.,
Садовников М.А.

Разработка оптических блоков гиперспектрометра для ближней и коротковолновой ИК области спектра 51

Спектрометры изображений для задач дистанционного зондирования в видимой и ближней ИК области спектра 53
Юстировка оптических локационных станций в системе сферического обзора 55

Алгоритм определения передаточных свойств материалов ДЗЗ на основе пространственно-частотных характеристик 57

Многоцелевые лазерные комплексы космического размещения 59

Светосильный широкоугольный обзорный телескоп 60

Технические средства обнаружения и измерения параметров движения космического мусора 62

Проект национального российского крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м 63

Лидарные комплексы ИОА СО РАН, создаваемые на базе крупногабаритных оптических приемных антенн 64

Оптический роботизированный комплекс МАСТЕР: глобальная сеть мониторинга космического пространства 66

Лазерный лунный локаатор 67





Гречухин И.А., Гришин Е.А., Ивлев О.А., Полунадеждин В.В., Протас О.Ю., Садовников М.А., Сергеева А.Д.	Лазерный и инфракрасный комплекс ЛИК – перспективы развития НОЛС ТИ	69
Алешин В.П., Александров А.Б., Гришин Е.А., Ивлев О.А., Иншин П.П., Николаев А.Н., Сидорова Н.А.	Лазерная опорная звезда для телескопа ТИ-3.12	72
Понин О.В., Шаров А.А.	Опыт создания крупногабаритных линзовых и зеркально-линзовых оптических систем для аппаратуры космического, наземного и морского базирования	74
Заварзин В.И.	Зеркальные объективы Кука с линзовым компенсатором в сходящихся пучках лучей	76
Кирьянов А.В., Кирьянов В.П.	Современные тенденции развития высокоточных оптико-электронных датчиков угла космического назначения	78
Тесновский Е.В., Кольцов А.А., Шестаков А.В., Шипилов Ю.А.	Пикосекундные лазеры для траекторных измерений	80
Власюк В.В., Драбек С.В., Комаров В.В., Шергин В.С.	Комплексная модернизация комплекса оптического 1-метрового телескопа Цейсс-1000 для реализации режима удаленных наблюдений	81
Копылов С.М., Землянов М.М., Голубев Н.В., Даугель-Дауге А.Г., Качурин А.С., Мамин А.В., Опанасюк С.В., Пименов А.И., Спиридонов Е.П.	Волоконно-оптические системы передачи информации наземных измерений в современных ракетно-космических комплексах	82





Малькин А.А., Фуфурин В.В., Шмидт А.И.	Опыт разработки объективов для телевизионных камер и приборов ночного видения с применением ограниченной номенклатуры марок стёкол	84
Аникеева И.А., Брагина Е.В., Горелов В.А., Попов С.М.	Оценка фотометрического качества материалов ДЗЗ на основе статистических признаков	87
Галявов И.Р., Домнин А.В., Понин О.В.	Методы и средства сборки и контроля крупногабаритных оптических компонентов	89
Гусева А.А., Вендеревская И. Г., Тиранов Д.Т., Филиппов В.Л., Яцык В.С.	Методика моделирования разноматричных оптических изображений применительно к оптико-электронным комплексам наземного или космического базирования	90
Кожухов И.И.	Применение метода опорных плоскостей для разработки пространственных оптических схем и точностного анализа оптико-механических приборов	92
Комаров В.В., Фоменко А.Ф.	История развития оптико-телевизионных систем 6 м оптического телескопа БТА	93
Дробот А.С., Абрамешин В.В., Давиденко В.П., Кодинцева Е.В.	Разработка низкоуровневых телевизионных камер, применяемых в объектах специального назначения» ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла	94
Пискунов Д.Е., Хорохоров А.М., Ширанков А.Ф.	Метод расчёта вариообъективов с произвольным числом компонентов и линзами с изменяемой оптической силой	96
Базин В.С., Будников К.И., Кириянов А.В., Кириянов В.П., Лубков А.А., Перебейнос С.В., Чуканов В.В.	Система контроля метрологических характеристик оптико-электронных датчиков угла встраиваемого типа	98
Широков Р.И., Алехнович В.И.	Увеличение углов поля зрения составной веб-камеры методом склеивания изображений	100
Пискунов Т.С., Барышников Н.В., Животовский И.В.	Имитационное моделирование системы параллельного переноса оси пучка излучения	102





Домнин А.В., Понин О.В., Шаров А.А.	Некоторые подходы к аттестации аппаратуры для оценки качества изображения оптических систем	105
Ширанков А.Ф. , Павлов В.Ю., Прытов А.Б., Полкунов В.А.	Видеоинформационный модуль внутришлемной системы отображения информации	106
Пискунов Д.Е. , Хорохоров А.М., Ширанков А.Ф.	О разработке вариообъективов с учётом aberrаций третьего и пятого порядков	108
Бадертдинов Э. Р. , Владимирский С.В., Денисов И.Г., Козлов А.В., Липатов В.В., Непогодин И.А., Новиков А.Г., Филиппов В.Л.	Визуализация лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм на основе матричного фотоприемника	110
Рожков О.В. , Ширанков А.Ф.	Особенности габаритно-абберационного расчета оптики малогабаритных фотокамер	111
Машников Н.Н. , Князева М.Д.	Подготовка компетентных специалистов в области разработки конструкций оптико-электронных приборов и комплексов	113
Казанцева М.Н.	Сотрудничество ОАО «ЛЗОС» и Лыткаринского историко-краеведческого музея в области внешкольного образования по пропаганде знаний о космосе	115
Коломийцев Е. Г. , Колинько В. И., Сауткин В.А.	Метод защиты приемных каналов оптических телескопов в условиях повышенного излучения фона	117

**СЕКЦИЯ № 2
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Антонова И.А. , Крехова Е.Ю., Молев В.И., Никонов А.Б.	Технологический процесс производства стекол типа особый флинт: современное состояние, перспективы совершенствования технологии	119
--	---	-----





Андрианов Н. Т., Гаспарян М. Д., Андреева Ж. В., Захаров А. И., Игнатов А. Н., Кожевников А. А.	Модернизация участка производства керамических мешалок для варки оптических стекол	121
Заварзин В.И., Кравченко С.О., Митрофанова Ю.С.	Выбор марок стекол для апохроматической коррекции компенсатора в трехзеркальных схемах Кука	123
Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Запотылько Н.Р., Катков А.А., Кругленя П.А., Масленников О.Ю., Хворостов В.И.	Современные и перспективные материалы лазерных гироскопов	126
Каплунова А.М., Рябина О.В.	Разработка цветных термостойких стекол и изделий БАНО для самолета Т-50, обладающих радиолокационной незаметностью	127
Игнатов А.Н., Поверинов М.И., Елисеев Е.К.	Автоматизация процесса варки оптического стекла в газовых горшковых регенеративных печах периодического действия	128
Авакянц Л.И., Игнатов А.Н., Крехова Е.Ю., Лебедева В.А., Поздняков А.Е., Суркова В.Ф., Фролова А.В., Храмогин Д.А.	Производство неодимового фосфатного стекла для мощных лазерных установок	131
Игнатов А.Н., Савинков В.И., Строганова Е.Е., Сигаев В.Н.	Разработка технологии оптического ситалла с особым ходом значения ТКЛР	132
Игнатов А.Н., Поздняков А.Е., Суркова В.Ф., Евсеева Т.О., Кошков С.В.	Создание малотоннажной технологии производства высокотемпературного электровакуумного стекла С 48-3	134





Гулюкин М.Н.,
Игнатов А.Н.,
Могильная Л.Г.,
Фирсова Ю.А.
Вензель В.И.,
Горелов А.В.,
Образцов В.С.,
Синельников М.И.,
Егорова Е.С.,
Кузнецова Н.Я.,
Лаврентьев Е.С.
Лотарев С.В.,
Липатьева Т.О.,
Липатьев А.С.,
Сигаев В.Н.,
Казанский П.Г.
Голубев Н.В.,
Игнатъева Е.С.,
Палеари А.,
Лоренци Р.,
Азарбод А.,
Сигаев В.Н.
Липатьев А.С.,
Лотарев С.В.,
Липатьева Т.О.,
Савинков В.И.,
Шахгильдян Г.Ю.,
Казанский П.Г.,
Сигаев В.Н.
Федотов С.С.,
Лотарев С.В.,
Липатьев А.С.,
Сигаев В.Н.,
Бересна М.,
Казанский П.Г.
Шевякина Д.М.,
Липатьев А.С.,
Лотарев С.В.,
Сигаев В.Н.,
Казанский П.Г.

Особенности варки промышленных цветных оптических стекол, окрашенных наночастицами CdS/CdSe	135
Контроль оптической однородности материалов для инфракрасной области спектра	137
Пространственно-селективный нагрев и рост кристаллических каналов в стекле с помощью фемтосекундного лазера	139
Полифункциональные наноструктурированные стекла в системе $R_2O-Ga_2O_3-SiO_2-GeO_2$ ($R_2O=Li, Na$)	141
Модифицирование оптического фосфатного стекла с наночастицами золота сверхкороткими лазерными импульсами	142
Фемтосекундная лазерная запись двулучепреломляющих структур в многокомпонентных оксидных стеклах	144
Формирование нелинейно-оптических структур в литиевоиниобиевосиликатном стекле лазерным излучением	146





Шахгильдян Г.Ю., Савинков В.И., Палеари А., Малашкевич Г.Е., Сигаев В.Н.	Оптические свойства фосфатных стекол, содержащих наночастицы золота и ионы редкоземельных металлов	148
Зиятдинова М.З., Голубев Н.В., Малашкевич Г.Е., Сигаев В.Н.	Спектральные характеристики и перспективы использования иттрий-алюмооборотных стекол, соактивированных ионами Се, Tb и Sb	149

**СЕКЦИЯ № 3
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ
ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СБОРКИ,
ЮСТИРОВКИ И ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-
ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

Горшков В.А. Савельев А.С., Невров А.С., Корнеев Н.Г.	Технологический автоматизированный комплекс для формообразования высокоточной асферической оптики, в том числе внеосевой	151
Тарасов А. П., Сеник Б. Н.	Комплексные технологии изготовления высокоточных призмных спектроделительных модулей для оптико-электронных приборов и комплексов дистанционного зондирования Земли	153
Абдулкадыров М.А., Белоусов С.П., Добриков Н.С., Патрикеев А.П., Патрикеев В.Е., Придня В.В., Полянщиков А.В., Семенов А.П., Шаров Ю.А.	Технология производства высокоточных крупногабаритных облегченных астрономических и космических зеркал с высокой временной стабильностью	155
Горшков В.А. Корнеев Н.Г.	Внеосевые зеркальные коллиматоры с рабочим полем 200? 1000 мм для контроля качества оптико-электронных комплексов наземного и космического базирования	157
Пышнов В.Н.	Создание размеростабильных панелей из высокомодульного цианат эфирного углепластика для рефлектора обсерватории «Миллиметр»	159





Добриков Н.С., Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е.	Оптимизация конструкции сверхоблегченных астрономических и космических зеркал и метод расчета технологической разгрузки для минимизации деформаций исполнительных поверхностей в процессе контроля	161
Семенов А.П.	Метод измерения децентрировки оптической оси асферической поверхности астрономического зеркала относительно геометрического центра	163
Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е., Семенов А.П.	Метод определения профиля шлифованной асферической поверхности астрономического или космического зеркала	165
Абдулкадыров М.А., Азербасев А.А., Добриков Н.С., Куракина Е.В., Лобова М. В., Патрикеев В.Е., Семёнов А.П., Судариков И.Н., Шаров Ю.А.	Особенности формообразования крупногабаритных лазерных дисковых активных элементов для высоко-мощных лазерных установок	167
Горшков В.А., Иночкин В.В., Сальникова Л.Ю., Щенникова	Формообразование асферической поверхности оптической детали методом ионно-лучевой обработки	168
Власенко О.В., Зверев А.В., Ильясов М.Ф., Патрикеев В.Е.	Пути снижения чувствительности отражающей поверхности облегченного крупногабаритного космического астрономического зеркала к объёмной деформации клея DP-190 в клеевом соединении между зеркалом и его оправой	170
Жупанов В.Г., Власенко О.В., Сачков М.Е.	Функциональное покрытие оптических элементов КНА «Спектр-УФ»	172
Мухаммедзянов Т.Р., Азербасев А.А., Абдулкадыров М.А., Баландин В.Ю.	Нанесения отражающих покрытий на оптические детали диаметром до 4 м методом магнетронного распыления	174
Кузнецова О.В., Азербасев А.А., Абдулкадыров М.А.	Нанесение широкополосного просветляющего покрытия методом золь-геля на защитные стекла ламповых кассет лазерной установки УФЛ-2М	175





Носов П.А., Григорьянц А.Г., Ширанков А.Ф.	Результаты разработки и испытаний лазерной головки с силовой оптикой российского производства	176
Носов П.А., Ширанков А.Ф., Третьяков Р.С.	Исследование пространственной структуры пучка мощного волоконного лазера	178
Носов П.А., Павлов В.Ю., Ширанков А.Ф.	Технические требования к разработке и изготовлению силовой оптики лазерных технологических головок	179
Бессмельцев В.П., Достовалов А.В.	Лазерные технологии формирования сеток	181
Полящук А. Г., Насыров Р. К.	Прецизионный контроль формы асферических и нетипичных оптических поверхностей с помощью синтезированных голограмм	183
Борисов Н.В., Фатхуллин Т.А., Власюк В.В.	Контроль качества рабочей поверхности Главного зеркала 6-метрового телескопа БТА методом Шака-Гартмана	185
Барышников Н.В., Денисов Д. Г., Карасик В.Е., Сахаров А.А.	Оптико-электронная система диагностики параметров поверхностей оптических деталей на основе датчика волнового фронта	185
Колючкин В.Я., Одинокоев С.Б., Горевой А.В.	Методика контроля при сборке и юстировке внеосевых оптических систем интерференционным методом	188
Абдулкадыров М.А., Барышников Н.В., Патрикеев В.Е., Карасик В.Е., Денисов Д.Г.	Динамическая интерферометрия в задачах высокоточного анализа частотной характеристики структуры профилей поверхностей крупногабаритных оптических деталей	190
Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е., Судариков И.Н., Шаров Ю.А.	Метод контроля волнового фронта и фокальных отрезков крупногабаритных линзовых оптических элементов	192
Барышников Н.В., Животовский И.В., Денисов Д.Г., Гладышева Я.В., Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е.	Исследование алгоритма восстановления профиля оптической поверхности методом двух плоскостей	193
Бакеркин А.В., Кондратов Ю.В., Кузьмин И.В., Мейтин В.А.	Метод и прибор для прецизионных измерений прямых двугранных углов оптических призм	195
Бакеркин А.В., Кондратов Ю.В., Лысенкова Е.В., Щукин Д.Г.	Автоматизированный прибор для бесконтактного технологического контроля формы несферических оптических поверхностей	197
Пуряев Д.Т. Батшев В.И. Капустин А.В.	Метод фазирования составного главного зеркала радиотелескопа космической обсерватории «Миллиметрон»	199



Пленарные доклады

РОССИЙСКАЯ НАЗЕМНАЯ АСТРОНОМИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И НОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

БАЛЕГА Ю.Ю.

**Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Карачаево-Черкесия, пос. Нижний Архыз**

E-mail: balega@sao.ru

Излагаются основные аспекты программы развития отечественной наземной астрономии, связанные как с интеграцией в мировую науку, так и с возможным созданием новых наблюдательных средств. Автор принимает непосредственное участие в разработке программы развития, а по поручению руководства Российской академии наук и Министерства образования и науки вел непосредственные переговоры с руководством Южной европейской обсерватории об условиях вступления Российской Федерации в эту организацию.

КРУПНОГАБАРИТНАЯ ОПТИКА ОАО ЛЗОС – ДЛЯ АСТРОНОМИИ И КОСМОСА

**БЕЛОУСОВ С.П., АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПОНИН О.В.,
ИГНАТОВ А.Н., РУМЯНЦЕВ В.В., ДАВИДЕНКО В.П.**

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: belousov@lzos.ru

Производство крупногабаритной оптики на Лыткаринском заводе оптического стекла (ЛЗОС) началось в конце 60-х годов прошлого века. Первый проект в этом направлении – изготовление 2-х Главных зеркал (ГЗ) диаметром 6 метров для Большого Телескопа Азимутального (БТА). В рамках этого проекта совместными усилиями ЛЗОС, ЛОМО, НПО «Оптика» и ряда других предприятий страны были решены серьезные научно-технические и производственные задачи:

- впервые в мире сварены крупногабаритные заготовки из специально разработанного стекла «316» диаметром 6,5 м, толщиной 700 мм и массой более 70 тонн. Впоследствии аналогичную задачу не удалось решить никому в мире;

- разработана технология и оборудование для шлифовки, полировки и контроля ГЗ.

В результате были изготовлены и поставлены в обсерваторию 2 облегченных ГЗ диаметром 6 м и массой 42 тонны.

В начале 70-х годов ОАО ЛЗОС было поручено создание производства для изготовления крупногабаритных линзовых объективов (КГЛО) диаметром до 700 мм для космической аппаратуры дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

С этой задачей ОАО ЛЗОС в тесной кооперации с ГОИ им. С.И. Вавилова и

Красногорским механическим заводом успешно справился. За прошедшие 40 лет ОАО ЛЗОС освоил производство 12 типов КГЛЮ и выпустил около 800 объективов для комплектации КА в интересах Минобороны и Роскосмоса.

В конце 80-х годов принято решение о создании производства крупногабаритных зеркал диаметром до 1,5 метров для космической аппаратуры. С этой целью в ОАО ЛЗОС создается высокотехнологичная научно-техническая и производственная база, которая получила мощное развитие в течение последних 15 лет благодаря выходу на международный рынок астрономической оптики и реализации более 120 проектов на мировом уровне для десятков телескопов по заказам Великобритании, США, Германии, Италии, Испании, Греции, Китая, Бельгии, Индии и других стран.

В их числе наиболее известные проекты:

- TTL, LCOGT (США, Великобритания) – 7 телескопов 2-х метрового класса;
- LAMOST (Китай) – зеркало M_A размером 4,4x5,7 м и M_B размером 6,7x6.0 м, состоящие из шестигранных сегментов;
- SALT (ЮАР) – 96 сегментов для составного Главного зеркала (ГЗ) диаметром 10 м;
- VISTA (Великобритания) – Главное зеркало диаметром 4,1 м, вторичное – 1,241 м;
- GRANTECAN (Испания) – плоское зеркало МЗ размером 1520x1073 мм;
- ARIES (Индия-Бельгия) – ГЗ диаметром 3,7 м;
- LCOGT (США - Великобритания) – 17 комплектов ГЗ – 1040 мм, вторичное – 345 мм для глобальной мировой сети телескопов;
- Кайзер-Трейд (Германия) для обсерватории Wendelstein близ Мюнхена – комплект зеркал: М1- диаметром 2100мм, М2-диаметром – 710 мм, М3-714x510 мм.

В стадии модернизации находится главное зеркало телескопа БТА диаметром 6 м.

В настоящее время практически все действующие космические аппараты (КА) оснащены оптикой ОАО ЛЗОС: «Ресурс ДК», «Кобальт-М», «Метеор», «Электро», «Ресурс-П», «Персона». В стадии ОКР находятся КА «Барс-М», «ШМАСР», «Арктика», «Спектр-УФ», «Раздан» также с оптикой ОАО ЛЗОС.

Кроме крупногабаритной оптики для космической аппаратуры ОАО ЛЗОС изготавливает оптические комплекты для систем наземного базирования: «Стажер», «Прицел», «Берет», «Ракурс-Л».

Для успешной реализации вышеперечисленных проектов ОАО ЛЗОС выполнил более 30 НИОКР по развитию оптического материаловедения и технологического оснащения, что позволило создать полный технологический цикл: от нава оптических материалов, их предварительного формообразования, создания облегченной структуры до автоматизированной доводки рабочих поверхностей - включая ионно-лучевую обработку, и нанесение оптических покрытий.

Созданный в ОАО ЛЗОС технологический, производственный и кадровый потенциал позволяет:

- укрепить свои позиции на отечественном и мировом рынках крупногабаритной оптики;
- обеспечить абсолютную независимость России в области изготовления астрономической и космической оптики.

КОСМИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ОАО «КРАСНОГОРСКИЙ ЗАВОД ИМ. С.А. ЗВЕРЕВА». ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ТАРАСОВ А.П., АРХИПОВ С.А., ДОНЦОВ Г.А.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: arhipof@zenit-kmz.ru

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» более 60-ти лет является ведущим предприятием России в области оптического приборостроения, которое традиционно специализируется на создании высокоэффективных космических и авиационных комплексов видового наблюдения и дистанционного зондирования Земли (ВН и ДЗЗ). Красногорский завод работал практически со всеми головными ракетно-космическими фирмами создателями космических комплексов, обеспечивая разработку, изготовление и поставку высоконадежной, уникальной оптико-фотографической и оптико-электронной аппаратуры. Нашим основным заказчиком было и остается ОАО «РКЦ «Прогресс», которое произвело более 400 успешных запусков космических аппаратов (КА), оснащенных аппаратурой Красногорского завода.

За многие десятилетия творческой работы на Красногорском заводе созданы базовые схемы и конструкции аппаратуры по следующим направлениям:

- аппаратура для исследования Луны и планет солнечной системы,
- обзорно-топографическая широкозахватная фотоаппаратура систематического осмотра земной поверхности и информационного наполнения топографических карт,
- фотоаппаратура детального площадного и объектового наблюдения земной поверхности,
- оптико-электронная аппаратура оперативного крупномасштабного наблюдения и мелкомасштабного широкозахватного обзора Земли,

фото- и оптико-электронная аппаратура для исследования природных ресурсов Земли.

Красногорская аппаратура ВН и ДЗЗ достойно участвовала в обеспечении выполнения важнейших государственных задач космической стратегической и тактической разведки, обеспечила возникновение и развитие геоинформационных технологий всех отраслей народного хозяйства. Созданный огромный научно-технический задел комплексно отразился в различных технических науках, стимулируя их дальнейшее развитие, в том числе:

- в области оплотехники (плёночные и интерференционные фильтры, высокоточные призмные устройства, облегченные круногабаритные зеркала, длиннофокусные широкопольные дифракционно ограниченные объективы-апланаты-апохроматы, широкоугольные дифракционно ограниченные светосильные объективы-апохроматы)
- в области систем и устройств прецизионного приборостроения (системы высокоточной фокусировки оптики, методы юстировки высокоточной крупногабаритной оптики, методы контроля качества изображения оптико-фотографических и оптико-электронных систем)
- в области электроники и автоматики (методология систем управления автоматическими оптико-фотографическими и оптико-электронными комплексами, высокостабильные источники излучения, сканирующие системы, системы приема и преобразования изображения, ПЗС-фотоприемные устройства, прецизионные приводные устройства),
- в области прикладной химии (технологии изготовления фотоматериалов, технологии изго-

товления стекол с особым ходом дисперсии, оптические и конструкционные покрытия, нетрадиционные сплавы и материалы).

В настоящее время аппаратура Красногорского завода является основой отечественной орбитальной группировки.

На орбите успешно работают КА «Ресурс-ДК» и «Ресурс-П», оснащенные оптико-электронной аппаратурой «Геотон». Принципиально новая съемочная гиперспектральная аппаратура (ГСА) в составе КА «Ресурс-П», дает возможность получения подробных «спектральных портретов» целевой информации ДЗЗ, обеспечивает решение широкого круга задач в интересах МПР России, МЧС России, Минсельхоза, Росреестра, Росгидромета и других потребителей.

В июле 2014 г. состоялся успешный запуск космического аппарата «Метеор-2» Корпорации «ОАО ВНИИЭМ им. А.Г. Иосифьяна», оснащенного инфракрасным Фурье-радиометром ИКФС-2, разработанным Красногорским заводом совместно с ФГУП «Центр Келдыша». Создается новый класс ИК Фурье-радиометров для перспективных космических комплексов «Метеор-3» и «Электро-ГС».

Широкозахватная многоспектральная аппаратура среднего разрешения (ШМАСР) разрабатывается Красногорским заводом по Контракту с Роскосмосом и предназначена для панхроматической и мультиспектральной съемки поверхности Земли в режиме «push broom», должна обеспечивать получение информации дистанционного зондирования Земли в составе перспективного космического комплекса.

По Контракту с Роскосмосом Красногорский завод выполняет ОКР, цель которой - создание технологии изготовления узла главного зеркала крупногабаритных космических телескопов сверхвысокого разрешения. Предприятие-изготовитель облегченного ситаллового зеркала – ОАО ЛЗОС.

Будущие новые рубежи основных характеристик космической аппаратуры ВН и ДЗЗ представлены в таблице.

Таблица 1.

Параметр	Значение	Системные решения	Аппаратурные решения
Пространственное разрешение, м	0,1-0,25	Повышение точности стабилизация КА	Рост диаметра главного зеркала до 3-4 метров
Захваты, км	120 и более	Увеличение численности группировки КА	1) Применение эксцентричной пространственной оптики 2) Крупноформатные ФПУ
Спектральные диапазоны	УФ, ВД, КИК, СИК, ДИК	Комплексирование аппаратуры	1) Зеркальная оптика 2) Широкополосные, инфракрасные ФПУ
Спектральное разрешение, гиперспектральность	менее 0,5 см ⁻¹ более 400 каналов	Развитие и пополнение баз КСЯ и модели атмосферы	1) Новые оптические схемы с дифракционными элементами 2) Фурье-коррелометры 3) Высокочастотные матричные ФПУ
Оперативность, вплоть до непрерывного наблюдения, час	менее 1 час	1) Увеличение численности группировки КА 2) Переход на ГСО и эллиптические орбиты	1) Снижение массы составных частей аппаратуры 2) Рост диаметра главного зеркала до 30 метров 3) Композиционные материалы

Покорение этих новых рубежей должно иметь следующие характерные особенности:

- 1) обязательность радиометрической и фотограмметрической калибровок аппаратуры, обеспечивающих прослеживаемость к первичным эталонам и, тем самым, возможность формирования единой интеллектуальной, постоянно пополняющейся базы знаний о Земле,
- 2) возрастание роли адекватного математического моделирования поведения аппаратуры на всех этапах ее жизненного цикла,
- 3) применение новых нетрадиционных материалов в оптических конструкциях,
- 4) совершенствование фотоприемных устройств, электронной компонентной базы, широкое использование микро электромеханических систем,
- 5) интеграция и комплексирование сенсоров и информации ВН и ДЗЗ, создание адаптивных съемочных систем,
- 6) совершенствование и интеллектуализация наземного и бортового программного обеспечения,
- 7) повышение надежности, ресурса и срока службы аппаратуры,
- 8) сокращение сроков разработки новых образцов.

КОСМИЧЕСКАЯ ФОТОСЕНСОРИКА

БУРЛАКОВ И.Д.,^{1,2} ПОНОМАРЕНКО В.П.,^{1,3} ФИЛАЧЕВ А.М.^{1,2}

¹ ОАО «НПО «Орион», г. Москва

² МГТУ МИРЭА, г. Москва,

³ МФТИ (Государственный университет), г. Долгопрудный Московской области

E-mail: orion@orion-ir.ru

Одним из ключевых направлений оптических технологий, получившим название **фотоэлектроника**, с 1946 года занимается государственный научный центр Российской Федерации ОАО «НПО «Орион» – научно-производственное объединение, входящее в Холдинг ОАО «Швабе».

Это направление является стратегически важным для государства. В нем сконцентрированы самые наукоемкие технологии из областей микроэлектроники, оптики, микрокриогеники, материаловедения, информатики и других современных областей науки и техники, признанных в мире критическими технологиями 21 века.

Важность фотоэлектроники для решения оборонных задач и ее стратегическая значимость для безопасности страны обусловлены возможностью видения в так называемых «окнах прозрачности», позволяющих ИК-излучению проходить через атмосферу Земли почти без поглощения. Обладая технологиями регистрации такого излучения можно обнаруживать различные объекты и цели на достаточно больших расстояниях, в том числе и из Космоса. Ключевой проблемой является создание необходимой элементной базы – фотоприемников и фотоприемных устройств (ФПУ), и прежде всего нового поколения.

Космическая фотоэлектроника решает задачи создания фотоэлектронных изделий для космической оптико-электронной аппаратуры, предназначенной для мониторинга поверхности суши и океана, обнаружения летательных аппаратов и объектов на фоне Земли, контроля космического пространства, обнаружение космических объектов с Земли и из космоса и ряда других задач.

На космическую группировку страны возлагается одна из наиболее ответственных задач в области обороны и безопасности – раннее предупреждение о ракетном нападении (СПРН). Эти системы взаимного контроля предусмотрены международными договорами и действуют как со стороны России, так и со стороны США. Для отечественной СПРН в ОАО «НПО «Орион» было создано особо сложное фотоприемное устройство «Гранат-32». Было выпущено и поставлено на боевое дежурство более двух десятков таких изделий.

Однако в последние годы назрела необходимость модернизации как всей системы СПРН, так и ее важнейшего компонента – фотоприемного устройства. Для решения этой проблемы, которая на самом деле включает более десятка сложнейших технологических задач, в рамках федеральной целевой программы «Развитие ОПК» выполняется разработка многорядного крупноформатного ФПУ ИК-диапазона с температурой охлаждения не ниже 170 К. На основе стыкуемых в виде «коленвала» фотомодулей формата 1024×10 элементов, работающих в режиме временной задержки и накопления (ВЗН), выполняется сверхпротяженное ФПУ с числом ка-

налов более 6000. Выполнение фотомодулей на основе материала КРТ и сложение сигналов в режиме ВЗН позволило существенно повысить чувствительность. При этом ФПУ имеет меньшие габариты и потребляемую мощность, а число элементов более, чем на порядок больше, чем в ФПУ «Гранат-32».

В ближайших планах – приступить к созданию крупноформатных матриц $2k \times 2k$ элементов, а в более отдаленной перспективе до $6k \times 6k$ элементов для ближнего, среднего и дальнего ИК-диапазонов спектра, которые актуальны для создания узкопольных космических ИК-систем.

Одним из примеров инновационных разработок космической фотоэлектроники является многоспектральная аппаратура мониторинга земли и суши. Одним из основных направлений использования этой аппаратуры является гидрометеорология, вместе с тем она позволяет решать и ряд других народнохозяйственных задач, например, разведку полезных ископаемых, мониторинг сельскохозяйственных площадей и др. В 2012 году запущен первый спутник этой системы (КА «Электро-Л»). Для его полезной оптико-электронной нагрузки ОАО «НПО «Орион» разработало и поставило комплект многорядных ФПУ формата 2×96 элементов со спектральной чувствительностью в диапазоне от 3,5 до 12 мкм. Аппаратура МСУ-ГС гидрометеорологического КА «Электро-Л» позволяет получать изображения и спектральную информацию с новым, недостижимым ранее, качеством.

В 2015-2016 гг. планируется запуск еще двух КА серии «Электро», а также КА «Арктика-М» для мониторинга поверхности и атмосферы в более северных широтах, чем КА серии «Электро». Для них ОАО «НПО «Орион» разработало и поставляет модернизированный комплект ФПУ из 7 штук формата 4×288 элементов со спектральной чувствительностью от 3,5 до 12,5 мкм, которые обеспечат еще более высокое качество изображений и информации.

Для бортовой оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования земной поверхности с КА «Канопус-В-ИК» изготавливаются ФПУ формата 4×288 элементов на спектральные диапазоны 3–5 и 8–12 мкм.

В настоящее время ОАО «НПО «Орион» выполняет в интересах Роскосмоса ряд других разработок для перспективной космической аппаратуры космического базирования, в том числе для широкозахватного многоканального отображающего ИК-радиометра космической системы дистанционного зондирования Земли различного назначения. Разрабатываемое ФПУ с шестью многоспектральными «линейками» формата 4×576 элементов, работающими в режиме ВЗН, обеспечит чувствительность в спектральном диапазоне от 3 до 12,5 мкм.

В целом реализация рассмотренных проектов позволила существенно изменить ситуацию во всей космической фотоэлектронике, создав благоприятную ситуацию для модернизации целой группы важнейшей аппаратуры космического базирования.

НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

ЯКУШЕНКОВ Ю.Г.

Московский Государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

E-mail: yakush@miigaik.ru

Для оптоэлектроники – технической отрасли, занимающейся созданием и эксплуатацией оптических и оптико-электронных приборов и систем, важно в первую очередь рассмотреть методологию проектирования этих изделий. При проектировании современных оптико-электронных систем (ОЭС) этот процесс нельзя сводить только к выбору и расчету отдельных конструктивных узлов и системы в целом. Необходим системный подход, начинающийся с анализа требований к системе и условий ее функционирования, т.е. сценария работы ОЭС. Можно сформулировать общие принципы и общую методологию проектирования ОЭС различного назначения, а затем, следуя ей, использовать методы расчета и выбора основных параметров и характеристик системы конкретного назначения, работающей в определенных условиях эксплуатации (по конкретному сценарию).

С точки зрения современной системотехники основными этапами разработки сложных систем, к которым относятся и ОЭС, являются:

- общее исследование проблемы;
- постановка задачи;
- выбор совокупности показателей эффективности работы системы (критериев качества);
- анализ или синтез общей схемы системы, ее оптимизация;
- проектирование системы;
- оценка параметров и характеристик сконструированной системы;
- испытания системы и ее корректировка в случае необходимости.

Первые два этапа очень тесно связаны между собой, и часто трудно определить, какой из них предшествует другому. Здесь очень важно знать современное состояние и перспективы развития оптико-электронного приборостроения и большого числа смежных отраслей науки и техники.

Уже на первых этапах разработки ОЭС необходимо знать характеристики его входных и выходных величин. К ним относятся: физическая природа этих величин (например, на входе это яркость излучения объекта, на выходе - напряжение электрического сигнала); характер изменения входных величин в виде функций интересующих потребителя и разработчика параметров (например, длины волны излучения, пространственных координат, времени) или их спектров; динамический диапазон этих величин (возможные уровни изменения сигналов на входе и выходе системы); сценарий работы ОЭС (например, фоноцелевую обстановку, в которой происходит ее функционирование; параметры излучателей, включая помехи и фоны; параметры среды распространения оптического сигнала).

Среди важнейших показателей эффективности работы ОЭС обычно выделяются требования к ее разрешению (энергетическому, спектральному, пространственному, временному) и чувствительности.

- К особенностям проектирования таких сложных систем, какими являются ОЭС, относятся:
- сложность современных ОЭС, которая требует системного подхода к проектированию, т.е. учета всех явлений и связей, сопровождающих проектирование, изготовление и эксплуатацию;
 - множественность путей достижения целей проектирования требует применения методов многовариантного проектирования, т.е. рассмотрения не одного, а многих альтернативных (конкурирующих) вариантов создаваемой системы;
 - процесс проектирования ОЭС характеризуется необходимостью многократного уточнения результатов, полученных на предшествующих стадиях проектирования, т.е. является итеративным;
 - сложность задач, решаемых многими ОЭС, разнородность физических процессов, имеющих место при прохождении сигналов через отдельные узлы ОЭС, разнообразие областей применения и условий работы этих систем обуславливают серьезные трудности при их разработке, например, при использовании физического (натурного) моделирования или проведении достаточно информативных и достоверных натурных испытаний и исследований. В связи с этим при проектировании современных оптико-электронных систем все большее место занимает компьютерное моделирование;
 - сложность описания ОЭС, решающих различные задачи, т.е. существенные различия структурных схем, конструкции, условий эксплуатации и других признаков систем конкретного назначения;
 - изменение размерности математического описания сигналов в отдельных звеньях ОЭС, например, переход от многомерного оптического сигнала в оптической системе ОЭС к одномерному электрическому сигналу в электронном тракте.

Часто в процессе проектирования ОЭС решается задача построения математической модели для синтеза, анализа и структурно-параметрической оптимизации системы при ее проектировании, т.е. осуществляется моделирование процесса прохождения сигналов в ОЭС для различных условий ее работы. Метод компьютерного моделирования ОЭС и условий их эксплуатации для синтеза и анализа подобных систем является удобным и достаточно эффективным инструментом.

Использование средств компьютерного моделирования позволяет ответить на ряд вопросов, например, какие алгоритмы обработки сигналов и какая элементная база, используемые в ОЭС, являются наиболее рациональными с точки зрения различных требований, предъявляемых к системе, и, в частности, для обеспечения заданных показателей эффективности её работы.

Компьютерная модель ОЭС очень часто должна учитывать весьма разнообразные условия, в которых она работает - среду, особенности излучателей (объектов, фонов, помех), метод работы ОЭС и т.д. Поэтому правомерно говорить об обобщенной компьютерной модели оптико-электронной системы (КМ ОЭС), в которой учитываются самые различные условия функционирования системы, а также возможные изменения её структуры и элементной базы.

БОРТОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОАО «НПК «СПП» ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (КОС РКАТ)

ШАРГОРОДСКИЙ В.Д.

**ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва**

Рассмотрены современные тенденции развития сети более чем из 30 станций спутниковой лазерной дальнометрии, на российской и зарубежных территориях.

Представлены оценки достигнутого субсантиметрового уровня точности измерений, а также инновационная технология лазерных измерений псевдодальности и опытные данные, полученные при ее отработке в условиях космического полета с использованием аппаратуры, установленной на КА «Глонасс-738, -739 и -747».

Рассмотрены перспективы достижения субмиллиметровой точности дальномерных измерений, в том числе в дневных условиях.

Рассмотрена концепция совместного применения лазерных измерений дальности и псевдодальности для повышения точности формирования геодезических, эфемеридных и частотно-временных данных космического комплекса глобальной навигационной системы ГЛОНАСС.

Приведен обзор лазерных ретрорефлекторных систем, установленных на 147 отечественных и 37 зарубежных КА, в том числе на пассивных лазерных геодезических спутниках разработанных ОАО «НПК «СПП». Рассмотрены методы минимизации сигнатур ретрорефлекторных систем и влияния эффекта абберации скорости.

Представлен лазерный оптический локаатор СККП – самый мощный в мире дальномер на твердотельных лазерах, обеспечивающий локацию диффузных КО на дальности в тысячи км, а также получение изображений КО с разрешением в 5-10 раз лучше углового размера турбулентного диска.

Дальнейшему развитию этого направления послужит ввод в строй на Алтайском лазерном центре телескопа с главным зеркалом диаметром 3,12 м, изготовленным ОАО ЛЗОС.

Приведены результаты натурных испытаний многоканального широкопольного автоматизированного комплекса обнаружения КО и КМ (космического мусора), созданного на основе использования сверхширокоугольных объективов и крупноформатных матриц ПЗС. По совокупности параметров комплекс соответствует мировому уровню и обеспечивает при рабочем поле зрения 26 кв. град проникающую способность 19^m , производительность – более 5000 кв. град./час и погрешность измерений – не более 0,5 угл. сек.

Рассмотрены основные результаты Российского космического эксперимента «Системы лазерной связи», выполненного ОАО «НПК «СПП» совместно с РКК «Энергия» по отработке в условиях космического полета основных технологических и конструктивных решений по приему-передаче информации со скоростью до 622 МГбит/с.

Приведены итоги 10-летнего развития в ОАО «НПК «СПП» работ по созданию авиационных оптико-локационных станций. Ключевым техническим решением, обеспечившим успех разработки, было применение матричных ИК приемников, а также технология виртуальной гиросплатформы со стабилизацией линии визирования с помощью сканирующего зеркала.

В заключении приводятся целевые показатели развития КОС для ракетно-космической и авиационной техники до 2020 г.

РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

БАРЫШНИКОВ Н.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: baryshnikov@bmstu.ru

Начало формирования научной школы оптического приборостроения в МВТУ им. Н.Э. Баумана было положено в 1938г., когда в училище была организована кафедра «Оптического приборостроения». В первые годы ею руководили крупные ученые оптики, профессора С.И. Фрейберг, И.А. Турыгин, Л.П. Лазарев. К 70-80 годам прошлого века на кафедре уже активно развивались направления, связанные с исследованиями в области оптической технологии, лазерных локационных систем, оптической обработки информации, методики проектирования ИК систем управления, голографической оптики, методик расчета и проектирования оптических систем. Эти направления нашли отражение в тематике НИОКР, которые выполнялись сотрудниками кафедры в НИИ радиоэлектроники и лазерной техники, образованного в структуре университета в 1989г.

Уже в последние годы на кафедре происходили и структурные, и качественные изменения, следствием которых стало формирование новых научных направлений. К ним относятся организация учебно-научной лаборатории оптико-голографических систем (руководитель д.т.н., проф., Одинокоев С.Б.), включающей полный технологический цикл расчета, изготовления и контроля дифракционных и голографических оптических элементов и систем на их основе. В 2012 году был образован научно-образовательный центр «Фотоника и ИК техника», директор д.т.н., проф. В.Е. Карасик, в лабораториях которого проводятся исследования в области микрооптоэлектромеханических систем, волоконно-измерительных систем, терагерцовой оптоэлектроники. И, конечно, важным шагом стало присоединение в 2013 году к кафедре «Лазерные и оптико-электронные системы» (РЛ2) кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований». Лаборатории кафедры оснащены современной контрольно-измерительной аппаратурой, в целом ряде случаев уникальной.

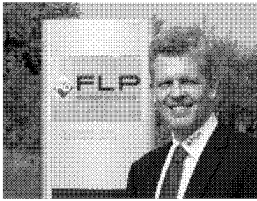
Важно отметить технологическое ориентирование проводимых на кафедре исследований. Разрабатываемые методики проектирования основываются на технологические критерии качества оптических деталей. Такой подход дал возможность разработать и создать новые оптические системы силовой лазерной оптики, высокоточные системы автоюстировки каналов сложных оптико-электронных комплексов, оптические переключатели мощного лазерного излучения и др. Научный интерес представляют разработки современных методов и аппаратуры контроля высокоточных крупногабаритных оптических деталей. Исследования в этом направлении ведутся совместно с ОАО «ЛЗОС» и ОАО «Красногорский завод». Их результатом стало, в том числе и обновление содержания читаемых на кафедре курсов и рост интереса студентов к оптической технологии.

Кафедра ведет ряд НИОКР по заказу МО, Минобрнауки, Минпромторга, а также большое внимание уделяется работам по заказам предприятий отрасли. Практически все работы заканчиваются созданием действующих образцов разрабатываемой аппаратуры.

СВЕРХТОЧНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ, МИКРООБРАБОТКА, ТОНКОЕ ШЛИФОВАНИЕ, ПРИТИРКА И ПОЛИРОВАНИЕ

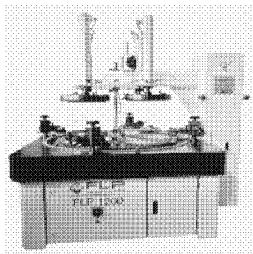
ТОМАС РЕФЕЛЬДТ

FLP Microfinishing (Германия)



Презентация фирмы

- развитие фирмы: 20 лет в машиностроении
- фирма как системный поставщик
- инновации в машиностроении
- микрообработка - разработка технологий

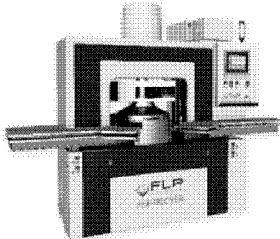


Прецизионные станки для тонкого

шлифования, притирки и полирования

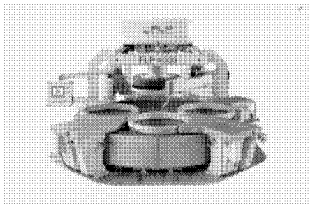
Серия станков FLP SINGLE PRECISION

- небольшие станки для микрообработки, стандартного использования,
- специальные станки для финишной обработки



Серия станков FLP HIGH PRECISION

- двухдисковые станки стандартного использования: тонкое шлифование и притирка
- двухдисковые станки для двухсторонней полировки



Серия станков FLP SINGLE PRECISION

- специальные станки для крупногабаритных деталей
- нестандартные решения для специальных станков



- Притирочные суспензии на водяной основе

- для доводки и суперфиниша
- Притирочные суспензии на водяной основе предварительного полирования
- Полировочные суспензии на водяной основе финишной полировки

УЛЬТРА-ПРЕЦИЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ГАБАРИТОМ ДО 2-х МЕТРОВ

ИОГАНН ДЮК

«OptoTech Optikmaschinen GmbH»

E-mail: mail@dueck-wt.de

Производители оптических систем, приборов и техники вынуждены следовать тенденции использования оптики всё больших габаритов с все более высокими точностными параметрами формы и качества поверхности. Это автоматически ведет к необходимости оснащения производства соответствующим современным оборудованием и технологиями. При этом процесс оптимизации должен затрагивать не какой-то процесс в отдельности, а всю технологическую цепочку, начиная с минимизации средних градиентов на этапе шлифовальной обработки и заканчивая согласованными процессами полировки и доводки. В этом ракурсе важную роль играют исследования и разработка прецизионного шлифовального оборудования с улучшенными характеристиками жесткости порталной конструкции и гидростатическими опорами, а также стабильность и управляемость процесса доводки. Последние две задачи успешно решаются применением технологии активной жидкостно-напорной доводки (A-FJP), как завершающего механического процесса. Финишная точность и качество достигаются на последующих этапах сглаживания и доводки в установках ионно-лучевой полировки и травления. Кроме обрабатываемого важную роль в технологической цепочке играет также контрольно-измерительное оборудование. В докладе будут представлены последние достижения в области разработки технологических процессов и оборудования для обработки сферических и асферических поверхностей с использованием всех указанных выше методов обработки. Для каждого этапа технологического процесса будут освещены основные проблемы и трудности и методы их решения.

1. Введение

Современные тенденции использования крупногабаритной оптики и сложности ультра-прецизионной обработки оптических деталей с обуславливающими их аспектами, как напр. широкий спектр диаметров, различные формы (сфера, асферика, свободная форма, цилиндр, и т.п.), точность формы поверхности, её оптическое качество и свойства оптической среды. Пути решения.

2. Ультرا-прецизионная шлифовка

Процесс шлифовки требует особого внимания, с целью минимизации средних градиентов, разрушенного слоя и улучшения точности формы поверхности обрабатываемой детали. В ходе доклада будут показаны видео-ролики, демонстрирующие современные процессы шлифовальной обработки, специально разработанные для этих целей.

3. Полировка

Необходимый подход для обеспечения успешной ультра-прецизионной полировки заключается в разделении процесса на предварительную полировку и точную доводку. На примере результатов обработки различных оптических деталей в докладе будут показаны возможности использованных технологических процессов.

4. Доводка и сглаживание

Представление различных технологических решений точной доводки как напр. Active Fluid Jet Polishing (A-FJP) и Advanced Wheel Polishing Technology (AWPT), и технологий сглаживания поверхностей, а также методов их комбинации. Пути решения задач метрологии и контроля.

ИСТОРИЯ И БУДУЩЕЕ ГОРШКОВЫХ ПЕЧЕЙ

МИРОСЛАВ КОВАЧ

GLASS SERVIS (Чехия)

GS Engineering – R&D, - производство и установка электрических Горшковых печей – Важная часть GS программы.

Эти горшковые печи небольшого объема соответствуют современной тенденции экологической варки.

Данная печь удовлетворяет всем требованиям к качеству продукции, изготовленной вручную. Поскольку она соответствует экологическим стандартам, она является хорошей альтернативой газовым печам или печам, работающим на жидком топливе.

Электрическая варка в основном предпочтительна в случае с изготавливаемой вручную продукцией высокого качества, например, Bohemia 24 PbO crystal.

ПОЧЕМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГОРШКОВЫЕ ПЕЧИ?

Высокое качество стекла

- Малое количество дефектов – включений, свилей, пузырей
- Стабильное качество надолго
- Высокая гибкость состава стекла
- Оптимальное использование стекла

Простой контроль печи

- Удобство работы с системой контроля
- Экономия рабочей силы

Проверенная экологичная технология

Наша печь может быть установлена в местах с высокими экологическими требованиями.

- минимум NOx
- минимальное испарение
- оптимальное потребление энергии

Тип стекла

- С натрием и калием
- Свинцовый хрусталь
- Цветные стекла
- Другие (НЕ стекла с фтором - опалом)

Долгий срок службы печи

- 4 - 6 лет до мелкого ремонта
- 6 - 10 лет до капитального ремонта
- Более длительный срок службы горшков (6 - 12 месяцев)

Установка

- Простота установки
- Отсутствие проблем с установкой во всех типах зданий
- Небольшая площадь и другие требования к оборудованию

Постоянная инновация!

Основной деятельностью GS является оптимизация дизайна и эксплуатации стеклова-

ренных печей. Эти знания применяются для последующего усовершенствования наших электрических печей. Также особое внимание уделяется усовершенствованию системы контроля и ее адаптации для данных печей. Таким образом, мы можем предложить печи, отвечающие самым современным тенденциям в стекловарении.

Поставка на условиях «под ключ»

- Все керамические части
- Конструкция печи
- Установка электрических кабелей
- Установка системы нагрева
- Поставка системы контроля
- Нагрев печи
- Техническая помощь при запуске в эксплуатацию

Техническая помощь

- В процессе подготовки проекта
- В эксплуатации печи
- В определении дефектов стекла и их устранении
- После гарантийного обслуживания
- Все виды ремонтных услуг, включая капитальный ремонт
- Запасные части

Эффективная система контроля

- Точный контроль температуры
- Различные кривые температуры
- Оптимизация потребления электроэнергии
- Архивирование
- Регистрация сигналов тревоги и действий операторов
- Сигнал тревоги через модем
- Контроль печи через Интернет

РУССКИЙ ЗОРКИЙ ГЛАЗ ТЕЛЕСКОПА VLT SURVEY TELESCOPE

МАССИМО КАПАЧЧОЛИ

Департамент физики, Неаполитанский Университет им. Фридриха II
Астрономическая Обсерватория Каподимонте, Национальный Институт Астрофизики

E-mail: capaccioli@na.infn.it; capaccioli@na.astro.it

Телескоп VLT Survey Telescope (VST) – альт-азимутальный зеркальный телескоп с апертурой 2.6 м, F/5.5, модифицированной системой Ричи-Кретьена, активной оптикой, созданный для работы в диапазоне от U до R-спектра, сохраняя, в пределах поля $1^\circ \times 1^\circ$ (1.47° диагональ) превосходное качество изображения, достигаемое на месте обсерватории Серро-Паранал в чилийских Андах (шкала в 0.21 угловой сек./пиксель, размер пикселя 15 мкм, и 80% энергии, заключенной в двух пикселях, в худшем случае).

Проект был инициирован в 1998 г. как совместное предприятие Европейской Южной Обсерватории (ESO) и Астрономической Обсерватории Каподимонте (ОАС), которая в настоящее время является филиалом Национального Института Астрономии (INAF). Оно было направлено на то, чтобы оснастить гиганты VLT современным устройством формирования изображения, с широким полем зрения, способным обзирать небо в оптическом диапазоне. Цель состояла в том, чтобы улучшить научные показатели телескопа MPI/ESO 2.2м + WFI более чем в десять раз. С этой целью в 2000 г. ESO провела запуск 256 мегапиксельной CCDmosaic камеры OmegaCam консорциума, включающего институты из Германии, Италии и Нидерландов.

ОАС взяла на себя ответственность за проектирование, строительство и установку инструмента, а ESO – за предоставление купола и работу/техническое обслуживание оборудования в течение минимум десяти лет. После долгого периода проработки проекта, в течение которого произошло несколько неприятных событий, VST 15 октября 2011 г. начал регулярную работу. ESO компенсирует как INAF, так и консорциуму OmegaCam предоставление телескопа и камеры определенным количеством гарантированного времени наблюдения.

VST был оптимизирован для модифицированной конфигурации Ричи-Кретьена, с активным главным зеркалом 2.65 (M1), разгружаемым на 84 активных осевых опорах и 24 латеральных астатических рычагах, и вторичным зеркалом (M2), контролируемым в 6 DOFs при помощи гексапода. Широкое поле зрения выравнивается с помощью двух-(+ одна в криостатическом окне) линзового корректора.

Поставка оптических компонентов VST обеспечивалась компанией Carl Zeiss Jena, в основном через суб-контракт, заключенный в 1998 г. с Лыткаринским заводом оптического стекла (ЛЗОС), Москва. Решение доверить основную оптику VST ЛЗОСу было не из легких, принимая во внимание сложную ситуацию, которую создал эксперимент с вновь родившейся в те годы Российской Федерацией: риск, который завершился большим успехом! ЛЗОС провел потрясающую работу, используя свой собственный стеклокерамический материал Астроситалл, достигая уровня выше технических спецификаций, несмотря на сложности, создаваемые характеристиками M1 с отклонением асферической поверхности от теоретической формы менее чем на 1/5000 человеческого волоса.

M1 и M2 прошли процедуру приемки на заводе ЛЗОС, Лыткарино (Москва), 7 сентября 2001 г., а затем были отправлены авиафрагтом в Йену, после чего переданы компанией Zeiss

обсерватории ESO для транспортировки на Паранал. К сожалению, в ходе морской перевозки оптики VST произошел несчастный случай, приведший к полному разрушению зеркала M1 и повреждению зеркала M2: это было разрушение самых больших оптических компонентов всех времен. Это мог быть конец VST.

Плохие новости достигли ОАС в полночь 6 мая 2002 г., и уже на следующее утро Генеральный директор ESO одобрил решение ОАС обеспечить дубликат зеркала M1 за счет ESO (расходы которой впоследствии должны были быть компенсированы страховой компанией). Я помню визит в Лыткарино с фотографией разбитого зеркала в руках, реакцию Президента, и его тактичную рекомендацию не показывать ее оптикам в цехе.

Контракт на поставку нового зеркала M1 был подписан в Неаполе 14 июня 2002 г., на этот раз напрямую с Лыткаринским заводом оптического стекла. Несмотря на то, что в данной ситуации ЛЗОС мог смело увеличить цену, бюджетное предложение ЛЗОС было в основном таким же, как и для первого зеркала M1. Мы надеялись, что новое зеркало смогут изготовить примерно за 18 месяцев, т.е. до конца января 2004 г. M2 также было отправлено обратно в Москву на ЛЗОС для ремонта.

К сожалению, на ЛЗОС оставалась только одна заготовка надлежащего размера для M1. После фрезеровки в заготовке были обнаружены некоторые дефекты, которые было необходимо тщательно исследовать до финальной приемки. Поэтому начало полировки было отложено, чтобы предоставить Генеральному директору ESO все детали для принятия решения по безопасности операции. Когда проблема наконец разрешилась, было уже слишком поздно, и ОАС не могла уже стать первой в очереди. Благодаря большому успеху в полировке VST M1, ЛЗОС обеспечил поставку превосходного главного зеркала VISTA 4.1-м в диаметре, зеркала с самой большой кривизной при таком размере и качестве. Новое зеркало M1 для VST приходилось ждать. Наконец, в марте 2006 г. оно было в целостности и сохранности доставлено на Паранал. Его качество было точно таким же, как у разбитого оригинала. ЛЗОС доказал, что может совершить чудо дважды!

Вот уже три года каждую ясную ночь, эти зеркала, с алюминиевым покрытием и установленные должным образом в телескоп, собирают свет звезд и галактик. Откуда мы знаем, что они делают это правильно? Просто смотря на превосходные изображения, которые ESO выкладывает в сети: телескоп регулярно дает изображения до ~ 0.5 угловой сек. FWHM. Большое спасибо сотрудам ЛЗОС... и с днем рождения.

Секция 1.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

КШМСА – КОМПЛЕКС ШИРОКОЗАХВАТНОЙ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМОЧНОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «РЕСУРС-П»

БАКЛАНОВ А.И.,¹ СТРАТИЛАТОВ Н.Р.,¹ ПОНИН О.В.,²

КЛЮШНИКОВ М.В.,¹ ЗАБИЯКИ А.С.,¹ АФОНИН А.Н.,¹ БЛИНОВ В.Д.,¹ ШАРОВ А.А.²

¹ ОАО «РКЦ «Прогресс»,

² ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: optecs@mail.ru, otd22@lzos.ru

Больше года на орбите работает российский космический аппарат дистанционного зондирования Земли «Ресурс-П», разработанный в ОАО «РКЦ «Прогресс» по заказу Федерального космического агентства. Спутник оснащен комплексом из трех оптико-электронных инструментов, предназначенных для исследования природных ресурсов Земли и решения различных прикладных задач в интересах социально-экономического развития нашего государства. В состав полезной нагрузки входят: высокодетальная оптико-электронная аппаратура «Геотон-Л1», гиперспектральная съёмочная аппаратура (ГСА) и комплекс широкозахватной мультиспектральной аппаратуры высокого и среднего диапазона (КШМСА).

Аппаратура КШМСА разработана в филиале ОАО "РКЦ "Прогрес" - НПП "ОПТ-ЭКС". Её основное назначение: проведение наблюдений и получение информации о подстилающей поверхности Земли в интересах сельского хозяйства, землепользования, контроля состояния лесных и водных ресурсов, картографирования пахотных земель, составления прогнозов урожайности. Кроме того оперативные данные КШМСА окажут незаменимую пользу при мониторинге районов чрезвычайных ситуаций.

КШМСА, по сути, представляет собой не одно, а два устройства, расположенные на одном основании.

Это оптико-электронная камера - съёмочная аппаратура высокого разрешения (ШМСА-ВР) и камера среднего разрешения (ШМСА-СР), работа которых может осуществляться как вместе, так и автономно под кон-

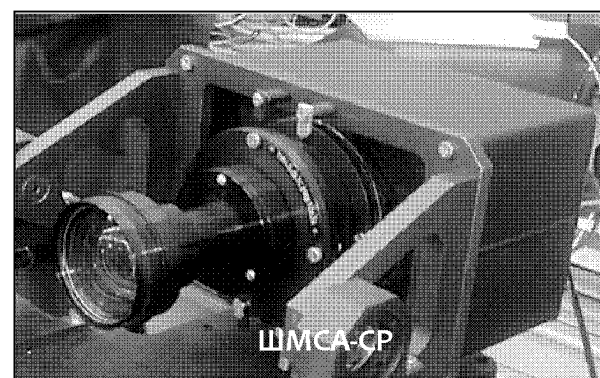
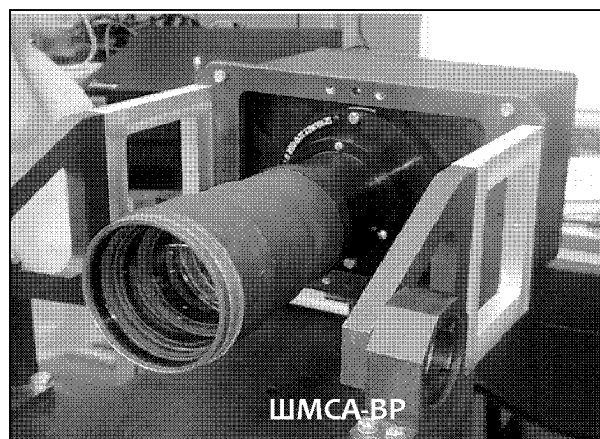


Рисунок 1.
Камеры ШМСА-ВР и ШМСА-СР на стенде оптотехнических испытаний

тролем единой системы (блока) управления (см. рис. 1). Электроника камер практически полностью унифицирована.

Характеристики аппаратуры КШМСА и её отдельных камер высокого (ШМСА-ВР) и среднего разрешения приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики КШМСА

№ п/п	Параметр	Значение параметра	
		ШМСА-СР	ШМСА-ВР
1	Зачетная высота орбиты, км	475	
2	Разрешающая способность (проекция пикселя), м (ПХ / МС)	60 / 120	12 / 24
3	Полоса захвата, км	480	96
4	Количество элементов в строке (ПХ / МС)	8000 / 4000	
5	Разрядность квантования, бит	12	
6	Спектральные диапазоны, мкм	0.43-0.70 (ПХ) 0.43-0.51 (В), 0.51-0.58(G), 0.60-0.70 (R), 0.70-0.90 (IR1) 0.80-0.90 (IR2)	
7	Интерфейс передачи данных	Волоконно-оптический	
8	Масса, кг	19,7	
9	Габариты, мм	494 x 260 x 500	
10	Энергопотребление, Вт	41.0	

Оптико-электронные камеры состоят из одинаковых электронных блоков и отличаются объективами. В состав камеры ШМСА-ВР входит объектив П-200 с фокусным расстоянием 200 мм и относительным отверстием 1:3. В состав камеры ШМСА-СР входит телецентрический объектив ТМ-40 с фокусным расстоянием 40 мм и относительным отверстием 1:4. Объективы ТМ-40 и П-200 были разработаны и изготовлены на Лыткаринском заводе оптического стекла (ОАО ЛЗОС) специально для использования в оптико-электронных камерах КШМСА космического аппарата "Ресурс-П".

КШМСА обладает большими модернизационными возможностями. В частности, на основе разработанных камер ШМСА-ВР возможно построение комплекса, включающего в себя 3-6 таких камер. Это позволит получить высокопроизводительную обзорную аппаратуру с разрешением порядка 12 м и полосой обзора 290-570 км.

Специалистами НПП "ОПТЭК" и ОАО ЛЗОС проработаны технические аспекты и показана возможность разработки и установки на КШМСА объектива с фокусным расстоянием 400 мм для улучшения разрешающей способности вдвое, а связанное с этим уменьшение полосы захвата компенсировать заменой камеры ШМСА-СР на вторую камеру ШМСА-ВР с таким же объективом.

НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ ФЕРМЕННОГО КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУР

АХМЕТОВ Р.Н., СТРАТИЛАТОВ Н.Р., ШАЙДА А.Н.,
МАКСИМОВ С.В., НОНИН А.С., ПОТАПОВА Ю.В.

ОАО «РКЦ «Прогресс»

В современной космической технике при проектировании и создании силовых конструкций корпусов космических телескопов серьёзной проблемой, наряду с сохранением прочности и обеспечением жёсткости, является обеспечение их размерной стабильности в заданном направлении в условиях воздействия значительных перепадов температур и механических нагрузок.

Особенно актуальна эта задача при разработке силовых ферм космических телескопов дистанционного зондирования Земли.

Одним из путей уменьшения деформаций ферменных конструкций корпусов космических телескопов в заданном направлении, обусловленных воздействием неравномерного поля температур, является использование конструктивных элементов, выполненных из материалов с низким коэффициентом линейного расширения (типа ИНВАР, $\alpha=1\cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $\gamma=8,2 \text{ г/см}^3$) [1, 4].

Уменьшить температурные деформации можно также за счёт создания требуемого теплового режима, обеспечивающего снижение перепадов температур на конструкцию фермы телескопа, за счёт применения активных и пассивных средств обеспечения теплового режима [3].

Однако указанные способы обеспечения размерной стабильности приводят к усложнению конструкции, снижению её надёжности и, как правило, к увеличению её массы. Применение неметаллических материалов на основе углепластиков не позволяет в полной мере обеспечить достаточную геометрическую стабильность силовой конструкции телескопа, поскольку эта характеристика напрямую зависит от значения коэффициента линейного расширения применяемого полимерного композитного материала, который имеет конечную, хотя и малую, величину.

Таким образом, существует потребность в простом и надёжном способе обеспечения размерной стабильности корпусов космических телескопов.

Рассматриваемый в настоящей статье метод проектирования адаптивных к действию градиентов температур силовой фермы апробирован в конструкциях КА ДЗЗ, разрабатываемых ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

На рис. 1 изображён общий вид фермы космического телескопа с высокой геометрической стабильностью по длине B и диаметру D при действии неравномерного поля температур.

Силовая ферма выполнена из продольных, поперечных и диагональных составных цилиндрических стержней, соединённых между собой в узлах пересечения.

На рис. 2 изображён общий вид составного размеростабильного стержня силовой фермы.

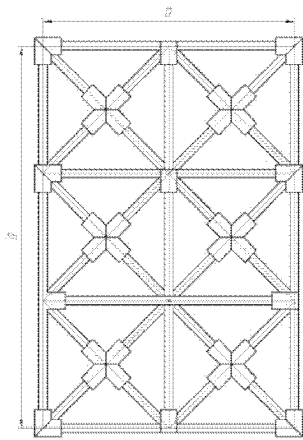


Рисунок 1.

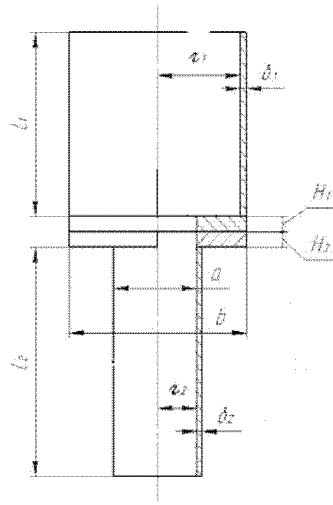


Рисунок 2.

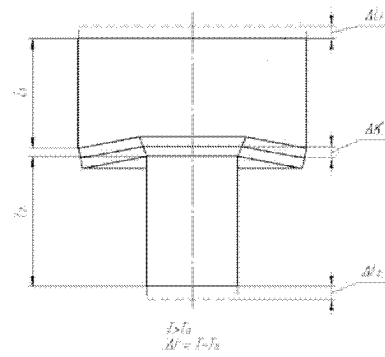


Рисунок 3.

Составной силовой стержень состоит из цилиндрических стержней 1,2 длиной l_1, l_2 , толщиной δ_1, δ_2 и радиусами срединной поверхности r_1, r_2 . Цилиндрические стержни соединены между собой биметаллическим кольцом с толщиной слоев H_1, H_2 и внутренним и наружным диаметрами a, b .

При действии перепада температур $\Delta t = T - T_0$ на составной стержень, цилиндрические стержни длиной l_1, l_2 , удлиняются (укорачиваются) на величины $\Delta l_1, \Delta l_2$, а биметаллическое кольцо проворачивается на угол φ , перемещает свои края на величину ΔK в направлении противоположном сумме удлинений $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$.

На рисунках 3, 4, 5 изображен процесс деформирования размеростабильных стержней от действия положительного и отрицательного перепадов температур соответственно.

Исходя из рисунков 3,4,5:

$$\Delta K = \eta \cdot c \cdot \sin \varphi \approx \eta \cdot c \cdot \varphi,$$

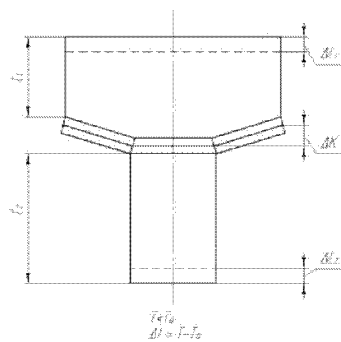


Рисунок 4.

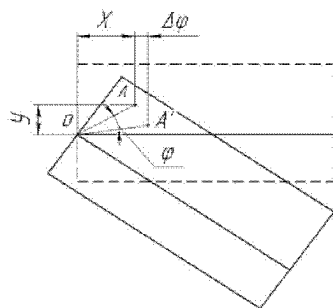


Рисунок 5.

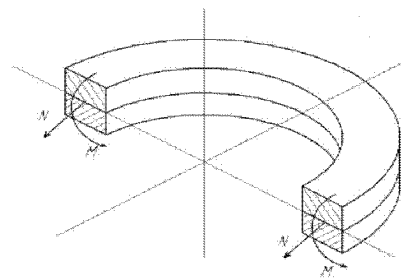


Рисунок 6.

где $c=b-a$.

η - коэффициент, учитывающий упругость стержней в местах их соединения с биметаллическим кольцом.

Для определения ΔK , считаем форму кольца неизменной, тогда и сечение кольца можно считать недеформирующимся.

Возьмем точку O (рис. 5), расположенную на внутреннем радиусе a в сечении колец. Тогда полное перемещение сечения кольца может быть представлено в виде последовательных перемещений точки O вдоль оси симметрии, перпендикулярно к ней и поворота на угол φ около точки O .

Перемещение кольца вдоль оси симметрии соответствует его перемещению как жесткого целого и не вызывает его деформаций. Поэтому это перемещение не рассматриваем. Составляющую перемещения перпендикулярную оси симметрии обозначим через y и перемещения вследствие поворота сечения вокруг точки O - $\Delta\varphi$.

$$\Delta\varphi = y \cdot \Delta\varphi$$

Радиальное перемещение точки A равно

$$\Delta + y \cdot \varphi, a$$

Окружное относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta + y \cdot \varphi}{a + x}$$

Окружное напряжение для первого кольца равно

$$\sigma_1 = E_1 \left(\frac{\Delta + y\varphi}{a + x} - a_1 \Delta t \right) \quad (0 \leq y \leq H_1)$$

для второго кольца

$$\sigma_1 = E_2 \left(\frac{\Delta + y\varphi}{a + x} - a_2 \Delta t \right) \quad (-H_2 \leq y \leq 0)$$

Если разрезать кольцо осевой диаметральной плоскостью и рассмотреть равновесие половины кольца, то очевидно, что в сечениях кольца (рис. 6) изгибающий момент M и нормальная сила N . Следовательно

$$N = \int_0^c \int_{H_1}^{H_2} \sigma_1 \cdot dx dy + \int_0^c \int_{-H_2}^0 \sigma_2 \cdot dx dy = 0$$

$$M = \int_0^c \int_0^{H_1} \sigma_1 \cdot y dx dy + \int_0^c \int_{-H_2}^0 \sigma_2 \cdot y dx dy = 0$$

Подставляя в выражения N и M значения выражений σ_1 и σ_2 и, исключая Δ , определяем

$$\varphi_{\max} = \frac{C}{b} \cdot \frac{6 \cdot \Delta t (a_1 - a_2)}{\ln \frac{b}{a} \frac{(E_1 H_1^2 - E_2 H_2^2)^2}{E_1 \cdot E_2 \cdot H_1 H_2 (H_1 + H_2)} + 4(H_1 + H_2)}$$

Очевидно, что φ будет наибольшим если $E_1 H_1^2 = E_2 H_2^2$

$$\text{Тогда } \varphi_{\max} = \frac{C}{\ln \frac{b}{a}} \cdot \frac{3 \cdot \Delta t (a_1 - a_2)}{2(H_1 + H_2)}$$

Подставляя в выражение для ΔK значение φ_{\max} , определяем $\Delta K = \eta \cdot c \cdot \varphi_{\max}$

при действии перепада температур Δt , суммарные значения удлинения (укорочения) цилиндрических стержней равно $\Delta L = l_1 \cdot \alpha_c \cdot \Delta t + l_2 \cdot \alpha_c \cdot \Delta t = (l_1 + l_2) \alpha_c \Delta t$.

где l_1, l_2 - длины цилиндрических стержней

α_c - коэффициент линейного расширения материала стержней.

Приравниваем значения выражений

$$\Delta L = \Delta K$$

Определяем соотношение геометрических размеров стержней, биметаллического кольца и физико-механических характеристик применяемых материалов.

$$(l_1 + l_2) \cdot \alpha_c \cdot \Delta t = \eta \cdot \frac{c^2}{\ln \frac{b}{a}} \cdot \frac{3 \cdot \Delta t (a_1 - a_2)}{2(H_1 + H_2)}$$

и, введя обозначение $l + l + L$, получаем окончательное выражение для определения потребной длины составного стержня, размеростабильного от действия температуры.

$$L = \eta \cdot \frac{3c^2}{\ln \frac{b}{a}} \cdot \frac{(a_1 - a_2)}{2\alpha_c (H_1 + H_2)}$$

Учитывая, что силовая ферма состоит из множества размеростабильных от действия температуры составных стержней, то и в целом она будет размеростабильной по длине и по диаметру.

Предложенный метод проектирования позволяет создать размеростабильную адаптивную к действию температур силовую ферму, обеспечивающую минимальную дефокусировку телескопа при действии температур.

Применение в силовой ферме космического телескопа составных стержней позволяет уменьшить массу конструкции и повысить термическую стабильность до трех раз и более.

Область применения предлагаемой конструкции не исчерпывается космической техникой. Простота, надёжность, технологичность и низкая стоимость позволяют предположить, что данная конструкция может найти широкое применение во всех случаях, когда нужно создать размеростабильную в условиях воздействия неравномерного поля температур конструкцию.

Список литературы:

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. - М.: Машиностроение. - 1988.
2. Фомин Г.Е. Проектирование адаптивных к действию градиентов температур размеро-

стабильных силовых конструкций летательных аппаратов [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н., Байкин В.Д./ Полет.- 2000.- №06.- С. 42-45.

3. *Биткин В.Е.* Особенности проектирования стержневых размеростабильных крупногабаритных космических конструкций [Текст]/ Биткин В.Е., Сальников И.В., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 43-49.

4. *Лапоткин А.В.* Особенности проектирования, изготовления и экспериментальной отработки стержневой размеростабильной конструкции из углепластика [Текст]/ Лапоткин А.В., Соболев А.А., Суханов А.В./ Технологии. Конструкции из композиционных материалов.- 1989.- №2.7.

5. *Фомин Г.Е.* Проектирование размеростабильных стержневых конструкций рефлекторов антенн, адаптивных к действию градиентов температур [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 61-64.

ВКЛАД ЛЗОСА В КОСМИЧЕСКОЕ ОБЪЕКТИВОСТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАБОТЫ

АРХИПОВА Л.Н.

ОАО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»

Эпоха освоения околоземного пространства космическими аппаратами различного класса невозможна была бы без Лыткаринского завода оптических материалов.

Первые космические объективы появились на орбите в апреле 1962 г. на спутнике «Космос 4» (телеобъектив «Ленинград 9» и широкоугольный топографический объектив «Орион 20»). После получения первых снимков была определена стратегия развития основных направлений космического объективостроения. Так, например, для детального наблюдения в ГОИ были разработаны четыре поколения объективов, начиная от обычных ахроматов («Титан 3», «Мезон 2А»), заканчивая суперахроматами («Апо-Марс 3А», 8А и т.д.).

В этот период интенсивных разработок и практического эшелонирования космоса оптико-фотографическими комплексами, в ГОИ были проведены расчеты по определению оптимальных оптических характеристик объективов с учетом ТТХ, предъявляемых к КК; производился спектральный расчет оптико-фотографического тракта с учетом свойств объекта наблюдения, атмосферы, приемника изображения, условий эксплуатации, точностных характеристик аппаратуры и т.д.

Если совершенствование и поиск новых оптических схем, разработка методов расчетов на основе развития теории аберраций, разработка методик по оценке качества изображения с учетом термобарических условий эксплуатации, необходимость применения новых оптических материалов с целенаправленно заданными свойствами по дисперсии и показателям преломления осуществлялось в ГОИ, то одновременно с научно-техническим определением облика космических систем стало ясно, что без решения ряда проблем невозможно поднять уровень разрешения космического комплекса, и эти проблемы должны быть решены заводом-изготовителем отечественного стекла и изделия в целом — ЛЗОС, Лыткаринским заводом оптического стекла.

Именно в Лыткарино были проведены уникальные научно-технологические работы по внедрению в промышленное производство технологии изготовления крупногабаритных заготовок высокооднородного оптического стекла с заданными дисперсионными свойствами, внедрены и усовершенствованы новые принципы сборки и юстировки высокоразрешающих объективов (а уровень детализации фотонаблюдений повышен за двадцать лет на порядок), были разработаны и внедрены эффективные методы и приборы для высокоточного контроля отдельных оптических элементов, усовершенствованы методы оптотехнических исследований и аттестации объективов, имеющих диаметр кружка рассеяния в несколько микрон.

ГОИ в те годы начинал разработку методов математического моделирования объективов с учетом погрешности изготовления и сборки, однако в настоящее время уже специалисты ЛЗОСа далеко шагнули по сравнению с периодом освоения серийного выпуска космических объективов диаметром до 0,5-0,7 м.

Последние совместные разработки ГОИ и ЛЗОСа — это схемотехника двух термоне-расстраивающихся объективов с фокусным расстоянием 40 и 200 мм и модернизация телеобъ-

ектива-апохромата «Актиний 4А» для аппаратуры «Геотон Л1». Уже в 21 веке продолжает выпускаться длиннофокусный объектив (комплекты №32 и №33 — это 2015-2016 гг.), причём если на первом объективе снимались данные по его контрасту изображения на пространственной частоте 24 лин/мм, то в настоящее время это уже 78 лин/мм с обеспечением наблюдения в коротковолновой области спектра. Данное повышение характеристик достигается переоптимизацией оптической схемы в рамках прежнего габаритного облика аппаратуры. Однако, в ГОИ разработан вариант с меньшим количеством линз, с улучшенным вторичным спектром на базе обычных стекол, который мог бы выпускать ЛЗОС при наличии соответствующего решения и финансирования.

Еще в 80-е годы в ГОИ занимались работами, позволяющими повысить качество изображения систем, и в частности, разработали объектив с киноформными элементами («Ионар 1» с характеристиками аналогичными объективу «Актиний 4А», тогда же был разработан ИК-объектив с КЭ и т.д.)

В настоящее время, имея данный опыт, теоретические и практические навыки, а также соответствующее оборудование, существует необходимость дальнейшего повышения тактико-технических характеристик систем до уровня дифракционных, считаем необходимым вернуться к данному направлению, а именно внедрению асферико-дифракционной оптики в реальные разработки Лыткаринского завода и других предприятий России.

В последние годы в ГОИ разработаны оптические схемы зеркальных систем (многоканальных и многоспектральных), имеющих осевую симметрию и условно децентрированных. Представленные оптические схемы объективов типа «Комби-глаз», «Рефлектар», «Легар» (с самым большим угловым полем), типа Шмидта. Разработаны и предложены варианты схемного построения зеркального телескопа диаметром 3 м.

В ГОИ разработана линейка термонерасстраивающихся ИК-объективов, которые изготовлены и внедрены в изделия УОМЗа. Для их серийного изготовления необходимо возобновить варку халькогенидных стекол в ЛЗОСе.

Как пример оптимизации системы, по массогабаритным и качественным характеристикам разработаны оптические схемы на основе новой перспективной элементной базы – асферико-дифракционных линз.

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ БЛОКИ СКАНИРУЮЩИХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

ГАЛЯВОВ И.Р., ПОНИН О.В., ГЕКТИН Ю.М.¹

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

¹ОАО «Российские космические системы», г. Москва

E-mail: ponin@lzos.ru, galyavov@lzos.ru

Важнейшим элементом оптико-механических устройств ДЗЗ является блок сканирующего зеркала, обеспечивающий при работе аппаратуры равномерную строчную развертку изображения.

Начиная с 2005 года ОАО ЛЗОС по заказу ОАО «Российские космические системы» для аппаратуры МСУ-МР (многозональное сканирующее устройство малого разрешения), входящей в состав российского гидрометеорологического спутника «Метеор-М», были изготовлены летные образцы блоков облегченных сканирующих зеркал с двухсторонним отражающим покрытием.

При выполнении ОКР со стороны ОАО «Российские космические системы» к блоку были выдвинуты высокие требования как к качеству зеркала и его механической обвязке, так и сохранению параметров при жестких внешних воздействиях и сроках эксплуатации не менее 5 лет, что потребовало разработки специализированного контрольно-юстировочного оборудования и новых методов контроля.

Большая работа ОАО ЛЗОС была так же проведена в рамках изготовления высокоточных сканирующих зеркал для аппаратуры МСУ-ГС, входящей в состав геостационарного метеорологического КА «Электро-Л».

Эксплуатация блоков и зеркал в составе МСУ-МР КА «Метеор-М» №1 «Электро-Л» №1 в условиях непрерывного цикла работы в течение 5 лет подтвердила высокую надежность и качество изделий.

Запуск спутников «Метеор-М» №1 и «Электро-Л» №1 позволил создать полноценную отечественную космическую систему гидрометеорологического наблюдения.

В настоящее время в соответствии с Федеральной космической программой России начата работа по созданию блоков сканирующих зеркал для:

- радиометров МСУ-ИК-СРМ для КА «Канопус-В-ИК»;
- перспективной гидрометеорологической аппаратуры нового поколения МСУ-МР-МП, к которым предъявляются качественно новые требования (двукратное увеличение массогабаритных характеристик, ужесточение в два раза требований к оптическим и механическим параметрам, увеличение сроков эксплуатации до 10 лет и т.д).

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРУППИРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

АНИКЕЕВА И.А., БРАГИНА Е.В., ГОРЕЛОВ В.А., ПОПОВ С.М.

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

С каждым годом растет число космических аппаратов (КА) на орбите. В настоящее время 52 страны имеют собственные спутники. Из них 37 стран имеют собственные спутники дистанционного зондирования. Здесь в категорию спутников ДЗЗ включены, согласно классификации научной некоммерческой организации, занимающейся проблемами оздоровления окружающей среды и безопасности - Union of Concerned Scientists (UCS), спутники наблюдения (исследования Земли), метеорологические, электронной разведки, разведывательные, развития технологий ДЗЗ.

Из 1085 спутников, которые находились, по состоянию на сентябрь 2013 года, на орбите на долю спутников категории ДЗЗ приходится 18% от их общего числа. При этом, США и Китай являются лидерами не только по общему количеству КА различного целевого назначения, но и по количеству спутников категории ДЗЗ, в состав которых входят в первую очередь спутники оптико-электронного и радиолокационного классов.

Рамки данного исследования ограничиваются анализом по степени детальности наблюдений состояния и перспектив развития космических систем дистанционного зондирования Земли оптико-электронного класса (КС ДЗЗ ОЭ класса), т.е. наиболее освоенной и в наибольшей степени соответствующей современному мировому уровню технологии космической съемки земной поверхности в нашей стране.

Анализ информации, полученной из открытых источников (отечественные и зарубежные электронные ресурсы, литературные источники) на 01.02.2014 г. позволяет сделать следующие выводы относительно распределения по пространственному разрешению группировки действующих КС ДЗЗ ОЭ класса:

- развитие техники и технологии ДЗЗ с использованием съёмочных систем оптико-электронного класса с одной стороны и возрастающая потребность обеспечения качественной, достоверной и современной информацией многих отраслей деятельности с другой стороны, способствуют тому, что группировка КС ДЗЗ ОЭ класса с высоким пространственным разрешением (1-10 м) наиболее представительна – 57%;

- на втором месте находятся КС ДЗЗ ОЭ класса со сверхвысоким пространственным разрешением (до 1 м) – 28%;

- остальные 15% составляют системы среднего (до 50 м) – 10% и низкого пространственного разрешения (до 250 м) – 5%.

Дифференцированный анализ по пространственному разрешению динамики наращивания за период 1995-2013 гг. орбитальной группировки КС ДЗЗ ОЭ класса, показал, что наиболее динамично развиваются в последние годы КС ДЗЗ ОЭ класса с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением. Проведённые исследования позволили выявить устойчивую тенденцию увеличения количества выводимых на орбиту спутниковых съёмочных систем с разрешением до 10 м, что подтверждает высокую востребованность материалов ДЗЗ данного уровня детальности.

При этом, количество КС ДЗЗ ОЭ класса с высоким пространственным разрешением, составляющих большинство, увеличивается быстрее и в большем объеме, чем количество систем сверхвысокого разрешения. Это объясняется большой стоимостью и трудоемкостью создания и информационно-технологического обслуживания систем субметрового разрешения, в то время как КС ДЗЗ ОЭ класса с высоким пространственным разрешением на сегодняшний день обладают оптимальным балансом цена/качество для решения широкого круга задач в различных отраслях хозяйственной деятельности.

Выполненный анализ позволяет сделать прогноз на ближайшее будущее степени наращивания группировок КС ДЗЗ ОЭ класса с различным пространственным разрешением и предположить, что в ближайшие 3 года (2014-2016 гг.) на орбиту приблизительно будет выведено:

- 7 спутников ДЗЗ оптико-электронного класса со сверхвысоким пространственным разрешением;
- 15 спутников ДЗЗ оптико-электронного класса с высоким пространственным разрешением;
- 3 спутников ДЗЗ оптико-электронного класса со средним пространственным разрешением.

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАЛОГАБАРИТНЫХ СКАНЕРОВ ДЛЯ ДЗЗ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «МЕТЕОР-М»

САВИЦКИЙ А.М., СОКОЛЬСКИЙ М.Н., ТРЕГУБ В.П., ПОЛЯНСКИЙ И.В.¹

ОАО ЛОМО, г. Санкт-Петербург

¹ИКИ РАН, г. Москва

Рассматриваются оптические системы ОС-100Т, ОС-125Т и ОС-180, разрабатываемые и изготавливаемые ОАО ЛОМО по заказу ИКИ РАН, для применения в составе многозональных съемочных устройств (МСУ) среднего разрешения, входящих в состав научной аппаратуры космических аппаратов «Метеор-М» и «Метеор-МП».

Каждая оптическая система состоит из объектива с фокусным расстоянием f' , спектроделительного блока, обеспечивающего разделение полихроматического светового пучка на три спектральных канала с помощью дихроических зеркал и полосовых светофильтров, установленных на выходных окнах спектроделителя, куда присоединяются оптико-электронных приемников (ОЭП) – ПЗС-линейки или матрицы. Объективы построены по схемам с телецентрическим ходом главных лучей в пространстве спектроделителя. Спектроделитель выполнен из склеенных призм с углами падения центральных лучей на дихроические покрытия ... (ОС-100Т) и 45° для остальных камер.

Камеры МСУ-100Т, в состав которых входят ОС-100Т, и МСУ-100ТМ, в состав которых входят ОС-125Т, предназначены для эксплуатации в составе комплексов многозональной съемки (СБЗ и КМСС-2), обеспечивающих съемку поверхности земли и океана в шести спектральных каналах с разрешением на местности 60 м и полосой захвата до 1000 км.

Прибор Горизонт-МП, в состав которого входит ОС-180/4, предназначен для проведения многозональной съемки поверхности земли и океана в шести спектральных каналах с разрешением на местности 30 м в полосе 1800 км. Сверхширокая полоса захвата обеспечивается поворотным на $\pm 20,55^\circ$ зеркалом, установленным в плоскости вынесенного на 120 мм входного зрачка. Бленда между зеркалом и объективом обеспечивает подавление боковой засветки от источника света вне рабочего поля зрения – в 100 раз.

В таблицах 1, 2 приведены основные характеристики оптических систем.

Таблица 1.

Оптические характеристики оптико-механических блоков

Параметры	ОС-100Т,С,К (МСУ-100Т)	ОС-125Т (МСУ-100ТМ)	ОС-180/4 (Горизонт-МП)
Фокусное расстояние объектива (f'), мм	108	125	180
Относительное отверстие объектива	1:4,5	1:4,5	1:4
Угловое поле зрения, град.	33,5	32	43,7
Линейное поле изображения, мм	65	72	24x36
Значение функции передачи модуляции (частота/контраст) по всему полю изображения	35 лин/мм / 0,7 70 лин/мм / 0,35	35 лин/мм / 0,7 70 лин/мм / 0,35	42 лин/мм / 0,7 84 лин/мм / 0,35
Дисторсия, мм	0,1	0,1	0,05
Разница значений координат главных лучей в плоскости изображения для центральных длин волн, мкм	3	3	3

Таблица 2.

Спектральные интервалы камер

	Центральная длина волны, мкм	Ширина спектрального канала, нм	Граница спектрального канала, мкм
ОС-100Т-С	0,415	30	0,400-0,430
	0,490	20	0,480-0,500
	0,557	20	0,547-0,568
ОС-100Т-К	0,595	30	0,580-0,610
	0,665	20	0,655-0,675
	0,779	36	0,762-0,798
ОС-125	0,555	70	0,520-0,590
	0,665	50	0,640-0,690
	0,8425	115	0,785-0,900
ОС-180/4-К	0,555	70	0,520-0,590
	0,665	50	0,640-0,690
	0,8425	115	0,785-0,900
ОС-180/4-С	0,4825	65	0,450-0,515
	0,710	40	0,690-0,730
	0,865	40	0,845-0,885

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗЕРКАЛЬНО – ЛИНЗОВЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ОПТИКО – МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СОЛК С.В., ШЕВЦОВ С.Е.

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения,
г. Сосновый Бор, Ленинградская область

E-mail: solk@sbor.net

Успехи электронной промышленности в области производства матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) инфракрасного (ИК) диапазона (уменьшение размеров пикселей при увеличении их чувствительности и увеличение формата МФПУ, уменьшение массы и габаритов устройств охлаждения) вызвали повышение требований к оптико – механическим системам (ОМС) в части минимизации пятен рассеяния и весогабаритных характеристик. Появление двух и многодиапазонных МФПУ потребовало разработки ОМС работающих одновременно в нескольких спектральных диапазонах. Всё это потребовало поиска новых подходов к проектированию и изготовлению ОМС.

Проведённые исследования показали, что в ряде случаев целесообразно применение зеркальных оптических систем с «недоисправленными» фокусами. Изготовление таких систем потребовало разработки технологии юстировка двухзеркальных систем с использованием синтезированного голограммного оптического элемента (СГОЭ) и лазера, работающего в видимом диапазоне [1]. Такой элемент состоит из трёх осевых синтезированных голограмм изготовленных соосно на единой подложке. Данная технология позволяет не предъявлять высоких требований к качеству изображения в фокальной плоскости двухзеркальной системы. Следует отметить, что СГОЭ работает с кольцевыми зонами на вторичном и главном зеркалах. При проектировании зеркал допуск на точность формы рабочих поверхностей в этих зонах целесообразно задавать дополнительно, с учётом их работы в процессе юстировки в видимом диапазоне.

Разработан, изготовлен и испытан крупногабаритный (апертура 1.1 м) зеркально – линзовый объектив с относительным отверстием 1:3,3, работающий в спектральном диапазоне 8 – 12 мкм, либо в диапазоне 0,4 – 0,8 мкм. Объектив представляет собой систему Кассегрена с «недоисправленным» фокусом. В ИК диапазоне используется блок переноса изображения, служащий для минимизации паразитных фоновых засветок и, одновременно, выполняющий роль компенсатора аберраций. Для работы в видимом и ближнем ИК диапазонах в объектив устанавливается съёмный блок, состоящий из линзового компенсатора аберраций и МФПУ. Такой подход позволил уменьшить длину ОМС при увеличении её светосилы.

Преимущества системы с «недоисправленным» фокусом были использованы при проектировании объектива с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и полем зрения 1° предназначенном для работы в диапазоне 0,4 – 10 мкм [2]. Объектив представляет собой модифицированную схему Ричи – Кретьена с линзовым корректором. Корректор является однолинзовым и, в отличие от применяющихся традиционно, не является афокальным. Модифицированная схема использована для того, что бы кома, вносимая двухлинзовой системой компенсировала бы кому, вносимую однолинзовым корректором. Корректор

изготавливается из ВаF₂ и вносит незначительные хроматические aberrации. В то же время, ВаF₂ прозрачен в широком спектральном диапазоне и не требует нанесения дополнительных просветляющих покрытий. Такой объектив может работать с многодиапазонными МФПУ.

Список литературы:

1. *Obraztsov V.S., Ageichik A.A., Larionov N.P., Lebedev O.A. Lukin A.V., Solk S.V.* Alignment of Cassegrain telescope with Epps – Shulte focus. // The 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments. Saint – Petersburg, Russia. 2009. V.3. P. 3-233 – 3-237.
2. *Лебедев О.А., Сабинин В.Е., Солк С.В.* Крупногабаритный многоспектральный объектив.// Оптический журнал. 2011. Т. 78. №11. С. 24-27.

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕСКОПА Т-170М

ВЛАСЕНКО О.В., ЯСКОВИЧ А.Л.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

E-mail: vlasenko@inasan.ru

Телескоп Т-170М представляет собой прецизионный крупногабаритный оптический прибор, полностью построенный на отражательной оптике. Назначение оптической системы телескопа (рисунок 1) - формирование изображений исследуемых космических объектов (звезды, галактики, планеты и т.п.) в поле зрения $\pm 15'$ непосредственно на фокальной поверхности телескопа, а также, на приемниках излучения приборов научной аппаратуры, расположенных в районе фокальной поверхности телескопа Т-170М в спектральном диапазоне 115 - 600 нм. Оптическая система телескопа Т-170М построена по двухзеркальной оптической схеме Ричи - Кретьена из двух гиперболических зеркал, изготавливаемых в ОАО ЛЗОС, с нанесённым в ФГУП «НИИ НПО ЛУЧ» на их рабочие поверхности двухслойным функциональным (штатным) покрытием $Al+MgF_2$.

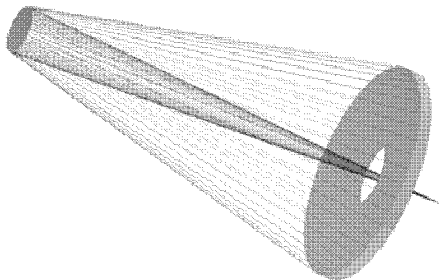


Рисунок 1.

Основные технические характеристики оптической системы приведены ниже.

Апертурная диафрагма входного зрачка
 1700 ± 1 мм.

Эквивалентное фокусное расстояние
 17000 ± 6 мм.

Задний отрезок - $650 \text{ мм} \pm 30 \text{ мм}$.

Воздушный промежуток - 3057 мм.

Среднеквадратическое значение деформации отраженного волнового фронта для изображения, построенного оптической системой на оси телескопа не более $\lambda/25$ для $\lambda=0,6328$ мкм.

ИНАСАН совместно с ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина", ОАО КМЗ, фирмой "ЮС-ТАС" и ЗАО

"РАСТР" разработал технологию юстировки оптической системы на стенде и в составе телескопа, с учётом следующих особенностей:

- конструкция оправы главного зеркала, входящего в состав КНА "Спектр-УФ", не позволяет устранить влияние гравитации на форму рабочей поверхности зеркала при его наземной эксплуатации в составе телескопа;

- требования к условиям наземной эксплуатации штатного отражающего покрытия зеркал телескопа Т-170М, оптических элементов фокальных приборов определяют необходимость его нанесения на рабочие поверхности оптических элементов КНА "Спектр-УФ" максимально близко к дате пуска.

Юстировка оптической системы включает в себя следующие этапы:

- подготовительные операции;

- идентификационная юстировка;
- фиксация взаимного положения главного зеркала с технологическим покрытием (ГЗТП), вторичного зеркала с технологическим покрытием (ВЗТП) и оптической скамьи (ОСк) без фокальных приборов;
- сборка телескопа и геометрический контроль взаимного положения ГЗТП, ВЗТП и ОСк в телескопе, демонтаж из телескопа ГЗТП и ВЗТП;
- чистовая сборка телескопа и геометрический контроль взаимного положения ОСк, главного и вторичного зеркал с отражающим покрытием Al+MgF₂ в телескопе.

Идентификационная юстировка включает:

- интерферометрический контроль оптической системы на основе метода субапертур, определяющий характеристики отражённого волнового фронта для изображения, построенного оптической системой телескопа Т-170М на оси телескопа (в точке фокуса) и в зонах расположения входных щелей блока спектрографов;
- идентификационную юстировку оптической системы (определение оптимального взаимного положения главного и вторичного зеркал, точки фокуса, при котором достигается максимально возможное качество изображение в точке фокуса).

Фиксация взаимного положения ГЗТП, ВЗТП и ОСк (посадочное место БКП) выполняется на стенде для разгруженного и неразгруженного главного зеркала и включает в себя контроль центрирования оптической системы, воздушного промежутка и заднего отрезка.

В дальнейшем, в телескопе выполняется контроль вышеуказанных параметров для неразгруженного главного зеркала. На рисунке 2 показан комплексный контрольно-измерительный стенд телескопа Т-170М, на котором будут выполняться вышеуказанные работы. В настоящее время в ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина" завершается его создание.

Используемые методы фиксации взаимного положения зеркал ранее применялись при юстировке БТА, телескопов комплекса "Окно" и других телескопов по тематике МО РФ, и дополняются измерениями с помощью лазерного трекера API Tracker 3-15

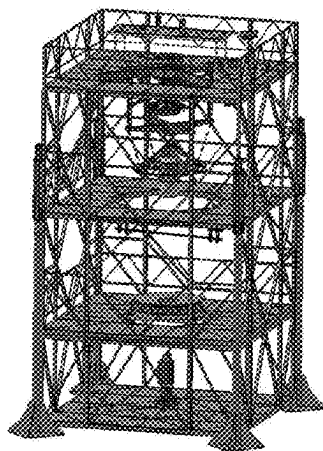


Рисунок 2.

**КОМПЛЕКС РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ В ГИПО ЛАЗЕРНО-ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ И ЮСТИРОВКИ
ЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, В ТОМ ЧИСЛЕ ТЕЛЕСКОПОВ ТИПА
КАССЕГРЕНА И РИЧИ-КРЕТЬЕНА, НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ
СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК – ДИАПАЗОНОВ СПЕКТРА.
ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОБСЕРВАТОРИЙ
КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ**

**АХМЕТОВ М.М., БАЛОЕВ В.А., ИВАНОВ В.П., ЛАРИОНОВ Н.П.,
ЛУКИН А.В., МЕЛЬНИКОВ А.Н., МИРХАНОВ Н.Г., МУСЛИМОВ Э.Р.,
НАСЫРОВ А.Р., УРАСКИН А.М.**

ОАО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань

E-mail: gipo@telebit.ru

Юстировка телескопов является важной и ответственной операцией при их сборке. В настоящее время разработано несколько методов контроля юстировки двухзеркальных телескопов Кассегрена и Ричи-Кретьена на основе использования дополнительных оптических элементов, а также светящейся марки и точечного источника света [1–3]. Дополнительные оптические элементы в процессе юстировки телескопа формируют автоколлимационные изображения указанных источников света. Методы [1,2] обладают невысокой точностью и надёжностью из-за трудностей центрировки дополнительных оптических элементов с зеркалами телескопа. Указанные недостатки устранены в методе, рассмотренном в работе [3], который основан на использовании системы двух кольцевых осесимметричных синтезированных голограмм (СГ), изготавливаемых в краевой зоне рабочей поверхности вторичного зеркала (ВЗ) телескопа соосно с его оптической осью. В процессе контроля юстировки телескопа СГ освещаются точечным источником света, располагаемым в вершине главного зеркала (ГЗ). При юстировке телескопа сначала получают автоколлимационное изображение точечного источника света с одной из СГ, которая предназначена для формирования автоколлимационного изображения непосредственно.

После этого получают ещё одно автоколлимационное изображение точечного источника света, которое формируется второй СГ совместно с ГЗ. Данный метод обладает более высокой надёжностью и оперативностью по сравнению с методами [1,2]. Это достигается за счёт создания единого оптического элемента, состоящего из ВЗ телескопа и СГ, расположенных на его рабочей поверхности, в связи с чем данный оптический элемент не расстраивается во времени как при перепадах температуры, так и при вибрационных воздействиях. Для экспериментальной отработки методик юстировки двухзеркальных телескопов создан испытательный стенд (рис. 1). В качестве ГЗ в стенде используется сферическое зеркало со световым диаметром 840/350 мм и радиусом кривизны 865 мм. В качестве ВЗ могут быть использованы выпуклые и плоские зеркала диаметром до 400 мм. Проведены испытания стенда с использованием плоской пластины диаметром 200 мм в качестве ВЗ. В краевой зоне этой пластины нанесены структуры двух СГ в виде колец шириной 20 мм каждая. Обе СГ освещаются точечным источником света, расположенным в вершине ГЗ на расстоянии 630 мм от ВЗ. Одна из СГ строит автоколлимационное изображение точечного источника света непосредственно, а вторая СГ – совместно с ГЗ. Для отъюстированной телескопической системы эти изображения должны быть совмещены между собой.

Представлены снимки автоколлимационных изображений точечного источника света для двух этапов юстировки (рис. 2).

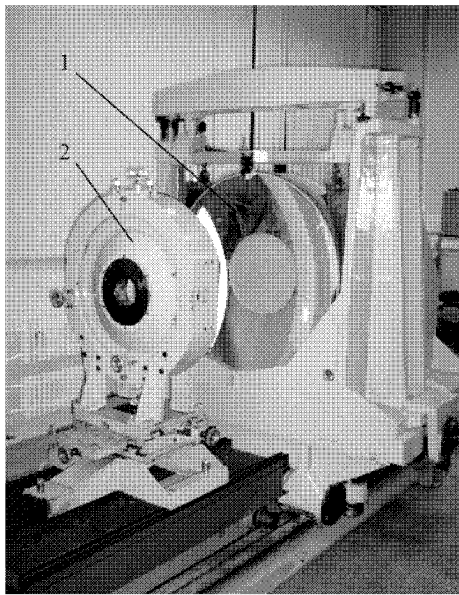
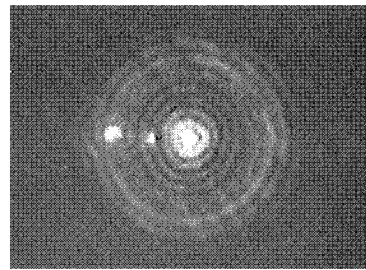


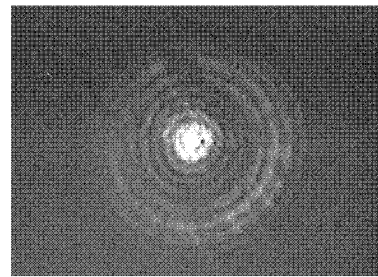
Рисунок 1.

Стенд для моделирования методик юстировки двухзеркальных телескопов:

- 1 – узел главного зеркала;*
- 2 – узел вторичного зеркала*



а



б

Рисунок 2.

Наименьшие кружки рассеяния, полученные в стенде:

- а – наименьшие кружки рассеяния разнесены; средний кружок рассеяния является опорной точкой;*
- б – наименьшие кружки рассеяния совмещены между собой*

Список литературы:

- 1. Михельсон Н.Н. Взаимная выверка зеркал в двухзеркальных телескопах // Оптический журнал. 1996. Т. 63. № 3. С.66 – 68.*
- 2. Иванов В.П., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Нюшкин А.А. Юстировка двухзеркальных центрированных оптических систем с использованием синтезированных голограммных оптических элементов // Оптический журнал. 2010. Т.77. № 6. С.14 – 18.*
- 3. Балоев В.А., Иванов В.П., Ларионов Н.П., Лукин А.В., Мельников А.Н., Скочилов А.Ф., Ураскин А.М., Чугунов Ю.П. Прецизионный метод контроля юстировки двухзеркальных телескопов на основе использования системы кольцевых синтезированных голограмм // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 3. С. 56 – 64.*

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ БЛОКОВ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ БЛИЖНЕЙ И КОРОТКОВОЛНОВОЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

МУСЛИМОВ Э.Р.¹, НАСЫРОВ А.Р.¹, ПЕРСЕВ И.В.²,
ШТЕЙНФЕЛЬД В.О.¹, ЩЕРБАКОВ М.В.²

¹ОАО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань

²ЗАО «НПО «Лептон», г. Москва

E-mail: gipo@telebit.ru

При разработке гиперспектрометров для зондирования земной поверхности необходимо соблюдать ряд требований. Требуется реализовать по возможности высокие значения пространственного и спектрального разрешения, обеспечить термостойкость аппаратуры в широком диапазоне температур, обеспечить устойчивость конструкции к стартовым нагрузкам. В то же время, всегда имеются ограничения по габаритам и массе [1,2]. Исходя из этих, в общем, противоречивых требований, нами реализована конструкция гиперспектрометра для исследования пространственного распределения альбедо земной поверхности с высоким пространственным разрешением в спектральных областях 0,9-1,7 и 2,0-2,4 мкм.

Гиперспектрометр состоит из двух конструктивно идентичных механически сопряженных модулей, каждый из которых работает в одной спектральной области. Модуль содержит входной объектив 1, узел щели 2, спектрограф 3 и блок приемника 4 (рис. 1).

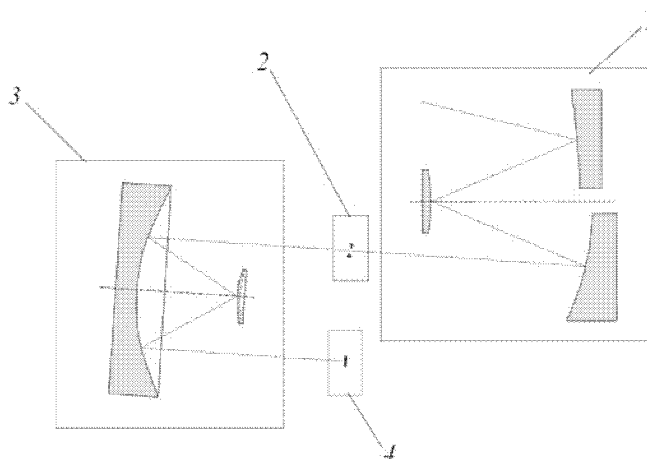


Рисунок 1.

Принципиальная оптическая схема гиперспектрометра

Входной объектив представляет собой зеркальный триплет без центрального экранирования и состоит из трех асферических зеркал – двух вогнутых и одного выпуклого, вершины поверхностей которых лежат на одной оси. Первое зеркало имеет форму гиперboloида, второе – эллипсоида. Третье зеркало имеет квазиэллиптическую поверхность высшего порядка.

Использование асферических зеркал позволяет достичь высоких показателей качества изображения при высокой апертуре и малых габаритах узла входного объектива. Геометрические аберрации по полю зрения не превосходят 1,9 мкм. При этом объектив, практически, свобо-

ден от таких aberrаций, как астигматизм и дисторсия. Поскольку оптические характеристики объектива не зависят от длины волны, блоки входных объективов обоих модулей выполнены абсолютно идентичными.

Спектрограф построен по известной схеме Оффнера и состоит из двух концентричных сферических отражательных элементов. Первый элемент представляет собой вогнутое сферическое зеркало с двумя рабочими световыми зонами, второй – выпуклую отражательную дифракционную решетку с прямыми эквидистантными штрихами. Такая схема выгодно отличается простотой и высоким пространственным разрешением. Оптические схемы спектрографов двух модулей максимально унифицированы: сферические зеркала идентичны, в обоих модулях используются дифракционные решетки с частотой штрихов 24 штр/мм, отличающиеся глубиной профиля штриха и радиусом кривизны поверхности. Концентрация энергии в изображении в пределах площадки 30x30 мкм для диапазона 0,9-1,7 мкм варьируется в пределах от 0,92 до 0,97 от дифракционного предела, для диапазона 2,0-2,4 мкм – от 0,96 до 0,99.

Однако, для достижения столь высоких качественных показателей в реальном приборе, конструктивные параметры его оптической системы должны быть выполнены с большой точностью. Так сферические поверхности оптических элементов изготовлены с общей ошибкой не более 4 интерференционных колец, асферические – со среднеквадратическим отклонением от расчетного профиля не более 0,08 мкм. Сборка выполнена с допустимыми отклонениями расстояний между оптическими поверхностями и их децентрировки в каждом из блоков не более 0,03 мм, допусками на разворот компонентов не более 1'. При этом между собой блоки должны быть согласованы с точностью 1,3' в угловой и 0,03 мм в линейной мере.

Спектральная щель выполнена методом травления шириной 30 мкм с допустимым отклонением не более 5 мкм и с обеспечением прямолинейности и параллельности граней щели в пределах 1 мкм при высоте щели 15 мм.

Для обеспечения термической стойкости конструкции модулей использована пара материалов с близкими температурными коэффициентами расширения: оптические детали изготавливались из стекла К8, а основные механические детали – из титана. Выполненные термомеханические расчеты подтвердили высокую стойкость конструкции к температурным деформациям в заданном диапазоне изменения температур.

Испытания блоков на испытательной станции ОАО «НПО ГИПО» подтвердили их механическую прочность в соответствии с требованиями, предъявляемыми к орбитальным приборам для дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов.

Список литературы:

1. *D'Odorico P. et. al.* Performance assessment of onboard and scene-based methods for Airborne Prism Experiment spectral characterization [Text]/ Petra D'Odorico, Luis Guanter, Michael E. Schaepman, and Daniel Schlapfer/ APPL. OPT. - 2011. - Vol. 50, No. 24 - P. 4755-4764
2. *Zhiping He et. al.* Research on method of geometry and spectral calibration of pushbroom dispersive hyperspectral imager [Text]/ Zhiping He ; Rong Shu ; Jianyu Wang/ Proc. SPIE, Multisp., Hypersp., and Ultrasp. Remote Sensing Technology, Techniques and Applications IV. - 2012. - Vol. 8527 - P. 85270R

СПЕКТРОМЕТРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ВИДИМОЙ И БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

ПЕРЧИК А.В.

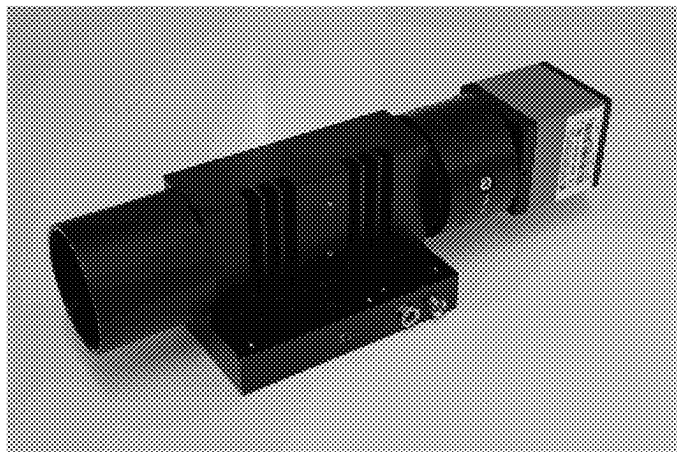
НОЦ “Фотоника и ИК-техника” МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: perchik@bmstu.ru

Доклад посвящен описанию спектрометров изображений для задач дистанционного зондирования в видимой и ближней ИК области спектра построенных на перестраиваемых акустооптических монохроматорах.

Основными требованиями к созданию бортовых систем дистанционного зондирования, в том числе являются: мобильность, устойчивость к вибрациям, высокая скорость работы. Таким требованиям отвечают приборы, созданные на основе акустооптических монохроматоров, которые отличаются малыми габаритами и весом, отсутствием подвижных и юстируемых элементов, возможностью применения гибких алгоритмов перестройки по длинам волн, использующих свойство произвольной спектральной адресации.

Акустооптические монохроматоры предназначены для выделения из светового потока с широким спектром узкого спектрального диапазона и перестройки центральной длины волны этого диапазона в соответствии с управляющим сигналом.



*Рисунок 1.
Спектрометр изображений*

Одним из замечательных свойств таких спектрометров является возможность непосредственно регистрировать спектральные изображения объектов, т.е. пространственное распределение яркости на произвольной длине волны. Это дает возможность визуализировать некоторые физико-химические, биологические, структурные особенности объекта, например, распределение хлорофилла в водоемах, облаков газов в атмосфере, пораженную растительность. Последнее свойство, например, позволяет уверенно выявлять маскировку на местности, выполненную с помощью сорванной растительности (веток, травы, листья), а также места с пораженным растительным покровом, например, минные поля.

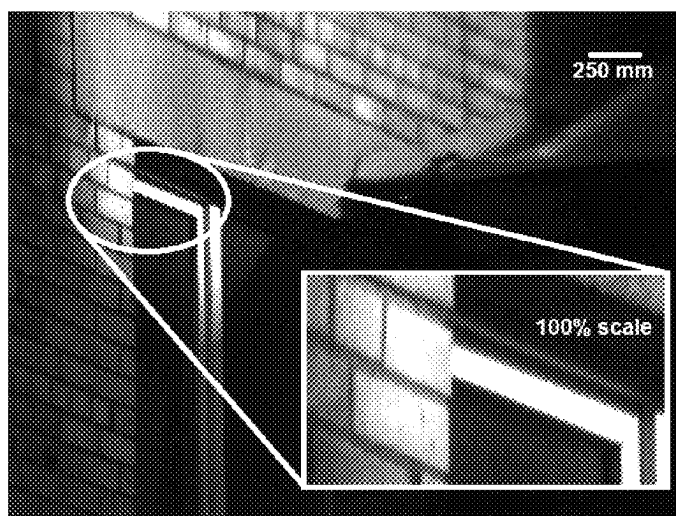
Двойная фильтрация излучения обеспечивает повышенный контраст видеомонохроматора и более узкую полосу пропускания. При использовании такой схемы не происходит

смещения элементов передаваемого изображения при перестройке по спектру.

В работе был использован двойной акустооптический монохроматор, имеющий следующие характеристики:

Спектральный диапазон	0,44 - 0,76 мкм
Число разрешимых элементов изображения	320 x 250 пар линий
Спектральное разрешение	2,0 нм на 633 нм
Входной зрачок	8 мм

На том же принципе строятся монохроматоры для ближнего ИК диапазона спектра, в области прозрачности парателлурита.



*Рисунок 2.
Пример спектрального изображения*

Список литературы:

1. *Пожар В.Э., Пустовойт В.И.* Возможности создания новых систем видения на основе акустооптических видеоспектрометров. // Радиотехника и электроника, 1996. Т. 41. В. 10. С.1272-1278.
2. *Перчик А.В., Пожар В.Э., Пустовойт В.И., Шурыгин А.В.* Акустооптические спектральные приборы для задач экологии // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана серия «Приборостроение» Спецвыпуск СП-09 2012, с.137-146

ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ В СИСТЕМЕ СФЕРИЧЕСКОГО ОБЗОРА

ШИРОКОВ Р.И., АЛЕХНОВИЧ В.И.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: m.scofield@mail.ru

Оптико-электронная локационная системы полного (сферического) обзора – многокомпонентная система наблюдения. Эта система представляет собой совокупность шести камер, расположенных таким образом, чтобы обеспечивать непрерывный сферический обзор с формированием видеоизображений окружающей обстановки (рис. 1). Угловое поле обзора одной камеры составляет порядка $90^\circ \times 90^\circ$

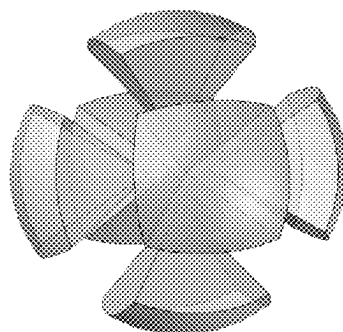


Рисунок 1.
Сферическая зона обзора

Одной из самых важных задач является юстировка данной многокомпонентной системы на каком-либо объекте (стационарные объекты, летательные аппараты и т.д.). Под этим понимается размещение всех локационных станций (ЛС) в определённые посадочные места. Далее проводится привязка всех ЛС к единой системе координат - системе координат объекта, и реализуется алгоритм формирования панорамного изображения на кубе или на сфере.

Предложено два подхода к юстировке рассматриваемой системы сферического обзора – геодезический метод юстировки и метод юстировки с помощью вспомогательной камеры.

Геодезический метод предполагает использование геодезического измерительного прибора тахеометра в качестве связующей системы координат. По базовым точкам объекта (минимум три точки) проводится привязка системы координат тахеометра к системе координат объекта. Аналогично тахеометр привязывается к системам координат локационных станций сферической системы обзора. Комбинация полученных операторов перехода дает нам правило перехода между системой координат каждой локационной станции и системой координат объекта.

Второй подход предполагает использование камеры высокого разрешения и пары транспарантов, которые представляют собой две плоские поверхности, с размещёнными на них ИИ источниками излучения (ИИ). Координаты ИИ относительно системы координат транспаран-

та известны. Ориентация одного транспаранта относительно другого определяется при помощи вспомогательной системы координат - камеры высокого разрешения. ИИ на транспарантах и на их изображениях сопоставляются, учитывая калибровочные параметры всех камер, и составляется система нелинейных уравнений. Полученная система решается методом Левенберга-Маквардта. В результате получаем коэффициенты матрицы перехода между соседними локационными станциями. Таким образом можно привязать все ЛС к заранее выбранной базовой ЛС.

Список литературы:

1. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. - М.: Мир, 2001. - 604 с.
2. Воеводин В.В. Вычислительные основы линейной алгебры. - М.: Наука, 1977. - 307 с.
3. Z. Zhang. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330–1334, 2000.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЗЗ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

АНИКЕЕВА И.А., ПОПОВ С.М.

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

Определяющей характеристикой передаточных свойств изображения является пространственно-частотная характеристика – способность воспроизведения на снимке объектов местности различного геометрического размера, в том числе в предельном выражении – линейное разрешение на местности.

Пограничная кривая является наиболее простым и объективным способом определения разрешающей способности изображения, поскольку позволяет максимально достоверно оценить передаточные характеристики конкретного изображения и не требует знания каких-либо дополнительных параметров съёмки (передаточной функции оптической системы, параметров атмосферы и пр.).

Программная реализация алгоритма определения разрешающей способности изображения по пограничным переходам состоит в следующем.

1. На исследуемом снимке выбирается 5 характерных зон. Из каждой зоны вырезается по 5 фрагментов с пограничными переходами. Размер фрагмента выбирается индивидуально для каждого снимка с таким расчетом, чтобы он был не слишком большой, но в то же время содержал пограничный переход полностью.

2. Из каждого вырезанного фрагмента выбирается столбец или строка, в зависимости от ориентации пограничного перехода, желательно ближе к середине изображения. Графическое изображение выбранного столбца даст профиль пограничного перехода.

3. Для проведения дальнейшего анализа (преобразования Фурье и анализа полученных спектров) необходимо вычислить разности предыдущих и последующих пикселей ряда (вектор-столбца). Максимум графика разностей приходится на максимальный перепад значений тона изображения от светлого к тёмному – граница перехода.

4. Дальнейший анализ производится из предположения, что вычисленная в п. 3 разностная функция является таблично заданной периодической функцией.

При цифровой обработке изображений применяется дискретное преобразование Фурье, реализуемое компьютерными средствами, как правило, по алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ).

По алгоритму БПФ на заданном интервале вычисляется функция спектров. Для вычисления спектральной функции и функции передачи модуляции (ФПМ) изображения необходимо задать 2 параметра – *длину реализации* преобразования Фурье (спектральной функции) и интервал *пространственных частот*.

5. Полученный в результате БПФ спектр нормируется по первому (максимальному) значению. Результатом является убывающая функция, изменяющаяся в пределах $[0;1]$, она представляет функцию передачи модуляции изображения.

Пересечение графика ФПМ с пороговым значением яркостного контраста 0.1 даёт максимальную пространственную частоту пиксельных периодов на единицу изображения, которую можно воспринять на данном снимке.

6. Для расчёта физической разрешающей способности и максимального линейного разрешения изображения необходимо знать следующие параметры съёмки/сенсора – фокусное расстояние, размер чувствительного элемента решётки регистрирующих элементов и высота съёмки.

Диапазон частот, выдаваемый алгоритмом БПФ, определяется двумя параметрами – *граничной частотой* и *частотой Найквиста*. Граничная частота определяет нижнюю, а частота Найквиста, соответственно, верхнюю границу аргумента вычисленного спектра.

Разрешающая способность – максимальная пространственная частота – определяется как произведение граничной и максимальной пространственной частоты. Зная максимальную пространственную частоту изображения рассчитывается минимальный размер объекта на местности, который изобразится на снимке.

Для получения объективных результатов по всему полю изображения расчёты пространственной разрешающей способности и минимального размера объекта на местности по всем вырезанным фрагментам пограничных переходов с 5 характерных зон снимка усредняются.

Предлагаемая методика аналитической оценки передаточных свойств материалов ДЗЗ позволяет быстро и с большой долей объективности на основе определения частотно-контрастной характеристики изображения сделать вывод о его передаточных свойствах и возможностях его применения для решения конкретных мониторинговых, исследовательских, инженерно-технических и пр. прикладных задач.

МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ КОСМИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

МАК А.А., ПОЛЯКОВ В.М.

Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

E-mail: vadim-m-polyakov@yandex.ru

В настоящее время развитие оптико-электронных систем занимает видное место в комплексе работ, ведущихся развитыми зарубежными странами и направленных на достижение решающего превосходства в информационной обеспеченности.

Основные принципы реализации этой концепции:

- повышение качества информации и общей ситуационной информированности;
- улучшенный обмен информацией по сети непосредственно между участниками;
- улучшение сотрудничества и взаимодействия, повышение устойчивости и скорости прохождения команд;
- резкое повышение эффективности операции.

Совершенно очевидно, что первые два из этих четырех принципов непосредственно относятся к задачам, решаемым лазерными комплексами космического размещения.

Исходя из этого, представляется актуальным выполнение сравнительного анализа зарубежного и отечественного опыта разработок оптико-электронных систем.

В последние десятилетия в мире был выполнен ряд работ по созданию лазерных комплексов космического размещения. Наиболее яркие проекты MLA, LOLA и VeriColombo направлены на создание лазерных дальномеров решающих задачу измерения расстояния до поверхности планеты.

В докладе приводится анализ перечисленных зарубежных разработок и экспериментов, выполненных с помощью данных оптико-электронных средств.

В докладе приводится обзор твердотельных лазеров и систем на их основе, разработанных за последние годы в ИЛФ НИУ ИТМО и предназначенных для космической эксплуатации.

СВЕТОСИЛЬНЫЙ ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ОБЗОРНЫЙ ТЕЛЕСКОП

АЛЁШИН В.П., ГРИШИН Е.А., ИВЛЕВ О.А., СЕРГЕЕВА А.Д., СИДОРОВА Н.А.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

Одной из наиболее актуальных задач системы контроля космического пространства (СККП) является задача получение координатной информации о геостационарных и низкоорбитальных космических объектах (ГСКО и НОКО) диаметром от нескольких сантиметров (микроспутники, «космический мусор») до нескольких метров.

Решение данной задачи возможно только с использованием большеапертурных телескопов [1]. Увеличение светосилы и поля зрения телескопа позволяет существенно сократить выдержки (до нескольких секунд) и, следовательно, уменьшить время обзора небесной сферы за ночь и, таким образом, повысить эффективность обзора.

В настоящее время в России нет телескопов, которые можно отнести к классу светосильных широкоугольных телескопов, однако силами NASA, Европейского космического сообщества, Китая и других зарубежных организаций введен в эксплуатацию ряд обзорных телескопов [3], основные параметры которых представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные параметры широкоугольных обзорных телескопов

Система	Диаметр, м	Относительное отверстие, F/#	Поле зрения, $2\omega, ?$	Проницающая способность, максимальная	Время обзора (град/ночь)
Pan-StaRRS (4 телескопа)	1,8	4,4	3	24 ^m	6000 кв.гр./ночь (выдержка = 30 с)
SNAP (космический телескоп)	2	10,7	1,5	27,5 ^m	7500 кв.гр /4 дня
SLOAN (SDSS)	2,5	5,0	3	25 ^m	750 кв.гр./ночь
DAPRA SST	3,5	1,0	3x2	21,5 ^m	Нет данных
LAMOST (спектрограф)	4	5	5	20 ^m	Не получает изображений
LSST	8,4	1,25	3	24 ^m	8000 кв.гр/ночь (выдержка 10 с)

Для оценки эффективности широкоугольной системы обзорного телескопа используются два основных параметра – это проникающая способность и время обзора неба. Анализ показал, что для однократного полного обзора неба выше 15° над горизонтом с проникающей способностью 22^m наиболее подходящим является вариант телескопа с параметрами: диаметр 2 м, относительное отверстие (1:1,16), мгновенное поле зрения 4x4°, ускорение перемещения по осям 5°/с², выдержки до 4 с. Тогда время обзора составит около 90 мин, а за 8 часов непрерывного обзора — заданная область неба может быть просмотрена 5 раз.

Для телескопа с полем зрения 7°x7° и ускорением 10°/с² время однократного обзора составит 28,3 мин, а за среднюю астрономическую ночь длительностью 8 часов все небо будет просмотрено 17 раз; в этом случае могут быть обнаружены слабые объекты на низких орбитах по их связанному движению.

Получение таких полей обзора возможно только с матрицами сверхбольшого формата – для поля зрения $4^\circ \times 4^\circ$ формат матрицы составит 3 Гпкс, а для поля $7^\circ \times 7^\circ$ - 10 Гпкс. Для создания приемников таких больших форматов применяются составные матрицы.

Зеркальная система телескопа обуславливает кривизну поля, это создает существенные сложности для создания составного матричного приемника [5]. Однако наиболее распространенным подходом к решению данного вопроса является использование линзового корректора; недостатком данного подхода является снижение проникающей способности системы.

Для светосильной широкоугольной обзорной системы предложена схема трехзеркального осевого телескопа, построенная по схеме Мерсенна-Шмидта [6], оптическая схема которого представлена на рис. 1. Объектив имеет дифракционное качество изображения. Для исправления кривизны поля предполагается создание линзового корректора.

В работе рассматриваются подходы к созданию светосильного широкоугольного телескопа. Такой телескоп обладает уникальными обзорными и обнаружительными возможностями и позволяет обнаруживать и сопровождать микроспутники на геостационарной орбите. Описываемый проект позволит России выйти на новый уровень в информационном контроле околоземного космического пространства и повысить конкурентоспособность и обороноспособность страны.

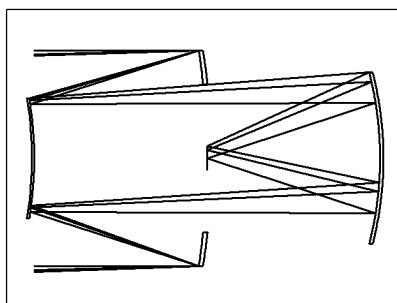


Рисунок 1.

Список литературы:

1. Алешин В.П., Балега Ю.Ю., Гришин Е.А., Максимов А.Ф., Дьяченко В.В., Малоголовец Е. В., Комаринский С.Л., Новгородцев Д.Д., Шаргородский В.Д. Большеапертурные телескопы в задачах получения изображений геостационарных космических аппаратов для целей ситуационной оценки космической обстановки. Электромагнитные волны и электронные системы, 3'2011 г., т.16, стр. 9-17, М, «Радиотехника».
2. Fourth European Space Weather Week, Brussels, 5-9/11/2007, A European approach to Space Situational Awareness, Luca del Monte, Security strategy and partnerships development office DG Policy Office European Space Agency, pp.1-18.
3. Jefferies Stuart M., Hope Douglas A. Next Generation Image Restoration for Space Situational Awareness, report AFOSR Grant Number: FA9550-06-1-0179, 2009, pp.1-17
4. Теребиж В.Ю. Современные оптические телескопы. - М. : Физмат-лит, 2005.
5. Ackermann, M.R. Blind Search for Micro Satellites in LEO: Optical Signatures and Search Strategies, proceedings of the 2003 AMOS Technical Conference.
6. Willstrop, R.V. The Mersenne-Schmidt - A three-mirror survey telescope, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 210, p. 597-609 (1984).

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

ТАРАСЕНКО И.В., ЮРАСОВ В.С., МИХНЕВ К.Н.

**ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва**

В настоящее время в области высоких околоземных орбит (от 3500 км до 50 000 км) находится более 3000 космических аппаратов (КА) и объектов космического мусора (КМ). На низких орбитах (350-3500 км), помимо действующих КА, находятся десятки тысяч объектов космического мусора. Плотность заселенности орбит непрерывно растет, что увеличивает вероятность опасных сближений и столкновений КМ с действующими КА. В связи с этим с каждым годом возрастает актуальность регулярного мониторинга околоземного космического пространства (ОКП) оптическими средствами.

Для решения задач мониторинга ОАО «НПК «СПП» создан оптико-электронный комплекс обнаружения и определения параметров движения космического мусора (ОЭК ОКМ). Комплекс создан на базе широкопольных телескопов с различными рабочими полями зрения, позволяющими обнаруживать объекты с предельным блеском от 9^m до 19^m в условиях яркости фона ночного неба 21^m с одной квадратной секунды небесной сферы. Возможности комплекса позволяют осуществлять обзор ОКП в автоматическом режиме с высокой производительностью и получать высокоточные координатные измерения обнаруженных объектов.

В докладе рассматриваются вопросы технической реализации основных элементов ОЭК ОКМ и основные результаты испытаний комплекса в натурных условиях.

ПРОЕКТ НАЦИОНАЛЬНОГО РОССИЙСКОГО КРУПНОГО СОЛНЕЧНОГО ТЕЛЕСКОПА С ДИАМЕТРОМ ЗЕРКАЛА 3 м

**ДЕМИДОВ М.Л., ГРИГОРЬЕВ В.М., ЧУПРАКОВ С.А., КОЛОБОВ Д.Ю., КОВАДЛО П.Г.,
ПУЛЯЕВ В.А., СКОМОРОВСКИЙ В.И., СЕМЕНОВ А.П.¹**

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

¹ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла»

Одной из наиболее актуальных проблем современной физики Солнца являются наблюдения мелкомасштабной структуры солнечной атмосферы на различных уровнях (включая хромосферу и корону) и в различных спектральных линиях, принадлежащих различным диапазонам длин волн. Такие наблюдения возможны только с использованием крупных солнечных телескопов с диаметром основного зеркала не менее 3-х метров. Данное требование обусловлено необходимостью обеспечения надлежащего пространственного разрешения (дифракционный предел) и достаточного для прецизионных измерений светового потока. В настоящее время в мире с различной степенью проработки реализуется несколько амбициозных проектов такого рода, из которых наиболее впечатляющим является американский телескоп ATST с диаметром зеркала 4 м.

В России начиная с 2013 начаты работы по разработке отечественного крупного солнечного телескопа (КСТ-3), который должен стать составной частью национального гелиогеофизического комплекса РАН. С учётом имеющихся финансовых и технологических возможностей, выбор был сделан в пользу конструкции с 3-х метровым зеркалом, осесимметричной оптической схемы Грегори, альт-азимутальной монтировки.

В настоящем докладе излагаются основные детали оптической схемы и конструкции КСТ-3, приводятся сведения о предполагаемом научном оборудовании, которое предполагается размещать как в основном фокусе куда на вращающейся платформе, так и в фокусе Нэсмита. Отмечается, что наиболее критичными элементами проекта КСТ-3 являются: система мультисопряженной адаптивной оптики (АО), промежуточная щель с принудительным охлаждением (heat-stop), а также анализатор поляризации для прецизионных стоксометрических измерений. Предполагается, что КСТ-3 будет иметь возможность выполнять коронографические измерения и может быть использован для наблюдений астрофизических объектов в ночное время.

ЛИДАРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОА СО РАН, СОЗДАВАЕМЫЕ НА БАЗЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН

МАТВИЕНКО Г.Г., МАРИЧЕВ В.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» СО РАН, г. Томск

E-mail:mgg@iao.ru

Лидарные технологии исследования окружающей среды берут своё начало с момента появления первых лазеров. Основное преимущество лидарных методов состоит в том, что они позволяют получать информацию об объекте исследования на расстоянии за счёт использования различных эффектов взаимодействия излучения с веществом. За более чем сорокалетнюю историю развития лидарных методов была создана солидная методическая основа дистанционного зондирования атмосферы. Лидарные методы принципиально позволяют проводить дистанционное определение таких параметров атмосферы как температура, плотность, влажность, скорость ветра, газовый состав, концентрация аэрозолей, распределение аэрозольных частиц по размерам и пр. Однако практическая реализация методов требует применения новейших достижений в области оптики, механики, электроники, лазерной техники, информатики. Именно эти области знания претерпевают бурное развитие в последнее время, обеспечивая, таким образом, идеальные условия для создания уникальных лидарных систем. Преимущества лидарных технологий в полной мере проявляются в тех случаях, когда непосредственное получение информации об объекте исследования с помощью традиционных методов и контактных датчиков невозможно или затруднено. Такую ситуацию мы имеем в случае необходимости исследования атмосферы на высотах свыше 40 км, куда уже не поднимаются радиозонды. Исследования же с помощью метеорологических ракет слишком дороги, чтобы обеспечить потребности мониторинга атмосферы на этих высотах. К преимуществам лидарного зондирования также необходимо отнести высокое пространственно-временное разрешение получаемых данных, возможность проведения длительных непрерывных наблюдений, оценку выбранной характеристики в произвольном направлении лазерного луча и на различных высотах и т.д.

В институте оптики атмосферы имеется более чем двадцатипятилетний опыт разработки и эксплуатации уникальных лидарных комплексов с диаметром главных приемных зеркал диаметром 1 и 2,2 метра, оптические заготовки которых были изготовлены на Лыткаринском заводе оптического стекла ЛЗОС (ныне ОАО ЛЗОС). В лидарных комплексах реализованы различные методы дистанционного зондирования атмосферы, включая метод упругого аэрозольного рассеяния, молекулярного и комбинационного рассеяния, дифференциального поглощения. Благодаря их использованию и применению крупногабаритной приемной оптики и высокочувствительной и быстродействующей приеморегистрирующей аппаратуры (фотоприемные модули и счетчики фотонов) накоплены многолетние ряды профильных характеристик пространственно-временного распределения стратификации аэрозоля, температуры и

концентрации озона в средней атмосфере, которые, в силу расположенности единственного пункта зондирования в континентальной зоне Сибири, следует отнести к уникальным. За многолетний период, начиная с 1986 г., были получены следующие важные и интересные результаты. Так, была выявлена неустойчивость аэрозольной стратификации весной и ее стабилизация летом, обнаружено образование кратковременных рассеивающих слоёв на высотах 22-25 и 30-40 км, коррелирующее по времени с возникновением сильных магнитных бурь. Во времена поствулканического возмущения стратосферы (июль 1991-1995г.) отслежена динамика переноса и изменчивости эруптивного аэрозольного облака от извержения вулкана Пинатубо, даны интегральные и дифференциальные оценки аэрозольного наполнения стратосферы. На основе анализа рядов наблюдений за 1996-2000 гг. установлено влияние глобальных геофизических процессов на изменчивость вертикальной структуры аэрозоля, а также вертикального распределения озона и температуры в стратосфере над Томском. Прослежена динамика проявлений зимних стратосферных потеплений над Томском с их ежегодным чередованием с минорного на мажорное, когда при последнем происходит перестройка глобальной циркуляции воздушных масс в стратосфере от западного переноса к восточному. Выявлена региональная сезонная изменчивость аэрозольного наполнения нижней стратосферы, которая достигает своего максимального значения зимой и практически исчезает в летнее время. Зарегистрированы случаи появления над Томском полярных стратосферных и серебристых облаков.

Накопленный опыт и знания позволяют адекватно оценить уровень развития уникальных лидарных систем и предложить новый подход с учётом последних достижений в области лидарных технологий и элементной базы лидаростроения. В связи с созданием в Иркутской области Гелиогеофизического комплекса РАН, в составе которого будет задействован Мезо-стратосферный лидар, планируется использование приемной системы с зеркалом 2,6 м. Описание такой системы будет представлено в докладе.

ОПТИЧЕСКИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МАСТЕР: ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ЛИПУНОВ В.М.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ (ГАИШ)

E-mail: lipunov2007@gmail.com

Оптический роботизированный комплекс МАСТЕР разработан сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова (2002-2007) и производится ОАО «Московское Объединение «Оптика» (с 2008 г.). МАСТЕР представляет собой полностью роботизированную обсерваторию способную в автономном режиме или по удаленным целеуказаниям проводить астрометрические и фотометрические наблюдения звездного неба. При этом робот способен определять физический тип объекта: сверхновая звезда, гамма-всплеск, малая планета, опасный астероид, ИСЗ или космический мусор. Комплекс способен производить многоцветные и поляризационные наблюдения быстроменяющихся объектов. Поле зрения телескопов МАСТЕР II - 8 квадратных градусов, предельная звездная величина - 20 за 2 минуты. Скорость обзора в астрофизическом режиме более 1000 квадратных градусов в ночь.

Имеется канал сверхширокого поля: со скоростью 840 кв. градусов в секунду до 11-12 звездной величины по неподвижным объектам. В настоящее время создан вариант канала сверхширокого поля космического базирования.

Глобальная сеть оптических роботизированных комплексов МАСТЕР сейчас представляет собой полностью автоматизированные идентичные обсерватории, установленных на базе 6 российских и зарубежных университетов, обладающие уникальным программным обеспечением, позволяющим вести обработку изображений в реальном времени. За 2011-2014 гг на телескопах МАСТЕР по результатам проводимого обзора открыто 600 новых объектов, расположенных на расстояниях от сотен километров до нескольких миллиардов световых лет. Опубликовано около 600 научных телеграмм и десятков научных статей в лучших мировых астрономических журналах. По целеуказаниям сети МАСТЕР наводились крупнейшие телескопы мира включая самые большие SALT (ЮАР, 10м) и GTC (Испания, 10,4 m).

Среди открытых новых быстроизменяющихся объектов и явлений во Вселенной - оптическое излучение, сопровождающее коллапс звезд: взрывы сверхновых звезд и гамма-всплески; термоядерные взрывы на белых карликах – новые и повторные новые звезды, взрывы возникающие вблизи сверхмассивных черных дыр – квазары и родственные объекты, а также потенциально-опасные астероиды.

ЛАЗЕРНЫЙ ЛУННЫЙ ЛОКАТОР

ГРЕЧУХИН И.А., ГРИШИН Е.А., ИВЛЕВ О.А., САДОВНИКОВ М.А.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

В настоящее время в России отсутствуют технические средства космической геодезии, обеспечивающие создание и поддержание высокоточных эфемерид тел Солнечной системы и международных стандартов [1]. Создание лазерного лунного локатора (ЛЛЛ) в совокупности с другими уже существующими средствами космической геодезии обеспечит постоянное поддержание точности определения фундаментальных астрономо-геодезических поправок, эфемерид Луны и КА, параметров вращения Земли, уточнения моделей возмущающих сил. Влияние этих сил на навигационные космические аппараты ГЛОНАСС определяют точность ГНС.

В рамках данной работы была рассмотрена возможность создания ЛЛЛ на базе телескопа ТИ-3.12 Наземной оптико-лазерной системы Алтайского оптико-лазерного центра (НОЛС ТИ АОЛЦ). Размещение ЛЛЛ в составе НОЛС ТИ расширит набор решаемых задач АОЛЦ, увеличит время задействия системы, а также определит основные режимы работы локатора. Основная задача ТИ-3.12 - получение детальных изображений низкоорбитальных космических объектов, максимальная эффективность получения таких изображений достигается в ночных условиях при отсутствии освещенной Солнцем Луны, таким образом, ЛЛЛ должен обеспечивать измерение дальности до панели уголковых отражателей (УО) в ночных и дневных условиях на освещенной Солнцем Луне.

Для обеспечения высокоточных измерений дальности, заданных по ТТЗ, необходимо решить чрезвычайно сложную задачу наведения ЛЛЛ на панель УО с учетом фона от атмосферы и освещенной поверхности Луны. Для решения этой задачи предлагается использовать разработанную и установленную в фокусе Нэсмита телескопа ТИ-3.12 адаптивную оптическую систему, которая позволит скомпенсировать искажения нижних слоев атмосферы, вызванных турбулентностью, и получить исправленное изображение поверхности Луны. Далее, используя корреляционные методы обработки изображений, по характерным участкам поверхности Луны (кратеры, моря) можно обеспечить требуемую точность наведения ЛЛЛ.

Выполненные энергетические расчеты лунного локатора для различных фаз Луны, времени суток, состояний атмосферы позволили определить следующие характеристики источника лазерного излучения с высокой частотой повторения импульсов [2]:

рабочая длина волны	532 нм;
расходимость лазерного излучения	1 - 2";
длительность импульса	150 пс;
частота следования импульсов	1000 Гц;
энергия в импульсе	100 - 200 мДж.

В качестве приемника ЛЛЛ предлагается использовать ФЭУ, работающий в режиме счета фотонов [3], установленный в одном из фокусов Нэсмита ТИ-3.12 с характеристиками:

диаметр приемной апертуры	3,12 м;
---------------------------	---------

коэффициент пропускания оптического тракта	0,6;
угловое поле зрения приемника (ФЭУ)	5 - 20";
частота появления темновых фотоэлектронов	100 кГц;
квантовая эффективность	0,25.

Результаты расчетов показывают, что уровень сигнала, отраженный от панели уголко-вых отражателей, установленных на Луне составляет не менее 0,3 фотона на импульс при ночных и дневных условиях наблюдений, при этом мешающий фон отраженного солнечного излучения для полной Луны и рассеянный атмосферный свет составят не более 0,05 фотона на импульс, что позволяет выполнить требования измерения расстояния до Луны с погрешно-стью не превышающей 3 мм [5].

Список литературы:

1. *Алешкина Е.Ю.* Лазерная локация Луны // Природа. 2002. №9. С. 57—66.
2. *Васильев В.П., Шаргородский В.Д.* Прецизионная спутниковая лазерная дальнометрия на основе лазеров с высокой частотой повторения импульсов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2007. №7. С. 6—10.
3. Использование частотного режима работы лазера в оптических локационных систе-мах измерения дальности / М.В. Барышников, В.П. Васильев, В.Г. Выгон, В.Д. Шаргородский / / Тезисы доклада на VII Всероссийской отраслевой научно-технической конференции «Про-блемы создания лазерных систем», г. Радужный, 2008.
4. Новая аппаратура для высокоточных наблюдений космических объектов: первые ре-зультаты измерений и перспективы развития Алтайского оптико-лазерного центра / С.Н. Гор-чаковский, Е.А. Гришин, П.П. Иншин и др. // Электромагнитные волны и электронные систе-мы. 2007. № 7. Т. 12. С. 15—19.
5. *Садовников М.А.* Необходимые условия достижения субмиллиметровой точности измерений в спутниковой лазерной дальнометрии // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. Т. 14. № 12. С. 13—16,. 2009.

ЛАЗЕРНЫЙ И ИНФРАКРАСНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИК – ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОЛС ТИ

ГРЕЧУХИН И.А., ГРИШИН Е.А., ИВЛЕВ О.А., ПОЛУНАДЕЖДИН В.В.,
ПРОТАС О.Ю., САДОВНИКОВ М.А., СЕРГЕЕВА А.Д.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

Обнаружение и наблюдение космических аппаратов (КА) в инфракрасном диапазоне спектра является актуальной и технически сложной задачей.

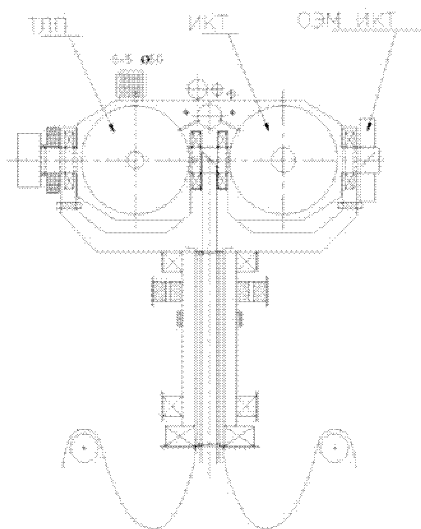


Рисунок 1.

Размещение ИКТ и ТЛП на ОПУ ЛИК

В настоящий момент в составе наземной оптико-лазерной системы с телескопом информационным (НОЛС ТИ) Алтайского оптико-лазерного центра (АОЛЦ) разрабатывается лазерный и инфракрасный комплекс (ЛИК), позволяющий выполнять обнаружение и получение фотометрических данных КА в ИК-диапазонах спектра, лазерную локацию КА и лазерный подсвет с целью получения детальных изображений КА. В состав ЛИК входят инфракрасный телескоп (ИКТ) и телескоп лазерной подсветки (ТЛП), размещение телескопов на монтажке схематично изображено на рис. 1. Совместное расположение телескопов на одном ОПУ является наиболее эффективным с технической и экономической точек зрения.

Взаимодействие ТЛП с ТИ-3.12 и ИКТ увеличивает эффективность работы НОЛС ТИ и позволяет решить задачи получения детальных изображений низкоорбитальных космических аппаратов (КА) частично освещенных и не освещенных Солнцем, а также лазерной дальнометрии низкоорбитальных КА по диффузной поверхности.

Взаимодействие ИКТ с ТИ-3.12 и ТЛП увеличивает эффективность работы НОЛС ТИ

путем добавления функций обнаружения, сопровождения и фотометрии КА в ИК-диапазоне длин волн, что позволит работать в дневных условиях по частично освещенным КА, а также в ночных по их собственному тепловому излучению на теневом участке орбиты.

Эти взаимодействия выполняются при следующих условиях работы:

- астрономические ночь и сумерки, КА освещен Солнцем;
- астрономические ночь и сумерки, КА в тени Земли;
- дневные условия, КА освещен Солнцем.

В данной работе рассмотрены основные принципы построения телескопов в составе ЛИК, проведены энергетические расчеты и разработаны функциональные оптические схемы. Сформированы сценарии совместной работы ИКТ, ТЛП и ТИ-3. 12.

Результаты расчетов показали, что разрабатываемый комплекс отвечает всем заявленным в ТТЗ требованиям и является инновационной разработкой, аналогом которой является система MSSS (США), расположенная на Гавайских островах. Основные параметры разрабатываемых систем приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1.

Основные характеристики приемных каналов ИКТ

№ п/п	Наименование характеристики или параметра	Значение
1	Спектральный диапазон работы	1,1 – 5,0 мкм
2	Расчетная проникающая способность (круглосуточно): канал ИК-1 (J, H) канал ИК-2 (L) канал ИК-2 (M) канал ИК-3 (K)	Не менее 9,0 ^m До 8,0 ^m До 8,0 ^m Не менее 8,0 ^m

Таблица 2.

Основные характеристики ТЛП

№ п/п	Наименование характеристики или параметра	Значение
1	Дальность действия в режиме подсвета	150 – 3000 км
2	Наклонная дальность до НОКО в режиме лазерной дальнометрии по диффузной поверхности	150 – 4000 км
3	Погрешность измерения дальности вдоль оси визирования в режиме лазерной дальнометрии по диффузной поверхности КА	Не более 0,5 линейного размера КА

Список литературы:

1. *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Инфракрасные системы «смотрящего» типа. — М.: Логос, 2004. — 444 с.+8 с. цв. вкл.
2. *Емельянов Э.В.* Астрофизика ИК диапазона. — М.: Физматлит, 2009, 250 с. Инфракрасная астрономия: пер. с англ./ М. Лонгейр, Т. Мак-Корд, Д. Эйткен и др.; под ред. Ч. Уинн-Уильямса и Д. Крукшенка. — М.: Мир, 1983. — 448 с., ил.
3. *Миронов А.В.* Основы астрофотометрии. — М.: Физматлит, 2008, 258 с.
4. *Михельсон Н.Н.* Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета. — М.: Физматлит, 1995, 333 с.
5. *Теребиж В.Ю.* Современные оптические телескопы. — М.: Физматлит, 2005. 65 с.
6. Официальный сайт обсерватории Субару [Электронный ресурс] /Subaru Telescope. — Режим доступа: <http://www.naoj.org/Introduction/index.html> (дата обращения 08.11.2013).
7. *Гришин Е.А., Шаргородский В.Д.* Методы и средства для получения оптических изображений космических объектов с Земли // Приборы и техника эксперимента. 1999. №1. С. 127—133.
8. *Васильев В.П., Шаргородский В.Д.* Прецизионная спутниковая лазерная дальнометрия на основе лазеров с высокой частотой повторения импульсов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2007. № 7. Т. 12. С. 6—10.
9. *Шумилов Ю.П., Бакут П.А.* Анализ требований к параметрам лазерных локационных сигналов при определении характеристик космических объектов. Обозрение прикладной и промышленной математики. М., «ТВП», т.14, вып.2, 2007, с. 954—955.
10. *Садовников М.А.* Аналитическая модель и предельная точность измерений времени прихода флуктуирующих ответных импульсов в спутниковой лазерной дальнометрии // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. Т. 14. № 12. С. 7—12.

ЛАЗЕРНАЯ ОПОРНАЯ ЗВЕЗДА ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА ТИ-3.12

АЛЕШИН В.П., АЛЕКСАНДРОВ А.Б., ГРИШИН Е.А.,
ИВЛЕВ О.А., ИНШИН П.П., НИКОЛАЕВ А.Н., СИДОРОВА Н.А.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

Атмосфера Земли оказывает существенное влияние на качество оптических изображений астрономических объектов, спутников, фрагментов космического мусора: пропускание, рассеяние и дисперсия света, а также турбулентность. Случайные неоднородности показателя преломления, возникающие при турбулентном движении воздуха, обуславливают существенное снижение проникающей способности оптического телескопа и вызывают такие эффекты как размытие, дрожание и мерцание оптического изображения объекта.

Теоретический предел углового разрешения трехметрового телескопа составляет около 0,05 угл.с, в то время как реальная разрешающая способность всех крупных телескопов практически всегда хуже 1 угл.с. На трехметровом телескопе ТИ-3.12, строящемся в Алтайском оптико-лазерном центре, в качестве анализатора и корректора волнового фронта (ВФ) создается АОС, которая способна компенсировать искажения атмосферы, она позволяет значительно улучшить качество изображения и приблизиться к теоретическому пределу разрешения телескопа [1, 2]. АОС позволяет проводить коррекцию искажений атмосферы по трем высотным зонам турбулентности и расширять угол исправленного поля зрения [3]. Адаптивная оптическая система (АОС), предназначенная для наблюдения слабо излучающих объектов требует наличия яркого опорного источника в поле зрения телескопа. Такими искусственными источниками излучения становятся «лазерные опорные звезды» (ЛОЗ) [4].

Лазерное излучение возбуждает слой атомарного натрия на высоте от 80 до 110 км [5, 6]. Для фотоприемного устройства флуоресцирующий слой натрия является опорным точечным источником (рис. 1). При наблюдении околоземных космических объектов (КО) в поле зрения телескопа рядом с КО должна быть сформирована ЛОЗ, а АОС, используя ЛОЗ в качестве опорного источника, сформирует исправленное изображение КО [7]. По результатам проведенных расчетов для создания ЛОЗ требуется источник лазерного излучения со следующими параметрами: длина волны излучения лазера — 589 нм; энергия непрерывного лазерного излучения — 200 Вт, импульсного — 200 мДж; расходимость лазерного излучения — 1 угл.с.

Данная работа посвящена расчетам параметров источника лазерного излучения, который позволит создать ЛОЗ для формирования точечного источника в поле зрения ТИ-3.12 в любом направлении визирования телескопа.

Проведен анализ возможного положения передающего телескопа относительно приемного телескопа и определено его оптимальное расположение, упрощающее последующую обработку изображения.

Рассмотрена элементная база для ЛОЗ и АОС, а также условия применения ЛОЗ для наблюдения космических аппаратов при различном пропускании атмосферы. Предложено располагать передающий телескоп за вторичным зеркалом ТИ-3.12, что позволит исключить засветку, вызванной релеевским рассеянием лазерного излучения на высотах до 20 км.

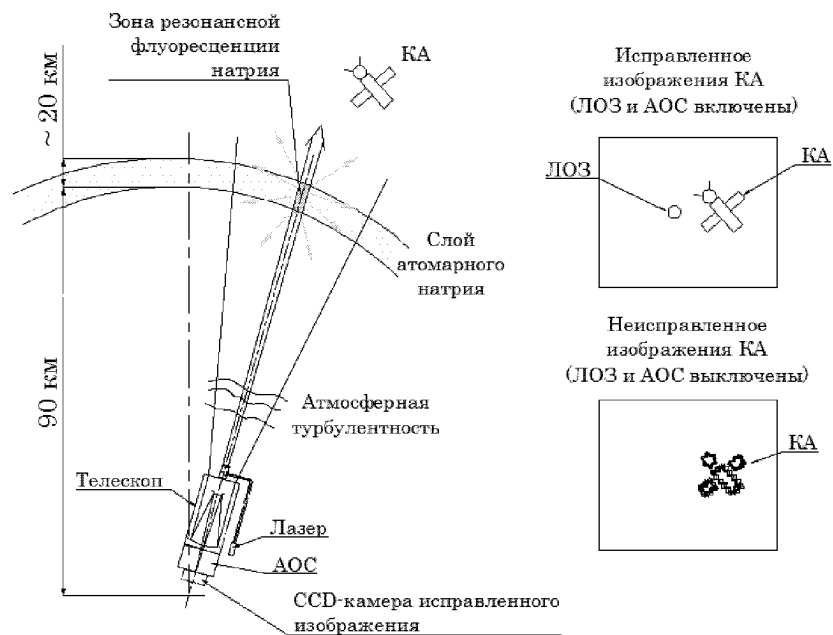


Рисунок 1.
Схема формирования лазерной опорной звезды при наблюдении КА

Список литературы:

1. Получение изображений космических аппаратов телескопом Алтайского оптико-лазерного центра с использованием адаптивной оптики / *А.А. Галкин, Е.А. Гришин, П.П. Иншин, В.Д. Шаргородский* // *Космические исследования*. 2008. Т. 46. № 3. С. 201 - 205.
2. Оценка возможностей реальных наблюдений низкоорбитальных космических аппаратов системой адаптивной оптики Алтайского оптико-лазерного центра / *В.П. Алешин, Е.А. Гришин, П.П. Иншин и др.* // *Международная конференции «Околосемная астрономия-2009»*: сборник трудов конференции. Казань. С. 22—28.
3. *Roddier F.* Adaptive optics in astronomy. — Cambridge University Press, 1999.
4. *Большасова Л.А., Лукин В.П.* Адаптивная коррекция атмосферных искажений оптических изображений на основе искусственного опорного источника // М.: Физматлит, 2012.
5. *Jeys T.H.* Development of a Mesospheric Sodium Laser Beacon for Atmospheric Adaptive Optics // *The Lincoln Laboratory Journal*. 1991. Vol. 4(2). P. 133-150.
6. Gemini North and South Laser Guide Star System. Requirements and Preliminary Designs / *C.d'Orgeville, B. Bauman, J. Catone et. al.* // *Gemini Preprint*. № 76.
7. *Telle J.M., Milonni P.W., Hillman P.D.* Comparison of pump-laser characteristics for producing a mesospheric sodium guidestar for adaptive optical systems on large aperture telescopes // *SPIE*. 1998. Vol. 3264.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИНЗОВЫХ И ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО, НАЗЕМНОГО И МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

ПОНИН О.В., ШАРОВ А.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла»

E-mail: otd22@lzos.ru

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла» (ОАО ЛЗОС), начиная с 1972 года, серийно выпускает линзовые объективы для аппаратуры космической съёмки с диаметром входного зрачка от 200 до 700 мм и с фокусным расстоянием от 1000 до 4000 мм.

С начала 1970-х годов по настоящее время сменилось несколько поколений оптических систем данного класса при постепенном росте светосилы и качества изображения, определяемого, прежде всего, уровнем расчётных абберационных и технологических потерь. Возможность технической реализации таких систем обеспечена как применением новых оптических стекол с особыми свойствами, так и совершенствованием технологии производства. Всего на сегодняшний день выпущено около 800 шт. крупногабаритных объективов 12 типов для космической аппаратуры различного назначения.

На сегодняшний день на заводе накоплен громадный опыт и создана уникальная научно-производственная база, обеспечивающая полный технологический цикл изготовления КГЛЮ, начиная от стекловарения до сборки, юстировки и испытаний объектива.

Среди недавних работ специалистов ОАО ЛЗОС следует выделить создание оптических систем для съёмочной аппаратуры космического аппарата (КА) «Ресурс П».

Для аппаратуры «Геотон» детальной съёмки КА «Ресурс П» на ОАО ЛЗОС производится КГЛЮ типа «Актиний» с диаметром входного зрачка 500 мм и улучшенными оптическими характеристиками. Одним из преимуществ объектива является сравнительно широкое поле зрения (5,4 градуса), в пределах которого должно быть обеспечено значение коэффициента передачи модуляции не хуже 0,2 в 6 различных спектральных интервалах в диапазоне от 0,45 до 0,9 мкм.

Для комплекса широкозахватной мультиспектральной аппаратуры КА «Ресурс П» на ОАО ЛЗОС созданы короткофокусный (фокусное расстояние 40 мм, относительное отверстие 1:6, поле зрения 600) и среднефокусный (фокусное расстояние 200 мм, относительное отверстие 1:3, поле зрения 130). Подробное описание и характеристики объективов приведены в работе [1]. Одной из основных особенностей данных систем является термонерасстраиваемость, которая достигается как подбором соответствующих марок оптических материалов, так тонкой коррекцией термооптических aberrаций и температурной дефокусировки осуществляется подбором по результатам испытаний сочетания температурных коэффициентов линейного расширения оправ линз и корпуса объектива.

ЛЗОС укомплектовал этими системами уже два космических аппарата: первый выведен на орбиту в 2013 г., запуск второго планируется в 2014 г. Предполагается, что в космосе будет работать целая группировка таких спутников, охватывающая всю площадь Российской Федерации.

На ОАО ЛЗОС отработана технология производства ряда других высокоточных оптико-механических компонентов для аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В частности для аппаратуры МСУ-МР и для аппаратуры МСУ-ГС метеоспутников «Метеор-М» и «Электро-Л» изготовлены блоки сканирующих зеркал, отвечающих за развёртку изображения в системе. С учётом специфики данных компонентов, которая состоит в сочетании высоких требований к оптическому качеству с необходимостью обеспечения точного механического движения зеркала, разработаны специализированные стенды, позволяющие контролировать и обеспечивать указанные параметры.

Используя созданную современную технологическую базу производства оптических систем аппаратуры ДЗЗ, ОАО ЛЗОС освоил выпуск целого ряда специальных оптических систем для аппаратуры наземного и морского базирования. В частности, производятся крупногабаритные зеркально-линзовые объективы «Сова 75-О» и «Сова 75-И» с диаметром входного зрачка 750 мм для наземных систем исследования небесных объектов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Также изготовлен ряд зеркально-линзовых объективов с диаметром входного зрачка от 250 до 500 мм для аппаратуры контроля космического пространства морского базирования.

Для проверки качества изображения крупногабаритных оптических систем создана аппаратура измерения функции передачи модуляции и оценки качества изображения по функции концентрации энергии, позволяющая контролировать оптические системы с диаметром входного зрачка до 750 мм [2].

Список литературы:

1. Понин О.В., Архипова Л.Н., Демидова Е.А., Тарабукин В.В., Шаров А.А. Апохроматические термонерастраиваемые объективы для широкозахватной мультиспектральной космической съёмки // Оптический журнал, 2013, №4, с. 40-42.
2. Галявов И.Р., Домнин А.В., Понин О.В., Шаров А.А. Методы и средства контроля опто-технических характеристик высокоточных оптических систем // Контенант, 2014, т.13, №1, с.13-19.

ЗЕРКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ КУКА С ЛИНЗОВЫМ КОМПЕНСАТОРОМ В СХОДЯЩИХСЯ ПУЧКАХ ЛУЧЕЙ

ЗАВАРЗИН В.И.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

E-mail: zavarzin@bmstu.ru

Несмотря на значительные преимущества линзовых систем перед зеркальными и зеркально-линзовыми в части меньшего светорассеяния, эффективности защиты от паразитных засветок, отсутствия асферических поверхностей, меньших требований к точности изготовления оптических поверхностей, обеспечения больших угловых полей, как только требования по диаметру оптических систем (ОС) превышают 500-600 мм, спектральный диапазон работы объектива начинается от значений 435 нм и захватывает всю видимую область спектра, а порой и ближнюю ИК область при минимальных массогабаритных параметрах вынуждены обращать внимание на зеркальные и зеркально-линзовые системы. Чисто зеркальные системы применяют редко из-за меньших коррекционных возможностей, а также из-за того, что в заднем отрезке объектива зачастую применяют призменные устройства значительной оптической длины для разделения спектральных каналов, фокусируемые клинья, защитные пластины. Хроматические aberrации этих элементов в чисто зеркальных схемах компенсировать невозможно. Кроме того, актуальной задачей при разработке таких объективов является снижение коэффициента центрального экранирования, и как следствие повышение значений модуляционной передаточной функции (МПФ) на средних пространственных частотах, являющихся рабочим для ПЗС приемников. Выход – применение зеркально-линзовых ОС с эксцентрично расположенным полем изображения. ОС с эксцентрично расположенным относительно оптической оси полем изображения это центрированные ОС, в которых за счет использования только наклонных пучков лучей удается избежать центрального экранирования.

В космическом оптическом приборостроении все чаще применяют зеркально - линзовые объективы без центрального экранирования с эксцентрично расположенным полем изображения, построенные на базе схемы зеркального триплета Кука. Это обусловлено рядом важных достоинств, таких как: широкий спектральный диапазон, отсутствие центрального экранирования, большие угловые поля, высокое качество изображения, разнообразие оптических схем различной светосилы и возможность получения задних отрезков порядка (0,5...0,7) от фокусного расстояния объектива.

Оптические системы с эксцентрически расположенным относительно оптической оси полем изображения (рис. 1) позволяют увеличить угловое поле. Отсутствие центрального экранирования позволяет, в сравнении с классическими осесимметричными схемами обеспечить более равномерное по полю качество изображения. Угловое поле изображения в таких ОС расположено на некотором расстоянии относительно оптической оси и имеет кольцевую форму. Изображение формируется только наклонными пучками лучей. Из-за отсутствия симметрии поля относительно оптической оси, дополнительно возможно использовать в качестве коррекционного параметра, улучшающего качество изображения, подвижку зеркал, нарушая при этом центрировку объектива.

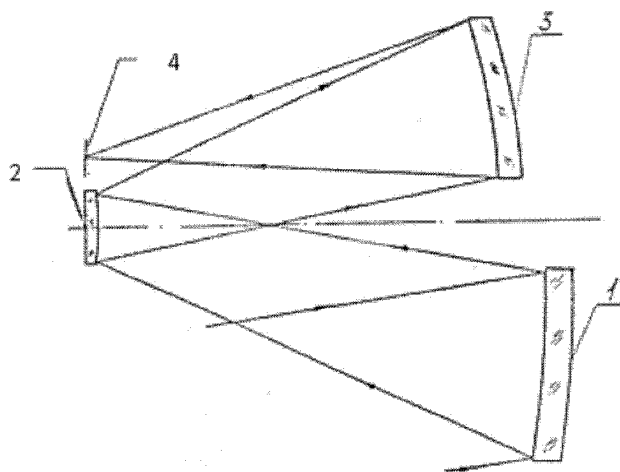


Рисунок 1.

*Зеркальный объектив с эксцентрично расположенным полем изображения (триплет Кука):
1, 2, 3 – зеркала по ходу лучей, 4 – плоскость изображения*

В ходе проведенных исследований решены следующие задачи:

- выбраны и обоснованы новые схемы объективов;
- разработаны методики габаритного и абберационного расчета новых схемных решений;
- рассчитаны объективы, имеющие высокую степень исправления aberrаций, в том числе дисторсии и хроматических aberrаций в видимой и ближней ИК области спектра;
- разработана методика сборки и юстировки базовой схемы зеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения.

Созданные схемные решения зеркально-линзовых объективов могут быть использованы в перспективных разработках аппаратуры дистанционного зондирования Земли и открывают новые возможности, выгодно отличающиеся от действующих более высокой эффективностью (меньшим отношением стоимости единицы информации к затратам на проект).

Список литературы:

1. Зеркально-линзовый объектив (варианты). / С.А. Архипов, В.И. Заварзин, В.В. Заварзина и др. / Патент РФ на изобретение № 2461030. Бюллетень изобр. - 10.09. 2012. - № 25.
2. Юстировка и аттестация длиннофокусного трехзеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения. / С.А. Архипов, В.И. Заварзин, В.А. Малыхин и др. Вестник МГТУ. Сер. «Приборостроение». 2009. №4. С. 24-36.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ УГЛА КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

КИРЬЯНОВ А.В., КИРЬЯНОВ В.П.

ФГБУН Институт автоматизи и электрoметрии СО РАН

E-mail: alexey@iae.nsk.su

В бортовых системах управления наведением антенн и узлах лазерной связи современных космических аппаратов (КА) широко используются оптико-электронные датчики угла (ОЭДУ) с повышенными метрологическими характеристиками: точностью и разрешающей способностью.

В то же время всё более жёстким становится требование обеспечения длительного (до 15 лет) срока их службы. Это решается различными путями, в т.ч. за счёт «холодного» или «горячего» резервирования информационных каналов ОЭДУ. Это неизбежно ведёт к усложнению конструкции и росту массогабаритных показателей преобразователей. Поэтому решение указанных проблем при сохранении высоких метрологических характеристик ОЭДУ является нетривиальной вариационной задачей.

В настоящее время все большее распространение в системах управления КА находят ОЭДУ встраиваемого типа, выполненных по схеме с дистанционно кодированными метками нуля (distance – coded reference marks) [1]. Такие преобразователи получили название квазиабсолютных. Перспективность их использования объясняется тем, что на точность управления объектами не влияют такие составляющие погрешности как: несовершенство подшипникового узла преобразователя или соединительной муфты, эффект скручивания в соединительном узле.

Пример использования такого ОЭДУ – двухкоординатный лазерный коммуникационный узел, разработанный немецкой фирмой Tesat Spacemom совместно с английской фирмой Renishaw [2]. При диаметре кодирующего растра 178 мм, в ОЭДУ реализована разрешающая способность до 24 бит при погрешности измерений, равной $\pm 1,0''$. В спецификации к ОЭДУ особо оговорено, что этот показатель приводится без учета биений подшипников вала, на котором установлен датчик угла.

Близкими показателями обладает угловой датчик модели PANCAKE французской фирмы Codeshamp [4] (внешний диаметр – 250 мм, внутреннее окно – 145 мм, разрешение 24 бита, неопределённость измерений не более $\pm 2,5''$). Для использования ОЭДУ в КА фирмой предусмотрено использование конструкции с т.н. «холодным» резервированием.

Широкое использование ОЭДУ данного типа, как нам видится, основано на том, что эти преобразователи обладают большей способностью сохранять функционирование в течение длительного срока. Эта возможность обеспечивается наличием заметно меньшего необходимого для правильного функционирования числа одновременно используемых оптических излучателей и фотоприёмников. Так в его канале считывания используется всего один излучатель и пять фотоприёмников [1]. В то время как ОЭДУ на основе рекурсивных шкал фотоприёмники разнесены в пространстве практически по всей поверхности кодирующей структуры, поэтому число осветителей равно числу фотоприёмников. Например, для одноканального 16-тиазрядного ОЭДУ с рекурсивной шкалой потребует 32 активных элементов, т.е. в 5,3 раза больше.

Интересная тенденция проявилась в последнее время в трудах японских исследователей применительно к ОЭДУ инкрементального типа – реализация в них встроенной процедуры самокалибровки (self-calibration) [6]. Реализация этой возможности в системах космического базирования позволит заметно поднять точность измерений. В ходе эксплуатации узлов КА, в которых используются ОЭДУ, характеристики подшипникового узла вала, на котором они установлены, неизбежно меняются в худшую сторону, что приводит к ухудшению характеристики управления объектом. Наличие же встроенной процедуры самокалибровки ОЭДУ позволит учесть вклад систематической составляющей погрешности, вносимой подшипниковым узлом в неопределённость задания угла поворота (причём, не только на этапе сборки, но и на орбите) и повысить, тем самым, точность работы систем наведения.

Повысить метрологические характеристики ОЭДУ может предложенная авторами доклада схема комбинированного преобразователя, когда одновременно с измерением угла поворота производится измерение пространственного положения оси вала, на котором установлен данный ОЭДУ [7]. Известно, что важнейшим источником погрешности измерения угла поворота являются биения подшипникового узла. При этом значительную часть в неопределённость задания угла вносит случайная компонента биений подшипников, которая классическими методами компенсации не устраняется. Предлагаемый подход позволяет отслеживать текущие отклонения оси (т.е. текущую суперпозицию систематической и случайной составляющих биений) и компенсировать возникающую погрешность измерений.

Список литературы:

1. Angular encoders: General Catalog / Heidenhain GmbH. - Traunreut, Germany: Heidenhain GmbH, 2008. - 82 p.
2. High Precision Encoders for GEO Space Applications / M. Reinhart, K. Panzlaf and all // Proc. International Conference on Space Optical Systems and Applications. 2012, 8-1, Ajaccio, Corsica, France, October 9 -12.
3. CODECHAMP [Electronic resource]. - Electronic date. - [s.l.: s.n., 2014]. - Access: <http://www.optical-encoders.eu/pancake-encoders.html>.
4. Псевдрегулярные кодовые шкалы для цифровых преобразователей угла / Ожиганов А.А., Прибыткин П.А. // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – Выпуск 1(71). – С. 67-72.
5. Watanabe T. et al. Self-calibration rotary encoder. J. Phys.: Conf. Ser.. 2005, 13, 240 – 245.
6. Повышение точности угловых измерений с помощью фотоэлектрических преобразователей комбинированного типа / А.В. Кирьянов, В.П. Кирьянов // Автометрия. – 2012. – № 6 (48). – С. 84-91.

ПИКОСЕКУНДНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

ТЕСНОВСКИЙ Е.В.¹, КОЛЬЦОВ А.А.¹, ШЕСТАКОВ А.В.², ШИПИЛОВ Ю.А.²

¹ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения»

²ОАО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха»

E-mail: avshest@yandex.ru

Современные квантовые оптические станции (КОС) для траекторных измерений КА, которые разрабатываются и выпускаются ОАО «НПК «СПП» должны оснащаться твердотельными лазерами, удовлетворяющими комплексу требований на пространственно-временные, энергетические характеристики и показатели надежности. Для обеспечения высокой точности измерений лазеры должны излучать импульсы с энергией 3...5 мДж при длительности 100...200 псек и относительно высокой частоте повторения импульсов до 300 Гц. Разработки последних лет, нашедшие практическое применение в КОС «Сажень-ТМ», связаны с концепцией применения лазерной системы типа «генератор-усилитель», в которой в качестве задающего генератора (ЗГ) используется «микрочип»-лазер из кристаллического композита Nd:YAG/Cr:YAG с и двухпроходowego усилителя с продольной накачкой полупроводниковым источником. Композит изготовлен из пластин кристаллов иттрий-алюминиевого граната с легированием ионами Nd³⁺ и Cr³⁺/Cr⁴⁺ методом диффузионной сварки, что обеспечивает получение монолитного материала с высокой прочностью и требуемыми оптическими параметрами. Длина резонатора лазера из «микрочипа», содержащего активную (Nd:YAG) и модулирующую (Cr:YAG) области, составляет 5...7 мм, что и обеспечивает получение ультракоротких импульсов в режиме модулированной добротности. Энергия импульса «микрочип» лазера может достигать 1 мДж, а импульсная мощность единиц мегаватт, что обеспечивает эффективный энергообъем и эффективную работу лазерной системы при последующем усилении и удвоении частоты лазерного излучения. Использование полупроводниковых источников накачки с волоконным выводом излучения позволяет использовать компоновку лазера в которой полупроводниковые источники накачки с системой электропитания, термостабилизации и управления располагаются в отдельном и удаленном от оптического излучателя модуле, что обеспечивает удобную компоновку КОС. Обсуждаются возможности оптимизации параметров лазерных систем на основе «микрочип» лазеров и перспективы их использования в измерительных системах.

С целью сокращения длительности импульсов лазерного излучения исследованы параметры лазера на основе Nd:YVO₄ с микрорезонатором длиной 200...300 мкм, образованным активным материалом и полупроводниковой структурой с зеркалом-модулятором (SESAM). В режиме пассивной модуляции добротности резонатора микролазер генерирует импульсы длительностью 40...50 псек при энергии 1...5 мкДж и частотах следования 0...100 кГц в режиме генерации основной поперечной моды. Обсуждается возможность использования задающего генератора такого типа для создания измерительной лазерной системы с регенеративным или многокаскадным усилителем.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ОПТИЧЕСКОГО 1-метрового ТЕЛЕСКОПА ЦЕЙСС-1000 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА УДАЛЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

ВЛАСЮК В.В., ДРАБЕК С.В., КОМАРОВ В.В., ШЕРГИН В.С.

**Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Карачаево-Черкесия, пос. Нижний Архыз**

E-mail: vvlas@sao.ru

В 2013 году авторами создана уникальная система управления многозадачного 1-м телескопа Цейсс-1000, предполагающая использование различных наблюдательных комплексов. Данная система в перспективе обеспечит возможность использования всех ее возможностей в вариантах местного или удаленного управления.

Замена систем управления приводами осей телескопа, датчиков главных осей, реализация алгоритмов расчетов и сопровождения с обратной связью по датчикам позволили повысить точность наведения телескопа до 3" по прямому восхождению и 7" по склонению, значительно улучшить качество сопровождения, в том числе с возможностью программного слежения для объектов с собственным движением.

Эти возможности продемонстрированы на примерах исследования ИСЗ и комет, а улучшенные характеристики слежения сделали возможным получение экспозиций с ПЗС-фотометром длительностью в 20-30 минут без потери углового разрешения.

Итогом работы к настоящему времени можно считать реализацию метода дистанционных наблюдений с штатным ПЗС-фотометром телескопа через сеть ИНТЕРНЕТ. В отличие от значительного числа существующих проектов автоматизации и роботизации астрономических телескопов предложенная система предназначена для интеграции всех наблюдательных инструментов 1-м телескопа с его управляющей системой, в том числе и с возможностью проведения удаленных наблюдений.

Задачами ближайшего будущего будут: реализация проектного варианта управления фокусировкой телескопа, интегрирование систем управления сбора данных ПЗС-систем и АСУ телескопа, включение системы управления новых спектральных средств в единую информационную среду, также обеспечивающее «безлюдный» режим наблюдений.

Развитие методов стратегии проведения наблюдений, создание надежных систем контроля метеопараметров и состояния облачности станут дальнейшими шагами к полной роботизации процесса астрофизических исследований в САО на телескопах метрового класса.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

**КОПЫЛОВ С.М., ЗЕМЛЯНОВ М.М., ГОЛУБЕВ Н.В., ДАУГЕЛЬ-ДАУГЕ А.Г., КАЧУ-
РИН А.С., МАМИН А.В., ОПАНАСЮК С.В., ПИМЕНОВ А.И., СПИРИДОНОВ Е.П.**

ОАО «НИИ «ПОЛЮС» им. М.Ф. Стельмаха»

E-mail: bereg@itnline.ru

Использование волоконно-оптических систем передачи информации (ВОКСНИ) вместо традиционных электрических кабелей как в бортовых, так и в наземных системах, является одним из магистральных направлений в создании современных ракетно-космических комплексов. Применение ВОКСНИ позволяет получить значительный выигрыш в весе выводимой полезной нагрузки ракеты-носителя, повысить помехозащищенность и быстродействие каналов передачи информации, обеспечить при необходимости значительную удаленность Центра управления полетом (ЦУП) от стартового комплекса.

В ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» совместно с ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» впервые разработаны не имеющие аналогов в отечественной космонавтике волоконно-оптические комплексы передачи информации бортовых датчиков системы наземных измерений для новейших ракетно-космических комплексов «KSLV-1» (ВОКСНИ – КСЛВ) и «Ангара» (ВОКСНИ-АНГАРА).

ВОКСНИ предназначены для непрерывного контроля параметров бортовых датчиков ракеты-носителя и обеспечивают обработку и представление значений параметров датчиков на мониторе оператора в реальном масштабе времени и выдачу необходимой информации для принятия решения о готовности РН к пуску.

Основные характеристики комплексов даны в таблице 1, а упрощенная блок-схема комплекса ВОКСНИ-АНГАРА приведена на рис. 1.

В состав ВОКСНИ входит аппаратура бортовой части комплекса и аппаратура наземной части комплекса.

Наземная аппаратура размещена в двух стойках, соединенных магистральной волоконно-оптической линией связи (МВОЛС) длиной до 5 км.

Одна из стоек, в которой находятся оптический ретранслятор и специальный источник питания, установлена непосредственно на стартовом комплексе в подпольном помещении.

Другая стойка, входящая в состав устройства сбора, обработки и представления информации (УСОПИ), расположена в ЦУПе.

На борту установлены специальные преобразователи сигналов датчиков (ПСД), бортовые волоконно-оптические кабели, образующие бортовые кольцевые волоконно-оптические линии связи (БКВОЛС), которые коммутируются оптическим коммутатором, уникальные разрывные и переходные волоконно-оптические соединители.

Преобразователи ПСД предназначены для коммутации, усиления и оцифровки электрических сигналов датчиков, преобразование в оптический кодированный сигнал, передачу оптического сигнала по волоконно-оптической линии, а также прием из волоконно-оптической линии и преобразование оптических сигналов, управляющих работой ПСД.

Комплекс ВОКСНИ-КСЛВ прошел успешную апробацию при проведении подготовки трёх пусков ракеты-носителя КСЛВ-1 с космодрома НАРО в Республике Корея в период с 2011 по 2014 гг. С помощью комплекса ВОКСНИ-АНГАРА была осуществлена предстартовая подготовка запуска ракеты космического назначения «Ангара 1.2ПП» с космодрома «Плесецк» в июле 2014 г.

Таблица 1.

№	Параметр	Значение	
		ВОКСНИ-КСЛВ	ВОКСНИ-АНГАРА
1	Количество опрашиваемых датчиков	192	960
2	Количество преобразователей ПСД	8	30
3	Погрешности измерения: – температуры – давления – пульсаций давления – влажности	$\pm 0,1$ К $\pm 1,5$ % $\pm 2,5$ % ± 1 % абс.	
4	Частота опроса датчиков: – температуры – давления – пульсаций давления – влажности	10 Гц 5 Гц 600 Гц 1 Гц	
5	Рабочий температурный диапазон	- 50...+ 50 С ⁰	
6	Максимальная дальность передачи данных	5000 м	
7	Вероятность безотказной работы за 240 ч	0,999	0,998
8	Вид приемки	«1»	«5» по РК-98

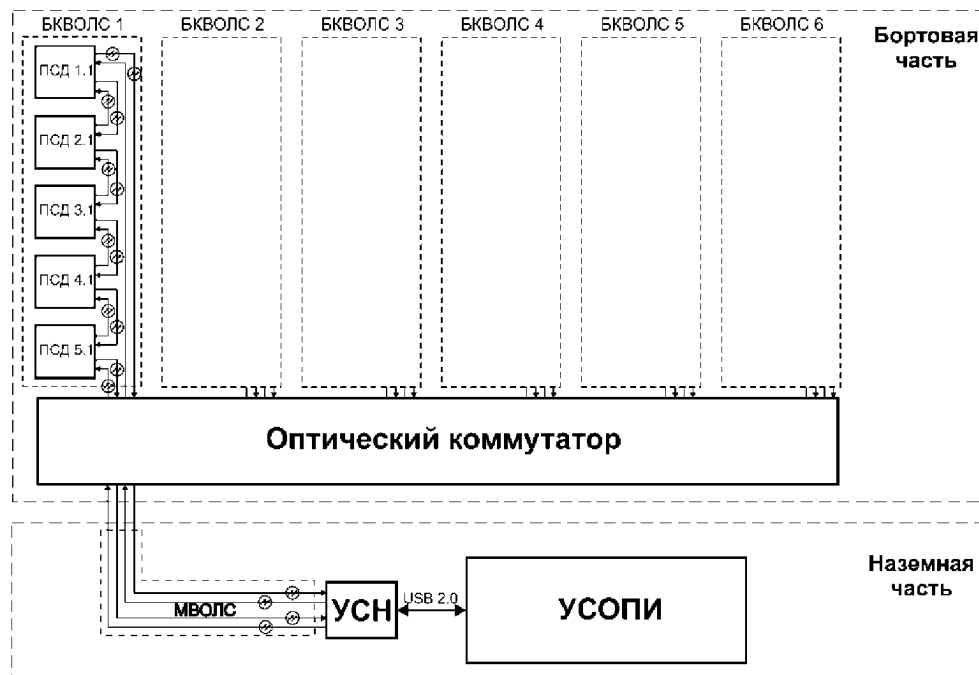


Рисунок 1.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР И ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОГРАНИЧЕННОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ МАРОК СТЁКОЛ

МАЛЬКИН А.А., ФУФУРИН В.В., ШМИДТ А.И.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: ogk45@lzos.ru

В докладе представлены результаты использования ограниченной номенклатуры отечественных марок бесцветного оптического стекла [1] при разработке объективов для телевизионных камер и приборов ночного видения.

Создание и использование минимизированного каталога бесцветного оптического стекла отечественного производства, достаточного для создания современных образцов оптических и оптико-электронных приборов специального назначения, является важной задачей, решение которой необходимо не только для уменьшения издержек производства оптических материалов, но и для повышения качественных характеристик оптических систем.

Проведённые исследования [2, 3], показали, что при современном развитии компьютерных технологий проектирования оптических систем, можно добиться получения высоких качественных характеристик оптических систем с применением ограниченной (более чем в два раза!) номенклатурой марок бесцветного оптического стекла.

Был модернизирован объектив [4], разработанный специалистами ОАО ЛЗОС. В указанном объективе была повышена технологичность сборки и юстировки отдельных компонентов и объектива в целом при сохранении технических характеристик, качества получаемого изображения, конструктивных параметров большинства оптических элементов.

Результатом использования ограниченной номенклатуры марок стёкол также стал объектив с фокусным расстоянием 8,45мм, относительным отверстием 1:1,4 с углами поля зрения по горизонту $43,5^\circ$ и вертикали 33° (рис. 1), обеспечивающий контраст 0,63 для точки на оси на частоте 60 мм^{-1} в диапазоне от 0,535 до 1мкм (рис. 2).

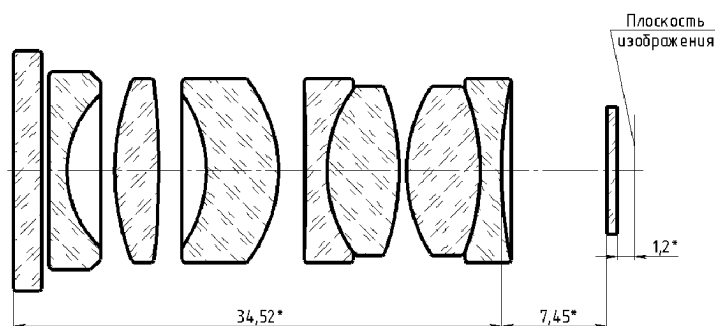


Рисунок 1.
Оптическая схема объектива $f=8,45 \text{ мм}$

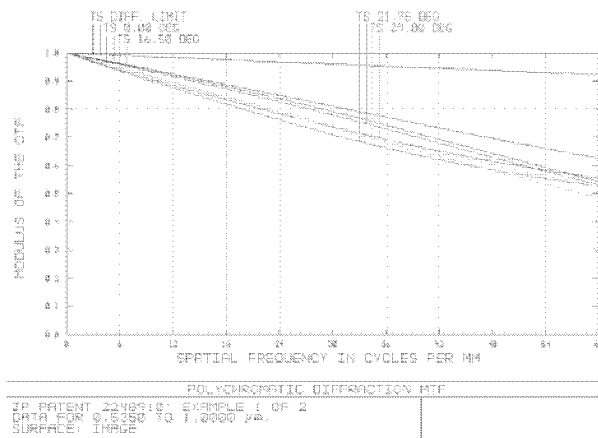


Рисунок 2.

Частотно–контрастная характеристика объектива $f'=8,45$ мм на пространственной частоте 60 мм^{-1}

С целью расширения линейки телевизионных камер были разработаны:
 – объектив с фокусным расстоянием 5,58 мм, относительным отверстием 1:1,4 с углами поля зрения по горизонту 68° и вертикали 49° (рис. 3), обеспечивающий контраст 0,64 для точки на оси на пространственной частоте 60 мм^{-1} в диапазоне от 0,4 до 1 мкм (рис. 4) [5];

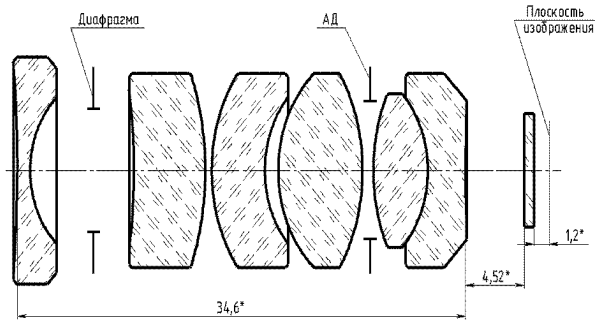


Рисунок 3.

Оптическая схема объектива $f'=5,58$ мм

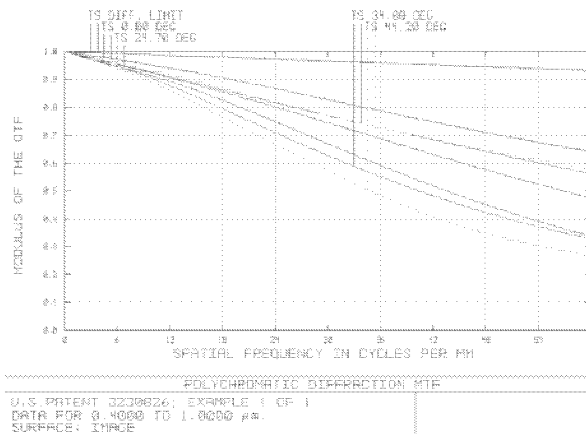


Рисунок 4.

Частотно–контрастная характеристика объектива $f'=5,58$ мм на пространственной частоте 60 мм^{-1}

– объектив с фокусным расстоянием 4,83 мм, относительным отверстием 1:1,6 с углами поля зрения по горизонту 80° и вертикали 56° (рис. 5), обеспечивающий контраст 0,73 для точки на оси на пространственной частоте 60 мм⁻¹ в диапазоне от 0,535 до 1 мкм (рис. 6).

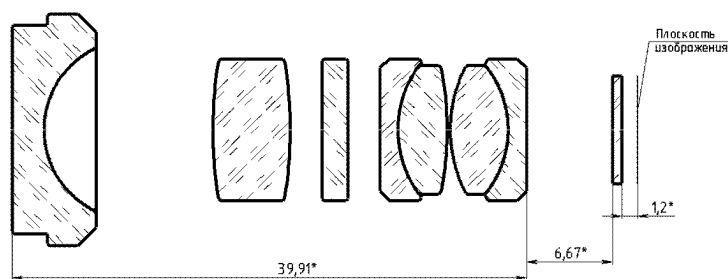


Рисунок 5.
Оптическая схема объектива $f'=4,83$ мм

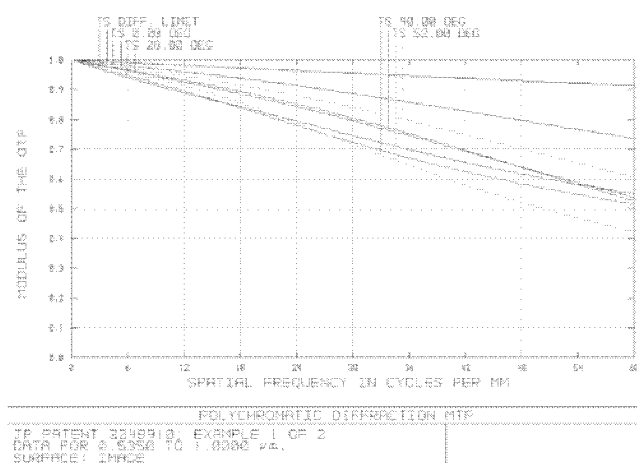


Рисунок 6.
Частотно–контрастная характеристика объектива $f'=4,83$ мм
на пространственной частоте 60 мм⁻¹

Представленные в докладе объективы были изготовлены на ОАО ЛЗОС и прошли все необходимые испытания в составе оптико–электронных комплексов, где подтвердили свои расчётные качественные характеристики.

Список литературы:

1. ГОСТ 3514–94. Стекло оптическое бесцветное. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 35с.
2. Малькин А.А. Методы минимизации номенклатуры бесцветного оптического стекла/ СПб.: Сборник трудов VIII Международной конференции молодых учёных и специалистов «Оптика – 2013», НИУ ИТМО, 2013. – с. 354–357.
3. Малькин А.А. Алгоритмы расчёта оптических систем с использованием ограниченного перечня марок стёкол/ Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, вып.4, 2014. – с. 113–119
4. Заявка на изобретение Российская федерация. МПК⁷ G02B 9/60, G02B 13/14. Свето-сильный объектив/ Заявитель и патентообладатель ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла». – №2014123180; заявл. 09.06.2014.
5. Заявка на изобретение Российская федерация,. МПК⁷ G02B 9/60, G02B 13/14. Свето-сильный объектив/ Заявитель и патентообладатель ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла». – №2013142872; заявл. 23.09.2013.

ОЦЕНКА ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЗЗ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

АНИКЕЕВА И.А., БРАГИНА Е.В., ГОРЕЛОВ В.А., ПОПОВ С.М.

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

Статистические параметры позволяют дать комплексную и объективную оценку фотометрического качества цифрового изображения. Для вычисления количественных оценок изобразительных свойств снимка применяются различные критерии – гистограммы, статистические параметры, коэффициент модуляции и контраста, и пр.

Первичным показателем фотометрического качества аэрокосмического изображения является гистограмма, притом как в своём стандартном представлении, так и её разновидность – *кумулятивная* гистограмма.

Общий вид и положение графиков гистограмм отражают яркостно-контрастные характеристики снимка. Также о качестве снимка говорит и вид самого графика распределения оптических плотностей пикселей. Плавность переходов и отсутствие выбросов на графиках обоих видов гистограмм свидетельствует как о качестве полученного исходного изображения, правильности подобранных параметров и оптимальных условиях съёмки, так и о корректности и адекватности постобработки.

Статистическая оценка фотометрического качества изображения производится на основе параметрических и непараметрических параметров. Величина расхождения между значениями моды, медианы и средним является показателем фотометрического качества изображения. Незначительное колебание этих параметров говорит об оптимальных условиях и правильно подобранных параметрах съёмки.

Характерной чертой аэрокосмических изображений является положительная асимметрия, поскольку наличие длинного шлейфа в области больших значений оптических плотностей приводит к смещению пика гистограммы в область малых значений DN и асимметрии правой части гистограммы относительно среднего. Значение эксцесса также может служить мерой контрастности изображения.

Наряду с параметрическими и непараметрическими статистическими признаками контрастно-модуляционные характеристики также являются показателями фотометрического качества цифровых изображений.

Особенности спектра отражения подстилающей поверхности оказывают непосредственное влияние на значение контраста и модуляции снимка. Так, при съёмке сельскохозяйственных угодий, водных поверхностей, лесных массивов и т.п., низкий контраст и модуляция определяются однородностью территории и не связаны с изобразительными качествами снимка.

Проведённые исследования показали, что контрастные преобразования снимка позволяют значительно улучшить контрастно-модуляционные свойства изображения. Однако, яркие преобразования изображения следует выполнять с большой осторожностью, поскольку при возможном визуальном улучшении качества снимка, глобальное изменение яркости приводит к ухудшению его контрастно-модуляционных свойств.

В заключение, следует отметить, что:

- преобразования яркости снимка позволяют улучшить его общую статистику и расширить гистограмму, что увеличивает динамический диапазон; вместе с тем, изменение яркости приводит к ухудшению контрастно-модуляционных характеристик;
- контрастные преобразования, напротив, позволяют значительно улучшить показатели контраста и модуляции изображения, но сильно искажают общие статистические характеристики фотометрического качества;
- статистическая оценка качества аэрокосмических изображений позволяет объективно оценить необходимость и степень яркостно-контрастных преобразований при радиометрической коррекции и повысить визуальное и дешифровочное качество материалов ДЗЗ с минимальными потерями их контрастно-модуляционных свойств.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СБОРКИ И КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

ГАЛЯВОВ И.Р., ДОМНИН А.В., ПОНИН О.В.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: ponin@lzos.ru, galyavov@lzos.ru

В последнее десятилетие одним из направлений деятельности ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла» является изготовление крупногабаритных зеркальных и зеркально-линзовых оптических систем для оптико-электронных комплексов слежения наземного и морского базирования.

С учетом и на основании имевшегося к началу освоения нового направления опыта сборки, юстировки и контроля линзовых многокомпонентных объективов (диаметром до 700мм) космического базирования была модернизирована технологическая база.

Особенностями модернизированных методов и средств является возможность сборки и юстировки (прежде всего – центрировки) оптических компонентов:

1. Диаметр до 1000 мм.

На практике на настоящий момент собирались узлы с оптическими компонентами диаметром 780 мм.

2. Содержащих зеркала с центральным отверстием.

Были собраны узлы с зеркалами с центральным отверстием диаметром 340 мм.

3. Содержащих асферические оптические элементы.

К настоящему моменту собирались узлы с эллиптическими и параболическими зеркалами диаметром от 400 до 750 мм.

Освоенные методы и средства позволяют собирать и юстировать с высокими точностями отдельные компоненты крупногабаритных оптических систем, что позволяет затем успешно собирать и юстировать оптические системы в целом.

В настоящее время продолжается развитие этих методов и средств в направлении устранения субъективных факторов путем применения современной электронной базы в части регистрации и обработки требуемой при сборке, юстировке и контроле информации, а также автоматизации технологических процессов.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПТИКО–ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПЛЕКСАМ НАЗЕМНОГО ИЛИ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

ГУСЕВА А.А., ВЕНДЕРЕВСКАЯ И.Г., ТИРАНОВ Д.Т., ФИЛИППОВ В.Л., ЯЦЫК В.С.

ОАО «НПО ГИПО», г. Казань

E-mail: npogipo@nnpko.ru

Проблемы моделирования входных воздействий на оптико-электронные приборы различных комплексов наземного или космического базирования многие годы находятся в поле зрения специалистов ОАО «НПО ГИПО» [1, 2]. Эти проблемы получили развитие как в экспериментальном плане с созданием соответствующих баз данных по фоно-целевой обстановке, определяющих пространственно-временную изменчивость сигнатур типовых сюжетов наблюдения и их отдельных элементов, так и в методическом – в процессе совершенствования методики компьютерного моделирования полей спектральной энергетической яркости ландшафтных или антропогенных сцен [3] и непосредственно сигналов, формируемых с помощью оптико-электронных пассивно-активных систем (ОЭС) различного назначения.

Реализация методики 3D моделирования основана на представлении зоны интереса оптико-электронных комплексов наземного или космического базирования в виде сложной сюжетной сцены, содержащей 3D модели подстилающей поверхности и различных антропогенных объектов.

Методика 3D моделирования сложных сюжетных сцен в оптических диапазонах разбита на несколько логических этапов.

Создание 3D модели подстилающей поверхности, с учетом различных орографических характеристик (холмы, реки) и растительных компонентов (леса, луга, кустарник), а так же создание 3D модели антропогенного объекта с учетом конструктивных особенностей.

Для формирования яркостных изображений сложных сюжетных сцен необходимо создать виртуальное пространство с размещением в нем 3D моделей подстилающей поверхности и композиций антропогенных объектов. Это было реализовано с помощью программного продукта (ПП), позволяющего имитировать реальные динамические сцены, путем перемещения в виртуальном пространстве точки наблюдения (ОЭС) и моделей объектов.

Яркостное изображение создается с учетом состояния окружающей среды. Моделирование небосвода и подстилающей поверхности достигается с помощью нахождения распределения значений яркости в зависимости от диапазона спектра, сезона года, состояния атмосферы (метеорологическая дальность видимости (МДВ), влажность, температура), времени суток и т.п. Моделирование влияния атмосферы на значения яркости каждой 3D модели в виртуальном пространстве осуществляется с учетом вышеуказанных характеристик, а так же зависит от параметров, определяющих геометрию трассы наблюдения.

В качестве примера имитационного моделирования зоны интереса комплексов наземного и космического базирования в среднем ИК диапазоне длин волн представлены рисунки 1а и 1б. На рисунке 1а показано яркостное изображение самолета на фоне чистого небосвода.

Условия наблюдения: поле зрения – 1.5° , лето, МДВ 23 км, положение Солнца – высота 45° , высота 3.5 км, скорость 300 м/с, дистанция 3.5 км. На рисунке 1б показано яркостное изображение полупустынной местности (антропогенные объекты: взлётно-посадочная полоса, посёлок городского типа и т.п.). Условия наблюдения: поле зрения – 25° , лето, МДВ 23 км, положение Солнца – высота 30° , высота наблюдения 10 км, угол тангажа 65° .

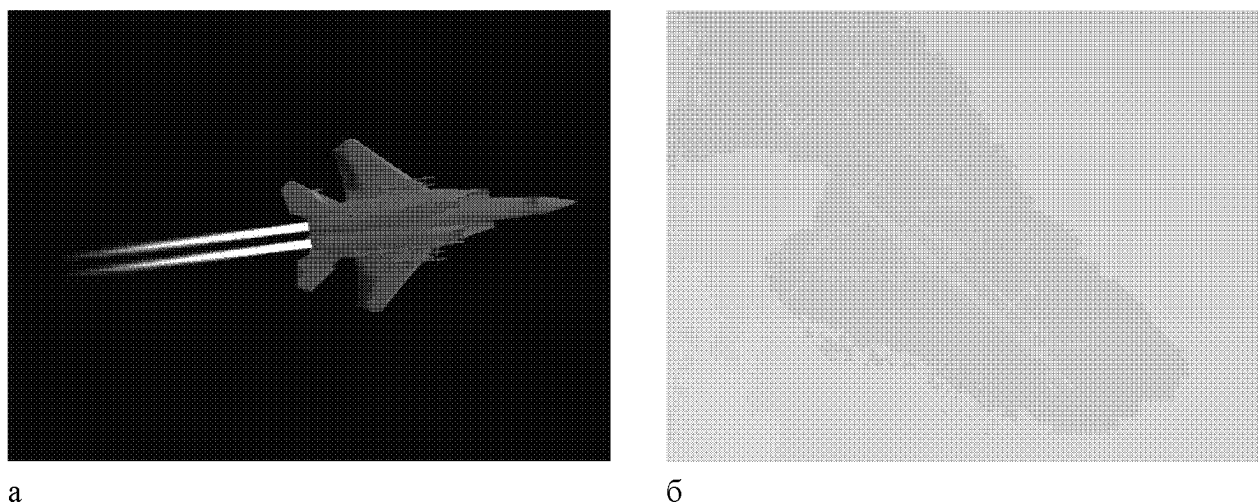


Рисунок 1.

Яркостные изображения в среднем ИК диапазоне длин волн, а – самолет на фоне чистого небосвода, б – полупустынная местность с антропогенными объектами

Список литературы:

1. Филиппов В.Л. Сигнатуры окружающей среды и моделирование входных воздействий на оптико-электронные системы дистанционного действия // Оптич. журн. – 1993. – № 9. – С.9-11
2. Филиппов В.Л., Яцык В.С., Танташев М. В., Тиранов Д.Т., Непогодин И.А., Овсянников Я.В., Вендеревская И.Г., Гусева А.А. Введение в проблему практической реализации технологии имитационного моделирования оптико-электронных систем, работающих в атмосфере на произвольно ориентированных трассах // Оборонная техника – 2014. – №1-2. – С. 51-61
3. Тиранов Д.Т., Гусева А.А., Филиппов В.Л. Моделирование полей яркости объектов на фоне разорванной облачности атмосферы при наблюдении из нижней полусферы. // XXII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – 2014 г. – Тезисы докладов. – С. 68-69.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ И ТОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

КОЖУХОВ И.И.

**ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва**

E-mail: spp116@yandex.ru

Представлен метод проектирования оптико-механического прибора, названный методом опорных плоскостей, который используется для проектирования и точностного анализа оптических схем и конструкций оптико-механических приборов. Суть метода состоит в том, что пространственная оптическая схема, оптические элементы которой расположены в разных плоскостях пространства, преобразуется в эквивалентную прямолинейную оптическую систему, расположенную в одной плоскости. Оптические элементы представляются опорными плоскостями, между которыми действуют матрицы перемещения, силовых (линзовых) элементов, зеркал, призм. Траектория луча в такой оптической схеме определяется по законам матричной оптики. Метод используется для разработки оптических схем, в которых отдельные оптические элементы, помимо сложного пространственного расположения должны перемещаться относительно остальных элементов в процессе функционирования. Метод применяется также для точностного анализа оптико-механического прибора. Для этого с помощью матричных методов определяются пространственные передаточные коэффициенты, которые характеризуют влияние смещения каждого оптического элемента и несущих звеньев конструкции на положение изображения в выходной плоскости. Наличие полной информации о влиянии всех элементов конструкции на выходные характеристики позволяет оценить эффективность конструкции, разработать оптимальные сборочно-юстировочные методики.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ 6-метрового ОПТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА БТА

КОМАРОВ В.В., ФОМЕНКО А.Ф.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Карачаево-Черкесия, п. Нижний Архыз

E-mail: komarov@sao.ru

В данной работе описывается история создания и развития оптико-телевизионных систем для крупнейшего российского оптического телескопа.

БТА с диаметром зеркала 6м, изначально проектировавшийся с дистанционным режимом управления, был первоначально оснащен оптико-телевизионной системой гидирования (телегид) для установки телескопа на заданный объект и слежения за ним в процессе наблюдений. При этом первые наблюдательные приборы на БТА осуществляли визуализацию, отождествление и гидирование объекта невооруженным глазом: через окуляры подсмотровых устройств. С появлением высокочувствительных телевизионных приемников изображений оказалось возможным перевести контроль за наведением на объект, отождествлением и гидированием в телевизионный режим. Это преимущество перед визуальным способом наблюдения за объектом позволило перевести рабочие места из оптических фокусов телескопа в удаленные помещения (аппаратные), где и стали концентрироваться все средства контроля и управления наблюдательной аппаратурой. Первый телевизионный подсмотр БТА был сконструирован на отечественных элементах по схеме I-SIT и установлен на БТА в 1976г. и, в дальнейшем, использовался в качестве телеподсмотра ТВ сканера БТА.

С середины 80-х годов в астрономических наблюдениях начинают использовать телевизионные камеры на базе ПЗС (CCD) в сочетании с ЭОП, получивших обозначение I-CCD.

В последнее десятилетие новейшие достижения в области оптико-электронных систем позволили повысить чувствительность телевизионных подсмотров за счет создания недорогих видеосистем нового поколения, удовлетворяющих требованиям астрономических наблюдений. Последние разработки ПЗС-камер со сверхвысокой чувствительностью вплотную приближаются к электронным системам, обладающим одноэлектронной чувствительностью. Кроме того, на базе таких телевизионных камер были созданы специализированные автономные комплексы круглосуточного мониторинга как телескопа, так и облачной обстановки в его окрестностях. Это в значительной степени способствовало развитию удаленных методов наблюдений на БТА.

РАЗРАБОТКА НИЗКОУРОВНЕВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБЪЕКТАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ДРОБОТ А.С., АБРАМЕШИН В.В., ДАВИДЕНО В.П., КОДИНЦЕВА Е.В.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: ogk45@lzos.ru

В данном докладе рассматривается разработка низкоуровневых телевизионных камер с ч/б изображением для объектов специального назначения, их использование в обзорных комплексах, компоновка изготавливаемых и разрабатываемых телевизионных камер, систем наблюдения на их основе и перспективные направления развития телевизионных приборов наблюдения.

Начиная с 2003 года предприятием ОАО ЛЗОС ведется разработка и изготовление низкоуровневых ч/б телевизионных камер, используемых на объектах специальной техники. Телевизионные камеры типа ТВКТ (рис. 1) разрабатывались на основе модуля с ч/б ПЗС матрицей 1/3" ICN259AL. Позднее (2009 г.) матрица была заменена на ч/б матрицу 1/3" ICX659ALA, с целью повышения чувствительности телекамер. Линейка телекамер типа ТВКТ выполнена в одних габаритно-посадочных размерах и включает в себя камеры с углами обзора в горизонтальной плоскости 33°, 43°, 65°, 80°, 95°. Диапазон рабочих освещенностей составляет от 0,01 до 30000 лк.

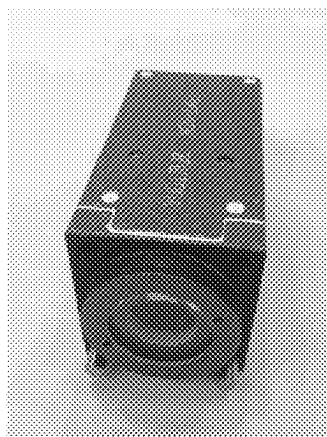


Рисунок 1.
Телевизионная камера типа
ТВКТ

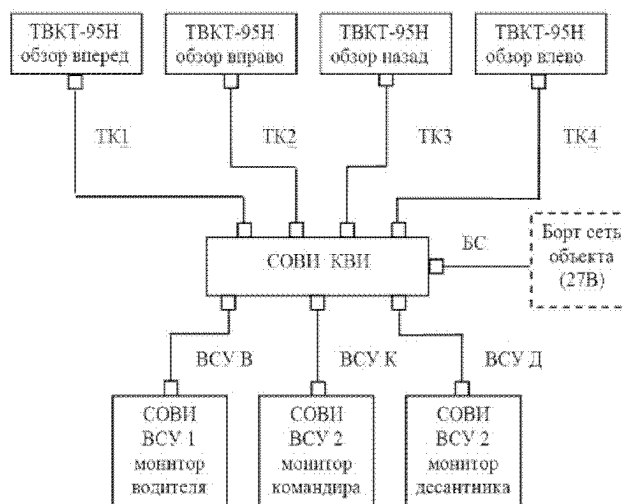


Рисунок 2.
Система видеонаблюдения

Телекамеры типа ТВКТ обеспечивают возможность применения как в виде одиночного прибора наблюдения так и применение в системе видеонаблюдения показанного на рис. 2.

Позднее перед ОАО ЛЗОС была поставлена задача разработки низкоуровневых ч/б телевизионных камер для использования в составе оптико-электронных систем наблюдения на стационарных и подвижных комплексах. За основу были взяты уже опробованные модули на ч/б ПЗС матрицах 1,3" ICX659ALA, доработанные в части введения возможности внешней синхронизации кадровым синхроимпульсом. Линейка состоит из камер (рис. 3) с углами обзора в горизонтальной плоскости 3°, 9°, 20°.

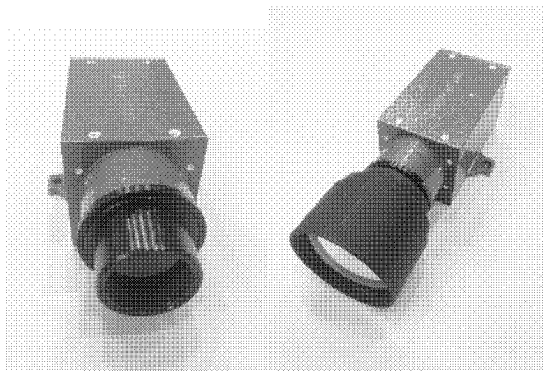


Рисунок 3.
Телевизионные камеры
ТВКТ-3Н и ТВКТ-9Н

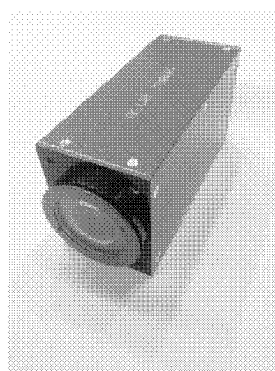


Рисунок 4.
Обзорная камера
ОК-68Н

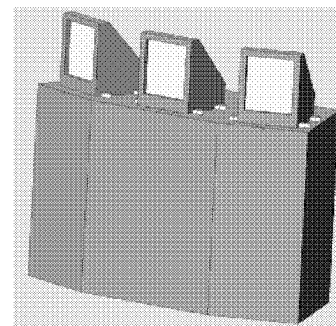


Рисунок 5.
Трехканальный призмный
телевизионный прибор

Оба типа телевизионных камер прошли все необходимые испытания, как автономные, так и в составе объектов спецтехники, в результате были подтверждены технические и качественные характеристики.

В 2011 году перед специалистами ОАО ЛЗОС была поставлена задача разработки камеры с ч/б изображением, углом обзора $68 \pm 2^\circ$, работающей в широком диапазоне освещенностей от 0,01 до 100 000 лк.

Камера разрабатывалась на базе модулей с ч/б ПЗС матрицей 1/2" ICX429ALL. Результатом разработки стала обзорная камера ОК-68Н (рис. 4). Технические характеристики изделия были подтверждены результатами автономных испытаний. В данный момент проводятся испытания в составе объектов спецтехники.

В настоящее время, в области разработки телевизионных приборов наблюдения, перед ОАО ЛЗОС ставятся следующие задачи:

- разработка телевизионных приборов наблюдения, включающих несколько каналов изображения и объединенных в один корпус (рис. 5), в которых применяются зеркала или призмы (рис. 6). Данные системы позволяют увеличить дальность наблюдения и углы обзора, а также улучшить массогабаритные характеристики;
- разработка цветных телевизионных камер для объектов спецтехники;
- разработка телевизионных камер с цифровым выходом для изделий спецтехники;
- разработка миниатюрных телевизионных камер для изделий спецтехники.

В докладе представлен более чем десятилетний опыт разработки низкоуровневых ч/б телевизионных камер, а также перспективные направления развития телевизионных приборов наблюдения.

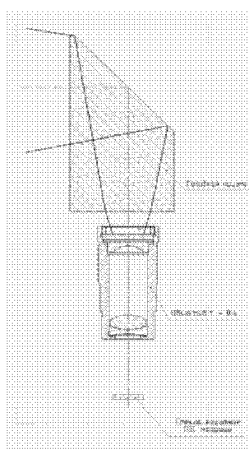


Рисунок 6.
Схема телевизионного прибора
с призмным каналом

МЕТОД РАСЧЁТА ВАРИООБЪЕКТИВОВ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ КОМПОНЕНТОВ И ЛИНЗАМИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛОЙ

ПISКУНОВ Д.Е., ХОРОХОРОВ А.М., ШИРАНКОВ А.Ф.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: piskunovde@gmail.com, a.horohorov@yandex.ru, ashirankov@mail.ru

Развитие методов расчёта вариообъективов отражено в многочисленных публикациях. Общим недостатком большинства предлагаемых в них методов является то, что они применимы для расчёта систем с двумя-тремя подвижными компонентами. Однако, существует ряд задач, для решения которых может потребоваться и большее число подвижных компонентов.

В общем случае задача расчёт вариообъектива с произвольным числом подвижных и неподвижных компонентов может быть сведена к решению системы нелинейных уравнений:

$$P(d, \varphi) = P_k \quad (1)$$

где P - вектор параксиальных величин, которые должны быть равны предписанным значениям (например, фокусное расстояние и длина системы), d - вектор расстояний между компонентами, φ - вектор оптических сил компонентов, P_k - вектор предписанных значений параксиальных величин для k -ой позиции.

Один из подходов к аналитическому решению системы (1) - это её преобразование к степенному уравнению. Для определения законов перемещения двухкомпонентной системы при заданном векторе φ необходимо решить квадратное уравнение. Для трёхкомпонентной системы уже необходимо решить уравнение шестой степени, что вызывает определённые проблемы. На практике полагают, что один из компонентов движется по линейной траектории. В этом случае уравнение шестой степени может быть сведено к квадратному. Однако с помощью такого подхода сложно исследовать всё многообразие решений и подобрать оптимальную систему.

Таким образом, даже в упрощённом виде (вектор φ известен) задача расчёта вариообъективов решена аналитически для частных случаев: для систем с двумя и тремя подвижными компонентами. Для расчёта вариообъективов с произвольным числом подвижных и неподвижных компонентов применяют численные методы. В случае численного решения системы уравнений (1) возникает проблема согласования корней, т.е. найденные положения компонентов могут принадлежать разным решениям, что приводит к разрывам траектории перемещения компонента. Ещё одним недостатком численных методов является то, что увеличение числа позиций k приводит к увеличению числа неизвестных.

Предлагаемый метод [1] свободен от указанных недостатков. Представим каждое расстояние d и оптическую силу φ векторов d и φ соответственно в виде функции от фокусного расстояния системы: $d=d(f)$, $\varphi = \varphi(f)$. Разложим данные функции по базисным функциям:

$$\begin{aligned}
 d(f') &= \sum_{i=0}^N a_i F_{id}(f'); \\
 \varphi(f') &= \sum_{i=0}^N b_i F_{i\varphi}(f');
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где a_i, b_i — коэффициенты разложения, N — количество членов разложения, $F_{id}(f'), F_{i\varphi}(f')$ — базисные функции i -го порядка.

Подставив разложения (2) в систему (1), получим:

$$\mathbf{P}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \mathbf{P}(f')
 \tag{3}$$

В результате вместо вектора расстояний \mathbf{d} и оптических сил $\boldsymbol{\varphi}$ необходимо определить коэффициенты \mathbf{a} и \mathbf{b} разложения по базисным функциям. В отличие от других численных методов решения системы (1) предложенный метод гарантированно обеспечивает плавность изменения фокусного расстояния и позволяет рассчитывать вариообъективы, содержащие линзы с изменяемой оптической силой. Последнее свойство метода является особенно важным, поскольку в последнее время появились технологии, которые позволяют изменять оптическую силу линзы, что может быть использовано для разработки более простых, компактных и лёгких вариообъективов. До коммерческой реализации доведены технологии, в которых для изменения оптической силы жидкой линзы используется эффект электросмачивания или эластичная полимерная мембрана.

Отметим также, что предлагаемый метод пригоден для расчёта систем с любым способом компенсации смещения плоскости изображения. Например, если в разложении (2) для $d(f')$ выбрать степенные функции в качестве базисных и ограничиться первым порядком разложения, то получим системы с линейной связью между перемещениями компонентов. Если при определении законов перемещения обеспечить равенство коэффициентов разложения при первом члене, то получим системы с жёстко связанными подвижными компонентами. Очевидно, чтобы перейти к системам с механической компенсацией, число членов разложения (2) для $d(f')$ должно быть более одного.

Таким образом, метод позволяет рассчитывать как традиционные системы с подвижными компонентами, так и комбинированные, т.е. включающие и подвижные компоненты и компоненты с перестраиваемой оптической силой.

Список литературы:

1. Пахомов И.И., Пискунов Д.Е., Хорохоров А.М. Численный метод расчёта систем переменного увеличения с произвольным числом подвижных компонентов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение. 2012. Спец. вып. № 8. – Современные проблемы оптотехники. С. 25-35.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ УГЛА ВСТРАИВАЕМОГО ТИПА

БАЗИН В.С., БУДНИКОВ К.И., КИРЬЯНОВ А.В., КИРЬЯНОВ В.П., ЛУБКОВ А.А.,
ПЕРЕБЕЙНОС С.В., ЧУКАНОВ В.В.

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

E-mail: kiryanov@iae.nsk.su

В современных космических аппаратах (КА) широко используются различного типа оптико-электронные датчики угла (ОЭДУ). В бортовых системах наведения антенн, в узлах лазерной связи, в системах управления силовой оптикой и в ряде других объектов должны использоваться ОЭДУ с повышенными метрологическими характеристиками: точностью и разрешающей способностью. Причём с целью повышения качества управления здесь чаще используют ОЭДУ встраиваемого типа. Перспективность использования угловых преобразователей встраиваемого типа объясняется тем, что при их использовании точность управления объектами не сдерживается составляющими погрешности от несовершенства подшипникового узла преобразователя или соединительной муфты, от наличия эффекта скручивания в соединительном узле.

Известно, что результирующая погрешность датчиков угла встраиваемого типа может быть определена только после их установки на конкретную ось. Однако конструкция объектов управления зачастую не позволяет присоединить аппаратуру для метрологической аттестации ОЭДУ данного исполнения. Поэтому в качестве альтернативы часто используют результаты предварительного контроля ОЭДУ данного типа на стендах специальной конструкции.

Специфика метрологического контроля ОЭДУ встраиваемого типа состоит в том, что регистрируемые различия между показаниями контролируемого ОЭДУ и эталонного (референтного) ОЭДУ, входящего в состав измерительной системы, нельзя относить полностью к погрешности контролируемого ОЭДУ. Часть этих различий вносится в результат контроля измерительной установкой из-за несовершенства её собственного узла вращения. Поэтому одной из важных задач при создании систем контроля метрологических характеристик ОЭДУ встраиваемого типа является разделение составляющих погрешности, обусловленных непосредственно характеристиками объекта измерения и несовершенством системы контроля. Известно, что отклонения траектории сканирования измеряемой шкалы от идеальной круговой траектории вносят погрешность в результат контроля. Одним из наиболее значимых источников, вызывающих отклонения траектории сканирования измеряемой шкалы от идеальной круговой траектории, является сам объект измерения. Будучи установленным на поворотный столик измерительной системы, он неизбежно вносит искажения в первоначальную балансировку узла вращения. Эти искажения приводят к т.н. динамической разбалансировке ротора, которая порождает сложные траектории движения поворотного столика измерительной системы, обусловленные наличием нутации и регулярной прецессии оси ротора. Тщательной статической и динамической балансировкой ротора можно свести к минимуму вносимую установкой эту составляющую погрешности, но это потребует достаточно много времени на выполнение подготовительных операций процедуры контроля.

Чтобы сделать процедуру контроля ОЭДУ встраиваемого типа более технологичной предложено [1] процесс контроля выполнять по дифференциальной схеме, когда с помощью штатного встроенного референтного ОЭДУ одновременно измеряются параметры двух других ОЭДУ, установленных соосно с референтным, из которых один является контролируемым, а второй – вспомогательным (или как его называют – рабочим). При этом метрологические параметры рабочего ОЭДУ должны быть определены заранее и внесены в память процессора, управляющего работой системы контроля.

Если в текущем эксперименте результат контроля рабочего ОЭДУ отличается от зафиксированного в памяти процессора, то полученное различие интерпретируется как дестабилизирующий вклад измерительной системы в результаты контроля. Считая вклады в результаты контроля параметров рабочего и контролируемого ОЭДУ приблизительно одинаковыми, можно скомпенсировать в контролируемом ОЭДУ дестабилизирующий вклад, внесённый системой контроля, вычитая зафиксированное различие в параметрах рабочего ОЭДУ из полученных в эксперименте параметров контролируемого ОЭДУ.

Перспективность применения данного подхода (алгоритма) при метрологической аттестации ОЭДУ космического назначения видится в том, что он позволит экспериментально оценивать качество процедуры самокалибровки, которую целесообразно реализовывать в ОЭДУ космического назначения. Для воплощения этой опции при контроле метрологических характеристик ОЭДУ космического назначения в системе контроля, анализируемой в докладе, достаточно в качестве рабочего ОЭДУ использовать специальный датчик, повторяющий структуру ОЭДУ с многократным резервированием.

Список литературы:

1. Патент РФ на полезную модель № 83 133. «Шпиндельный узел». *В.П. Кирьянов, А.В. Кирьянов*. Оpubл. 20.05.2009, бюлл. № 14.

УВЕЛИЧЕНИЕ УГЛОВ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ СОСТАВНОЙ ВЕБ-КАМЕРЫ МЕТОДОМ СКЛЕИВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

ШИРОКОВ Р.И., АЛЕХНОВИЧ В.И.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: m.scofield@mail.ru

В системах наблюдения часто требуется увеличить поле зрения или, более того, построить панорамное изображение. В данном случае предлагается для увеличения углов поля зрения системы наблюдения использовать сшивку изображений с нескольких камер.

Привязка всех камер делается попарно. Для этого используются два транспаранта, которые представляют собой две плоские поверхности, с размещёнными на них N_p источниками излучения (ИИ). Координаты ИИ относительно системы координат (СК) транспаранта известны. При этом, ориентация одного транспаранта относительно другого определяется при помощи вспомогательной системы координат. Алгоритм привязка пары камер состоит из следующих этапов:

1. Расположение транспарантов в пространстве таким образом, чтобы один из них попадал в поле зрения одной камеры, а другой – в поле зрения второй камеры.
2. При помощи вспомогательной камеры сделать N_5 снимков обоих транспарантов с разных ракурсов. Измерить координаты точек (ИИ) транспаранта на изображении (для всех снимков).
3. Двумя камерами сделать снимки соответствующих транспарантов. Измерить координаты точек транспаранта на изображениях.
4. Повторить п.1-3 N_{1-2} раз.
5. Получаем общую систему уравнений. В операторной форме система имеет вид

$$\begin{aligned}\tilde{P}_{i,j,k}^{5,1} &= C_5 M_{51}^{i,j} \tilde{X}_k \\ \tilde{P}_{i,j,k}^{5,2} &= C_5 M_{51}^{i,j} M_{12}^i \tilde{X}_k \\ \tilde{P}_{i,j,k}^{3,1} &= C_3 M_{34} M_{41}^i \tilde{X}_k, \\ \tilde{P}_{i,j,k}^{4,2} &= C_4 M_{41}^i M_{12}^i \tilde{X}_k\end{aligned}$$

где

C_5 - оператор, учитывающий калибровочные данные для вспомогательной камеры,

C_3, C_4 - операторы, учитывающие калибровочные данные для пары сшиваемых камер;

M_{34} - оператор перехода между СК камеры 1 и СК камеры 2;

$M_{51}^{i,j}$ - оператор перехода между СК связующей камеры и СК транспаранта 1; M_{12}^i - оператор перехода между СК транспарантов;

M_{41}^i - оператор перехода между СК камеры 2 и СК транспаранта 1;

\tilde{p} - координаты точек транспаранта на изображении,

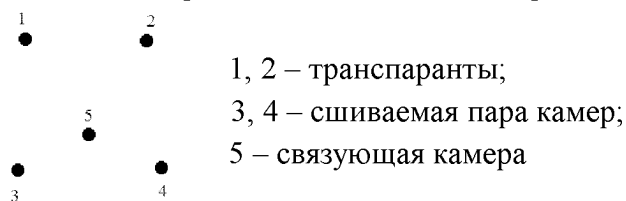
\tilde{X}_k - однородные координаты k -ой точки транспаранта относительно собственной СК;

$i = \overline{1, N_{1-2}}$, N_{1-2} - число положений транспарантов друг относительно друга; $j = \overline{1, N_5}$

N_5 - количество снимков;

$k = \overline{1, N_p}$, N_p - количество ИИ на одном транспаранте.

Схематическое расположение объектов при юстировке:



Полученные коэффициенты M_{34} далее используются для сшивки изображений с двух камер.

Данный подход позволяет привязывать камеры друг к другу с минимальным пересечением полей обзора или даже без него, то есть без использования характерных точек изображения.

Список литературы:

1. Z. Zhang. A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22 (11):1330–1334, 2000.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ОСИ ПУЧКА ИЗЛУЧЕНИЯ

ПISКУНОВ Т.С., БАРЫШНИКОВ Н.В., ЖИВОТОВСКИЙ И.В.

МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва

E-mail: thedistorted@yandex.ru

В современных высокоточных лазерных оптико-электронных системах (ЛОЭС) возникает задача параллельного переноса пучка излучения лазера с возможностью высокоточного измерения в приёмном канале углового положения оси диаграммы направленности этого излучения. При этом должны обеспечиваться высокие точностные характеристики в условиях внешних механических воздействий, например, механических вибраций со стороны носителя. Данную задачу выполняет устройство параллельного переноса (УПП).

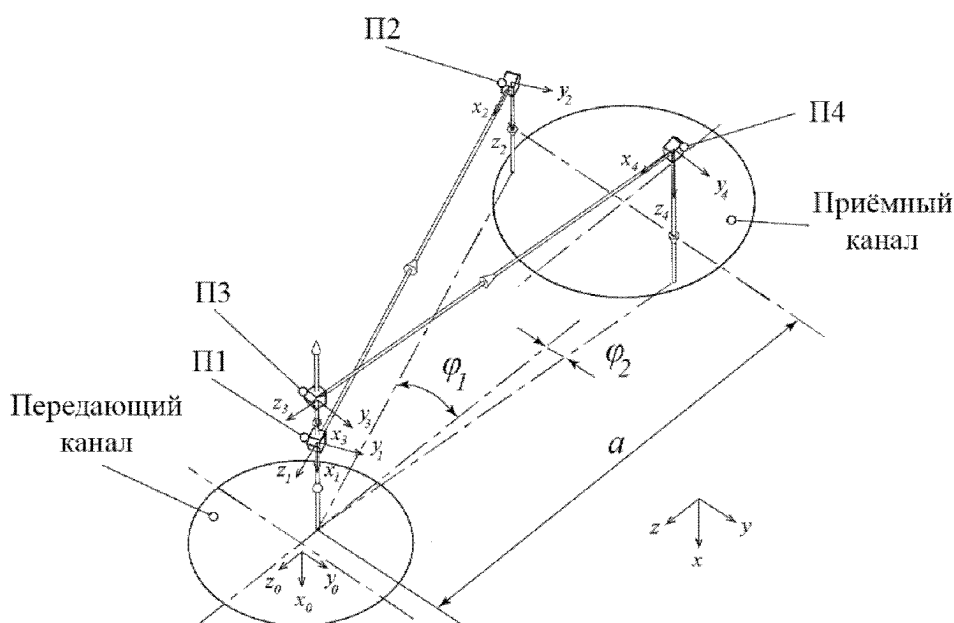


Рисунок 1.

Принципиальная схема УПП на основе двух пар пентапризм

Существует методика построения УПП в виде призмного мостика, построенного на основе двух пар пентапризм (рисунок 1). Такое устройство лишено недостатков, связанных с ограниченным расстоянием параллельного переноса, однако при его эксплуатации возникают повышенные требования к цифровой обработке оптического сигнала [1].

Для обеспечения высокой точности параллельного переноса, то есть определения угловых координат пучка лазерного излучения, входящего в УПП с заданной точностью, необходимо решить ряд задач, возникающих при рассмотрении УПП, построенного на основе двух пар пентапризм.

Используя математический аппарат описания преобразования пучков лучей этим УПП в виде воздействия на единичный вектор матриц поворота и отражения можно получить алгоритм, позволяющий осуществить математическое моделирование устройства и проанализировать влияние вибраций пентапризм в условиях эксплуатации на точность измерения угловых координат.

Для этого необходимо применить формулы для вычисления углов отклонения оси излучения маркера от идеального направления, вызванные разъюстировками системы (θ_y и θ_z) для случая, когда две пары пентапризм развёрнуты на углы φ_1 и φ_2 .

$$\begin{aligned} \theta_y &= -(\theta'_{z1} \cos \varphi_2 - \theta'_{z2} \cos \varphi_1) / (\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \varphi_2 \sin \varphi_1) \\ \theta_z &= -(\theta'_{z1} \sin \varphi_2 - \theta'_{z2} \sin \varphi_1) / (\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \varphi_2 \sin \varphi_1) \end{aligned} \quad (1)$$

где $\theta'_{z1}, \theta'_{z2}$ равны:

$$\begin{aligned} \theta'_{z1} &= \theta'_{y_{np1}} \sin \varphi_1 - \theta'_{z_{np1}} \cos \varphi_2 \\ \theta'_{z2} &= \theta'_{y_{np2}} \sin \varphi_2 - \theta'_{z_{np2}} \cos \varphi_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Задавая угловые отклонения $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ для первой пентапризмы в первой паре пентапризм, $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ для второй и $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3, \alpha_4, \beta_4, \gamma_4$ для второй пары пентапризм и угловые отклонения входного пучка лазерного излучения θ_y и θ_z определим погрешность параллельного переноса, вычислив угловые координаты прошедшего через две пары пентапризм излучения $\theta'_{y_{np1}}, \theta'_{z_{np1}}$ и $\theta'_{y_{np2}}, \theta'_{z_{np2}}$, с помощью математической модели и пересчитав их обратно в угловые координаты входного пучка $\theta'_{y_{calc}}$ и $\theta'_{z_{calc}}$ по формулам (1)-(2). Тогда погрешность параллельного переноса будет определяться по формулам (3):

$$\begin{aligned} \delta \theta_y &= \theta'_{y_{calc}} - \theta_y \\ \delta \theta_z &= \theta'_{z_{calc}} - \theta_z \end{aligned} \quad (3)$$

Анализируя УПП таким образом, можно заключить, что для осуществления параллельного переноса пучка лазерного излучения с целью измерения его угловых координат с погрешностью, не превышающей 1 угл. сек. в условиях вибраций пентапризм в пределах 10 угл. сек., погрешности начальной установки всех элементов системы, а так же углов разворота φ_1 и φ_2 не должны превышать ± 5 угл. мин. При этом погрешность начальной установки углов разворота пентапризм создаёт систематическую погрешность в виде ненулевого математического ожидания погрешности параллельного переноса.

Проводя дальнейшие расчёты, можно показать, что любые погрешности установки углов φ_1 и φ_2 , а так же любые погрешности начальной установки пентапризм приводят к линейной зависимости погрешности параллельного переноса от углов входного пучка излучения θ_y и θ_z .

Таким образом, проведением начальной тарировки системы лазер – призмный мостик – приёмный объектив, можно компенсировать систематическую погрешность параллельного переноса вследствие погрешностей начальной установки и углов разворота пентапризм.

Данная методика позволяет исключить влияние погрешностей начальной установки углов разворота пентапризм φ_1 и φ_2 . При начальной установке пентапризм с точностью ± 5 угл. мин. и в условиях вибраций пентапризм, не превышающих ± 5 угл. мин. устройство параллельного переноса, построенное на основе двух пар пентапризм способно обеспечить точность измерения координат пучка лазерного излучения порядка ± 1 угл. сек.

Список литературы:

1. *Барышников Н.В.* «Разработка и исследование устройств параллельного переноса пучка излучения для систем автоюстировки каналов лазерных локационных станций», *Измерительная техника*, № 4, стр. 65-70, 2011.
2. *Бокшанский В.Б., Тэвун Е, Вязовых М.В., Литвинов И.С.* Метод селекции световозвращающих объектов от диффузных с помощью цифровой адаптивной обработки. – *Современные проблемы оплотехники. Сб. Ст. / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана* – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 285 – с. 35-43.
3. *Козинцев В.И., Иванов С.Е., Белов М.Л., Городничев В.А.* Лазерный метод приближенного измерения мгновенной скорости и направления ветра. - *Оптика атмосферы и океана*. - 2013. - Т. 26. № 5 (292). - С. 381-384.
4. *В.М. Орлов, В.Е. Карасик.* Лазерные системы видения. - Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К АТТЕСТАЦИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ДОМНИН А.В., ПОНИН О.В., ШАРОВ А.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: otd22@lzos.ru

Для измерения таких параметров качества изображения оптических систем, как функция передачи модуляции и функция концентрации энергии, в производственной практике используется универсальная измерительная видеосистема, созданная с использованием простых и экономичных устройств формирования цифрового изображения, которая может широко применяться в производственных условиях и использоваться в составе широкого класса контрольных оптических установок коллиматорного типа [1].

Аттестация такой измерительной системы может производиться при помощи эталонных объективов, параметры качества изображения которых гарантируются технологией изготовления. В частности, такие объективы стандартизованы для задач проверки установок измерения функции передачи модуляции объективов малого диаметра (до 100 мм) [2].

Другой подход заключается в аттестации и минимизации погрешностей отдельных функциональных блоков установки, а именно:

1. Погрешностей, связанных с геометрией оптического канала измерительной системы, и качеством изготовления её оптических элементов.
2. Погрешностей системы анализа и преобразования видеоизображения.
3. Учёт внешних факторов (вибрации, воздушные потоки, колебания давления и температуры окружающей среды).

Экспериментальная оценка погрешностей системы анализа и преобразования видеоизображения может осуществляться путём создания на чувствительной площадке видеокамеры калиброванного изображения точечного объекта с известным распределением энергии. При этом создание такого распределения предлагается осуществлять технически простыми средствами, например диафрагмой с круглым отверстием или щелью без дополнительных оптических элементов.

Список литературы:

1. Галявов И.Р., Домнин А.В., Понин О.В., Шаров А.А. Методы и средства контроля опто-технических характеристик высокоточных оптических систем // Контентант, 2014 г., т.13, №1, с.13-19.
2. ОСТ 3-2635-82 Устройства для измерения функции передачи модуляции съёмочных объективов. Метод поверки.

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ ВНУТРИШЛЕМНОЙ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

ШИРАНКОВ А.Ф., ПАВЛОВ В.Ю., ПРЫТОВ А.Б., ПОЛКУНОВ В.А.

НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана

E-mail: ashirankov@mail.ru

Видеоинформационный модуль внутришлемной системы отображения информации был разработан для скафандра «Орлан-МКС» (ВИМС).

Наличие ВИМС внутри скафандра (шлема) позволят создать канал индикации и визуализировать функциональные, организационные и иные данные в виде цифровой, текстовой, графической информации, интуитивно понятных мнемонических символов, а также полутонных изображений. Все эти изображения создаются ВИМС, который располагается внутри скафандра в области между его верхним и передним люками (окнами). Изображение ВИМС наблюдаются оператором (космонавтом), когда он поднимает взгляд на выходное окно модуля. Компонировка ВИМС значительно усложняется, т.к. конструкцию надо расположить в малой области пространства между головой космонавта и внутренней поверхности скафандра. В этом смысле разработка ВИМС сложнее разработки оптики широко известного класса нашлемных индикаторных систем.

На рис. 1 приведены результаты разработки оптической системы и конструкции ВИМС с компоновкой внутри скафандра «Орлан-МКС». На рис. 2 приведен внешний вид экспериментального образца ВИМС.

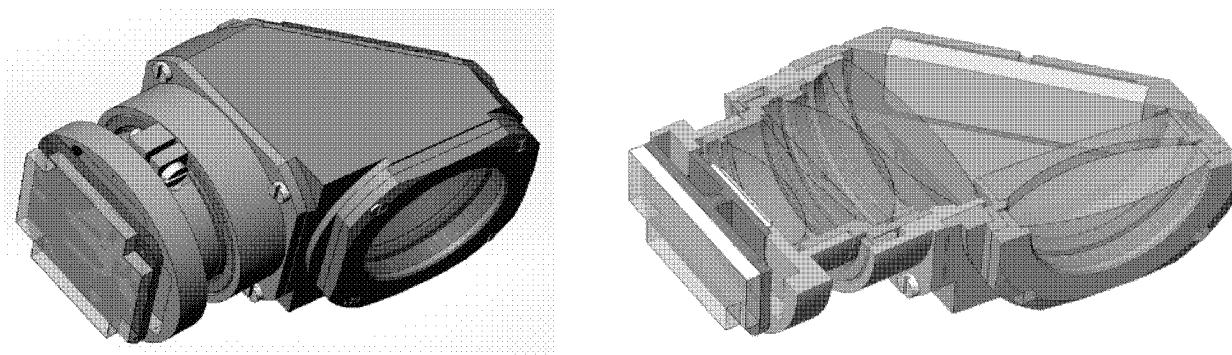


Рисунок 1.

а – компьютерная модель ВИМС; б – компьютерная модель (разрез)



Рисунок 2.
Экспериментальный образец ВИМС

Угловой размер изображения ВИМС составляет 20° на 15° , что позволяет передавать космонавту достаточно информативный видеокادر. Расстояние от зрачка глаза космонавта (диаметром 6 мм) до наблюдаемого изображения лежит в диапазоне 0,6 до 1,1 м, что позволяет космонавту работать без излишней аккомодационной нагрузки. Угловое разрешение ВИМС (перед глазом оператора) составляет около 12 угл. сек. Большой диаметр выходного зрачка ВИМС обеспечивает легкость и комфортность его использования внутри скафандра «Орлан-МКС» космонавтами с разными антропологическими параметрами головы и органов зрения. Технические параметры ВИМС в несколько раз превосходят параметры, достигнутые в различных образах ввода видеоинформации типа «гугл-глаз» (Google Glass).

Доказано неоспоримое преимущество передачи зрительной информации с помощью ВИМС чем использование дисплея, расположенного на поясе скафандра. Преимущество обеспечено по всем параметрам зрительного восприятия информации: угловому размеру, числу элементов и разрешению видеокadra; отсутствию дополнительной аккомодационной нагрузки зрительного аппарата космонавта при ВКД; большей четкости, яркостному контрасту и цветности информационных элементов кадра. Конструкция экспериментального образца ВИМС обеспечивает защиту от всех внешних воздействующих факторов (вибрация, радиация, климатические нагрузки и т.д.), а при его изготовлении можно использовалось стандартное оборудование.

О РАЗРАБОТКЕ ВАРИООБЪЕКТИВОВ С УЧЁТОМ АБЕРРАЦИЙ ТРЕТЬЕГО И ПЯТОГО ПОРЯДКОВ

ПИСКУНОВ Д.Е., ХОРОХОРОВ А.М., ШИРАНКОВ А.Ф.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: piskunovde@gmail.com, a.horohorov@yandex.ru, ashirankov@mail.ru

В большинстве случаев решение задачи абберационного синтеза вариообъективов основано на теории аббераций третьего порядка, которая эффективна при небольших относительных отверстиях и полях зрения. Задача же расчёта большинства светосильных широкопольных объективов решается путём минимизации оценочной функции, в которой учитываются требования к абберационной коррекции и конструктивные ограничения. Реальные абберации определяются из расчёта хода большого количества лучей. Исходная схема для оптимизации заимствуется из патентных и литературных источников либо выбирается из каталога систем, поставляемого совместно с коммерческим программным обеспечением. Недостатки такого подхода очевидны. Во-первых, локальные методы оптимизации, используемые в большинстве программ оптических расчётов, не гарантируют оптимальности решения. Во-вторых, создание новых патентно-чистых систем с помощью данного подхода затруднительно. В-третьих, несмотря на высокий уровень развития вычислительной техники, процесс оптимизации занимает достаточно длительное время, вследствие необходимости расчёта большого количества лучей. С целью решения указанных проблем разработана методика абберационного синтеза вариообъективов [1]. Методика состоит из следующих этапов: 1) определение основных параметров и хроматических коэффициентов тонких компонентов; 2) синтез компонентов без учёта их толщин в области аббераций третьего порядка; 3) переход от бесконечно тонких компонентов к компонентам конечной толщины; 4) аналитико-оптимизационный синтез в области аббераций третьего и пятого порядков.

На первом этапе на основе данных, полученных в результате габаритного синтеза, определяются основные параметры \bar{P} и \bar{W} и хроматические коэффициенты C тонких компонентов. Метод определения параметров основан на теории аббераций третьего порядка. Для вычисления \bar{P} и \bar{W} необходимо решить систему уравнений:

$$\sum_i A_{i,j} \bar{P}_i + \sum_i B_{i,j} \bar{W}_i = F_j, \quad j = 1..N, \quad (1)$$

где j — номер компонента, i — номер положения компонентов, N — число положений, $A_{i,j}, B_{i,j}, F_j$ — коэффициенты, определяемые через параметры вспомогательных лучей.

Решение системы ((1) в совокупности с решением системы уравнений для хроматических коэффициентов позволяет получить все исходные данные для синтеза отдельных тонких компонентов вариообъектива и последующего перехода к компонентам конечной толщины.

Реальные абберации светосильных оптических систем сильно отличаются от аббераций

третьего порядка. Аналитико-оптимизационный метод абберационного синтеза оптических систем [2] позволяет проводить расчёт вариообъективов с учётом аббераций пятого порядка. Метод основан на разложении функции поперечной абберации по полиномам Чебышева с последующей минимизацией коэффициентов разложения. Разложение поперечной абберации $\Delta u'$ по полиномам Чебышева может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta u' = & b_1 T_{1m} + b_2 T_{1M} + b_3 T_{2m} + b_4 T_{2M} + b_5 T_{1m} T_{1M} + b_6 T_{3m} + b_7 T_{3M} + b_8 T_{1m} T_{2M} + \\ & + b_9 T_{2m} T_{1M} + b_{10} T_{4m} + b_{11} T_{4M} + b_{12} T_{1m} T_{3M} + b_{13} T_{2m} T_{2M} + \\ & + b_{14} T_{3m} T_{1M} + b_{15} T_{5M} + b_{16} T_{1m} T_{4M} + b_{17} T_{3m} T_{2M} + b_{18}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $T_{1m}, \dots, T_{5m}, T_{1M}, \dots, T_{5M}$ — наименее отклоняющиеся от нуля полиномы Чебышева для меридионального и сагиттального сечений соответственно, b_1, \dots, b_{18} — коэффициенты разложения. Коэффициенты b_1, \dots, b_{18} выражаются через параметры двух вспомогательных лучей.

Важными аргументами в пользу целесообразности использования полиномов Чебышева являются следующие их свойства. Во-первых, из всех полиномов степени n полиномы Чебышева в области $[-1, 1]$ имеют наименьшее отклонение от нуля. Во-вторых, область значений полиномов по модулю не превышает $1/2^{n-1}$. Учитывая вышеизложенные свойства, задача расчёта объектива на этапе аналитико-оптимизационного синтеза может быть сведена к минимизации абсолютных значений коэффициентов разложения по полиномам Чебышева. При этом автоматически минимизируются абберации третьего и пятого порядков для всего зрачка. Кроме того, значения коэффициентов разложения позволяют оценить уровень этих аббераций, то есть контролировать ход процесса при автоматизированном абберационном синтезе. Для минимизации коэффициентов b_1, \dots, b_{18} требуются значительно меньшие вычислительные мощности, чем для минимизации реальных аббераций, полученных из расчёта хода лучей, поскольку для вычисления коэффициентов разложения достаточно рассчитать ход всего двух вспомогательных лучей.

Список литературы:

1. Пискунов Д.Е., Хорохоров А.М., Ширанков А.Ф. Методика автоматизированного синтеза вариообъективов в области аббераций третьего и пятого порядков // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Приборостроение. 2012. Спец. вып. №8 – Современные проблемы оптотехники. С. 36–52.
2. Пискунов Д.Е., Хорохоров А.М. Аналитико-оптимизационный метод абберационного синтеза оптических систем // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/442505.html> (дата обращения 11.07.2014).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,06 мкм НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ФОТОПРИЕМНИКА.

**БАДЕРТДИНОВ Э.Р., ВЛАДИМИРСКИЙ С.В., ДЕНИСОВ И.Г., КОЗЛОВ А.В.,
ЛИПАТОВ В.В., НЕПОГОДИН И.А., НОВИКОВ А.Г., ФИЛИППОВ В.Л.**

ОАО «НПО «ГИПО», г. Казань

E-mail: npogipo@tnpko.ru

В системах, использующих лазерную подсветку (целеуказание, дальномеры), с длинами волн 1,06 и 1,54 мкм одной из важных задач является настройка и юстировка канала лазерного излучения с визуализатором (камерой). С развитием современной элементной базы стали доступными матричные фотоприёмные устройства на основе InGaAs, со спектральной чувствительностью в диапазоне 0,9-1,7 мкм. Матрицы имеют высокую чувствительность и большой формат, что обеспечивает возможность использования их в системах наведения с лазерной подсветкой.

В работе показана система визуализации лазерного излучения на основе фотоприемника формата 640x512. В данном устройстве реализована система временной синхронизации, в которой импульс лазерного излучения синхронизирован с началом времени экспонирования матрицы, что позволяет увеличить отношение сигнал-шум, и получить устойчивое изображение как лазерного пучка, так и фона.

На рис. 1 представлены изображения совмещенных изображений фона ближнего ИК-диапазона и лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм.



Рисунок 1 а.
*Лазерное пятно на кирпичной трубе,
расстояние 578 м*

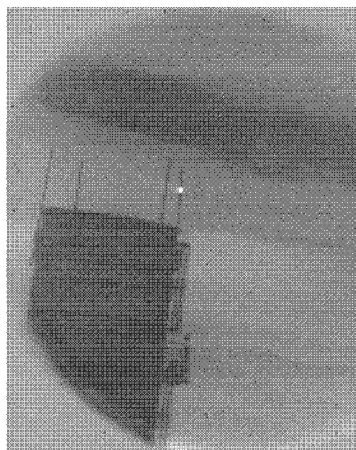


Рисунок 1 б.
*Лазерное пятно на мачте трубы
(металлическая поверхность)*

ОСОБЕННОСТИ ГАБАРИТНО-АБЕРРАЦИОННОГО РАСЧЕТА ОПТИКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ФОТОКАМЕР

РОЖКОВ О.В., ШИРАНКОВ А.Ф.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: ashrankov@mail.ru

Имеющиеся в настоящее время высокоразрешающие CMOS матрицы позволяют реализовать оптическую систему формирования изображения, имеющую минимальные габариты и вес. Это весьма существенно, например, для миниатюрных беспилотников и в ряде подобных случаев фотосъемки. При этом габариты и вес оптико-электронной системы определяются только габаритами матрицы, тогда как основная задача оптика сводится к уменьшению волновых aberrаций объектива до критерия Марешала.

В настоящее время благодаря технологическим успехам микроэлектроники достигнута предельная миниатюризация размеров пикселя CMOS фотоматриц и линеек до $\sim 1...2$ микрон, что соизмеримо с длиной волны излучения видимого диапазона. В этом аспекте рассмотрен вопрос практической реализации потенциальных возможностей таких микроматриц со стороны оптической системы формирования изображения дифракционного качества с размером кружка рассеяния равным кружку Эйри.

Очевидно, что оптимальным размером кружка Эйри является сторона пикселя a (обычно он имеет квадратную форму). Она же определяет предельную пространственную частоту Найквиста $\nu_H = 1/2a$, хотя на практике для исключения эффекта мерцания Келла чаще применяют критерий «квазиНайквист» $\nu_H^* = 1/3a$.

Теперь остается лишь определить рациональное значение относительного отверстия объектива $F\# = D/f$, (где D – диаметр входного зрачка объектива, а f – его фокусное расстояние, обеспечивающее угловое поле для использованной микроматрицы) и исправить aberrации разрабатываемого объектива до критерия Марешала или несколько лучше.

Особняком стоят вопросы дисторсии и спада освещенности к краям кадра, решаемые стандартными приемами. Это же относится и к ахроматизации в пределах заданного ТЗ спектрального диапазона, причем в фиолетовой области спектра эффективно использование фторфосфатных стёкол, тогда как в красной и особенно ИК области стандартные решения пока отсутствуют.

Наиболее сложным является вопрос согласования угла падения наклонных пучков лучей, так как в силу ряда причин все микроматрицы имеют линзовый микрорастр, монотонно сдвигающий пятно от центра матрицы на величину вплоть до половины пикселя с целью компенсации нетелецентричности падающего пучка. Ситуация усугубляется отсутствием таких данных, хотя они прекрасно известны разработчикам матриц и сравнительно просто могут быть измерены экспериментально.

В результате проведенного анализа представляется целесообразным следующий порядок расчета оптики для сверхминиатюрных (меньше $1/8''$) фоторегистаторов.

1. Выбор микроматрицы с размером пикселя порядка 1 мкм и получение данных о законе

сдвига микролинзочек на ее рабочей поверхности, а также толщины и показателей преломления стекла герметизирующего окна.

2. Вычисление фокусного расстояния разрабатываемого фотообъектива по заданному в ТЗ угловому полю и диагонали (или сторонам) выбранной микроматрицы.

3. Выбор типа фотообъектива из известных прототипов на основании данных по линзовому микрорастру на поверхности микроматрицы. Так, например, для телеобъективов приемлемы лишь безсдвиговые растры, для Биотара имеются две разновидности - безсдвиговая (для телецентрического хода лучей) и «расходящаяся», как это имеет место в большинстве объективов данного типа. В случае широкоугольной системы ($2\omega > 50^\circ$) можно использовать только микроматрицы с соответствующим сдвигом микролинзочек, что наиболее проблематично.

4. По известному размеру пикселя a и длине волны λ рассчитывается требуемое относительное отверстие объектива $F\# = 2,44\lambda/a$. Такой объектив при выполнении критерия Марешаля ($w < 0,07\lambda$) обеспечивает в пикселе концентрацию 84% энергии и, соответственно, почти стопроцентный контраст при расположении центра кружка Эйри в центре пикселя. При умеренном контрасте можно вдвое ослабить светосилу, что позволит гораздо легче достичь желаемого результата по коррекции волновых аберраций ($w < 0,07\lambda$). В этом случае достаточно обеспечить $F\# = 5\lambda/a$, что при $\lambda = 0,5$ мкм потребует $F\# = 2$ и сравнительно легко может быть реализовано в стандартном Биотаре, содержащем 6 сферических линз.

В неявном виде вышеописанная методика просматривается в интуитивной разработке Е.О.Ульяновой* светосильного ($F\# = 1,0$) коротко- фокусного ИК объектива (спектральный диапазон 8 – 12 мкм) для легкого беспилотника с неохлаждаемым ФПУ, содержащим 160x120 пикселей размером 35 мкм. При этом на частоте «квазиНайквист» $\nu_H^* = 10$ лин/мм почти достигнут дифракционный предел МПФ с контрастом 0,87 (0,86 – на оси, 0,85 – на поле и 0,82 – в углах), тогда как Найквист $\nu_H^* = 15$ лин/мм при дифракционной МПФ = 0,81 обеспечивает соответственно коэффициент контраста $K = 0,79$ на оси, 0,76 на поле и 0,72 в углах.

Вышеизложенную методику предполагается использовать при разработке шестилинзового Биотара для микроматрицы с размером пикселя 1,2 мкм.

Список литературы:

1. Ульянова Е.О. Широкоугольная оптическая система для беспилотных летательных аппаратов. Сб. трудов IX Международной конференции «Прикладная оптика - 2010», том 1 (1), ГОИ им. С.И. Вавилова, С-Пб, 2010, с.70-73.

ПОДГОТОВКА КОМПЕТЕНТНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ

МАШНИКОВ Н.Н., КНЯЗЕВА М.Д.

Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

E-mail: mashnikovn@mail.ru

В современной парадигме организации образовательного процесса важное место отводится современным компьютерным системам и комплексам, которые снабжены соответствующим программно-инструментальным обеспечением. Результаты обучения и контроля могут накапливаться в процессе производственной деятельности и служить основой для организации системы мониторинга качества образования по выделенным группам специалистов.

Оценка качества профессиональной подготовки специалистов в современных условиях осуществляется с применением компьютерных средств на основе систем тест-контроля. Анализ деятельности предприятий промышленности показывает, что такой контроль носит поверхностный характер и не может однозначно характеризовать профессиональные качества специалистов.

Такие системы и комплексы сегодня применяются при оценке знаний регламентных параметров эксплуатации и не могут оценить качество проектных решений и управления.

Одним из апробированных подходов к решению указанных выше проблем является разработка компьютерных систем, обеспечивающих режим тренировки в различных условиях эксплуатации, включая «проектные» и «запроектные аварийные ситуации». Для решения проблемы обеспечения разработки таких тренажерных комплексов, необходимо применять программно-инструментальные комплексы, в формате которых такие учебные задачи могут быть поставлены в учебные подразделения, обеспечивающие производственную подготовку специалистов и руководителей производственных комплексов и технологического оборудования.

В программно-инструментальном комплексе Универсальный Редактор Обучающих Курсов (ПИК УРОК), который создан для обеспечения учебно-тренировочного процесса, могут быть реализованы различные виды учебных и учебно-тренировочных занятий, включая простейшие учебные модули, предназначенные для обучения персонала проведению отдельных операций по управлению технологическим оборудованием, оценке знаний эксплуатационных параметров и локальных регламентов.

Тренажерные комплексы, реализованные в ПИК УРОК, позволяют обеспечить оценку решений и управления в ситуационных задачах, когда необходимо провести не отдельные мероприятия управления, а, например, спроектировать траекторию вывода системы на безопасный уровень эксплуатации с использованием средств, предоставленных в текущей обстановке. В этом случае для оценки качества квалификации специалиста могут приниматься во внимание результаты выполнения задач по этапам формирования решения, и оказывается возможным проведение анализа частных действий персонала и формирование комплексной

оценки квалификации. Такой подход получил в последнее время название компетентностного подхода к организации оценки качества профессиональной подготовки (обучения).

Достижимые в процессе подготовки результаты, полагаются в основу квалификационной оценки и служат исходными данными для оценки качества организации образовательного процесса и деятельности образовательной системы в целом при проведении аттестационных мероприятий.

Список литературы:

1. *Машиников Н.Н., Князева М.Д., Кольцова Е.Н.* Взаимодействие вузов и работодателей при подготовке специалистов на основе компетентностного подхода // Компетентностный подход в высшем экономическом образовании: сб. научных статей под ред. Поспелова В.К. - М.: Финакадемия. - 2009. - С. 63-67.

2. *Трапезников С.Н., Князева М.Д., Машиников Н.Н.* Интерпретация значений параметров моделирования в системах профессионального образования. // Известия Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2012. № 4 (9). - С. 260-271.

СОТРУДНИЧЕСТВО ОАО «ЛЗОС» И ЛЫТКАРИНСКОГО ИСТОРИКО-КРАЕВЕДЧЕСКОГО МУЗЕЯ В ОБЛАСТИ ВНЕШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ПРОПАГАНДЕ ЗНАНИЙ О КОСМОСЕ СРЕДИ МОЛОДЕЖИ

КАЗАНЦЕВА М.Н.

«Лыткаринский историко-краеведческий музей», г. Лыткарино

Ведущими отраслями, определяющими специализацию города Лыткарино, являются промышленность авиакосмической отрасли, оптическое производство и научная сфера. В Лыткаринском музее сложилась довольно большая коллекция по новейшей истории, связанной со становлением и развитием промышленности Лыткарино.

Сотрудничество музея и завода направлены на общие задачи по формированию устойчивого интереса у детей и молодежи к науке и познанию окружающего мира через изучение астрономии, космонавтики и оптики, а также в целях профессиональной ориентации молодежи.

С 2009 года музей совместно с ЛЗОС осуществляют долгосрочный партнерский проект «Молодежи о космосе». Причинами этого интереса стало два важных события: Международный год астрономии-2009 и 70-летний юбилей ОАО «ЛЗОС». Актуальность проекта была обусловлена тем обстоятельством, что с того же учебного года астрономия была исключена как отдельный предмет из школьной программы.

Совместно с ОАО «ЛЗОС» в стенах музея в 2009 году была подготовлена выставка «Лыткаринский гимн стеклу». Она рассказывала об истории стекольного дела и разных этапах его развития. Особый интерес у посетителей вызвал раздел «Развитие оптической промышленности в России», о первых опытах М.В. Ломоносова с оптическими и цветными стеклами. Большой раздел выставки был посвящен крупным международным проектам ОАО «ЛЗОС» по созданию крупнейших телескопов.

Для привлечения интереса детей и молодежи в рамках проекта была создана интерактивная оптическая лаборатория «Путешествия света в оптических лабиринтах». Используя уникальный опыт и возможности предприятия-партнера ОАО «ЛЗОС», был создан комплекс интерактивных экспонатов. Посетителям была предоставлена возможность самостоятельно провести опыты и наблюдения, а также изучить конструкции некоторых оптических приборов.

В Международный год астрономии-2009 в музее начал работать детский Клуб любителей астрономии для школьников города. Основой образовательной программы детского Клуба любителей астрономии является последовательное, непрерывное и увлекательное изложение материала, что позволяет поддержать у детей и подростков устойчивый интерес к изучаемой теме и формирует стройную систему знаний по астрономии, истории космонавтики и основам оптической науки. Много времени отводится практическим занятиям.

Большую помощь в организации работы Клуба оказал ОАО «ЛЗОС», который обеспечил Клуб наблюдательными оптическими приборами – телескопом, подзорными трубами высокой кратности, персональным планетарием. На практических занятиях ребята с помощью конструкторов «Юный оптик», выпускаемых на заводе, с большим интересом собирают

простые оптические инструменты, изучают их оптические схемы. Благодаря спонсорской помощи завода для Клуба была закуплена учебная литература, конструкторы из серии научных развлечений для самостоятельной исследовательской работы.

По инициативе Лыткаринского музея в 2009 году в Лыткарино впервые был организован городской конкурс детского космического рисунка «Путешествие во Вселенной», спонсором которого стал ОАО «ЛЗОС». В настоящее время конкурс проводится раз в два года и уже стал традиционным. Номинации каждого конкурса меняются и посвящаются важным юбилейным датам в истории астрономии и космонавтики. Число участников конкурса год от года растет.

В 2011 году, отмечая со всей страной 50-летие полета Юрия Гагарина в космос, Лыткаринский музей совместно с ОАО «ЛЗОС» провел ряд совместных мероприятий для школьников города. Были организованы экскурсии на завод, где они могли ознакомиться с выставкой «ЛЗОС – для изучения космоса» в одном из цехов и получили редкую возможность увидеть уникальное производство изнутри, понаблюдать за работой оптиков и стекловаров, посетить заводской музей.

В апреле 2011 года для старшеклассников и юных астрономов города заводом была организована встреча с Героем России космонавтом С.В. Залётиным. Ребята услышали интересный рассказ о профессии космонавта и смогли задать свои многочисленные вопросы. Встреча произвела незабываемое впечатление на ребят и имела большое воспитательное значение.

В том же году Лыткаринским музеем была проведена открытая интернет-викторина «История Российской космонавтики», для победителей которой ОАО «ЛЗОС» предоставил тематические призы. Люди самого разного возраста приняли в ней участие – школьники и студенты, взрослые и пожилые люди, не только жители Лыткарина, но и других городов.

Ежегодно Лыткаринский музей отмечает Международный день астрономии, День космонавтики, Всемирную неделю космоса. Традиционно на мероприятия приглашаются ведущие сотрудники ОАО «ЛЗОС», которые рассказывают о новостях мирового телескопостроения и о своих новых проектах горожанам и любителям астрономии.

Сотрудничество ОАО «ЛЗОС» и Лыткаринского музея оказалось обоюдно полезным, значительно расширило возможности музея и привлекло внимание молодежи к науке и производству. Без инвестиций в будущие поколения невозможны развитие и прогресс.

МЕТОД ЗАЩИТЫ ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОНА

¹КОЛОМИЙЦЕВ Е. Г., КОЛИНЬКО В. И., САУТКИН В.А.

¹Военная академия воздушно-космической обороны им. Г.К.Жукова, г. Тверь
ОАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева»

E-mail: colomeg@mail.ru, kolinko@zenit-kmz.ru, sautkin@zenit-kmz.ru

Защита оптико-электронных приёмных каналов оптических телескопов в спутниковой астрономии от интенсивного фонового излучения ночного неба имеет большую практическую значимость. Возможность астрономических наблюдений космических объектов (КО) искусственного или естественного происхождения с помощью высокочувствительных оптико-электронных приёмных каналов оптических телескопов (ОТ) зависит от способности алгоритма обработки сигналов выделить полезный сигнал на фоне помехи. Эта возможность определяется динамическим диапазоном фотопреобразователя (ФП), который для существующих типов ФП ограничен. При этом полезным сигналом является величина солнечного светового потока, рассеянного поверхностью наблюдаемого КО. Основным источником помехи для ФП ОТ является излучение фона ночного неба, создаваемое или прямой солнечной энергией, или солнечной энергией, переотражённой поверхностью Луны и рассеянной в атмосфере Земли.

Целью исследования является разработка и анализ алгоритмов обработки оптических сигналов, обеспечивающих адаптивное время накопления смеси «сигнал+фон» до заданного порогового уровня в зависимости от величины фонового излучения без вхождения ФП в режим «насыщения».

Исследование проведено на основе полуклассического подхода, при котором электромагнитные поля, пока они не начали взаимодействовать с атомами материала ФП, рассматриваются как классические, а процесс фотопреобразования рассматривается на основе квантовой теории.

Показано, что если известна величина допустимого числа фотоотсчётов, то при различных уровнях входного светового потока, обусловленного фоновым излучением, в целях недопущения режима «насыщения» ФП время взаимодействия входного светового потока с каждой ячейкой фоточувствительного слоя ФП следует выбирать адаптивно к величине входного светового потока.

При анализе алгоритма обнаружения сигнала на фоне помехи учтены заданные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Обеспечение накопления смеси «сигнал + фон» до порогового уровня обнаружения объекта в течение адаптивного времени может быть осуществлено путём некогерентного накопления фотоотсчётов или путем электронного усиления.

На основании проведенного моделирования показано, что для стандартных матричных ФП возможно обнаружение большинства КО при уровне распределённого фонового излучения, создаваемого лунным светом в период полнолуния.

Список литературы:

1. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. – М.: Наука, 1986.
2. Гудмен Дж. Статистическая оптика. – М.: Мир, 1988.

Секция 2.

Материалы
для изготовления прецизионных
оптических элементов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА СТЕКОЛ ТИПА ОСОБЫЙ ФЛИНТ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

АНТОНОВА И.А., КРЕХОВА Е.Ю., МОЛЕВ В.И., НИКОНОВ А.Б.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: npk-74@lzos.ru

Одним из составляющих апохроматов являются стекла типа особый флинт (ОФ), обладающие пониженной по сравнению с обычными флинтами, относительной частной дисперсией в синей части спектра. Если для большей части марок оптических стекол зависимость относительных частных дисперсий ($P_{x,y}$) от коэффициентов дисперсии (v_e) близка к линейной, то особые флинты лежат вне так называемой нормальной прямой, в минусовой области (см. рис. 1) [1] [2].

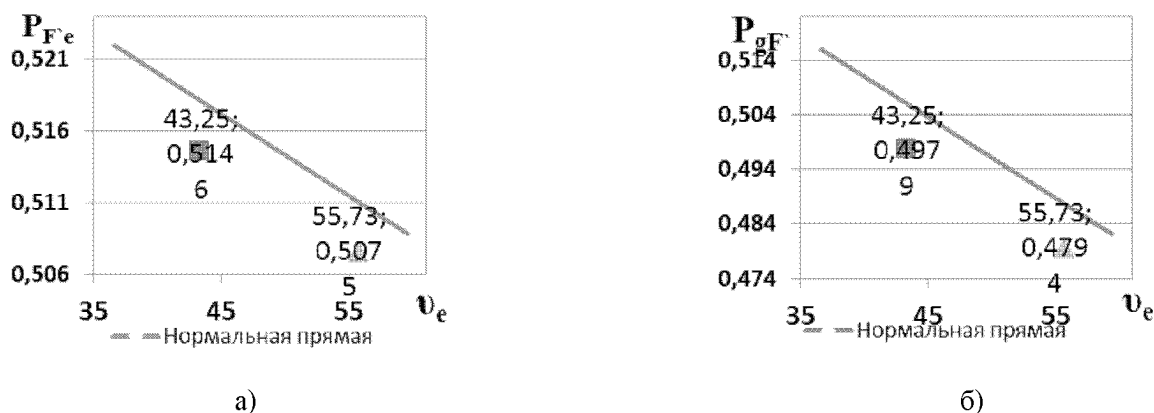


Рисунок 1.
Расположение стёкол ОФ4 и ОФ10 на диаграмме $P \approx f(v_e)$:
а) для участка F-e; б) для участка g-F

Для создания особых флинтов, которые возможно использовать для конструирования апохроматов необходимо:

- во-первых, разработать составы стекол, характеризующихся таким набором свойств, как высокий показатель преломления, большая разница между коэффициентами дисперсии, а также необычный ход дисперсии, сильно отличный от обычных стёкол;
- во-вторых, освоить технологию производства стекол разработанных составов в промышленном масштабе, так чтобы обеспечивалась воспроизводимость необходимого комплекса свойств.

Традиционно составы ОФ с уменьшенными относительными частными дисперсиями разрабатывались на боратной основе. Так, стекло ОФ4 производится на свинцовоборатной основе.

Ранее была установлена перспективность создания флинта на силикоборатной основе с добавлением оксида германия [3], что привело к разработке стекла под маркой ОФ10, которое в паре с известным стеклом марки ОК4 образует совершенный апохромат, благодаря почти равным относительным частным дисперсиям на участках спектра (F'-e) и (g-F'), а также большой разницы в коэффициентах дисперсии (см. табл. 1).

Таблица 1.

Основные характеристики стёкол ОК4 и ОФ10

Характеристика	ОК4	ОФ10
Показатель преломления, n_e	1,44850	1,53381
Средняя дисперсия, $n_F - n_C$	0,00490	0,00957
Число Аббе, ν_e	91,15	55,73
Относительная частная дисперсия для участков спектра		
$F' - e$	0,5069	0,5075
$g - F'$	0,4747	0,4794
Отклонение ν_e от нормальной прямой для участков спектра		
$F' - e$	+28,46	-6,34
$g - F'$	+27,04	-5,50
Плотность, $г/см^3$	3,54	2,53

Освоение производства составов ОФ4 и ОФ10 в промышленном масштабе сопровождается определенными трудностями.

Стекло ОФ4 с высоким содержанием бора и свинца достаточно агрессивно по отношению к платиновым стекловаренным тиглям, поэтому для его производства предложена двухстадийная схема варки. На первой стадии осуществляется навар фритты в керамическом тигле (на основе SiO_2), на второй – окончательная варка фритты в платиновом тигле. Данная технология позволила производить стекло марки ОФ4 со стабильными оптическими параметрами: показатель преломления, n_e - 1,6542^{+1±-2}; средняя дисперсия $n_F - n_C$ - 0,01513⁻⁴; показатель ослабления, μ_a – 0,0006; пузырность, кат – 2Б÷4Б; бессвильность – 85 %.

Основными проблемами в производстве стекла ОФ10 являлись низкий процент бессвильности и опалесценция блоков после грубого отжига. Однако, благодаря использованию специальных технологических приемов и корректировке режима, удалось повысить бессвильность до 85 % и устранить опалесценцию. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию технологии производства ОФ10 на стадии тонкого отжига.

Список литературы:

1. Физико-химические основы производства оптического стекла: под ред. Л.И. Демкиной, Л.: Химия, 1976. С.76-77.
2. Молев В.И. Оптические свойства стекла// Технология стекла. Справочные материалы: под редакцией П.Д. Саркисова и др., М.: 2012. С. 90-124.
3. Венедиктов А.А. //ЖПС. 1969. т.10. №6. С. 969-972.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧАСТКА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МЕШАЛОК ДЛЯ ВАРКИ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

**АНДРИАНОВ Н. Т.,¹ ГАСПАРЯН М. Д.,¹ АНДРЕЕВА Ж. В.,² ЗАХАРОВ А. И.²
ИГНАТОВ А. Н.,³ КОЖЕВНИКОВ А. А.³**

¹ООО ЦИТ «СПЕЦКЕРОКОМ»

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

³ ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: migas56@yandex.ru

Качество оптического стекла определяется составом шихты, чистотой используемого сырья, параметрами варки и качеством огнеприпаса. Для достижения однородности стекломассы, осветления и дегазации при варке ряда стекол используют перемешивание керамическими мешалками. Оборудование для производства мешалок и применяемая для него оснастка имеют значительный износ после длительной эксплуатации и требуют замены на более современные.

Участок производства шамотных мешалок включает в себя участки для подготовки электролита и шликера, помещение для литья мешалок, сушила и гипсомодельный участок.

Анализ применяемой технологии показал, что, помимо замены оборудования для подготовки электролита и шликера, можно существенно модернизировать все участки производства, изменив производственный цикл и уменьшив долю ручного труда.

Наиболее длительная операция в технологическом цикле (исключая высокотемпературный обжиг) - сушка полуфабриката, проходящая в течении более 7 дней. Сушка проводится контактно-конвекционным способом в сушиле без использования контроля температуры и влажности.

Было предложено изменить способ сушки на радиационно-конвективный (прерывистая инфракрасная сушка), позволяющий существенно увеличить скорость нагрева полуфабриката и сократить срок сушки. Известно, что для таких массивных изделий (масса керамической мешалки для стекловаренных горшков объемом 700 л составляет 30 кг), увеличение скорости сушки опасно из-за вероятного возникновения критического градиента влажности, вызывающего так называемую недопустимую усадку. Однако, такая опасность характерна для полуфабрикатов на основе пластичных глин, имеющих после формования и подвялки значительную влажность (12 - 15 %). Для производства керамических мешалок используют многошамотную массу (содержание шамота 60 %), полуфабрикат из которой имеет относительно пористую структуру, облегчающую удаление влаги при сушке, и испытывает небольшие усадки. Кроме того, начальная влажность полуфабриката, поступающего на сушку, не превышает 3 %. Такая влажность меньше критической, т. е. влажности, соответствующей моменту прекращения усадки. Таким образом, сушка полуфабриката, при которой удаляется лишь вода, расположенная в порах структуры, может быть существенно ускорена.

Для проверки выдвинутых предположений были проведены эксперименты в сушиле, оснащенном инфракрасной газовой горелкой. Сушке подвергали полуфабрикаты мешалок, прошедшие предварительную сушку (подвялку) в условиях помещения участка литья. Срок

сушки мешалок до влажности, заданной технологическим регламентом (0,3 %) составил 2 суток. Высушенные полуфабрикаты не имели дефектов (трещин, посечек).

Сокращение срока сушки полуфабрикатов позволит значительно облегчить задачу модернизации участков приготовления электролита, шликера и шликерного литья в гипсовые формы за счет сокращения объема используемых емкостей, уменьшения количества используемых форм и механизации основных операций, требующих сейчас ручного труда.

Перспективными направлениями модернизации применяемой технологии являются совершенствование литьевых форм и замена используемого высокощелочного электролита на менее агрессивный и эффективный.

Совершенствование литьевых форм предусматривает использование других видов гипсовых вяжущих и армирование, что позволит упрочнить форму и уменьшить ее массу.

Изучение реологического поведения используемого шликера показало, что значительная вязкость в сочетании с большим коэффициентом загустевания, затрудняет его длительное использование и автоматизацию процессов приготовления и перекачки. Экспериментальные результаты по применению современных эффективных электролитов показали, что можно добиться существенного снижения вязкости шликера при сохранении основных показателей отлитого полуфабриката.

ВЫБОР МАРОК СТЕКОЛ ДЛЯ АПОХРОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ КОМПЕНСАТОРА В ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫХ СХЕМАХ КУКА

ЗАВАРЗИН В.И., КРАВЧЕНКО С.О., МИТРОФАНОВА Ю.С.

ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: s.kravchenko@zenit-kmz.ru

Одной из схем без центрального экранирования и с увеличенным угловым полем является схема с децентрированным полем изображения - схема Кука (рис. 1). Данный объектив представляет собой анастигматическую оптическую систему, в которой зеркала децентрированы как по апертуре, так и по полевому углу. Недостатком данной схемы является наличия трех внеосевых асферических поверхностей, что в свою очередь накладывает повышенные требования к точности взаимного расположения оптических элементов и, как следствие, сложность механической конструкции, трудности при юстировке и контроле.

Для устранения этого недостатка в объектив может быть введен линзовый компенсатор aberrаций, который оптимально располагать между первым и вторым зеркалом. Чтобы компенсатор оставался осесимметричным и наиболее компактным и не экранировал пучок лучей, идущий в объектив, необходимо располагать апертурную диафрагму всей системы на одной из поверхностей линзового компенсатора, в противном случае нижнюю часть линзового компенсатора необходимо будет отрезать (изготавливать фрагменты линз).

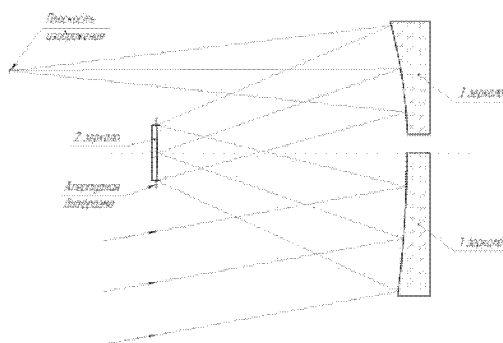


Рисунок 1.
Зеркальный триплет Кука

Для спектрального диапазона 0,45-0,96 мкм рассмотрены комбинации трехлинзового компенсатора из следующих стекол F2, F5, KZFSN5, LF5, N-BAF4, N-BAF10, N-BAF52, N-BAK1, N-BAK4, N-BALF4, N-BK7, N-FK5, N-FK51A, N-KZFS8, N-KZFS11, N-LAF7, N-LAF21, N-LAF33, N-LAK8, N-LAK10, N-LAK14, N-LASF40, N-LASF45, N-PK51, N-PK52A, N-SK2, N-SK4, S-FPL53, BK4, BK10, БФ1, БФ8, БФ11, БФ16, БФ21, БФ25, БФ28, КФ6, ЛК3, ЛК7, ЛФ9, ОК4, ОФ1, СТК3, СТК12, СТК19, ТБФ10, ТК9, ТК12, ТК14, ТК21, ТФ1, ТФ3, ТФ5, ТФ10, Ф1, Ф8.

Условия для получения апохроматической степени коррекции aberrаций для трехлинзового компенсатора из двух или трех различных марок стекол записывается следующим образом:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 1, \quad (1)$$

$$\frac{\varphi_1}{v_1} + \frac{\varphi_2}{v_2} + \frac{\varphi_3}{v_3} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\varphi_1}{v_1} \cdot p_1 + \frac{\varphi_2}{v_2} \cdot p_2 + \frac{\varphi_3}{v_3} \cdot p_3 = 0, \quad (3)$$

где φ_i – приведенные оптические силы тонких компонентов компенсатора, v_i – коэффициенты дисперсии и p_i относительные частные дисперсии оптических материалов компонентов компенсатора.

Для одновременного выполнения условий (1), (2) и (3), необходимо чтобы:

- хотя бы одна из оптических сил трех компонентов была отрицательной;
- коэффициент дисперсии положительного компонента был больше коэффициентов дисперсии отрицательных компонентов.

По данной методике подобраны стекла и рассчитаны компенсаторы, третичные спектры которых сведены в таб. 1.

Таблица 1.

№ комбинации	Отрицательный компонент	Положительный компонент	Отрицательный компонент	Третичный спектр, мкм	Δv_{\max}	Δp_{\max}
1	БФ21	БФ1	БФ21	170	6,7	0,000355
2	КФ6	N-PK51	N-SK4	28	9,5	0,000516
3	КФ6	N-PK51	КФ6	28	9,5	0,000516
4	N-SK4	N-PK51	N-SK4	26	8,8	0,000493
5	N-LAK8	N-PK52A	N-LAK8	26	13,2	0,000296
6	ТФ1	ОК4	ТБФ10	260	30	0,001219
7	ТК12	S-FPL53	N-LAK14	14	17,3	0,001599
8	ТК14	N-PK52A	N-LAK14	18	12,6	0,002382
9	N-LAF33	ТК21	N-LAF33	48	3,4	0,000074
10	KZFSN5	N-BAF10	KZFSN5	70	3,7	0,000040
11	N-LAK8	ТК14	N-LAK8	28	3,2	0,000107

В таблице $\Delta v_{\max} = [(n_C - 1)/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\max} - [(n_C - 1)/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\min}$ – максимальное отклонение коэффициентов дисперсии для соответствующих комбинаций стекол и $\Delta p_{\max} = [(n_C - n_{0,96})/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\max} - [(n_C - n_{0,96})/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\min}$ – максимальное отклонение частных относительных дисперсий для соответствующих комбинаций стекол.

Практика расчетов показала:

1. без применения «особых кронов» получить апохромат с приемлемым значением третичного спектра представляется достаточно сложной задачей. Если удастся найти стекла с очень близкими значениями частных дисперсий (идеальную пару стекол, с разницей частных дисперсий не более 0,0005), то можно обойтись двумя марками стекол;
2. если не удастся найти стекла с очень близкими значениями частных дисперсий, то необходимо выбирать три марки стекла, чтобы частная дисперсия «особого» стекла лежала между значениями частных дисперсий двух других стекол, пример тому комбинация стекол № 7, где частные дисперсии обычных стекол, отличаются от «особого» на 0,002 в разные стороны;
3. для снижения третичного спектра необходимо выбирать стекла с наименьшей частной дисперсией, для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм это стекла групп КФ (KZFSN), ТК (SK), СТК (LAK), FK, LAF, PK;
4. методика дает стабильный результат для получения апохроматической степени коррекции aberrаций линзового компенсатора, если разница между частными относительными дисперсиями стекол не более 0,005.

СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПОВ

АЗАРОВА В.В.¹, ГОЛЯЕВ Ю.Д.¹, ЗАПОТЫЛЬКО Н.Р.¹, КАТКОВ А.А.¹,
КРУГЛЕНЯ П.А.², МАСЛЕННИКОВ О.Ю.², ХВОРОСТОВ В.И.¹

¹ ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва

² ООО «Базовые технологии вакуумных приборов», г. Москва

E-mail: azarova_v_v@mail.ru, zap_nina@mail.ru, a_katkoff@mail.ru

Лазерная гироскопия является одной из стратегически значимых областей науки и техники, определяющих потенциал страны. Возможности лазерной гироскопии, несмотря на достигнутый высокий уровень, далеки от насыщения, и здесь имеются значительные перспективы для развития.

Ключевые параметры лазерных гироскопов определяются не только принципом действия и конструкцией, но также качеством применяемых в них материалов. Основными материалами являются шесть следующих типов:

1. **стеклокерамика**, из которой изготавливаются корпуса, зеркала и другие оптические детали лазерных гироскопов;
2. **пьезокерамика**, с использованием которой изготавливаются корректоры оптической длины лазерного резонатора;
3. **газопоглотители** для удаления остатков всех примесных газов из полости лазера;
4. **материал холодного катода**, эмитирующего электроны плазменного заряда;
5. **особо чистые материалы для напыления** отражающих покрытий лазерных зеркал (кварц, титан, тантал);
6. **полирующие порошки и суспензии**, обеспечивающие атомарно гладкие поверхности подложек зеркал лазера.

В настоящее время российская промышленность не обеспечивает необходимого высокого качества параметров этих материалов, достигнутого зарубежной промышленностью. В итоге разработчики и производители лазерных гироскопов вынуждены либо закупать материалы за рубежом, либо мириться со значениями параметров производимых лазерных гироскопов.

В докладе рассматриваются основные сравнительные параметры материалов в России и за рубежом, приведены основные требования к ним для обеспечения производства и развития лазерной гироскопии и сформулированы предложения по развитию российских материалов.

РАЗРАБОТКА ЦВЕТНЫХ ТЕРМОСТОЙКИХ СТЕКОЛ И ИЗДЕЛИЙ БАНО ДЛЯ САМОЛЕТА Т-50, ОБЛАДАЮЩИХ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НЕЗАМЕТНОСТЬЮ

КАПЛУНОВА А.М., РЯБИНА О.В.

ОАО «ОНПП «Технология», г. Обнинск

E-mail: steklo@technologiya.ru

В настоящее время для самолетов пятого поколения требуются светофильтры со сложной кривизной поверхности, которые используются в бортовых аэронавигационных огнях (БАНО). Они изготавливаются из термостойких красных и зеленых стекол, на которые для обеспечения радиолокационной незаметности самолета необходимо наносить токопроводящее покрытие. Однако после нанесения покрытия сигнал БАНО теряет яркость, так как снижается на 5-6 % интегральное пропускание стекла и изменяются его координаты цветности.

Поэтому актуальна проблема разработки термостойких зеленых и красных стекол с повышенным коэффициентом пропускания и такими координатами цветности, которые после нанесения на изделия токопроводящего покрытия соответствовали бы требованиям МКО, а технологические свойства стекла позволяли получать изделия сложной конфигурации.

Установлено, что для выполнения этих требований необходимо обеспечить у красного и зеленого стекол коэффициент светопропускания не менее 24-26% и изменить цветовую область. Это достигается модификацией состава зеленого стекла оксидами лития и висмута, а для красного стекла изменением соотношения базовых оксидов и концентрации красителей.

Показано, что комплекс факторов (температура эксплуатации, закалка, нанесенная пленка и цветовая температура источника), действующий в различных направлениях и изменяющий светотехнические характеристики цветных стекол, требует тщательного подбора концентрации красителя для изделий из зеленого стекла и температуры вторичной термообработки для изделий из красного стекла.

Разработана технология нанесения на внутреннюю поверхность изделия токопроводящего покрытия из двуокиси олова.

Проведенный комплекс исследований позволил предложить новые составы термостойкого стекла с требуемыми характеристиками для изделий с покрытием, отработать технологии получения сложнопрофильного изделия и нанесения покрытия.

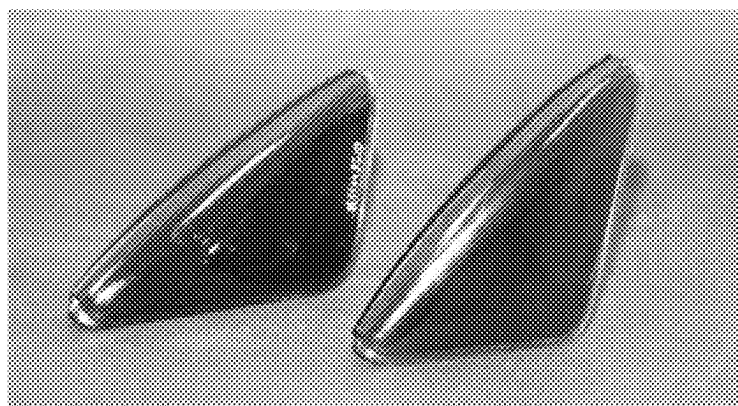


Рисунок 1. Изделия БАНО для самолета Т-50

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВАРКИ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА В ГАЗОВЫХ ГОРШКОВЫХ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

ИГНАТОВ А.Н., ПОВЕРИНОВ М.И., ЕЛИСЕЕВ Е.К.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: npk-74@lzos.ru

Оптическое стекло представляет один из важнейших видов продукции, вырабатываемой стекольной промышленностью. Основная часть оптического стекла производится в газовых горшковых регенеративных печах. Технологический процесс производства оптического стекла в таких печах характеризуется наличием большого количества марок стекла и режимов их варки, на мощностях одной и той же печи и высокими требованиями к качеству готовой продукции.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла» является единственным предприятием на территории РФ, которое выпускает оптическое стекло. В последние годы усилились требования заказчиков к качественным показателям оптических стекол. Одним из основных решений повышения качества оптического стекла является внедрение в производство автоматических систем управления технологическими процессами. Существует несколько причин, исходя из которых считается целесообразным использовать в производстве оптического стекла АСУ ТП. Во-первых, как объект управления стекловаренная печь характеризуется сложностью протекающих в ней физико-химических процессов, наличием интенсивных возмущений, многомерностью и отсутствием автоматического контроля ряда параметров, множеством показателей качества исходного сырья, термической и химической однородностью стекломассы. Второй причиной, способствующей широкому внедрению автоматизации, является высокая стоимость горшковой печи и оптического стекла, по сравнению со стеклом, производимом в других отраслях стекольной промышленности. Стабилизация режимов горшковой печи способствует уменьшению износа огнеупоров, увеличению срока службы оборудования и уменьшению расходов на операции текущего и холодного ремонтов, а также позволяет изготавливать большое количество различных марок оптического стекла при различных режимах варки, в настоящее время на ОАО ЛЗОС производится более 200 марок оптического стекла, без нарушения регламентов технологического процесса, которые приводят к значительным экономическим потерям.

Системы автоматического управления предназначены для:

- автоматического поддержания заданных параметров стекловаренной печи в установленном режиме;
- автоматического контроля технологических параметров с предоставлением данных;
- автоматического управления технологическим оборудованием, входящим в состав системы;
- подачи предупредительной и аварийной сигнализации при выходе регулируемых и контролируемых параметров за заданные пределы;
- дистанционного управления печью в особых случаях (профилактика, ремонт, отработка режимов).

В состав системы входят три информационно-управляющих блока:

- программируемый микропроцессорный контроллер;
- панель оператора;
- информационная система.

АСУ ТП осуществляется на базе централизованных систем управления с распределенной системой сбора информации от датчиков.

Преимуществами данной архитектуры, является:

- снижение себестоимости, по сравнению с распределенной системой управления;
- высокая скорость обработки получаемой информации;
- отсутствие потерь информации при передаче данных.

В качестве управляющего алгоритма используется модернизированный ПИД регулятор с возможностью ручной подстройки коэффициентов в процессе эксплуатации системы. Используется программный алгоритм управления, настроенный на оптимальное быстроедействие и экономичное расходование сжигаемого топлива и затрачиваемой электроэнергии.

В ходе работы по созданию АСУ ТП варки оптического стекла в газовых горшковых регенеративных печах периодического действия был создан и внедрен в производство опытный образец пламенной газовой печи периодического действия с АСУ ТП. Были проведены изменения конструкции печи с целью установки контрольного и управляющего оборудования, в частности установлены современные системы контроля температуры в камере печи, в регенераторах и дымоудаляющих каналах, установлены датчики давления и разрежения марки «Метран» и «АИР», усовершенствована система управления размешивания стекломассы с помощью частотных преобразователей Altivar 61 и Altivar 71, установлены газоанализаторы по кислороду марки «ЭКОН», вся информация обрабатывается с помощью контроллера TSX «Premium» компании «Schneider Electric» и выводится на графическую панель оператора и монитор персонального компьютера, а также заносится в архив. До внедрения технологии автоматизации контроль осуществлялся вручную по следующим параметрам – температуре в камере печи, расходу газа, положении поворотных и отсежного шиберов, температуре воды на охлаждение мешалки, автоматически осуществлялся перевод направления пламени. На данный момент АСУ ТП позволяет контролировать до 42 параметров технологического процесса, в том числе:

- температура газовой среды на уровне кромки сосуда, поверхности стекломассы в стекловаренном сосуде, отходящих газов, температура для выводки печи, воды на выходе после мешалки, воздуха к горелкам, газа к горелкам;

- давление газа до ГРУ, давление газа к печи, контроль герметичности клапанов, разрежение перед правым и левым регулируемыми шиберами, степень открытия регулирующей заслонки газа, расход газа, расход воздуха, частота вращения воздуходувки, содержание кислорода в отходящих дымовых газах;

- степень открытия правого и левого поворотных шиберов, положение перекидного устройства для воздуха, положение правого и левого перекидных шиберов, положение левого и правого газовых перекидных клапанов, положение клапана безопасности, положение блока отсежных газовых клапанов, положение левого клапана естественного подсоса воздуха, положение правого клапана естественного подсоса воздуха;

- скорость вращения мешалки, положение мешалки.

Введение АСУ ТП пламенной газовой печи обеспечило:

- повышение качества стекла по оптическим и физико-химическим свойствам;
- повторяемость: показателя преломления, средней дисперсии и коэффициента дисперсии до 3 категории, оптической однородности до 3 категории, бессвильности, пузырности до 1-2 категорий и др. по ГОСТ 23136-93;
- контроль технологических режимов: по температуре и времени, расходу газа и воздуха, скорости размешивания стекломассы;
- увеличение выхода годного и, как следствие, снижение себестоимости оптического стекла на 10-25%.

ПРОИЗВОДСТВО НЕОДИМОВОГО ФОСФАТНОГО СТЕКЛА ДЛЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

АВАКЯНЦ Л.И., ИГНАТОВ А.Н., КРЕХОВА Е.Ю., ЛЕБЕДЕВА В.А.,
ПОЗДНЯКОВ А.Е., СУРКОВА В.Ф., ФРОЛОВА А.В., ХРАМОГИН Д.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: npk-74@lzos.ru

Активные элементы на основе фосфатного стекла активированного неодимом применяются в производстве лазерной техники для создания сверхмощного лазерного излучения.

Лазерные стекла характеризуются более чем 60 параметрами [1]. На ОАО ЛЗОС постоянно ведутся работы по оптимизации комплекса основных характеристик лазерных стекол с учетом их применения, а также по улучшению технологических свойств стекла. Последней разработкой является стекло марки КНФС-3, специально созданное для мощных лазерных установок.

Для получения высокого времени затухания люминесценции, при концентрации ионов неодима $3,5 \times 10^{20}$ ионов/см³, до 310 мкс, был проведен комплекс мероприятий по разработке, внедрению и проведению операции барботирования расплава стекломассы. Среди них: создание специальных климатических условий варки, оригинальной оснастки для барботирования сухим кислородом и др.

Использование специальных сырьевых материалов и чистых условий производства, значительно уменьшило внесение красящих примесей из окружающей среды, и как следствие значительное уменьшение неактивного поглощения на длине волны генерации $\alpha_{\lambda=1053 \text{ нм}}$, до $4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$.

При проведении технологического процесса, на созданной оригинальной стекловаренной установке, уменьшено время варки стекла в металлическом тигле, что привело к увеличению лучевой прочности до 30 Дж/см².

Разработанный состав, технологические процессы и оборудование позволяют получать заготовки со значительно улучшенными традиционными для оптических стекол свойствами: беспузырностью, бессвильностью, отсутствием включений, соответственно категории 2А, 1А.

Подобранный режим тонкого отжига заготовок размерами 850x550x55 мм, на модернизированной промышленной печи, обеспечивает двулучепреломление менее 5 нм/см.

Полученный комплекс параметров полностью соответствует требованиям к лазерным материалам мирового уровня.

Список литературы:

1. Алексеев Н.Е., Гапонцев В.П., Жаботинский М.Е., Кравченко В.Б., Рудницкий Ю.П. Лазерные фосфатные стекла // М. 1980.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОГО СИТАЛЛА С ОСОБЫМ ХОДОМ ЗНАЧЕНИЯ ТКЛР

ИГНАТОВ А.Н.¹, САВИНКОВ В.И.², СТРОГАНОВА Е.Е.², СИГАЕВ В.Н.²

¹ ОАО «Лыткринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

² Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

E-mail: vlad.sigayev@gmail.com

Для современных навигационных технологий на смену электромеханическому гироскопу пришли оптико-электронные системы с цифровым анализом без механических подвижных частей – лазерные кольцевые гироскопы. Важнейшим фактором, влияющим на качество их работы, является стабильность длины оптического канала в широком интервале температур. Пассивные методы стабилизации периметра предполагают изготовление несущей конструкции резонатора из оптически прозрачных стеклокристаллических материалов (ситаллов), обладающих близким к нулю температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР).

Известен ряд стеклокристаллических оптических материалов, принадлежащих системе $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, освоенных в промышленных масштабах, которые содержат в своем составе кристаллическую фазу - твердые растворы на основе β -кварца, обеспечивающую низкие значения ТКЛР $\alpha = -15 \div +15 \cdot 10^{-7}/^\circ\text{C}$ в диапазоне температур – 60 - +160°C. По данным каталогов фирм-производителей такие материалы как Vision® (Corning, США) Zerodur® и Ceran® (Schott, Германия) Neoceram™ N-0 (Nippon Electric Glass, Япония), CO-33 и CO 115M (соответственно ГОИ и ЛЗОС, Россия) обладают необходимым сочетанием характеристик, а оптическое пропускание в видимой области спектра составляет не менее 70% при толщине 5 мм. Существенным недостатком этих материалов является изменение знака ТКЛР в интервале от – 60 до +160°C при переходе из отрицательных эксплуатационных температур в положительные. Для ситалловых стекол характерны высокие температуры варки (до 1650°C), что затрудняет их промышленное использование из-за разрушения огнеупорных материалов стекловаренных печей и (или) стекловаренных сосудов и мешалок в процессе варки и гомогенизации расплава.

В связи с указанным выше остается актуальной задача оптимизации состава и способа получения при температурах не превышающих 1600°C оптически прозрачного в видимой области спектра стеклокристаллического материала со стабильной и близкой к нулю величиной ТКЛР в широком диапазоне температур от – 100 до +400°C.

Нами установлено, что более высокую степень оптической однородности сырьевого стекла удается получить, используя двухстадийную технологическую схему варки. При этом на первом этапе корундовый тигель с исходной шихтой подвергают термообработке в электрической печи при температуре 1200°C в течение 4 ч. После охлаждения образовавшийся спек выгружают из тигля и производят помол в шаровой мельнице до образования однородного мелкодисперсного порошка. Затем подготовленный порошок загружают в корундовый тигель и проводят варку стекла в соответствии с технологическим режимом в электрической печи шахтного типа в котором добавлен этап выдержки при температуре 1550°C в течение 4 ч для

основного провара стекломассы, после которого производят подъем температуры до 1590°C для осуществления ее осветления и гомогенизации. Такой режим наиболее адекватен традиционному для оптического стекловарения режиму варок в промышленных масштабах. После выработки стекломассы форму со стеклом помещали в разогретую до 500°C муфельную печь и выдерживали в течение 4 ч. После грубого отжига следовал этап отжига при инерционном охлаждении печи и выгрузки отливки стекла при температуре не выше 30°C.

Определена область составов стекол системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, в которой возможно получение оптических ситаллов с нулевым ТКЛР в широком интервале температур при указанных выше технологически приемлемых условиях варки. Эта область располагается вблизи многокомпонентного состава на основе системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, содержащего дополнительно P_2O_5 , CaO , MgO , BaO , ZnO , нуклеаторы кристаллизации TiO_2 и ZrO_2 и As_2O_3 в роли осветлителя стекломассы. Опытным путем установлено оптимальное соотношение оксидов для расчета и подготовки шихты. В присутствии оксида сурьмы происходит дополнительное снижение вязкости расплава и улучшаются условия осветления стекломассы, причем совместное введение оксидов мышьяка и сурьмы от 1,25 до 4 масс.% приводит к практически полному осветлению стекла. Указанные пределы изменения химического состава исходного стекла сохраняют полезные свойства разработанного материала.

Термообработка по двухстадийному режиму кристаллизации стекол привела к получению оптически прозрачных ситаллов со значением ТКЛР на уровне от 0 до $-1,5 \cdot 10^{-7} \text{1/K}^{-1}$, не меняющим знака в интервале температур от -100°C до $+400^\circ\text{C}$.

СОЗДАНИЕ МАЛОТОННАЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭЛЕКТРОВАКУУМНОГО СТЕКЛА С 48-3

ИГНАТОВ А.Н., ПОЗДНЯКОВ А.Е., СУРКОВА В.Ф., ВСЕЕВА Т.О., КОШКОВ С.В.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: npk-74@lzos.ru

В результате проделанной работы была создана и оптимизирована малотоннажная эффективная технология производства высококачественного электровакуумного стекла марки С 48-3 взамен существующей ранее крупнотоннажной, но малоэффективной и дорогостоящей технологии производства.

На первом этапе была сделана попытка сварить высокотемпературное стекло С 48-3 по традиционной для оптического стекловарения технологии варки с использованием газопламенной печи в керамическом 700 л горшке при максимально допустимой температуре варки 1600°C. Однако данный способ варки не привёл к положительному результату.

После чего была предложена идея двух стадийной варки стекла марки С48-3. Первая стадия варки происходила в керамическом горшке с последующим изготовлением фритты. Вторая стадия заключалась в переваре полученной фритты в платиновом тигле. Для интенсификации процесса осветления в этом случае применялось вакуумирование стекломассы [1].

Однако, эксплуатация тигля при температурах близких к 1530 °С (допустимая температура эксплуатации платины) привела к увеличению коррозии материала тигля, частицы которого попадали в стекломассу. Что приводило к ухудшению качества отлитых стеклоблоков и увеличенным потерям материала тигля.

Для получения заготовок стекла С48-3 необходимого качества было важно найти оптимальные величины температуры варки, времени варки и глубины вакуумирования, чтобы избежать попадания большого количества включений при допустимом количестве пузырей.

После проведения экспериментальных варок и оптимизации процесса варки был разработан режим варки стекла позволяющий увеличить выход годного стекла с 10 до 60 %, а также снизить потери материала тигля на 30 %. Также было установлено, что зависимость изменения абсолютного давления над расплавом от времени вакуумирования изменяется по логарифмическому закону.

Список литературы:

1. И.И. *Китайгородский*. Стекло и стекловарение // Гос. Издательство литературы по строительным материалам, 1950. – 223 с.

ОСОБЕННОСТИ ВАРКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦВЕТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, ОКРАШЕННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ CDS•CDSE

ГУЛЮКИН М.Н., ИГНАТОВ А.Н., МОГИЛЬНАЯ Л.Г., ФИРСОВА Ю.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: npk-74@lzos.ru

С 1957 года ОАО ЛЗОС начал осваивать цветные оптические стекла, окрашенные селено-кадмиевыми красителями. Первоначальные промышленные варки осуществлялись в 80-е годы на СВЧ электроустановках ВЧС-250 и ЛПС-500 в шамотных и кварцевоглинянных сосудах объемом 500 л. В связи с модернизацией производства и переходом на более экономичное оборудование, в 90-е годы варки начали проводить в газовых печах. В настоящее время спросом пользуются заказы на поставки стекол в малых объемах, но широкой номенклатуры, часто со специальными характеристиками, выходящими за пределы нормативной документации (ГОСТ 9411-91 «Стекло оптическое цветное»). В связи с этим в данной работе была поставлена задача: получить стекло марки ОС23-1, окрашенное наночастицами CdS•CdSe, I категории с показателем поглощения при длине волны 530 нм больше 2-х, отработать технологический процесс получения данной марки стекла в электрической малотонажной стекловаренной печи.

Проблемными вопросами при получении стекол, окрашенных сульфоселенидами кадмия, являются: высокая чувствительность данного типа стекол к условиям варки (атмосфера в печи, давление газа в печи, температурные колебания), сохранение сильнолетучих красителей, обеспечивающих цветовой тон и оптические параметры стекла, сохранение однородности стекла по окраске во всем объеме. Из-за сложности технологического процесса не удавалось в газовых печах получить стабильные характеристики стекла.

Для решения поставленных целей ОАО ЛЗОС был разработан и создан комплекс оборудования:

- печь отжига-наводки заготовок стекла с минимальным градиентом температуры в рабочей зоне;
- электрический пресс для обесцвечивания заготовок стекла;
- автоматизированы измерительные установки для контроля оптических характеристик стекла.

В процессе работы:

- были разработаны и отработаны режимы варки стекла в малотонажной электрической стекловаренной печи АТЕЛ с косвенным нагревом в стекритовых сосудах объемом 50 л и режимы отжига блока стекла;
- получены и исследованы опытные образцы;
- подобраны режимы для повторной термообработки заготовок;
- отработаны температурные параметры для обесцвечивания заготовок, полученных по горячему каналу;
- проведен ряд опытно-промышленных варок в электрической печи АТЕЛ;
- было определено содержание восстановителей, вводимых в шихту, для обеспечения необходимой атмосферы в печи, что позволило снизить улетучивание красителей, и повысило возможность образования красящего комплекса;
- данные химического анализа, полученных варок, позволили оптимизировать содержание сульфоселенидов кадмия для получения стекла с заданными оптическими параметрами (см. табл.).

Таблица 1.

Полученные результаты					
химического анализа, % масс				оптических параметров	
красители тип печи	Cd ²⁺	Se	S ²⁻	Кр, при $\lambda=530$ нм	$\lambda_{пр}$, нм
ВЧС250, ЛПС500	0,47-0,69	0,23-0,30	0,13-0,20	≥ 2	560
Газовая печь	0,33-0,55	0,20-0,30	0,20-0,37	$\leq 2,2$	≤ 568
ATEL	0,68-0,70	0,18-0,22	0,13-0,16	≥ 2	560

Заключение:

Варка стекла в электрической печи позволила стабилизировать атмосферу в процессе варки, а её окислительно-восстановительный потенциал регулировать за счет введения восстановителей в шихту.

При использовании стекритовых стекловаренных сосудов объемом 50 л удалось получить высокооднородное и бесвильное стекло. В результате чего ликвидирована оптическая неоднородность блоков стекла, вышедших после отжига, что повысило выход годного стекла и качество после наводки.

В результате перехода варки стекла марки ОС23-1 с газовой печи на малотонажную электроустановку с косвенным нагревом удалось получить стекло с показателем поглощения >2 при длине волны равной 530 нм.

КОНТРОЛЬ ОПТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

ВЕНЗЕЛЬ В.И., ГОРЕЛОВ А.В., ОБРАЗЦОВ В.С., СИНЕЛЬНИКОВ М.И.,
ЕГОРОВА Е.С., КУЗНЕЦОВА Н.Я., ЛАВРЕНТЬЕВ Е.С.

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения,
г. Сосновый Бор

E-mail: ovs@sbor.net

Данное сообщение посвящено описанию: а) разработанных и изготовленных нами устройств контроля однородности ИК оптических материалов с помощью дифрактометрического и интерферометрического методов, б) экспериментальных результатов по контролю этого параметра.

Дифрактометрический метод основан на измерении снижения полихроматической функции передачи модуляции эталонного объектива дифракционного качества при вводе в параллельный пучок полированной заготовки [1-2].

Интерферометрический метод основан на измерении на выходе полированной заготовки деформаций плоского волнового фронта, обусловленных наличием неоднородности показателя преломления [3].

Для реализации дифрактометрического метода в ОАО «НИИ ОЭП» разработана установка с коллиматором, в котором объективом служит внеосевое параболическое зеркало. Основные технические характеристики дифрактометрической установки: спектральный диапазон 3 – 14 мкм, световой диаметр коллиматора 250 мм, фокусное расстояние коллиматора 1750 мм, относительное отверстие эталонных объективов - 1/2, погрешность измерения ФПМ - 0,05.

Интерферометрические установки созданы на базе инфракрасных интерферометров ИКИЗ,5 и ИКИ10 [4]. Основные технические характеристики интерферометрических установок: рабочие длины волн 3,39 и 10,6 мкм, световой диаметр коллиматора 250 мм, среднеквадратичная погрешность определения оптической однородности $3,4 \times 10^{-5}$.

На интерферометрических установках можно реализовать следующие методы измерения оптической однородности: 1) метод прохождения [5], 2) метод переворачивания [5], 3) метод ЛЗОС [6], 4) метод ГОИ [7].

Сравнительный анализ погрешностей измерения показал, что наибольшей точностью обладают методы ЛЗОС и прохождения.

Нами обычно используется метод прохождения, который имеет несколько большую погрешность, однако позволяет расширить допуски на форму поверхностей заготовки и угол клина по сравнению с методом ЛЗОС.

Для характеристики неоднородности мы используем подход, предложенный в ГОИ им. С.И. Вавилова в 1995-2000 годах.

Этот подход, аналогично ГОСТ 23136-78, определяющему требования к оптическим материалам в видимой области спектра, использует оценку заготовок для ИК области спектра в виде пяти категорий в зависимости от сферичности D , зональной ошибки B_4 , среднеквад-

тической деформации асимметричных составляющих волнового фронта $RMS(W-Z)$) и среднеквадратической деформации волнового фронта относительно ближайшей плоскости сравнения RMS_F .

В этом же подходе используется оценка заготовок по дифракционному критерию в виде пяти категорий по коэффициенту потери качества изображения на зачетной частоте.

Мы исследовали влияние оптической неоднородности заготовок монокристаллического германия с включением поликристаллических областей на деформации волнового фронта в зависимости от длины волны. Результаты интерферометрического контроля показывают, что наличие таких областей приводит к появлению дислокаций волнового фронта [8]. Увеличение рабочей длины волны приводит к уменьшению топологического заряда дислокации.

На основании результатов дифрактометрического контроля можно сделать заключение, что заготовки, интерферограммы которых содержат участки дислокаций с топологическим зарядом от единицы и более, не могут использоваться для изготовления даже однолинзовых объективов дифракционного качества в спектральном диапазоне.

В настоящее время в России существующие нормативные документы нормируют только размер поликристаллических областей периферийной части монокристаллического слитка в процентах от диаметра (см., например, ТУ-48-4-522-89 «Кристаллы германия оптические»). Эффективная организация производства высококачественных оптических систем ИК-диапазона невозможна без включения в ТУ производителей оптических материалов параметров оптической однородности в виде категорий (по аналогии с ГОСТ 23236-78 для оптического стекла).

Список литературы:

1. *G. Gafni, M. Azoulay, C. Shilon et al.* Optical Engineering, 1989, vol.28, No. 9, 1003-1008.
2. *Л.В. Васильева, О.А. Лебедев, В.С. Нужин и др.* Оптический журнал, 2003, т.70, №4, 72-75.
3. *R.E. Gaskin, C. Lewis.* Opt. Acta, 1980, vol.27. No9. 1287-1294..
4. *Вензель В.И., Горелов А.В.* Оптический журнал, том 75, 2008, № 11, стр. 47-49.
5. *Chiayu Ai, James C. Wyan.* Measurement of the inhomogeneity of a window, OPTICAL ENGINEERING, 1991, vol. 30 No. 9, 1399-1404.
6. *М.А. Абдулкадыров, С.П. Белоусов, А.П. Семёнов, В.Е. Патрикеев.* Интерференционный метод контроля неоднородности оптических стекол, Оптический журнал, 1997, т.64, №12, 96-97.
7. *М.А. Ган, В.В. Котов, С.И. Устинов, С.И.* Безиммерсионный метод контроля однородности крупногабаритных заготовок оптических материалов, СПб, Сборник трудов 6 Международной конференции «Прикладная оптика», 2004, т.3, с.190,
8. *I.V. Basistiy, MS. Soskin, M.V. Vasnetsov.* Optical wavefront dislocations and their properties, Optics Communications 119 (1995), 604-612.

ПРОСТРАНСТВЕННО-СЕЛЕКТИВНЫЙ НАГРЕВ И РОСТ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В СТЕКЛЕ С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА

ЛОТАРЕВ С. В.,¹ ЛИПАТЬЕВА Т. О.,¹ ЛИПАТЬЕВ А. С.,¹
СИГАЕВ В. Н.,¹КАЗАНСКИЙ П. Г.^{1,2}

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

² Университет Саутгемптона, г. Саутгемптон, Великобритания

E-mail: sergey_lot@mail.ru

Фемтосекундные лазеры стали эффективным инструментом модифицирования прозрачных диэлектриков с разрешением вплоть до субмикронного за счет эффекта нелинейного поглощения в сильном световом поле. В последние годы продемонстрирована возможность локальной кристаллизации стекла фемтосекундным пучком [1] – прежде всего, с выделением активных фаз, чьи нелинейно-оптические или люминесцентные свойства представляют интерес для применений в фотонике и интегральной оптике. Однако для реализации теплового эффекта от облучения требуется высокая частота следования импульсов, при которой тепловая энергия, полученная средой от отдельного импульса, не успевает полностью рассеяться до прихода следующего импульса - до сих пор считалось, что нижний предел частоты следования импульсов, необходимый для роста кристаллов в матрице стекла, составляет около 200 кГц [1,2].

В представленной работе с помощью фемтосекундного лазера ТЕТА с длиной волны 1030 нм, длительностью импульса 290 фс, средней мощностью до 5 Вт и частотой следования импульсов до 100 кГц была осуществлена локальная кристаллизация стекла состава $25\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 25\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 50\text{GeO}_2$, в котором ранее демонстрировалось формирование текстурированных кристаллических линий нелинейнооптической фазы LaBGeO_5 фемтосекундным пучком с частотой следования импульсов 250 кГц [3].

Установлено, что минимальная частота следования импульсов, при которой возможен рост кристалла в исследуемом стекле при облучении неподвижным пучком, уменьшается с увеличением энергии импульса, и для максимального ее значения, доступного нам (120 мкДж), удалось получить кристаллы на частоте 9 кГц. При этом время облучения, после которого в стекле начинает расти микрокристалл, невелико при мощности облучения выше некоторого порога, а ниже этого значения резко увеличивается и имеет значительный разброс (рис. 1). Также обнаружена обратная экспоненциальная зависимость этого времени от частоты следования импульсов (рис. 2).

После формирования микрокристаллического зерна неподвижным пучком перемещение фокуса пучка в объеме стекла со скоростью порядка единиц-десятков мкм/с позволяет вырастить из него непрерывную кристаллическую линию. Минимальная необходимая для этого частота следования импульсов составила 8 кГц, а начиная с 25 кГц в глубине стекла движущимся пучком удавалось формировать протяженные квазимонокристаллические каналы LaBGeO_5 с ориентированной вдоль направления линии полярной осью. Данные каналы представляют потенциальный интерес как основа интегральных нелинейно-оптических волноводов. В дальнейшем предполагается исследовать их волноводные свойства.

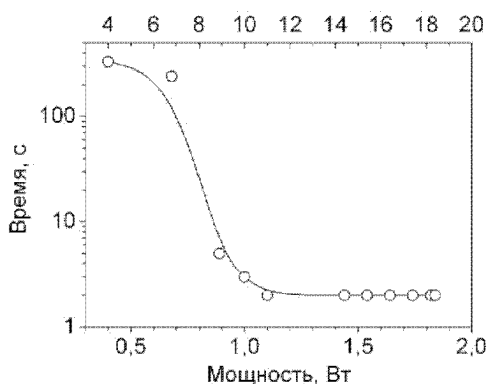


Рисунок 1.
Зависимость времени появления микрокристаллов $LaBGeO_5$ от средней мощности лазерного пучка при облучении без дополнительного подогрева стекла

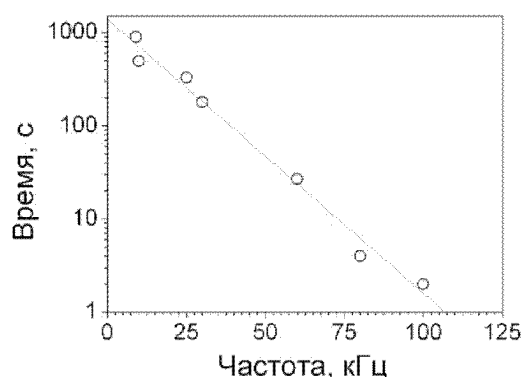


Рисунок 2.
Зависимость времени возникновения микрокристаллов $LaBGeO_5$ от частоты следования импульсов при средней мощности лазерного пучка 1 Вт

Таким образом, в данной работе удалось снизить частоту следования импульсов, требуемую для реализации эффекта лазерного нагрева и формирования непрерывных микрокристаллических структур в стекле более чем на порядок по сравнению с прежними исследованиями.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант 14.Z50.31.0009) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 13-03-01018 и 14-03-00931).

Список литературы:

1. K. Miura, J. Qiu, T. Mitsuju, K. Hirao. Space-selective growth of frequency-conversion crystals in glasses with ultrashort infrared laser pulses *Opt. Lett.*, 25, 408-409 (2000).
2. X. He, C. Fan, B. Poumellec, Q. Liu, H. Zeng, F. Brisset, G. Chen, X. Zhao, M. Lancry. Size-controlled oriented crystallization in SiO_2 -based glasses by femtosecond laser irradiation // *J. Opt. Soc. Am. B*, **31**, 376-381 (2014).
3. A. Stone, M. Sakakura, Y. Shimotsuna, G. Stone, P. Gupta, K. Miura, K. Hirao, V. Dierolf, H. Jain. Directionally controlled 3D ferroelectric single crystal growth in $LaBGeO_5$ glass by femtosecond laser irradiation // *Opt. Exp.*, **17**, 23284-23289 (2009).

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СТЕКЛА В СИСТЕМЕ $R_2O-Ga_2O_3-SiO_2-GeO_2$ ($R_2O = Li, Na$)

ГОЛУБЕВ Н.В.¹, ИГНАТЬЕВА Е.С.¹, ПАЛЕАРИ А.^{1, 2}, ЛОРЕНЦИ Р.², АЗАРБОД А.², СИГАЕВ В.Н.¹

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

²Университет Милана-Биккока, г. Милан, Италия

E-mail: golubev_muctr@mail.ru

Прозрачные стеклокристаллические материалы (ПСКМ) представляют значительный интерес для различных областей оптоэлектроники и фотоники. Изменяя в стекле объёмную долю, размеры кристаллов и легируя их различными ионами, удается управлять оптическими свойствами материала, что открывает новые возможности для разработки лазерных и люминесцентных сред. Особый интерес представляют ПСКМ на основе кристаллов полупроводниковой фазы Ga_2O_3 , которая обладает большой шириной запрещенной зоны (до ~ 5 эВ), способностью люминесцировать в видимой части спектра, а при легировании ионами переходных металлов – в ближней ИК-области.

На основе данных, полученных методами рассеяния нейтронов под малыми углами, электронной микроскопии высокого разрешения, инфракрасной спектроскопии, нами описан процесс зарождения и развития нанонеоднородностей в малощелочных галлиевосиликогерманатных стеклах [1]. Впервые получены трехмерные спектры люминесценции этих стекол, включающие три основных полосы с максимумами при ~ 350 , 460 и 530 нм. Показано, что возникновение наиболее интенсивной люминесценции в синей области спектра связано с собственными дефектами фазы $\gamma-Ga_2O_3$, и предложена схема энергетических уровней и электронных переходов в нанокристаллах $\gamma-Ga_2O_3$ [2]. Широкополосная люминесценция в ближней ИК-области и низкая чувствительность к природному УФ фону обуславливают перспективность наноструктурированных галлиевосиликогерманатных стекол для разработки на их основе волоконных усилителей и солнечно-слепых конверторов соответственно.

Список литературы:

1. Sigaev V.N., Golubev N.V., Ignat'eva E.S., et al. Native amorphous nanoheterogeneity in gallium germanosilicates as a tool for driving Ga_2O_3 nanocrystal formation in glass for optical devices. *Nanoscale* 5 (2013) 299.
2. Sigaev V.N., Golubev N.V., Ignat'eva E.S., Paleari A., Lorenzi R. "Light-emitting Gaoxide nanocrystals in glass: a new paradigm for low-cost and robust UV-to-visible solar-blind converters and UV emitters". *Nanoscale* 6 (2014) 1763.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ФОСФАТНОГО СТЕКЛА С НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА СВЕРХКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

ЛИПАТЬЕВ А.С.¹, ЛОТАРЕВ С.В.¹, ЛИПАТЬЕВА Т.О.¹, САВИНКОВ В.И.¹,
ШАХГИЛЬДЯН Г.Ю.¹, КАЗАНСКИЙ П.Г.^{1,2}, СИГАЕВ В.Н.¹

¹ Международный центр лазерных технологий, РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

² Саутгемптонский университет, г. Саутгемптон, Великобритания

E-mail: lipatievas@yandex.ru

Оксидным стеклам, содержащим наночастицы золота, серебра, меди и обладающим высокими значениями нелинейной оптической восприимчивости третьего порядка уделяется значительное внимание ввиду перспектив их использования как материалов для создания управляющих электрооптических элементов в оптоэлектронных устройствах, а также для полностью оптических интегральных схем [1]. Эффект поверхностного плазмонного резонанса, возникающий при включении наночастиц металлов в стекломатрицу, проявляется в виде широкой полосы поглощения в видимом диапазоне и влияет на нелинейно-оптические свойства стекол [2]. Повышенный интерес для создания локальных структур из наночастиц металлов в объеме и на поверхности стекла стимулируют методики облучения фемтосекундным лазерным пучком [3].

В данной работе продемонстрировано локальное формирование наночастиц золота в объеме оптического фосфатного стекла с применением иттербиевого фемтосекундного регенеративного усилителя ТЕТА-100, излучающего импульсы длительностью ~300 фс и энергией до 110 мкДж с частотой следования до 100 кГц на длине волны 1029 нм. Лазерный пучок фокусировался вглубь стекла с помощью оптимизированного для ближнего ИК диапазона объектива Olympus LCPLN X20 с числовой апертурой 0,45. Модифицированное лазерное фосфатное стекло ранее разработанного в РХТУ им. Д.И. Менделеева состава (мол.%) $64.49\text{P}_2\text{O}_5$ - $8.82\text{K}_2\text{O}$ - 10.74BaO - $8.45\text{Al}_2\text{O}_3$ - $4.80\text{B}_2\text{O}_3$ - 2.38SiO_2 - 1.02SnO_2 с добавкой 0,01 масс.% Au изготавливалось по технологии, подробно описанной в [4, 5]. Образцы для лазерного облучения помещались в миниатюрную электрическую печь, обеспечивавшую нагрев образца до 300°C, и вместе с печью перемещались на моторизованном столике перпендикулярно пучку по заданной траектории с постоянной скоростью.

Последовательное сканирование фемтосекундным лазерным пучком со скоростью 1 мм/с при частоте следования импульсов 1 кГц на глубине ~600 мкм стекла приводило к образованию областей с измененным показателем преломления и розовой окраской. Чем больше была средняя мощность лазерного излучения, тем более интенсивной была окрашена область. Однако при выдержке образца стекла в печи при температуре 300°C в течение 20 мин данная окраска исчезала. Аналогичные результаты были получены для фосфатного стекла, не легированного золотом. Следовательно, появление окрашенных участков под действием лазерного облучения не связано с выделением наночастиц металла, а обусловлено образованием дефектов (центров окраски) в структуре стекла, которое ранее демонстрировалось для силикатных стекол [6].

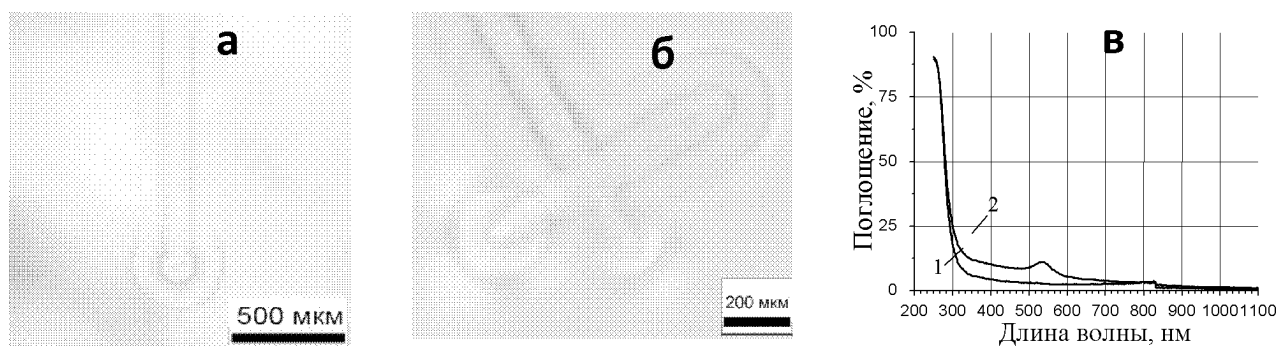


Рисунок 1.
Вид сбоку на одиночную (а) и пересекающиеся (б) полосы с наночастицами золота

Рисунок 2.
Спектры поглощения (в):
1 - исходного образца и
2 - облученной лазером
площадки стекла

В результате облучения фосфатного стекла лазерным лучом с частотой следования импульсов от 25 до 100 кГц и скорости сканирования пучком лазера 15 мкм/с были получены каналные структуры с областями розового цвета по краям (рис. 1а,б). Сравнение спектров поглощения исходного стекла и области, полученной с помощью последовательного сканирования сфокусированным фемтосекундным пучком, выявило появление полосы поглощения с максимумом на 534 нм, характерной для поверхностного плазмонного резонанса наночастиц золота. Розовая окраска не исчезала после термообработки при 300°C в течение 1 ч, что дополнительно подтверждает выделение наночастиц золота. При этом окраска возникала в периферийных областях, нагреваемых за счет теплопередачи, и, напротив, не наблюдалась в непосредственно подвергшейся лазерному облучению центральной области. Кроме того, повторное сканирование лазерным пучком ранее модифицированной области не приводило к формированию наночастиц Au (рис. 2в). Из рис. 2в видно, что сфокусированным лазерным лучом можно растворять сформированные наночастицы.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность локального формирования наночастиц золота в фосфатном стекле с помощью фемтосекундного лазерного пучка. Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0009) и РФФИ (гранты 14-03-31587 и 13-03-01018).

Список литературы:

1. *Chakraborty P. J. Mater. Sci.* (1998) V. 33, No. 9, P. 2235-2249.
2. *Shin J. et al. Appl. Phys. A* (2008) V. 93, No. 4, P. 923-927.
3. *Teng Yu et al. J. Non-Cryst. Solids* (2011). – Vol. 357. – P. 2380–2383.
4. *Sigaev V.N. et al. Nanotechnology* (2013) V. 24, P. 225302-225312.
5. *Савинков В.И. и др. Стекло и керамика.* (2013) №4, С. 35-41.
6. *Qiu J. et al. Angewandte Chemie Int. Edition.* (2004) V. 43, No. 17, P. 2230–2234.

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЬ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ СТРУКТУР В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОКСИДНЫХ СТЕКЛАХ

ФЕДОТОВ С.С.¹, ЛОТАРЕВ С.В.¹, ЛИПАТЬЕВ А.С.¹, СИГАЕВ В.Н.¹,
БЕРЕСНА М.², КАЗАНСКИЙ П.Г.^{1,2}

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

² Университет Саутгемптона, г. Саутгемптон, Великобритания

E-mail: sergey.fedotov.91@gmail.com

Эффект образования периодических наноструктур был обнаружен около 10 лет назад в объеме кварцевого стекла в результате облучения фемтосекундным лазером [1]. Важной особенностью нанорешеток является двулучепреломление, позволившее предложить ряд практических применений, в частности для сверхплотного неограниченно долгого хранения данных в формате оптической 5D-памяти [2].

В рамках изучения возможности получения подобных наноструктур в других материалах были проведены эксперименты по облучению титаносиликатного стекла состава 8,6% TiO_2 – 91,4% SiO_2 (масс.%) и алюмоборосиликатного бесщелочного стекла марки AF32 фирмы Schott. Для облучения выбранных материалов применялся регенеративный фемтосекундный усилитель, имеющий следующие характеристики: рабочая длина волны 1030 нм, частота следования импульсов 100 кГц, энергия в импульсе более 200 мкДж, длительность импульса 300 фс. Излучение лазера фокусировалось в объем стекла с помощью 50-кратного объектива. В ходе экспериментов изучались зависимости характеристик двулучепреломляющих областей, таких как сдвиг фаз и поляризационная зависимость, от параметров фемтосекундного лазера: мощность излучения, количество импульсов и поляризация лазерного пучка.

В объеме изучаемых стекол было получено наведенное локальное двулучепреломление в точках и линиях, которое, согласно литературным данным, связано с образованием нанорешеток [1]. Если для двухкомпонентного титаносиликатного стекла Corning ULE, близкого по составу к исследуемому, уже демонстрировалась возможность образования нанорешеток [3], то для стекла AF32, как и вообще для многокомпонентных стекол, столь заметный эффект под действием фемтосекундных импульсов был получен впервые. Микроскопический анализ в скрещенных поляризаторах (микроскоп Olympus BX 51) позволил установить пороговое количество импульсов для наведения локального двулучепреломления, равное 16 импульсам в случае титаносиликатного стекла в диапазоне мощностей от 0,01 до 0,2 Вт, что близко к значениям, характерным для кварцевого стекла, и около 31000 импульсов для стекла AF32. Исследования модифицированных областей в стекле AF32 с помощью системы количественного анализа двулучепреломления Abrio Microbirefringence продемонстрировали зависимость близкую к линейной зависимости фазового запаздывания «необыкновенной» компоненты светового пучка при прохождении через двулучепреломляющую область от использованного при записи этой области количества фемтосекундных импульсов для различных мощностей пучка.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0009).

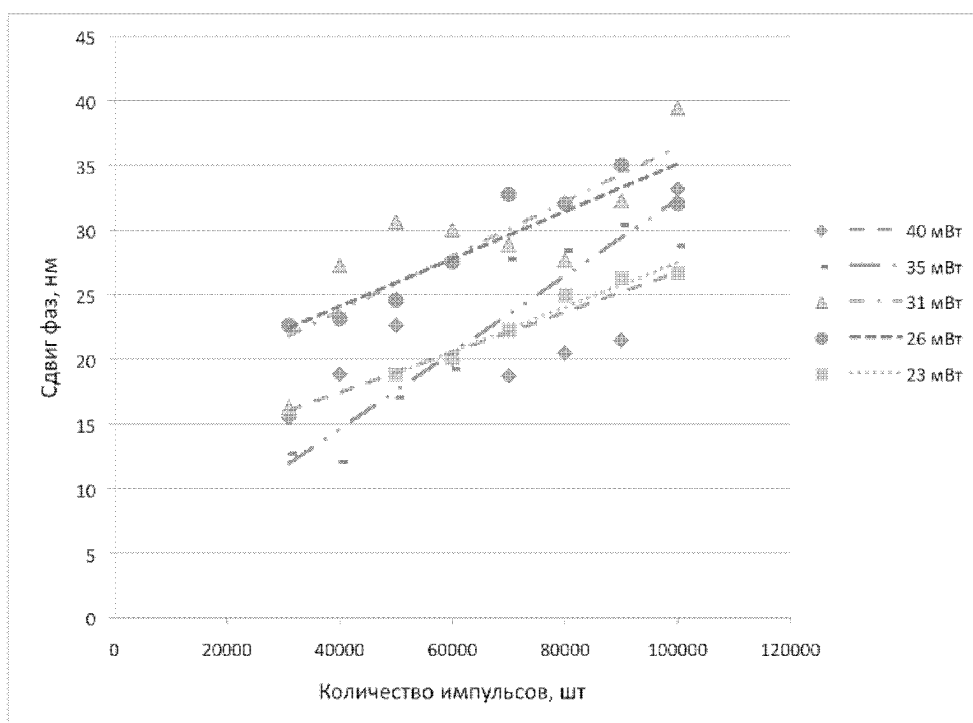


Рисунок 1.
Зависимость сдвига фаз в проходящем через модифицированную область световом пучке от количества импульсов записи

Список литературы:

1. *Y. Shimotsuna, P.G. Kazansky, J. Qiu, K. Hirao.* Self-organized nanogratings in glass irradiated by ultrashort light pulses // *Phys. Rev. Lett.* (2003) V.91, P. 247405.
2. *J. Zhang, M. Gecevicius, M. Beresna, P. G. Kazansky.* Seemingly unlimited lifetime data storage in nanostructured glass // *Phys. Rev. Lett.* (2014) V.112, P 33901.
3. *S. Richter, C. Miese, S. Doring, F. Zimmermann, M. J. Withford, A. Tunnermann, S. Nolte.* Laser induced nanogratings beyond fused silica - periodic nanostructures in borosilicate glasses and ULE™ // *Opt. Mater. Express* (2013) V.3, P. 1161-1166.

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В ЛИТИЕВОНИОБИЕВОСИЛИКАТНОМ СТЕКЛЕ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

ШЕВЯКИНА Д.М.¹, ЛИПАТЬЕВ А.С.¹, ЛОТАРЕВ С.В.¹,
СИГАЕВ В.Н.¹, КАЗАНСКИЙ П.Г.^{1,2}

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва

²Университет Саутгемптона, Саутгемптон, Великобритания

E-mail: shevyakina@rambler.ru

В последнее время большой интерес исследователей вызывают методы локальной кристаллизации стекол под действием лазерного излучения. Для локального модифицирования поверхности оксидных стекол успешно используются непрерывные лазеры видимого и ближнего ИК диапазона. В этом случае в состав стекла вводятся компоненты, обеспечивающие поглощение излучения на длине волны используемого лазера (как правило, ионы редкоземельных или переходных металлов). Для получения кристаллов в объеме стекла успешно применяются пучки фемтосекундных лазеров, поглощение которых протекает по многофотонному механизму и лишь вблизи перетяжки пучка, однако этот метод не пригоден для кристаллизации на поверхности стекла из-за ее интенсивного разрушения.

В настоящей работе показана возможность локальной поверхностной кристаллизации стекла под действием УФ излучения, не требующий введения в его состав поглощающих компонентов. В качестве объекта исследования было выбрано литиево ниобиево силикатное (ЛНС) стекло состава $32\text{Li}_2\text{O}-26\text{Nb}_2\text{O}_5-42\text{SiO}_2$, в котором может выделяться ниобат лития LiNbO_3 . Для синтеза стекол были использованы Li_2CO_3 (хч), Nb_2O_5 (осч) и аморфный SiO_2 (ч). Варка стекла осуществлялась в платиновом тигле при 1450°C в течение 1 ч в расчете на массу 20 г. Стекло вырабатывалось отливкой на металлическую плиту с прессованием другой плитой. Закаленное стекло отжигалось в муфельной печи при температуре 530°C в течение 4 ч.

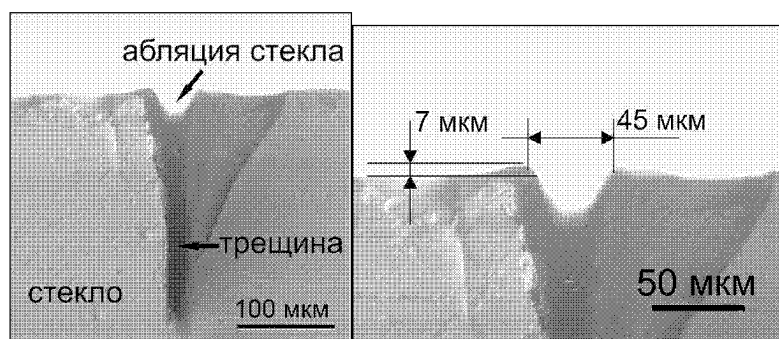


Рисунок 1.

Поперечное сечение облученной лазером области ЛНС стекла при температуре $\sim 240^\circ\text{C}$ и скорости сканирования 10 мкм/с

Образцы изготавливались в виде плоскопараллельных пластин 10x10x1 мм, поверхность которых шлифовалась и полировалась. В качестве источника излучения был использован лазер на парах меди, излучающий на длине волны 271 нм (в режиме генерации суммарной частоты) со средней суммарной мощностью до 6,5 кВт при частоте следования импульсов 12,8 кГц и длительности импульса 10 нс. Излучение на 271 нм интенсивно поглощается стеклом данного состава, так как лежит за краем его фундаментального поглощения. Облучение выполнялось на образце нагретом до 225-500°C в миниатюрной электрической печи во избежание его растрескивания из-за термических напряжений при воздействии лазера. Печь с исследуемым образцом размещалась на двухкоординатном моторизованном столике.

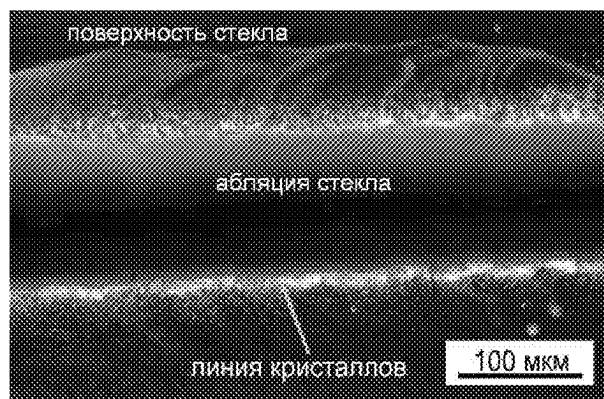


Рисунок 2.

Область ЛНС стекла, облученная лазером на парах меди при 480°C и скорости сканирования 10 мкм/с.

Изображение получено в режиме отражения в скрещенных поляризаторах

Структура модифицированных лазером областей стекла изучалась с помощью оптического микроскопа Olympus BX51. Полученные на поверхности стекла структуры представляли собой полосы. В центральной части полосы, непосредственно подвергшейся воздействию лазерного пучка, наблюдалась выемка, образовавшаяся в результате абляции. На ее краях образовались «наплывы» высотой около 7 мкм (рис. 1). Очевидно, в месте воздействия лазерного излучения стекло расплавлялось, а расплав частично испарялся из-за сильного лазерного нагрева за счет интенсивного поглощения лазерного пучка. В скрещенных поляризаторах в периферийной части выемки отчетливо видны микрокристаллы (рис. 2), идентифицированные как LiNbO_3 с помощью локальной КР-спектроскопии. Таким образом, нами показана возможность локальной поверхностной кристаллизации ЛНС стекла с получением сегнетоэлектрических кристаллов ниобата лития под действием лазерного излучения УФ диапазона.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0009) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-03-00931).

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА И ИОНЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

ШАХГИЛЬДЯН Г.Ю.¹, САВИНКОВ В.И.¹, ПАЛЕАРИ А.^{1,2},
МАЛАШКЕВИЧ Г.Е.³, СИГАЕВ В.Н.¹

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

²Университет Милано-Бикокка. Милан, Италия

³Институт физики НАН Беларуси. Минск, Беларусь

E-mail: vlad.sigaev@gmail.com

Проблема формирования и гомогенного распределения в стеклах наночастиц благородных металлов, а также их влияния на люминесценцию редкоземельных активаторов является ключевым вопросом создания люминесцирующих сред с улучшенными характеристиками, нелинейных переключателей и интегральных устройств для нанофотоники. Известно, что формирование в стеклах ансамбля металлических частиц, обладающих поверхностным плазмонным резонансом в определенной области спектра, позволяет значительно усовершенствовать спектрально-люминесцентные характеристики гетерогенной системы за счет направленного процесса переноса возбуждения. В то же время, облучение таких материалов лазерным излучением приводит к перестройке структуры стекла и дает возможность направленного формирования наноструктур в объеме.

В данной работе изучались оптические свойства многокомпонентного фосфатного стекла, содержащего наночастицы золота (Au^0_n) и ионы Eu^{3+} и Yb^{3+} .

В качестве матрицы стекла было выбрано фосфатное оптическое стекло, разработанное в РХТУ им. Д.И. Менделеева. Введение золота в шихту осуществлялось через подготовленный золь золота необходимой концентрации. Концентрация Au составляла 0,005 масс %, а Eu_2O_3 и Yb_2O_3 – по 1 мол %. Дополнительно в состав стекла был введен оксид олова (SnO_2) замещением P_2O_5 – для предотвращения сегрегации наночастиц золота на этапе варки и выработки стекломассы. Варку стекла проводили при 1400°C. На полученных бесцветных образцах стекол с золотом была проведена последующая термообработка в градиентной печи при температурах ниже T_g , которая продемонстрировала изменение окраски образца от бесцветного до окрашенного в красный цвет.

В ходе спектроскопического анализа образцов было установлено, что коэффициент поглощения в максимуме «плазмонной» полосы в процессе термообработки стекла в градиентной печи увеличивался от 0,08 до 5,8 см^{-1} , а размер наночастиц золота от 2 до 20 нм. По мере формирования и роста (Au^0_n) изменения сил осцилляторов абсорбционных переходов ионов Eu^{3+} и Yb^{3+} не происходит; характер кинетики затухания люминесценции этих ионов и её средняя длительность также не изменяются. В то же время, в присутствии золота наблюдается увеличение интегральной интенсивности люминесценции ионов Eu^{3+} примерно 1,7 раза ($\lambda_{\text{возб}} = 395$ нм). На начальном этапе роста (Au^0_n) эта интенсивность увеличивается до двух раз, а затем происходит её трёхкратное ослабление, которое сопровождается снижением относительной интенсивности полос ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_j$, перекрывающихся с плазмонной полосой. В связи с этим наблюдающееся при наличии низкоразмерных наночастиц золота повышение интенсивности люминесценции ионов Eu^{3+} можно связать с увеличением оптической длины пути в стекле возбуждающего излучения благодаря высокому сечению светорассеяния (Au^0_n), а последующее снижение – с эффектом внутреннего фильтра, вносимого плазмонной полосой. Несмотря на проявляемую данными стеклами нелинейную восприимчивость третьего порядка, генерация третьей оптической гармоники не наблюдалась.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИТТРИЙ-АЛЮМОБОРАТНЫХ СТЕКОЛ, СОАКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ CE, Tb И SV

ЗИЯТДИНОВА М.З.¹, ГОЛУБЕВ Н.В.¹, МАЛАШКЕВИЧ Г.Е.^{1,2}, СИГАЕВ В.Н.¹

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск

E-mail: m.z.ziyatdinova@gmail.com

Из теории коллективных взаимодействий между ионами и результатов кинетических исследований люминесценции активированных сред следует, что для снижения концентрационного тушения люминесценции необходимо, при прочих равных условиях, повышать величину ближайшего расстояния активатор-активатор. Общепринятые аналогии в ближнем порядке стекол и кристаллов сходных составов указывают на реалистичность достижения в аморфных средах максимально возможных значений минимального расстояния между активаторами. Высокое содержание оксида бора в хантитоподобных кристаллах $REAl_3(BO_3)_4$, характеризующихся большим минимальным расстоянием активатор-активатор ($\sim 0,59$ нм), позволяет получить стекла близкого состава. Нами показано, что в стеклах системы $(RE_xY_{1-x})_2O_3-Al_2O_3-B_2O_3$ минимальное расстояние активатор-активатор равно 0,67 нм, что обеспечивает низкое концентрационное тушение люминесценции [1]. Однако из-за наличия в данном стекле высокочастотных колебательных осцилляторов $[B-O]_3$ предпочтительно использование активаторов, например Tb^{3+} , с энергетической щелью между метастабильным и ближайшим к нему нижним состоянием более 8000 см^{-1} . Оказалось, что стекла системы $(Ce_xTb_yY_{1-x-y})_2O_3-B_2O_3-Al_2O_3$ при синтезе на воздухе характеризуются слабой люминесценцией из-за присутствия тушащих её ионов Tb^{4+} и Ce^{4+} . При введении в качестве восстановителя сурьмы возможен полный перевод этих ионов в люминесцирующее трёхзарядное состояние. Исследование технологических и спектрально-кинетических характеристик стекол этой системы выявило, что при толщине менее 100 мкм они полностью поглощают излучение с длинами волн ниже 320 нм. Квантовый выход при этом составляет $\sim 80\%$. Изученные стекла можно рекомендовать в качестве матрицы для создания высокоэффективных визуализаторов УФ излучения.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (грант 11.G31.34.0027) и РФФИ (грант 14-03-90038).

Список литературы:

1. Malashkevich G.E., Sigaev V.N., Golubev N.V., et al. Mater. Chem. and Physics 137 (2012) 48.

Секция 3.

**Технологии изготовления,
контроля оптических элементов,
нанесения покрытий.**

**Технологии сборки, юстировки
и испытаний оптико-электронных
приборов и комплексов**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ АСФЕРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ВНЕОСЕВОЙ

ГОРШКОВ В.А., САВЕЛЬЕВ А.С., НЕВРОВ А.С., КОРНЕЕВ Н.Г.

ОАО «НПО «Оптика», г. Москва

E-mail: optikal@npooptica.ru

Высокоразрешающие оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования, применяемые для научных исследований, глобального мониторинга поверхности Земли, состояния ее атмосферы и т.п., требуют высокого качества формируемого этими системами изображения исследуемого объекта.

Диапазон габаритных параметров оптических компонентов указанных систем 300 - 3000 мм, а номинальные требования к качеству формы поверхности по критерию среднеквадратического отклонения $\sigma_{\text{ско}} = \lambda/60 \div \lambda/80$, что, по сути, является технологическим пределом.

Актуальной задачей создания технологии производства указанных деталей является создание управляемого процесса формообразования оптических поверхностей на различных стадиях, в т.ч. минимизации технологических переходов и создания для этих целей нового класса оптического оборудования с компьютерным управлением всего технологического цикла.

Основными задачами при создании автоматизированной технологии производства высокоточной оптики дифракционного качества являются:

- создание управляемого процесса формообразования;
- создание технологических систем стабилизации формы поверхности и компьютерная оптимизация параметров систем;
- создание нового поколения оптического станочного парка с компьютерным управлением;
- создание интерференционных метрологических средств амплитудного, амплитудно-фазового и фазового типов для обеспечения контроля за обработкой формы поверхности в реальном масштабе времени;
- создание комплексной технологической системы автоматизированного обеспечения технологии формообразования оптических поверхностей с достижением точностных параметров по отклонению формы в пределах $\lambda/60 \div \lambda/80$ и шероховатости поверхности в пределах $5 \div 10 \text{ \AA}$.

Интегральной оценкой характеристики любой технологической операции должны являться характеристики формы поверхности:

- среднеквадратическое отклонение - σ ;
- размах ошибки - (P-V);
- составляющие ошибки поверхности (астигматизм, кома и т.п.).

Блок-схема разработанной в ОАО «НПО «Оптика» технологической системы автоматизированного формообразования «ТЕСАФ» представлена на рис. 1.

Описывается состав системы «ТЕСАФ», принцип ее работы, технические характеристики оборудования, входящего в систему, результаты работы системы.

Достигнуты высокие технические параметры обрабатываемых поверхностей с отклонениями по форме $\sigma_{\text{ско}} = \lambda/60 - \lambda/100$ ($\lambda = 0.6328$ мкм) и шероховатости в пределах $5 \div 10 \text{ \AA}$.

С применением «ТЕСАФ» на предприятии ОАО «НПО «Оптика» изготовлено более 300 оптических элементов различных типоразмеров.

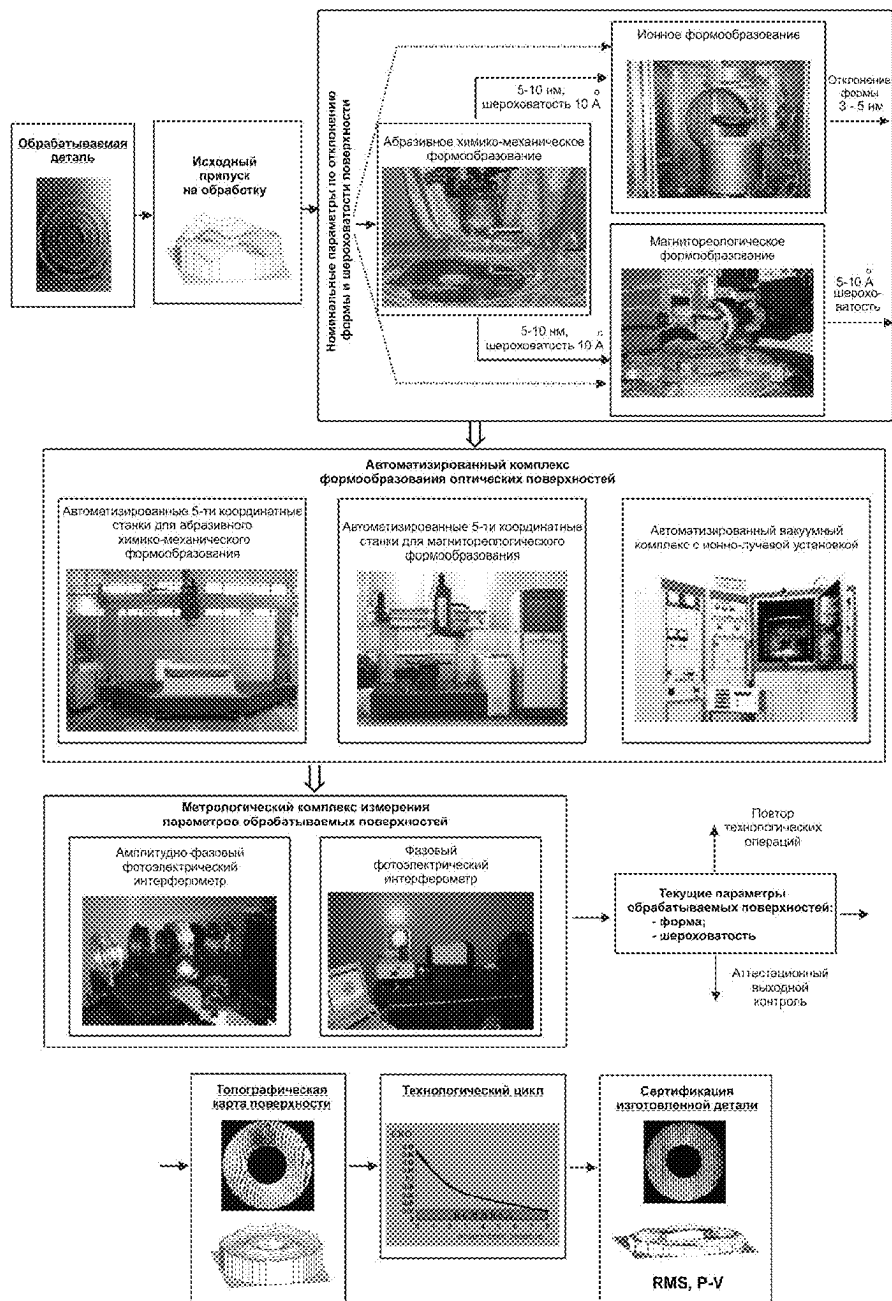


Рисунок 1.

КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПРИЗМЕННЫХ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ТАРАСОВ А. П., СЕНИК Б. Н.

ОАО «Красногорский завод им. С. А. Зверева»

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Проблема создания оптико-электронных систем для изделий с высокоточной пространственной ориентацией, в частности, для дистанционного зондирования Земли из космоса, во многом зависит от успешного решения конструкторских и технологических задач, связанных с изготовлением и применением высокоточных оптических призмных спектроделительных модулей. В последнее время изделия вышеуказанного класса приобретают всё большую актуальность.

Наряду с уже достигнутыми предельными пространственными информационными характеристиками (полоса захвата, пространственное разрешение, точность фотограмметрической привязки) современная космическая аппаратура должна обеспечивать высокие радиометрические характеристики и высокое спектральное разрешение. Поэтому, кроме основного традиционного элемента оптической системы – объектива, важной составной частью современной аппаратуры указанного класса становится модуль диспергирующего устройства, так как именно он осуществляет разложение излучения сложного спектрального состава в спектр.

Среди известных диспергирующих устройств (дисперсионные призмы, дифракционные решётки, светофильтры, Фурье-интерферометры и др.) для космической аппаратуры дистанционного наблюдения и топографической аппаратуры существенные преимущества имеют призмные спектроделительные устройства на основе интерференционных фильтров, обеспечивающие:

- возможность апертурного спектрального деления входного излучения на несколько (3 – 6) спектральных каналов, что позволяет одновременно регистрировать один и тот же сюжет в нескольких спектральных диапазонах при идентичных условиях съёмки, повышая тем самым достоверность радиометрической информации;

- возможность формирования резких границ спектрального канала и минимального отношения сигнал/шум, что уменьшает радиометрические погрешности и существенно для ПЗС-приёмников;

- возможность аппаратного фотограмметрического совмещения «пиксел в пиксел» изображений в спектральных каналах, что повышает точность фотограмметрической привязки информации;

- возможность спектрального деления в сходящихся световых пучках, что упрощает оптическую схему и снижает массогабаритные характеристики космической аппаратуры.

Реализация указанных преимуществ может быть достигнута только с помощью высоко-

точных призмных спектроделительных модулей, путём разработки промышленного внедрения современных комплексных технологий изготовления прецизионных призм, неравнотолщинных интерференционных фильтров, сборки и юстировки призмных оптических блоков.

Список литературы:

1. *Архипов С.А., Потелов В.В., Сеник Б.Н.* Особенности технологии изготовления высокоточных оптических призмных узлов и спектроделительных модулей для изделий с высокой пространственной ориентацией // *Оптический журнал*. – 2004. – Т.71.-№12.- С. 11-13.
2. *Архипов С.А., Лысой Б.Г., Потелов В.В., Сеник Б.Н., Чередниченко О.Б.* Комплексная технология изготовления оптических покрытий со сложным спектральным профилем / / *Оптический журнал*. – 2005. – Т.72. -№4. – С. 66-70.
3. *Потелов В.В.* Исследование эксплуатационных свойств конструкционных марок клея для прецизионной сборки оптических призмных модулей // *Стекло и керамика*. – 2009. - №2. – С.9-12.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТОЧНЫХ КРУПНО-ГАБАРИТНЫХ ОБЛЕГЧЕННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ С ВЫСОКОЙ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., БЕЛОУСОВ С.П., ДОБРИКОВ Н.С., ПАТРИКЕЕВ А.П., ПАТРИКЕЕВ В.Е., ПРИДНЯ В.В., ПОЛЯНЩИКОВ А.В., СЕМЕНОВ А.П., ШАРОВ Ю.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла»

E-mail: lastro@lzos.ru

ОАО ЛЗОС производит стеклокерамический материал Астроситалл® с низким коэффициентом термического расширения, который широко используется для изготовления астрономических и космических зеркал телескопов. Изготавливаются заготовки оптических деталей, выполняется формирование конфигураций оптических деталей, фрезерование структуры облегчения и формообразование оптической поверхности, как на технологической, так и на штатной оправе. Наиболее значимые проекты по изготовлению заготовок зеркал – это проекты SALT^{1,2} (Southern African Large Telescope), LAMOST^{1,2} (Large Sky Area Multi-Object Spectroscopic Telescope), зеркала телескопа VST^{3,4} (VLT Survey Telescope), вторичное зеркало телескопа VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy)⁵, шестигранники для прототипов зеркал сверхбольших телескопов E-ELT, TMT и многих других.

Результаты проведенных испытаний показали, что материал Астроситалл® СО-115М при деформациях с натяжениями в диапазоне от –10 МПа до +10 МПа и при воздействии температуры в диапазоне от –40°С до +105°С остается упругим в пределах 10 нм RMS поверхности.

Наглядным примером влияния длительных внешних воздействий на астрономические зеркала из Астроситалла® являются два облегченных зеркала диаметром 1540 мм, изготовленные в 1992 г. Исходное значение $RMS(W)=0.030\lambda$. После 17 лет хранения первого зеркала его ошибка составила $RMS(W)=0.042\lambda$ (декабрь 2009 года). На втором зеркале после 18 лет хранения ошибка составила $RMS(W)=0.044\lambda$ (октябрь 2010). После снятия покрытия и повторной частичной полировки $RMS(W) < 0.030\lambda$. Можно считать, что качество формы поверхности за длительный срок практически не изменилось.

Еще пример деформационного воздействия на заготовку из Астроситалла® - изготовление методом упругой деформации внеосевого сегмента зеркала диаметром 1520 мм, и толщиной 50 мм. Работа проводилась в рамках эксперимента по изготовлению модели прототипа наиболее удаленного сегмента зеркала сверхбольшого телескопа E-ELT. Размах ошибки 203 мкм. Чтобы изготовить такую поверхность необходимо изогнуть (деформировать) заготовку с целью получения обратной ошибки поверхности, отшлифовать сферу и снять деформации. В этом случае будет изготовлена асферика, которую затем надо довести до требований спецификации программно-управляемым шлифованием малым инструментом. Внутренние эквивалентные напряжения, возникающие при таком изгибе, составляют величину 1.68 МПа в центре. Напряжения вполне допустимые для заготовок из Астроситалла® с соответствующими геометрическими параметрами. Деформация заготовки осуществляется регулируемые по высоте микрометрическими упорами с помощью прижимных механизмов.

Толщина подложки выбиралась такой, чтобы ее собственные деформации были малы по сравнению с деформацией рабочей детали. Реально полученная форма модели прототипа похожа на теоретически предсказанный результат, что свидетельствует о достаточно надежном поведении материала Астроситалл® по сохранению размерной стабильности.

Список литературы:

1. *Abdulkadyrov, M.A., Belousov, S.P., Ignatov, A.N., Patrikeev, V.E., Pridnya, V.V., Polyanchikov, A.V., Rumyantsev, V.V., Samuylov, A.V., Semenov, A.P., Sharov, Y.A.* «Fabrication of blanks, figuring, polishing, and testing of astronomical mirrors for SALT, VST, LAMOST, and other projects» in Optifab 2003, Proc. SPIE TD02, 55-57 (2003).

2. *Semenov, A. P., Abdulkadyrov, M. A., Ignatov, A. N., Patrikeev, V. E., Pridnya, V.V., Polyanchikov, A.V., Sharov, Y. A.* “Fabrication of blanks, figuring, polishing and testing of segmented astronomic mirrors for SALT and LAMOST project,” Proc. SPIE 5494, 31-38 (2004).

3. *Abdulkadyrov, M. A., Belousov, S. P., Ignatov, A. N., Patrikeev, V. E., Pridnya, V.V., Polyanchikov, A.V., Rumyantsev, V. V., Samuylov, A. V., Semenov, A. P., Sharov, Y. A.* “Manufacturing of primary mirrors from Sitall CO-115M for European projects TTL, NOA and VST,” Proc. SPIE 4451, 131-137 (2001).

4. *Semenov, A. P., Abdulkadyrov, M. A., Belousov, S. P., Ignatov, A. N., Patrikeev, V. E., Pridnya, V.V., Polyanchikov, A.V., Rumyantsev, V. V., Samuylov, A. V., Sharov, Y. A.* “Manufacturing of secondary mirrors from Sitall CO-115M for European projects TTL, NOA and VST,” Proc. SPIE 4451, 138-144 (2001).

5. *Abdulkadyrov, M. A., Patrikeev, A. P., Belousov, S.P., Pridnya, V.V., Patrikeev, V. E., Ignatov, A. N., Polyanchikov, A.V., Semenov, A.P., Sharov, Y. A.* “M2 secondary mirror manufacturing for VISTA project,” Proc. SPIE 7018, 70180B (2008).

ВНЕОСЕВЫЕ ЗЕРКАЛЬНЫЕ КОЛЛИМАТОРЫ С РАБОЧИМ ПОЛЕМ 200÷1000 мм ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

ГОРШКОВ В.А., КОРНЕЕВ Н.Г.

ОАО «НПО «Оптика», г. Москва

E-mail: teopt@nproptica.ru

Внеосевые зеркальные коллиматоры предназначены для создания плоского эталонного волнового фронта в широком диапазоне спектра: от ультрафиолетового (УФ) до инфракрасного (ИК) излучения и применяются для контроля и аттестации качества оптико-электронных комплексов (ОЭК), качества оптических компонентов.

Внеосевой коллиматор (ВК), оснащенный в зависимости от выполняемых функций той или иной оптико-электронной аппаратурой, используется для контроля:

- волнового фронта как отдельных оптических компонентов, так и объективов, и ОЭК;
- концентрации энергии в кружке рассеяния;
- распределения энергии в кружке рассеяния;
- функции передачи модуляции.

Преимущества внеосевых зеркальных коллиматоров состоят в возможности коллимировать волновой фронт в широком диапазоне длин волн и, в отличие от осевых зеркальных коллиматоров, не имеют центрального экранирования.

В ОАО «НПО «Оптика» разработаны, изготовлены и поставлены на предприятия России и в страны ближнего и дальнего зарубежья внеосевые зеркальные коллиматоры с рабочим полем от 200 мм до 1000 мм.

В состав ВК входят обязательные компоненты:

- внеосевое параболическое зеркало;
- фокальный узел.

Для расширения функций коллиматоры могут быть дополнены:

- интерферометром;
- оптическими эталонными компонентами.

На рис. 1 приведена схема измерения ФПМ объектива полихроматической камеры высокого разрешения.

На рис. 2 приведена схема контроля плоских поверхностей с использованием ВК и эталонного плоского зеркала в схеме Физо.

Технические характеристики некоторых ВК, изготовленных в ОАО «НПО «Оптика» приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Рабочее поле, \varnothing мм	Среднеквадратическая ошибка формируемого волнового фронта СКО ($\lambda=0,6328$ мкм)	Фокусное расстояние, мм	Внеосевой параметр, мм	Дополнительное оборудование
220	$\lambda/50$	4012,0	200,0	Корректор поля, интерферометр
400	$\lambda/40$	6663,0	577,0	Фотоприемное устройство с вычислительным комплексом
600	$\lambda/30$	5976,5	600,0	Эталонное зеркало
1000	$\lambda/55$	10009,5	1790,0	Эталонное зеркало

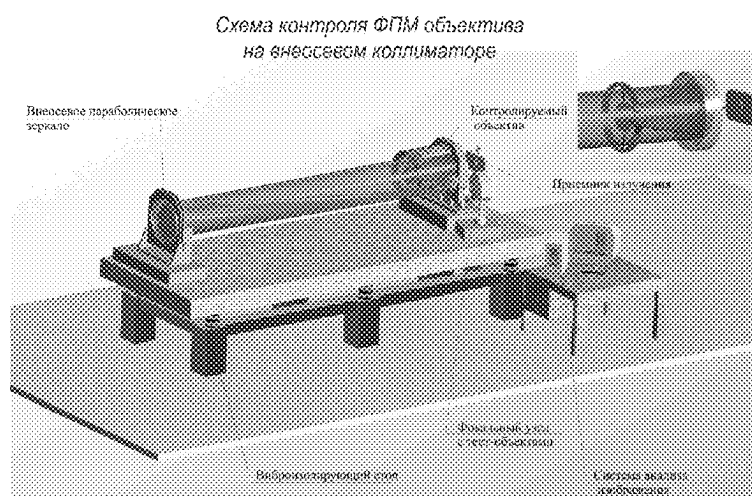


Рисунок 1.

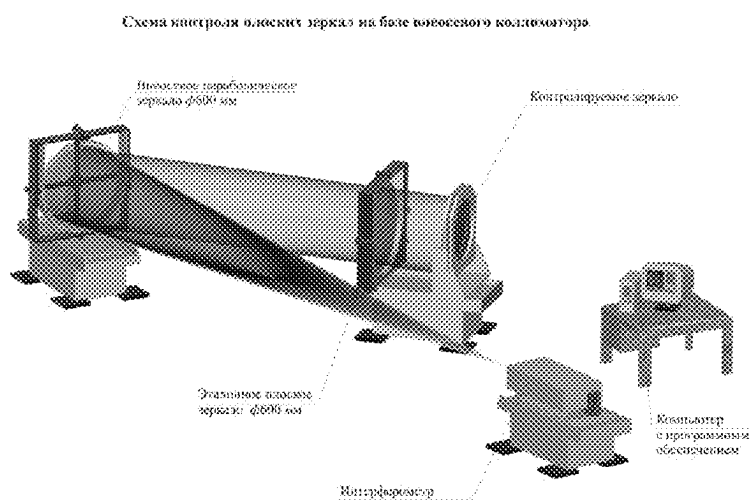


Рисунок 2.

СОЗДАНИЕ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОМУДУЛЬНОГО ЦИАНАТ ЭФИРНОГО УГЛЕПЛАСТИКА ДЛЯ РЕФЛЕКТОРА ОБСЕРВАТОРИИ «МИЛЛИМЕТРОН»

ПЫШНОВ В.Н.

Астрокосмический центр ФИАН, г. Москва

E-mail: pvikt54@mail.ru

Качество космических спутниковых систем напрямую зависит от точности технологического исполнения отражающей поверхности рефлекторов и от деформаций рабочих поверхностей рефлекторов, которые возникают от действия факторов хранения и эксплуатации. Для миллиметрового диапазона допусковые отклонения составляют всего несколько микрон на характерном диаметре зеркала в несколько метров. Это определяет выбор материалов, конструкции и технологии изготовления рефлекторов.

В качестве материалов могут рассматриваться только материалы с низким значением коэффициента теплового расширения, например, астроситалл, карбид кремния (телескоп Гершель), суперинвар, углепластики (телескоп Планк), органопластики и т.д. Для рефлекторов с активным адаптивным управлением может быть применен бериллий (проект JWST).

В качестве технологии в большинстве случаев используется высокоточная механообработка, включая автоматизированные методы доводки поверхностей. В России для доводки зеркал из астроситалла используются станки серий АД и АПД. Данная технология очень трудоемка и дорогостояща и в России она может быть применена в подавляющем большинстве случаев только к зеркалам из астроситалла. Астроситалл является хрупким материалом, который может разрушиться при пиковых ударных нагрузках на этапе вывода, он также уступает углепластику по жесткости, массе, стоимости, теплопроводности, трудоемкости изготовления. Стоимость 1 м² прецизионной поверхности из карбида кремния или бериллия составляет от 1 млн. долларов, а технологический цикл изготовления 1 м² составляет примерно 1 год.

Следующей технологией является формование рабочей поверхности из углепластика на прецизионной матрице. Данная технология обеспечивает минимальную трудоемкость и стоимость, но здесь проблемой является коробление углепластика от внутренних напряжений, вызванных погрешностями траекторий армирования и различными коэффициентами теплового расширения углеродного волокна и полимерной матрицы. Кроме этого, углепластик подвержен паразитным релаксационным и влажностным деформациям, а также растрескиванию полимерной матрицы при захлаживании. Однако, указанные проблемы принципиально решаемы, что доказывают проведенные нами исследования и успешная миссия криогенного телескопа Планк, главное зеркало которого изготовлено из углепластика.

В России на сегодняшний день присутствует только одна технология изготовления размеростабильных конструкций, а именно, прецизионная обработка астроситалла, однако, основная проблема состоит в его малой ударной прочности, низкой теплопроводности, дороговизне и трудоемкости данной технологии.

Допускаемые отклонения для главного зеркала обсерватории «Миллиметрон» составляют 10 микрон при диаметре главного зеркала 10 метров, при этом главное зеркало состоит из отдельных прецизионных панелей, которые устанавливаются на подвижных опорах – актуаторах.

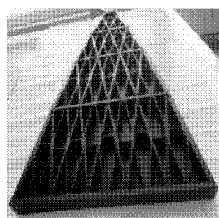
Решение поставленной задачи состоит в том, чтобы использовать сильные стороны астроситалла и углепластика и нивелировать их недостатки. Это достигается тем, что углепластиковые конструкции будут формироваться на прецизионных матрицах из астроситалла, при этом отклонение поверхности матрицы СКВО от теоретической поверхности должно составлять менее микрона, что вполне достижимо для ЛЗОС.

Суть инновации состоит в создании конструкции прецизионных панелей и технологии их изготовления из высокомодульного цианат эфирного углепластика на высокопрецизионных матрицах из астроситалла, при этом технологическая погрешность изготовления СКВО поверхности панелей составляет от 0 до 2 микрон, длительность изготовления 1 м² панели не более 1 недели, а стоимость 1 м² не более 200 тыс. долларов, при этом конструкция превосходит ситалловую по ударной прочности, трудоемкости, массе и стоимости. Углепластиковая панель легче панели из карбида кремния в 2 раза и в 40 раз выигрывает по температурной деформативности у бериллия

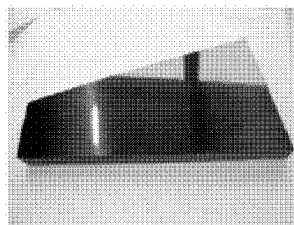
Таким образом, дорогостоящая ситалловая матрица будет порождать сравнительно дешевые углепластиковые прецизионные поверхности, которые имеют ключевые конкурентные преимущества по стоимости, интегральной деформативности, массе, жесткости и трудоемкости изготовления как по сравнению с астроситаллом, так и тем более по сравнению с карбидом кремния и бериллием. Эти преимущества должны обеспечить наилучшее соотношение цена/качество и успех на рынке космических антенн инфракрасного миллиметрового диапазона.

В настоящее время создана базовая технология изготовления прецизионных панелей (см. рис. 1 и 2).

В результате проведенной работы создано экспериментальное производство, изготовлены экспериментальные образцы и технологические макеты прецизионных панелей и получены все необходимые данные для рабочего проектирования и организации штатного производства прецизионных панелей для рефлектора «Миллиметрон». Установлено, что среднее квадратичное отклонение поверхности четырех экспериментальных плоских панелей по отношению к поверхности формирующей кварцевой матрицы не превышает 1,4 мкм.



*Рисунок 1.
Общий вид параболической панели
со стороны ребер*



*Рисунок 2.
Макет плоской панели со стороны
отражающей поверхности*

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СВЕРХОБЛЕГЧЕННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ И МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ

ДОБРИКОВ Н.С., АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПАТРИКЕЕВ В.Е.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: lastro@lzos.ru

Основными этапами выбора и оптимизации конструкции сверхоблегченных зеркал являются подбор материала и определение типа и параметров ячеек структуры облегчения. Самыми популярными материалами, применяемыми для изготовления зеркал, являются стеклокерамика (ситалл СО-115М, церодур, ULE), карбид кремния и бериллий. В России на данный момент облегченные зеркала из стеклокерамики наиболее распространены и востребованы.

Методика оптимизации конструкции зеркал, основанная на методе конечных элементов, позволяет определить оптимальные параметры ячеек структуры облегчения с целью получения максимальной жесткости конструкции при ее минимальной массе. Варьируемыми параметрами являются высота зеркала, толщина рабочей поверхности, количество и толщина ребер. При выборе толщины ребер необходимо учитывать технологические возможности изготовления.

Степень жесткости K_w облегченного зеркала оценивается сравнением прогибов облегченного и сплошного зеркал под действием собственного веса:

$$K_w = \frac{W_{об}}{W_{сп}}$$

чем меньше K_w , тем большую жесткость имеет зеркало.

Проведенные исследования показали, что по жесткости оптимальным выбором является треугольная структура (рис. 1).

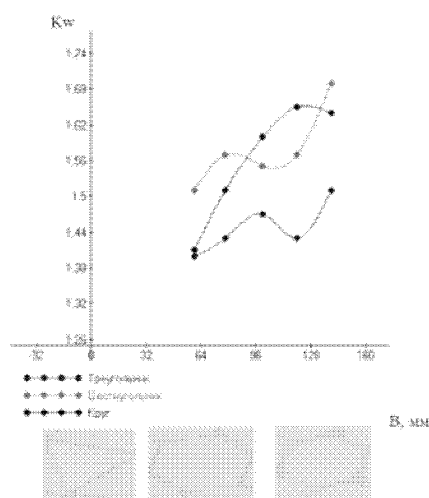


Рисунок 1.

Графики зависимости коэффициента жесткости K_w от размера ячейки B

K_w растет с увеличением размера ячейки, затем происходит локальное падение и возобновляется рост. Оптимальным предлагается считать экстремум- точку перегиба графика, когда прекращается падение K_w и начинается рост. В этой точке будет достигнута максимальная жесткость конструкции при минимальном весе. В приведенном примере зеркало с треугольной структурой облегчения имеет ячейки размером 120 мм, коэффициент жесткости $K_w=1.43$ и коэффициент облегчения 82,7% (расчет проводился для зеркала, диаметром 1900 мм, толщиной 300 мм и относительным отверстием $D/f^* = 1/2$).

В ОАО ЛЗОС выполняется обработка сложных облегченных зеркал с произвольной формой внешнего периметра и со сферическими и внеосевыми асферическими поверхностями. Изготовление данных зеркал стало возможным благодаря созданию целого комплекса контрольного и технологического оборудования, позволяющего получать оптические поверхности требуемой в настоящее время сложности и точности. Структура облегчения таких зеркал выполняется на специализированных фрезерных станках с программным управлением с точностью фрезерования до 0.02 мм. Точность обработки рабочих поверхностей облегченных зеркал диаметром до 2 м, как сферических, так и асферических, составляет примерно 10-15 нм по среднеквадратичному отклонению (RMS), при наличии соответствующей системы разгрузки зеркала.

В качестве технологической разгрузки в ОАО ЛЗОС используется мембранно-пневматическая оправа на базе пневмоопор. Метод расчета позволяет определить количество и расположение пневмоопор, а также ответных реакций в них, с целью минимизации деформаций зеркала в процессе интерферометрического контроля. Опоры располагают по концентрическим окружностям, радиусы которых выбираются так, чтобы минимизировать количество окружностей и точек разгрузки, расположенных на них. Выполняется моделирование такой системы разгрузки, при которой остаточные деформации от оправы в 3 раза ниже требуемой точности обработки зеркал и составляют 3-5 нм по среднеквадратическому отклонению (RMS). Это условие позволяет минимизировать влияние системы разгрузки на результаты контроля. Фактически такая технологическая оправа имитирует условия невесомости.

Данный метод расчета был использован для проектирования технологических оправ под зеркала ряда телескопов (телескопа для дистанционного зондирования земли «Прибор-ОЭК» (Россия) с главным зеркалом диаметром 1230 мм; телескопа Ричи-Критъена АЗТ-33ИК с главным зеркалом диаметром 1650 мм (РАН, Россия); зеркал объектива изделия «Барс-М» - стереоаппарата космического базирования для дистанционного зондирования земли в видимом диапазоне (Россия); телескопа Вандельштейн (Германия) с главным зеркалом диаметром 2100 мм; телескопа с главным зеркалом диаметром 1620 мм (Япония)). Это изготовленные в ОАО «ЛЗОС» зеркала, на которых была подтверждена работоспособность данного метода.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЦЕНТРИРОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ АСФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА ОТНОСИТЕЛЬНО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

СЕМЕНОВ А.П.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: lastro@lzos.ru

Задача измерения смещения оптической оси (смещение вершины асферической поверхности) относительно геометрического центра изготавливаемого крупногабаритного астрономического зеркала является в настоящее время весьма актуальной, поскольку, практически во всех чертежах на крупногабаритные зеркала задается величина допустимого смещения. Связано это, прежде всего, со сложностью юстировки оптики современных телескопов, которые стали короткофокусными и высокоапертурными и, соответственно, с большим полем зрения, поэтому значительное смещение оптической оси может привести к смещению центра масс зеркала и к серьезным сложностям при юстировке телескопа.

Известны способы центрировки оптических элементов, например, для оптики диаметром до 100 мм, где задача определения подобных смещений решается путем юстировки данной оптики в центрировочном приспособлении с использованием оптической системы для выполнения данной процедуры. Для крупногабаритной оптики диаметром 1 м и более реализация такого метода весьма сложна. Появляется необходимость иметь станки с вращающимся столом диаметром, превышающим размер детали, с биением и децентрировкой в сотые доли мм, а также необходима оптическая система на оси зеркала, позволяющая проверять соосность элементов оптической системы с осью исследуемого зеркала.

Разработан механический метод измерения децентрировки, основанный на определении относительных изменений показаний линейного трехточечного сферометра при измерении стрелок прогиба вдоль радиального направления на детали в различных сечениях, при помещении сферометра на одинаковом расстоянии от края детали. В этом случае разница в показаниях сферометра в двух взаимно-противоположных направлениях позволяет определить величину смещения оптической оси. Точность метода определяется чувствительностью сферометра и асферичностью поверхности. Чем выше асферичность поверхности, тем меньшую величину смещения оптической оси можно определить данным методом.

Для выполнения измерений был разработан и изготовлен специальный линейный трехточечный сферометр с упорами, фиксирующими положение сферометра относительно образующей, который установлен на поверхности детали в направлении от края к центру.

Для экспериментальной проверки работоспособности метода были выполнены измерения смещения оптической оси на асферических деталях различного диаметра и

асферичности. Наиболее показательные из них – это измерения, выполненные на главном зеркале телескопа VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy)^{1,2} Европейской южной обсерватории диаметром 4100 м и асферичностью около 850 мкм и на главном зеркале телескопа TNT (Thai National Telescope)³ диаметром 2400 мм с асферичностью около 160 мкм (по контракту с фирмой EOS Technology). Это изготовленные в ОАО «ЛЗЭС» зеркала, на которых была подтверждена работоспособность методики и определена величина смещения оптической оси.

Список литературы:

1. *Abdulkadyrov M.A., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Semenov A.P., Sharov Y.A., Atad-Ettengui E., Egan I, Bennet R.J., Craig S.C.* “M1 and M2 mirrors manufacturing for VISTA telescope,” Proceedings of SPIE 5494, 374-381 (2004).

2. *Abdulkadyrov M.A., Patrikeev A.P., Belousov S.P., Semenov A.P., Patrikeev V.E., Ignatov A.N., Polyanchikov A.V., Pridnya V.V., Sharov Y.A., Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K.* “M1 primary mirror manufacturing for VISTA project,” Proceedings of SPIE 7018, 701804 (2008).

3. *Abdulkadyrov M.A., Belousov S.P., Patrikeev V.E., Semenov A.P.* «Interference testing methods of large astronomical mirrors base on lenses and CGH wavefront correctors,» Proceedings of SPIE 7739, 77390P (2010).

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ШЛИФОВАННОЙ АСФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ИЛИ КОСМИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПАТРИКЕЕВ В.Е., СЕМЕНОВ А.П.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: lastro@lzos.ru

При шлифовании рабочей поверхности и асферизации шлифованием используются как классические методы обработки, так и асферизация малым инструментом на станках с компьютерным управлением. Для создания управляющей программы обработки необходима информация о форме поверхности, т.е. топографическая карта. Ее можно получить различными способами: с помощью 3-D машины (ограничение по диаметру до 1.5 м), профилометрами (около 1 м), специальной бесконтактной машины NANOMEFOS (до 500 мм), линейным трехточечным сферометром, с использованием ИК-интерферометра.

Задача поиска эффективного способа получения профиля асферической поверхности для высокоасферических поверхностей, когда ИК-интерферометр еще не представляется возможным использовать, а также необходимость получить как можно более подробный профиль асферической поверхности для использования программно-управляемой обработки, привели к необходимости модифицировать способ измерения профиля сферометром для крупногабаритных оптических деталей диаметром как до 1 м, так и для деталей диаметром до 6 м.

С помощью трехточечного сферометра с двумя агатовыми ножками на концах и индикаторной головкой с ценой деления 0.1 мкм, установленной посередине, с базой сферометра, равной «а» (расстоянию между двумя крайними агатовыми ножками сферометра), измеряют стрелки прогиба вдоль диаметрального направления или по хорде, касательной к центральному отверстию на детали (для деталей с центральным отверстием). Сферометр последовательно смещают на величину $a/2$ таким образом, чтобы одна крайняя ножка сферометра перемещалась в положение центральной ножки, центральная в положение второй крайней ножки, а вторая крайняя ножка в новое положение. Таким образом, с шагом в половину базы сферометра, проходя весь диаметральный отрезок или хорду, при этом радиус детали (диаметр, хорду) разбивают на отдельные промежутки «а», укладываемые на полном радиусе детали, сравнивают результаты с расчетными величинами стрелок прогиба для каждого положения сферометра и по данным измерениям строят относительный профиль отклонений от ближайшей асферической поверхности, для выполнения процесса шлифования.

Дискретность построенного профиля составляет половину базы сферометра, уменьшение базы сферометра приводит к увеличению погрешности определения профиля. Для более точного построения профиля поверхности можно использовать сферометр с двумя, тремя и более индикаторными головками. Точность измерений сферометра может достигать величины 0.2 мкм при базе сферометра до 1 м с определением профиля в 5-10 мкм (rms) и измерением радиуса кривизны крупногабаритного зеркала с точностью в 10 мм для радиуса в 30 м.

Практическое использование данного метода в реальных измерениях показало, что с

увеличением базы сферометра существенно возрастают его собственные деформации, меняющиеся из-за изменения его наклона к горизонтальному положению при перемещении его вдоль диаметрального направления, что приводит к существенным погрешностям в измерениях и, соответственно, к существенным ошибкам в построении профиля.

Реализация способа представлена на примере асферизации шлифованием и измерениях сферометром главного зеркала диаметром 3700 мм Devasthal Optical Telescope (DOT) for Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES)¹ со световым измеряемым диаметром 3670 мм, вершинным радиусом кривизны асферической поверхности, равным 14639,0 мм, конической константой $K=1,03296$, диаметром отверстия 720 мм. Для измерений использовали линейный трехточечный сферометр с индикаторной головкой посередине с ценой деления 0.1 мкм, с базой «а» (расстояние между крайними ножками сферометра), равной 622 мм. Для обнуления индикатора было изготовлено контрольное эталонное зеркало с радиусом 14727.0 мм. Асферичность профиля составляет 106 мкм. Изменения показаний сферометра от деформаций при наклоне определялись экспериментально и данная поправка вводилась в расчет. Например, в описываемом случае поправка при наклоне сферометра к вертикальному положению на 10° составляет 5 мкм.

Фактические измерения вершинного радиуса поверхности дали величину $R_0 = 14639 \pm 5$ мм (требуемое значение ± 7 мм), что составляет величину отклонения от заданного значения 0.03 %. Ошибка формы поверхности составила 16 мкм. Следует особо отметить, что после контроля сферометром и предварительной полировки контроль осуществлен и ИК-интерферометром с корректором и CGH-корректором в видимом диапазоне². И ИК-корректор, фактически, не понадобился. Таким же образом выполнялась асферизация зеркала проекта TNT (Thai National telescope, Australia – Thailand) диаметром 2400 мм с асферичностью в 160 мкм, а также ряд других крупных проектов изготовления главных и вторичных зеркал.

Список литературы:

1. *Semenov A.P.* «Accomplished the task of production of the primary and secondary mirrors of Devasthal Optical Telescope under the project ARIES (India, Belgium, Russia): fabrication features,» Proceedings of SPIE 8450, 84504R (2012).
2. *Abdulkadyrov M.A., Belousov S.P., Patrikeev V.E., Semenov A.P.* «Interference testing methods of large astronomical mirrors base on lenses and CGH wavefront correctors,». Proceedings of SPIE 7739, 77390P (2010).

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИСКОВЫХ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ВЫСОКОМОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., АЗЕРБАЕВ А.А., ДОБРИКОВ Н.С., КУРАКИНА Е.В., ЛОБОВА
М. В., ПАТРИКЕЕВ В.Е., СЕМЕНОВ А.П., СУДАРИКОВ И.Н., ШАРОВ Ю.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: lastro-am@lzos.ru, sudarikov@lzos.ru

Основными стадиями формообразования крупногабаритных дисковых активных элементов (ДАЭ) на основе лазерного фосфатного стекла являются фрезерование ДАЭ, а также фрезерование и предварительное полирование вспомогательных элементов оправы – «кладингов»; склейка ДАЭ со вспомогательными элементами – «кладингами»; шлифование, полирование и финишная доводка плоских рабочих поверхностей ДАЭ; контроль формы проходящего волнового фронта и оптических параметров поверхности в различных специализированных стендах.

Основная особенность обработки элементов ДАЭ состоит в том, что полированными должны быть не только рабочие поверхности ДАЭ, но и боковые. Поэтому предъявляются высокие требования к геометрии обработки поверхностей от стадии фрезерования, где используются станки с программным управлением, где необходимо выдержать углы между гранями в несколько угловых минут, до процесса полирования, для выполнения параллельности полированных поверхностей в несколько мкм. Склейка «кладингов» к основной пластине осуществляется по специальной технологии с использованием оснасти для позиционирования и фиксации положения «кладинга» относительно основной пластины. Соединение активного элемента и кладинга должно выдержать 4×10^3 импульсов без изменения оптических характеристик термическое напряжение $\Delta T = 10$ К при $T = 300$ К.

Финишная полировка выполняется в специальных чистых комнатах на полировальных станках серии NLP и FLP. Основные сложности при полировке данных элементов состоят в свойствах самого стекла, его специфических свойствах по полируемости, требующих подбора полирующих абразивов и суспензий для достижения требуемого качества по шероховатости и предотвращения возможности появления ласин и царапин. Кроме того, ДАЭ имеют прямоугольную, а не круглую форму, что в свою очередь накладывает дополнительные ограничения на достижение требуемой точности обработки поверхности. Поэтому окончательная доводка рабочей поверхности выполняется на автоматизированных станках серии АД и АПД с программным управлением, с расчётом сеансов обработки по результатам контроля формы и построенной топографической карты поверхности.

Контроль рабочей формы ДАЭ также является довольно сложной задачей со своими специфическими особенностями, поскольку осуществляется в четырех пространственных диапазонах: 33-435 мм (I диапазон), 2.5-33 мм (II диапазон), 0.12-2.5 мм (III диапазон), 0.01-0.12 мм (IV диапазон) на апертурной области контроля 785,5x435 мм. Апертура зондирующего излучения соответственно 435x435 мм, 435x435 мм, 18x18 мм, 1x1 мм. Контролируемый параметр и значение данного параметра: I диапазон: $P-V < 0.3\lambda$, $RMS\ gradient < 7$ нм/см; II диапазон: $Rq < 1.8$ нм; III диапазон: $Rq < 1.1$ нм; IV диапазон: $Rq < 0.4$ нм. Поэтому для контроля ДАЭ в различных диапазонах разработаны специальные оптические схемы, для реализации которых используются различные стенды и интерферометры, предназначенные для каждого из контролируемых пространственных диапазонов.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ АСФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ МЕТОДОМ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

ГОРШКОВ В.А., ИНОЧКИН В.В., САЛЬНИКОВА Л.Ю., ЩЕННИКОВА Т.И.

ОАО «НПО «Оптика», г. Москва

E-mail: optikal@nprooptica.ru

Методы вакуумного формообразования с использованием ионно-лучевого инструмента позволяют повысить точность формообразования сложных ОД и расширить номенклатуру изготавливаемых ОД.

Для асферизации поверхности оптической детали методом вакуумного формообразования ОАО «НПО «Оптика» применяет высоковакуумное оборудование:

- вакуумная установка ВУ-2М;
- технологический модуль ИЛО с ионным источником мод. ИЛО-200М.

При использовании метода не возникает проблем краевого эффекта, что свойственно механическим методам обработки.

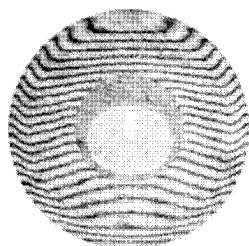
Высока эффективность процесса формообразования на конечных стадиях тонкой доводки формы.

Техпроцесс автоматизирован от стадии расчета до изготовления оптической детали.

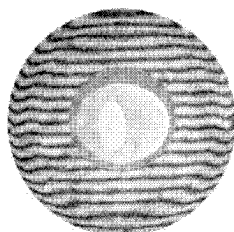
Приведен пример технологического процесса ионно-лучевого формообразования асферической поверхности:

- произведен расчет топографии припуска на обработку, расчет параметров обработки, расчет инструмента-«маски», приведена интерферограмма поверхности до обработки (рис. 1);
- произведена обработка детали (интерферограмма поверхности после обработки приведена на рис. 2);
- показана телескопическая система из 2-х асферических зеркал, обработанных методом ионно-лучевого формообразования (рис. 3);
- приведены параметры качества телескопической системы (интерферограмма, топографическая карта, P-V, RMS, ФПМ) (рис. 4).

Технологический процесс асферизации поверхностей детали стабилен во времени и позволяет осуществлять формообразование поверхностей с достижением точностных параметров в пределах $\lambda/40 \dots \lambda/80$ по СКО.



*Рисунок 1.
Интерферограмма
поверхности до обработки*



*Рисунок 2.
Интерферограмма
обработанной поверхности*

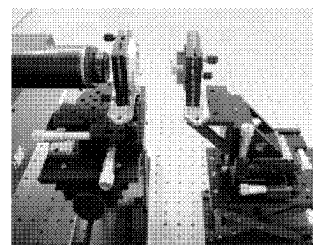
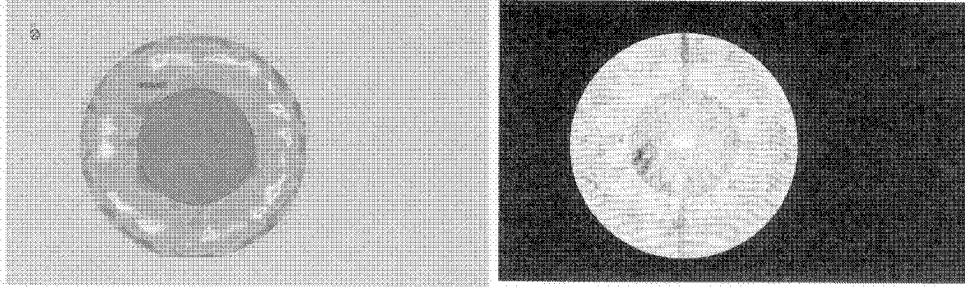


Рисунок 3.

OPD Map [5B,S,TRC] (Mon Jun 16 10:15:40 2014 ogzan #1



IntelliWave Report Summary			
Parameter	Value	Units	QC
PV 99.90%	0.3698	waves	
Average	0.1328	waves	
RMS	0.0672	waves	N/A
4) Focus	0.3348	waves	
5) X Astig	0.0000	waves	
6) Y Astig	-0.0000	waves	
7) X Coma	-0.0000	waves	
8) Y Coma	-0.0000	waves	
9) Spherical	-0.4609	waves	

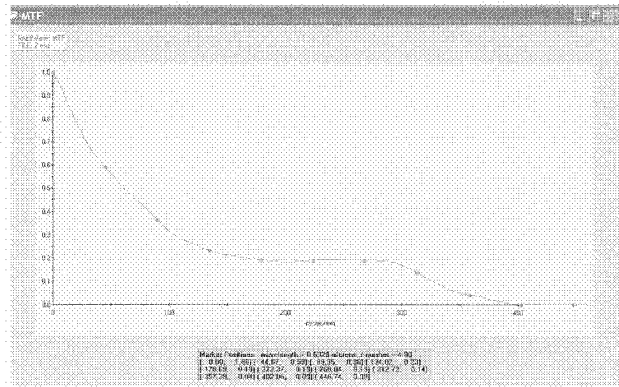


Рисунок 4.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБЛЕГЧЁННОГО КРУПНОГАБАРИТНОГО КОСМИЧЕСКОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА К ОБЪЁМНОЙ ДЕФОРМАЦИИ КЛЕЯ DP-190 В КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИИ МЕЖДУ ЗЕРКАЛОМ И ЕГО ОПРАВОЙ

ВЛАСЕНКО О.В.,¹ ЗВЕРЕВ А.В.,¹ ИЛЬЯСОВ М.Ф.,² ПАТРИКЕЕВ В.Е.³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

²Федеральное государственное унитарное предприятие «НПО им. С.А. Лавочкина»

³Открытие акционерное общество «Лыткаринский завод оптического стекла»

E-mail: vlasenko@inasan.ru

При изготовлении облегчённых крупногабаритных космических астрономических зеркал для соединения ситаллового зеркала с элементами его оправы из инвара в настоящее время используется клей DP-190. Выявленная экспериментально нестабильность физико-механических характеристик клея DP-190 при воздействии окружающей среды при наземной эксплуатации и на орбите вызывают нестабильность качества отражающей поверхности (ОП) зеркала. ИНАСАН совместно с ОАО ЛЗОС, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» и ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» ведёт работы по созданию главного зеркала (ГЗ) диаметром 1,7 метра для телескопа Т-170М, входящего в состав комплекса научной аппаратуры «Спектр-УФ». На рис. 1 показано главное зеркало перед проведением контроля формы отражающей поверхности (ОАО ЛЗОС).

При проведении наземной экспериментальной отработки ГЗ было установлено значительное (в три раза) увеличение средней квадратичной деформации отражённого волнового фронта относительно ближайшей сферы сравнения. На рис. 2 приведена топография деформации волнового фронта, вызванная собственной деформацией ОП зеркала за вычетом опорной сферы после двух этапов испытаний.

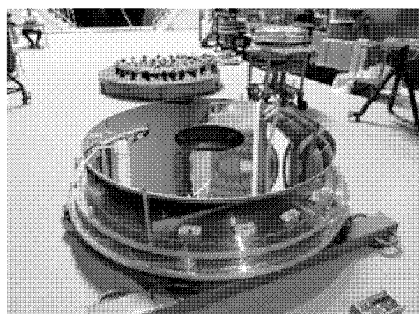


Рисунок 1.

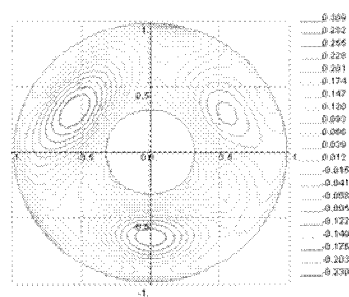


Рисунок 2.

В результате анализа причин, связанных с особенностями физико-механического поведения материалов сборки ГЗ, способных вызывать нестабильность качества ОП ГЗ, было установлено, что: 1) сплошной клеевой слой, как элемент механического интерфейса между оптическим элементом и закладной втулкой, в виде полого цилиндра с толщиной стенки 0,8 мм может являться причиной образования ошибок ОП при самых разнообразных видах внешнего воздействия на ГЗ; 2) незначительная (в пределах 1%-5%) объемная деформация цилиндрического клеевого слоя может вызвать ошибки ОП ГЗ величиной, равной зарегистрированной после испытаний ГЗ. Численно доказано, что клеевой слой в виде дискретных пятен позволит снизить чувствительность ОП ГЗ к объемным деформациям DP-190 не менее, чем в три раза. На рис. 3, 4 соответственно приведены результаты расчёта деформаций ОП ГЗ для сплошного клеевого слоя толщиной 0,8 мм и клеевого слоя в виде дискретных пятен.

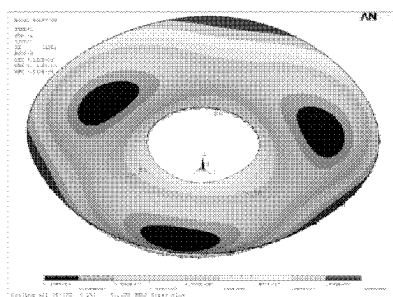


Рисунок 3.

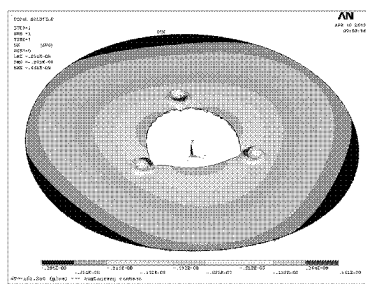


Рисунок 4.



Рисунок 5.

В настоящее время ИНАСАН совместно с ОАО ЛЗОС, ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» проводит доработку макетного образца ГЗ в части внесения конструктивных изменений в клеевое соединение, обеспечивающих уменьшение площади приклейки и толщины клеевого слоя, замену сплошной плёнки клея на плёночные пятна, не связанные друг с другом. На рис. 5 показан ситалловый фрагмент ГЗ с вклеенной по технологии ОАО ЛЗОС инваровой втулкой после климатических и механических испытаний, проведенных в ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» в июле-августе 2014 года. Как видно на фотографии, несущая способность клеевого соединения определяется прочностью ситалла. Величина разрушающей нагрузки в осевом направлении составляет 36 - 37 кН, что соответствует результатам расчёта и согласуется с ранее проведенными испытаниями сплошного клеевого соединения. Остаточная деформация клеевого соединения в осевом направлении после воздействия эксплуатационной нагрузки величиной 7500 Н не превышает 1 мкм.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КНА «СПЕКТР-УФ»

ЖУПАНОВ В.Г.,¹ ФЕДОСЕЕВ В.Н.,¹ ВЛАСЕНКО О.В.,² САЧКОВ М.Е.²

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «НИИ НПО «ЛУЧ»»

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва

E-mail: Zhupanov@luch.podolsk.ru, vlasenko@inasan.ru, msachkov@inasan.ru

В процессе создания главного зеркала и других оптических элементов КНА «Спектр-УФ» одной из основных задач является нанесение покрытия, обладающего необходимыми отражающими и защитными свойствами.

В ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» для отработки технологии и нанесения отражающего и защитного покрытия $Al+MgF_2$ на главное зеркало телескопа диаметром 1.7 м используется установка INTEGRITY-100 (рис. 1) в специально сконструированных чистых помещениях класса ISO 8. Установка представляет собой вакуумную камеру производства Denton Vacuum с внутренними размерами 2.54*2.54*2.6 м, оборудованную двухступенчатыми форвакуумными насосами, 2-мя крионасосами, а так же мейснеровской ловушкой для проведения откачки. Для испарения в камеру установлены 4 электронно-лучевых пушки, 4 резистивных испарителя, камера оборудована ионным источником для очистки покрытия, а так же нагревателями для создания необходимой для проведения процесса температуры.

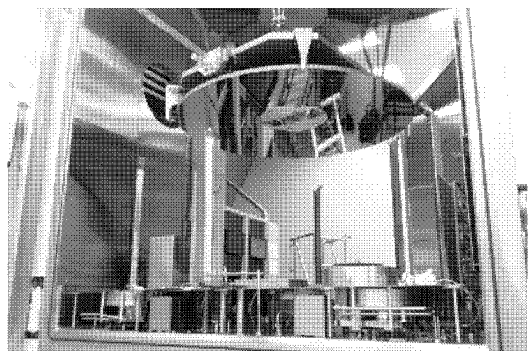


Рисунок 1.

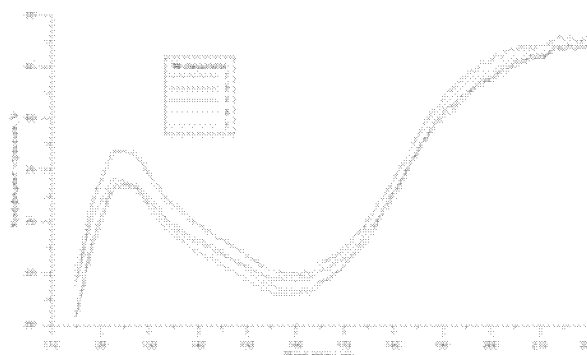


Рисунок 2.

Для измерения основной характеристики покрытия – коэффициента отражения в области вакуумного ультрафиолета используется спектрофотометр VUVaS 1000. Он предназначен для снятия спектров отражения и пропускания в области спектра 115 – 350 нм.

Исходя из высокой склонности алюминия к окислению и того, что оксид алюминия Al_2O_3 значительно снижает коэффициент отражения в области вакуумного ультрафиолета, основной задачей при нанесении покрытия было не допустить или минимизировать его окисление. Добиться этого можно выполнив два основных условия. Необходимо достичь минимального парциального давления кислорода в камере и максимальной скорости испарения

алюминия. Но, поскольку молекулы кислорода всё равно присутствуют, уменьшить степень окисления алюминия можно за счет увеличения скорости нанесения алюминия и минимизации времени между окончанием нанесения алюминия и началом нанесения пленки фторида магния. Откачка атмосферы из камеры осуществлялась при помощи двухступенчатых форвакуумных насосов, крионасосов и мейснеровской ловушки, что позволило получить парциальное давление кислорода примерно $2 \cdot 10^{-9}$ мБар.

В качестве дополнительной меры для откачки кислорода проводится испарение титана под заслонкой, испаренный титан образует оксид, тем самым удаляя кислород из камеры. Данный способ позволил уменьшить давление кислорода в камере примерно на один порядок.

Для достижения максимальной равномерности и скорости испарения изначально планировалось использовать параллельно две электронно-лучевые пушки, но в данном случае, было решено использовать только одну пушку, чтобы определить максимальную скорость испарения которую она способна выдавать. Также, как говорилось ранее, это позволило использовать вторую пушку для испарения титана. Испарение алюминия проводилось из вольфрамового тигля со скоростью около 60 А/с, скорость вращения зеркала составляла 20 оборотов в минуту. Для нанесения защитного покрытия из фторида магния применялся резистивный испаритель, испарение осуществлялось из вольфрамовой лодочки. Конечные толщины слоёв алюминия и фторида магния 800 А и 200 А соответственно. Скорость и толщина покрытия фиксировались прибором Inficon IC-6 при помощи кварцевого датчика, расположенного в 70 см над тиглем. После нанесения двухслойного функционального покрытия проводились измерения основной характеристики – коэффициента отражения в области вакуумного ультрафиолета по образцам - свидетелям. Распределение коэффициента отражения по радиусу главного зеркала приведено на рис. 2.

Исходя из полученных результатов, можно сделать заключение, что процесс нанесения отражающего и защитного покрытий на главное зеркало телескопа был проведен успешно. Требования по коэффициенту отражения удовлетворены на всем промежутке длин волн. Но, также стоит отметить, что существует потенциал для получения лучших результатов. В частности, не реализовано испарение из двух пушек, что в свою очередь может увеличить скорость и уменьшить время нанесения. Реализованы не все механизмы минимизации парциального давления кислорода и паров воды в камере.

НАНЕСЕНИЕ ОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ ДИАМЕТРОМ ДО 4 м МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

МУХАММЕДЗЯНОВ Т.Р., АЗЕРБАЕВ А.А., АБДУЛКАДЫРОВ М.А., БАЛАНДИН В.Ю.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла»

E-mail: ktb2@lzos.ru

В ОАО ЛЗОС создана вакуумная установка для нанесения отражающих покрытий с защитой на оптические детали диаметром до 4 м методом магнетронного распыления (рис. 1).

Технические характеристики вакуумной установки.

Диаметр детали – до 4 м

Вес детали – до 7 т

Способ нанесения покрытия – магнетронное распыление.

Материалы покрытия - Al, Ag, SiO₂, Si₃N₄, NiCrN_x и др.

Неравномерность покрытия на максимальном диаметре детали – не хуже ±5%.

Контроль нанесения покрытия – при помощи кварцевых резонаторов.

Базовое покрытие, состоящее из отражающего слоя Al и защитного слоя SiO₂, отработано на образцах-свидетелях, имитирующих оптическую деталь диаметром 4м. По итогам отработки получены следующие результаты:

- неравномерность покрытия < ±5%;
- коэффициент отражения $R_{\lambda_{\text{ср}}}$ (для $\lambda = 250-1200\text{нм}$) > 85%;
- 0 группа механической прочности по ОСТ 3-1901-85.

Нанесено базовое покрытие на две детали диаметром 1150мм: с плоской рабочей поверхностью и со сферической поверхностью с радиусом 34000мм. Оптико-механические параметры нанесенного покрытия соответствуют параметрам, полученным по результатам отработки базового покрытия. В ближайшее время планируется нанесение базового покрытия на детали диаметрами 1120мм, 3190мм, 1900 мм. После ввода в эксплуатацию созданной вакуумной установки ОАО ЛЗОС обладает полным циклом производства оптических деталей диаметром до 4м – от варки стекла до нанесения покрытия.

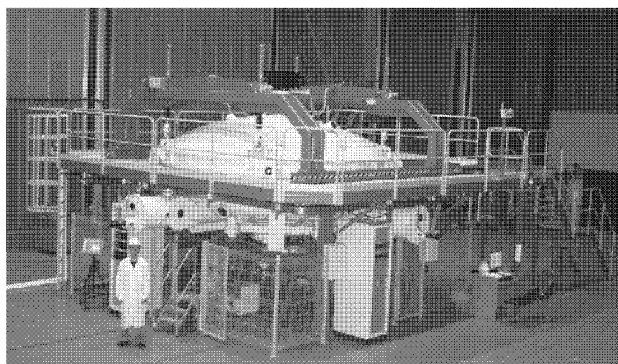


Рисунок 1.

Общий вид вакуумной установки

НАНЕСЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЯ НА ЗАЩИТНЫЕ СТЕКЛА ЛАМПОВЫХ КАССЕТ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ УФЛ-2М

КУЗНЕЦОВА О.В., АЗЕРБАЕВ А.А., АБДУЛКАДЫРОВ М.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: ktb2@lzos.ru

ОАО ЛЗОС на данный момент ведет реализацию крупного проекта по изготовлению различных оптических элементов для создаваемой в РФЯЦ-ВНИИЭФ лазерной установки УФЛ-2М, предназначенной для осуществления инерциального термоядерного синтеза. В рамках данного проекта для решения задачи по нанесению широкополосного просветляющего покрытия на защитные стекла ламповых кассет установки УФЛ-2М была проведена исследовательская работа по подбору покрытия с требуемыми параметрами. Экспериментально было подобрано двухслойное покрытие на основе хлорида тантала и тетраэтоксисилана, наносимое методом золь-геля, со следующими параметрами:

- коэффициент отражения $R_{\lambda_{\text{ср}}}$ (для $\lambda = 490\text{-}610\text{нм}$ и $720\text{-}910\text{нм}$) $< 1\%$;
- 0 группа механической прочности по ОСТ 3-1901-85.

Также было разработано и изготовлено технологическое оборудование для осуществления нанесения на полноразмерные защитные стекла с габаритами 1900мм x 650мм двухслойного широкополосного просветляющего покрытия, его термообработки и контроля его параметров. По окончанию монтажных и пуско-наладочных работ планируется выход на производительность технологического оборудования в 350 штук защитных стекол с покрытием в год.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ЛАЗЕРНОЙ ГОЛОВКИ С СИЛОВОЙ ОПТИКОЙ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

НОСОВ П.А., ГРИГОРЬЯНЦ А.Г., ШИРАНКОВ А.Ф.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: pan.bmstu@gmail.com

В результате научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проведенных в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана и успешно испытана лазерная силовая оптика российского производства. Теоретические работы выполнялись силами оптиков НИИ РЛ и кафедры РЛ2, а экспериментальные работы и испытания – лазерного центра под руководством А.Г. Григорьянца (на базе лазерной головки ХХХХ).

Разработанная оптическая система предназначена для работы в составе лазерной головки технологической установки резки металлов с помощью непрерывного волоконного лазера мощностью до 5 КВт. Лазерное излучение на вход оптики лазерной головки поступает по транспортировочному волокну с диаметрами от 50 до 200 мкм.

Для исследования характера и параметров исходного пучка лазерного излучения, выходящего из транспортировочного волокна, была разработана методика измерений. В качестве примера результатов таких измерений приведено распределение плотности мощности в поперечном сечении пучка после коллиматора (рис. 1а) и форма огибающей выходящего лазерного пучка после коллиматора и фокусатора (рис. 1б). Хорошо видно, что распределение в пучке имеет гауссоподобный вид, а огибающая лазерного пучка в продольном сечении имеет характерный вид гиперболоида.

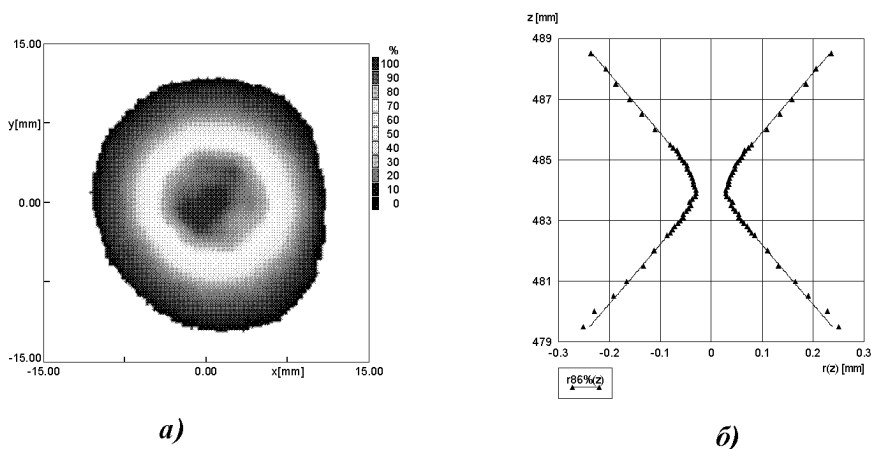
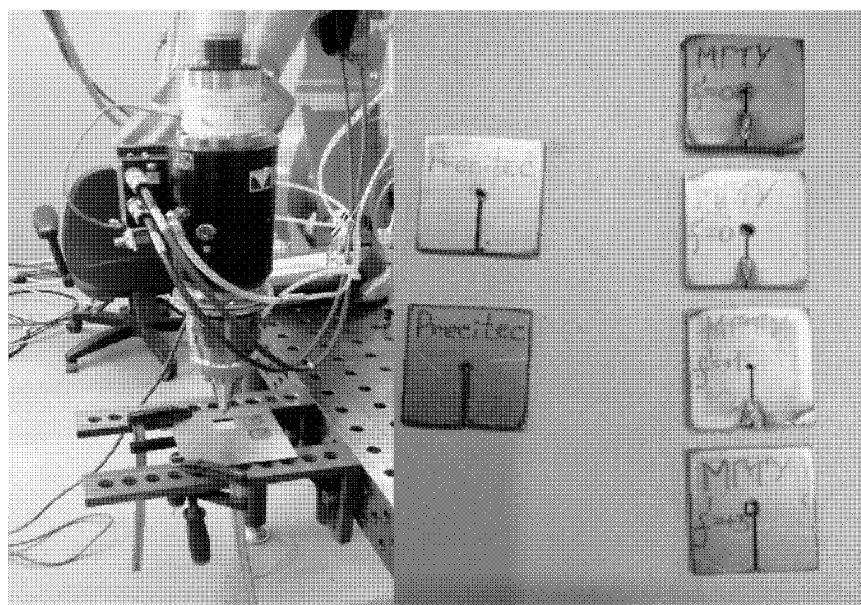


Рисунок 1.

- а) – поперечное распределение плотности мощности после коллиматора;
б) – огибающая (каустика) лазерного пучка после коллиматора и фокусатора

Измерения проводились анализатором пучка LaserScope UFF 100 компании Prometec с диаметром отверстия измерительной иглы 20 мкм. На рис. 2 приведены вид лазерной технологической головки и результаты реза металла с помощью оптики немецкой компании Precitec и российской оптики, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана.



a)

б)

Рисунок 2.

a) – лазерная технологическая головка;

б) – вид реза металла с оптикой Precitec и МГТУ им. Н.Э. Баумана

В результате проведенных теоретических исследований и испытаний экспериментальных работ были получены результаты, позволяющие сделать следующие выводы:

1. Экспериментально доказана правомочность применения обобщённой теории лазерных пучков для проектирования оптической системы лазерной технологической головки при работе с многомодовым излучением непрерывного волоконного лазера мощностью до 5 кВт и использованием транспортировочного волокна.

2. Успешно апробирована методика структурного и абберационного синтеза оптической системы лазерной технологической головки для получения малых искажений выходного гауссова пучка с перетяжкой требуемого размера и максимально широкими допусками на оптические компоненты оптики их взаимное расположение.

Экспериментально подтверждена возможность использования в силовой оптике стекла российского производства, отработана технология обработки и просветления рабочих поверхностей силовой оптики

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПУЧКА МОЩНОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

НОСОВ П.А., ШИРАНКОВ А.Ф., ТРЕТЬЯКОВ Р.С.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: pan@bmstu.ru

При использовании волоконных лазеров для технологических целей излучение на выходе транспортного волокна преобразуется оптической системой лазерной головки. Для разработки современных высокоэффективных оптических систем лазерных головок для технологических установок с мощными волоконными лазерами необходимо.

1. Подтвердить правомерность использования теории лазерной оптики для пучка излучения мощного волоконного лазера (описание распространения такого пучка в свободном пространстве и через оптическую систему). Для этого в лазерном центре МГТУ им. Н.Э. Баумана были проведены измерения пространственных параметров пучка на разных участках лазерной технологической головки. Эти исследования проводилось для иттербиевого волоконного лазера серии ЛС-4-К производства ООО НТО «ИРЭ-Полюс» (максимальная выходная мощность излучения в непрерывном режиме 4 кВт, длина волны излучения 1070 нм). Для диаметров волокна 50 мкм и 100 мкм проведены измерения пространственного распределения плотности мощности излучения вдоль оси пучка после его прохождения через узлы оптической системы технологической головки немецкой фирмы Precitec. Регистрация распределения плотности мощности излучения в различных сечениях пучка проводилась прибором Prometec LASERSCOPE UFF 100 для высокомоощных лазеров.

По результатам обработки распределений плотности мощности излучения в различных сечениях пучка получена форма огибающей пучка по уровню 86,5% полного потока – зависимость диаметра пучка вдоль оптической оси.

2. Знать параметры пучка на выходе волоконного лазера, т.е. параметры пучка на входе оптической системы: пространственные параметры лазерного пучка по уровню 86,5% полного потока: размер перетяжки, конфокальный параметр, положение перетяжки, угловая расходимость, параметр ВРР пучка.

Проведённые экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. распространение в свободном пространстве описывается гиперболической зависимостью и традиционными пространственными параметрами лазерного пучка;
2. преобразование пучка излучения мощного волоконного лазера оптической системой описывается формулами лазерной оптики;
3. определены все пространственные параметры пучка на выходе иттербиевого волоконного лазера серии ЛС-4-К и на выходе узлов оптической системы технологической головки немецкой фирмы Precitec.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ СИЛОВОЙ ОПТИКИ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГОЛОВОК

НОСОВ П.А., ПАВЛОВ В.Ю., ШИРАНКОВ А.Ф.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: pan@bmstu.ru

Оптические элементы лазерной технологической головки, формирующие пучок излучения волоконного лазера мощностью единицы и десятки киловатт в непрерывном режиме, работают с интенсивными потоками излучения. Такие элементы относятся к классу силовой оптики, к разработке и изготовлению которых предъявляются особые технические требования.

1. Оптическая система лазерной головки должна формировать требуемые для выбранного вида технологической обработки материала пространственные параметры пучка в зоне обработки материала. Аберрации оптической системы приводят к искажению амплитудно-фазового распределения поля и, как следствие, к отклонению пространственных параметров лазерного пучка в зоне обработки материала. Поэтому важной задачей разработки оптической системы лазерной головки является обеспечение малых искажений формируемого лазерного пучка.

2. При эксплуатации технологических установок с мощными волоконными лазерами имели место ситуации, в которых отражённое от поверхностей оптической системы излучение попадает обратно в волокно. Это приводит к нестабильному режиму работы волоконного лазера вплоть до срыва генерации. Поскольку оптика лазерной технологической головки формирует пучок мощного волоконного лазера, величина потока обратного отражения излучения в оптической системе лазерной головки может составлять существенное значение. Величина потока обратного отражения определяется конструктивными параметрами оптической системы (френелевское отражение от рабочих поверхностей оптической системы) и просветляющим покрытием. С учётом высокой мощности излучения просветляющее покрытие должно быть лучстойким.

Также при разработке оптической системы лазерной головки необходимо рассчитывать максимальный угол падения лучей на поверхностях линз, который определяет трудоёмкость нанесения просветляющего покрытия.

3. Технические требования к изготовлению силовой оптики лазерных технологических головок заключаются в выполнении требования по погрешности формообразования рабочих поверхностей (общая ошибка N и местная ошибка ΔN) и обеспечении требуемого класса чистоты обработки рабочих поверхностей. В случае наличия на рабочих поверхностях элементов силовой оптики дефектов в виде царапин, точек, нитей может произойти прогорание покрытия. Чтобы этого не произошло необходимо рабочие поверхности изготавливать с высоким классом чистоты и их обработкой методами глубокой шлифовкой и полировкой.

Для изготовления силовой оптики требуется особо чистое стекло, с предельно низким содержанием гидроксильных групп, бесцветное, высшей категории по пузырькости, с высокой радиационно-оптической устойчивостью и высоким пропусканием в видимом и ближнем ИК

диапазонах спектра. Среди российских марок кварцевого стекла этим требованиям в достаточной полной мере удовлетворяют кварцевые стёкла марок КС-4В и КУ-1. В ИК диапазоне спектра зарубежным аналогом этих марок является Infrasil.

Таким образом, разработанная оптическая система лазерной головки должна иметь такие конструктивные параметры, при которых:

1. Оптические элементы являются технологичными (не слишком крутые радиусы кривизны рабочих поверхностей, отсутствие у линз «острого края», максимальный угол падения лучей на поверхность линз $\leq 35^\circ \dots 40^\circ$).

2. Величина потока обратного отражения от поверхности раздела сред оптической системы незначительная.

3. Искажения лазерного пучка в рабочей зоне малы.

Методика синтеза оптических систем лазерных головок для технологических установок с мощными волоконными лазерами, разработанная на кафедре «Лазерные и оптико-электронные системы» (РЛ-2) МГТУ им. Н.Э. Баумана, учитывает все перечисленные особенности работы элементов силовой оптики и требования к их изготовлению. В лазерном центре МГТУ им. Н.Э. Баумана проведены экспериментальные исследования оптического материала и различных просветляющих покрытий, направленные на создание задела по организации серийного производства в РФ элементов силовой оптики для лазерных технологических головок.

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТОК

БЕССМЕЛЬЦЕВ В.П., ДОСТОВАЛОВ А.В.

Федеральное Государственное бюджетное Учреждение Науки Институт Автоматики и
Электростроения Сибирского Отделения Российской Академии Наук (ИАиЭ СО РАН)

E-mail: bessmelt@iae.nsk.su

На большинстве предприятий оптико-механической промышленности России для формирования сеток на стеклянных подложках применяются устаревшие технологии, использующие методы механического нанесения рисунка на масочный слой и травления стекла плавиковой кислотой. Указанная технология не удовлетворяет современным требованиям, как по гибкости и производительности, так и по точности и разрешающей способности.

Проведенные в ИАиЭ СО РАН исследования инициированные ОАО «Вологодский оптико-механический завод» и затем активно поддержанные ОАО «Швабе-Оборона и Защита» (Новосибирск) показали, что современная лазерная технология позволяет формировать изображения сеток шириной от 3 мкм различной глубины на большинстве стекол использующихся в производственных процессах предприятий холдинга «Швабе».

Применение лазеров для обработки стекол имеет особенности, связанные с тем, что многие стекла прозрачны от УФ до ИК диапазона длин волн. Поэтому процесс обработки стекол ранее исследовался с использованием CO_2 лазера с длиной волны 10,6 мкм. Кроме того, некоторые стекла имеют нижнюю границу прозрачности выше 300 нм (например, стекло ВК7), что делает возможным применение УФ лазеров с длительностью импульсов ~ 1 нс. Однако тепловые процессы, неизбежно возникающие при лазерной обработке, обычно формируют в стеклах дефекты в виде микротрещин и сколов.

С развитием фемтосекундных технологий стало возможным использовать лазеры, работающие на длине волны видимого или ближнего ИК диапазона для поверхностной микрообработки стекол прозрачных на данных длинах волн. При этом качество микромодификаций, по сравнению с результатами воздействия более длительных импульсов, гораздо выше, вследствие того, что физические процессы, связанные с абляцией длинными (\sim мс, нс) и сверхкороткими (\sim пс, фс) импульсами имеют совершенно разный характер.

Исследования проводились на установке по прецизионной модификации поверхности прозрачных материалов представленной на рис. 1. Излучение фемтосекундного лазера (средняя мощность 6W длина волны основной гармоники 1026 нм, длительность импульса на полувисоте 232 фс) через систему поворотных зеркал (З1–2, ДЗ) заводилось на фокусирующую оптику — асферическую линзу (О). С помощью системы ослабления пучка, состоящей из двух полуволновых пластинок и поляризатора (П), устанавливался необходимый уровень энергии импульса. С помощью расширителя пучка (РП) устанавливался необходимый размер пучка на входе фокусирующей оптики.

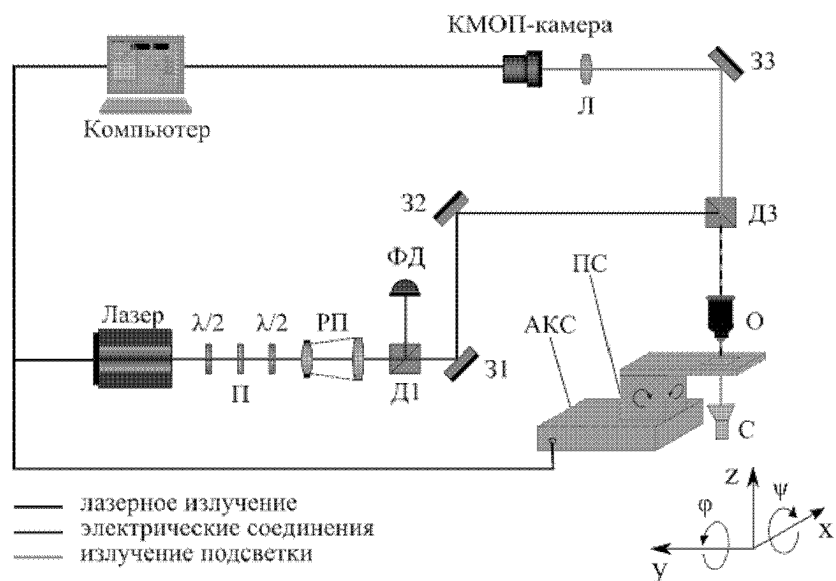


Рисунок 1.
Схема экспериментальной установки по модификации поверхности прозрачных материалов

Перемещение образца производилось с помощью системы высокоточных координатных столов Aerotech с полем сканирования $25 \times 100 \times 6$ мм², механический поворотный стол (ПС) позволял выставлять плоскостность поверхности образца по всей области сканирования. С помощью подсветки (С) и КМОП-камеры выполнялась настройка положения области фокусировки и плоскостность при перемещениях. Энергия импульсов лазерного излучения контролировалась измерителем энергии импульсов.

Исследовались режимы обработки различных стекол и кристаллов для получения элементов сеток регулируемой ширины 3-15 мкм и глубины 1-10 мкм. Режимы выбирали по критерию быстродействия, точности и минимизации дефектов в виде микротрещин и микросколов.

Изготовлены опытные партии образцов специальных сеток на различных стеклах, полностью соответствующих техническим условиям и чертежам, предоставленным Заказчиком и приняты ОТК заказчика (рис. 2.)

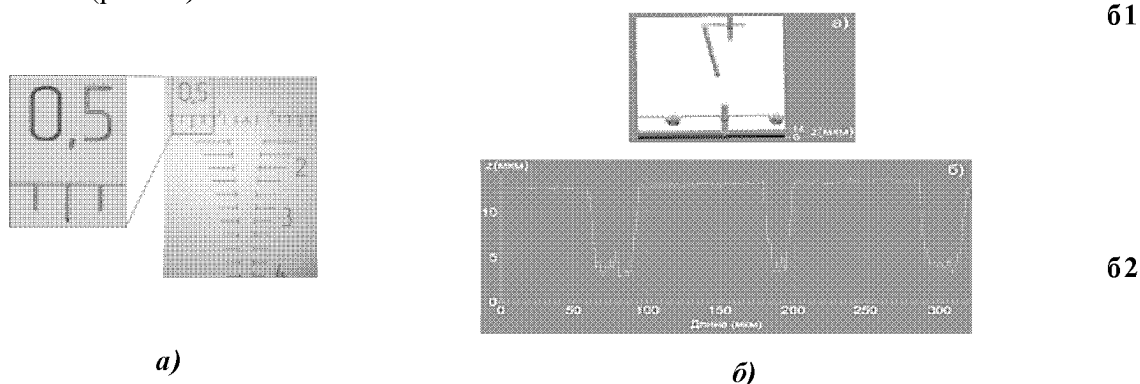


Рисунок 2.
*а) Увеличенное изображение лазерной обработки поверхности образца
 б) Результат измерения глубины модификации: б1) область измерения профиля модификации (вдоль красной линии), б2) - профиль модификации по высоте*

ПРЕЦИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ФОРМЫ АСФЕРИЧЕСКИХ И НЕТИПИЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ

ПОЛЕЩУК А.Г., НАСЫРОВ Р.К.

Институт автоматики и электротриии СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: poleshchuk@iae.nsk.su

В настоящее время достигнут существенный прогресс в области изготовления и контроля оптических поверхностей с нанометрической точностью. Обычный интерферометр обеспечивает контроль плоских или сферических поверхностей. Для контроля поверхностей сложной формы, например, асферических, цилиндрических, торических, а в общем случае произвольной формы, необходимо использовать корректоры волнового фронта [1]. В качестве таких корректоров наиболее часто используют компьютерно-синтезированные голограммы (СГ). Однако расчет, изготовление и применение СГ для контроля нетипичных поверхностей имеет ряд особенностей.

В настоящей работе представлены результаты разработки СГ для контроля формы цилиндрических, конических и произвольных оптических поверхностей.

Для решения задачи синтеза СГ в ИАиЭ впервые был предложен, разработан и создан программно-аппаратный комплекс прямой лазерной записи микроструктур в полярной системе координат на основе лазерного фотопостроителя CLWS-300IAE. Разработанные адаптивные методы коррекции внешних воздействий позволили обеспечить погрешность записи мене 10 нм в течение 10 и более часов непрерывной работы.

Для контроля цилиндрических поверхностей с большой числовой апертурой, мы предлагаем использовать интерферометр Физо с эталонным объективом (ЭО). В этом случае СГ 1 устанавливается строго перпендикулярно оптической оси в сходящемся пучке света (рис. 1а). Для юстировки СГ используется вспомогательный отражательный дифракционный элемент 2. Преимущество такой схемы заключается в том, что период структуры СГ (рис. 1б) в два раза больше, чем в известных схемах и все оптические компоненты располагаются вдоль оптической оси.

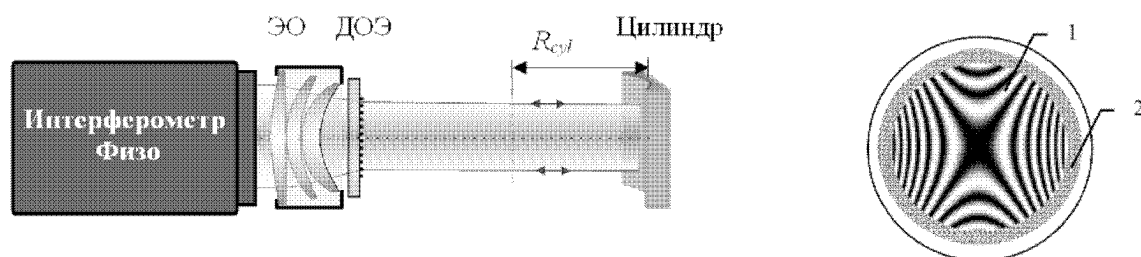


Рисунок 1.

Оптическая схема (а) и вид фазовой функции СГ (б)

Сложные оптические поверхности не имеют осевой симметрии и могут задаваться в виде двумерной карты. Но, как правило, оптические поверхности являются гладкими и могут быть описаны полиномами. Имеются две основные особенности при разработке оптических систем контроля таких поверхностей.

1. Расчет функции пропускания СГ требует существенных объемов вычислений, так как дифракционная структура является внеосевой. Объем данных достигает десятков и сотен Гб для СГ диаметром более 100 мм.

2. Для обеспечения погрешности контроля менее 0.05λ , оптическая измерительная система (рис. 2а), включающая интерферометр, ЭО, СГ и контролируемую поверхность должны быть установлены в пространстве в расчетные положения с погрешностью менее 1 мкм.

Для точной установки СГ относительно контролируемой поверхности предложено использовать дополнительные юстировочные СГ (Рис. 2б), а на контролируемой поверхности изготавливать дополнительные сферические микрозеркала (МЗ). Таким образом, по нескольким интерферограммам можно однозначно выставить контролируемую поверхность относительно СГ.

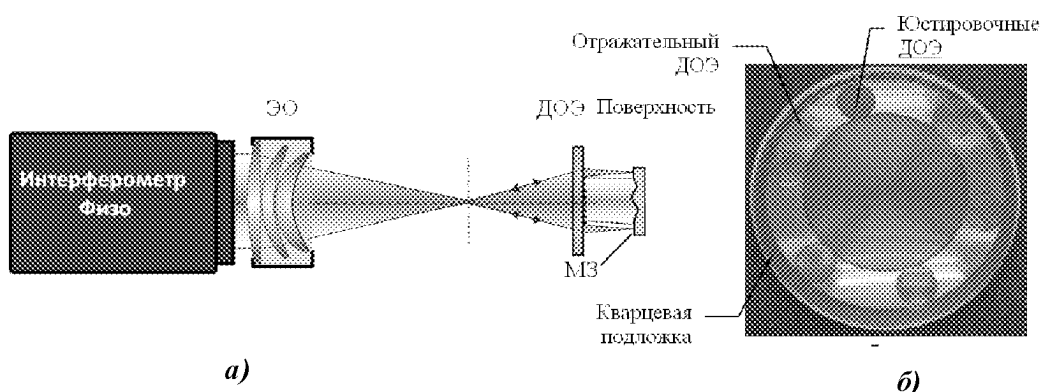


Рисунок 2.

Оптическая схема (а) и внешний вид изготовленной СГ (б)

Для экспериментального исследования предложенных оптических схем были изготовлены СГ. Запись дифракционных структур в пленках хрома производилась на установке CLWS-300IAE [2]. Фазовый рельеф получался методом реактивного-ионного травления на установке Plasmalab 80+. Контроль формы поверхностей проводился интерферометром Intellium с эталонными объективами $f/2.2$ и $f/3.3$.

Заключение. Разработаны интерферометрические схемы контроля цилиндрических, конических и произвольных оптических поверхностей. Разработаны методы расчета и изготовления ДОО.

Данная работа выполнена при поддержке проекта министерства образования и науки РФ № 2012-218-03-004а и междисциплинарного интеграционного проекта № 112 СО РАН.

Список литературы:

1. Chang Y.-C., Zhou P., and Burge J.H. Analysis of phase sensitivity for binary computer-generated holograms// Appl. Opt.-2006.- V.45.-P. 4223-4234.
2. Poleshchuk A.G., Churin E.G., Koronkevich V.P., Korolkov V.P. etc. Polar coordinate laser pattern generator for fabrication of diffractive optical elements with arbitrary structure// Appl. Opt.-1999.-V. 38.-P. 1295-1301.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА 6-метрового ТЕЛЕСКОПА БТА МЕТОДОМ ШАКА-ГАРТМАНА

БОРИСОВ Н.В., ФАТХУЛЛИН Т.А., ВЛАСЮК В.В.

**Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Карачаево-Черкесия,
пос. Нижний Архыз**

E-mail: vvlas@sao.ru

В 2012-2014 годах специалистами САО РАН начаты работы по внедрению метода контроля рабочей поверхности Главного зеркала 6-метрового телескопа БТА с использованием датчика Шака-Гартмана. Предполагается, что эта методика будет применяться не только в ходе аттестации 6-метрового зеркала после его установки на телескоп, но также в ходе цеховых испытаний на этапе доводки поверхности и его сдачи-приемки.

Созданный специалистами ИПЛИТ РАН датчик Шака-Гартмана успешно испытан на телескопе БТА в ходе ряда наблюдений, а результаты измерений хорошо согласуются с данными, полученными другими методами.

Проведены результаты измерений, обсуждаются предельные возможности использования этого прибора как в цеховых условиях, так и в ходе работ непосредственно на телескопе.

ОПТИКО – ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА ВОЛНОВОГО ФРОНТА

БАРЫШНИКОВ Н.В., ДЕНИСОВ Д. Г., КАРАСИК В.Е., САХАРОВ А.А.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: denisov_dg@mail.ru

Контроль параметров формы оптических поверхностей - одна из важнейших технологических задач оптического производства, для осуществления которой широко применяют интерференционный метод. Этот метод основан на интерференции между двумя пучками лучей: первый - отраженный от эталонной поверхности, а второй - от контролируемой поверхностей. Большое распространение для контроля таким способом получил интерферометр Физо [1]. Интерферометр типа Физо - простейший двухлучевой интерферометр с совмещенными ветвями. Это означает, что в таком интерферометре рабочая и эталонная ветви совмещены. Такая особенность позволяет уменьшить погрешность измерения параметров формы

поверхности, в случае съюстированной системы, т.к. пучок лучей проходит один и тот же путь в прямом и обратном направлении, за счет чего происходит вычитание ошибок волнового фронта. Для контроля плоских поверхностей в качестве эталона используется клиновидная пластина, последняя поверхность которой является эталоном.

Существует ряд задач, возникающих в связи с контролем оптических поверхностей указанным методом, среди которых можно выделить, следующие:

1. Необходимость соблюдения высокой точности эталонной поверхности, что приводит к технологическим трудностям изготовления эталона, особенно для контроля крупногабаритных деталей, а, следовательно, производство таких эталонов является дорогостоящим;
2. Условия наблюдения интерференции накладывают ограничение на выбор источника излучения: он должен обладать большой длиной когерентности: $\Delta \ll l_{кз}$, где Δ - оптическая разность хода лучей, $l_{кз}$ - длина когерентности. Такое требование к источнику излучения также существенно при контроле крупногабаритных деталей и деталей со значительными радиусами кривизны;
3. Неустойчивость к вибрациям и неоднородность воздушного промежутка между эталонной и контролируемой поверхностями оказывает влияние на качество результатов измерения.

Для решения перечисленных проблем в работе предлагается использование оптико – электронной системы контроля параметров формы оптических изделий на основе датчика волнового фронта (ДВФ) [2] рис. 1.

Пучок лучей, выходящий из источника, фокусируется микрообъективом и преобразуется в расходящийся пучок, который после прохождения светоделителя 3 преобразуется объективом 4 в параллельный. Затем, отразившись от контролируемой детали 5, лучи идут в обратном направлении, снова проходят через объектив 4 и светоделителем направляются в сторону ДВФ 8, перед которым установлен объектив 7, преобразующий падающий на него пучок лучей в параллельный. Важно отметить, что в такой системе интерферограмма является результатом математической обработки двух волновых фронтов: предварительно записанного плоского эталонного и исследуемого (отраженного от контролируемой детали). Для проведения измерений необходимо предварительно записать плоский эталонный волновой фронт. На рисунке 1 представлена функциональная схема разрабатываемого прибора на основе ДВФ, использующего модальный метод определения наклонов нормалей в пределах микрорастра контролируемого волнового фронта.

В результате проведенных исследований и предварительных точностных расчётов можно сделать выводы о ряде преимуществ представленной оптико-электронной системы:

1. Отсутствие эталонной поверхности;
2. Возможность проведения измерений параметров плоских оптических деталей с отклонением от плоскостности до 462 мкм при одном записанном эталонном волновом фронте;
3. Возможность использования лазера с малой длиной когерентности;
4. Проведение технологического контроля оптических деталей с различными покрытиями благодаря возможности расширить спектральный диапазон, т.к. нет строгих требований по длине когерентности источника излучения;
5. Возможность работы в ИК-диапазоне;
6. Работа с динамическим эталоном.

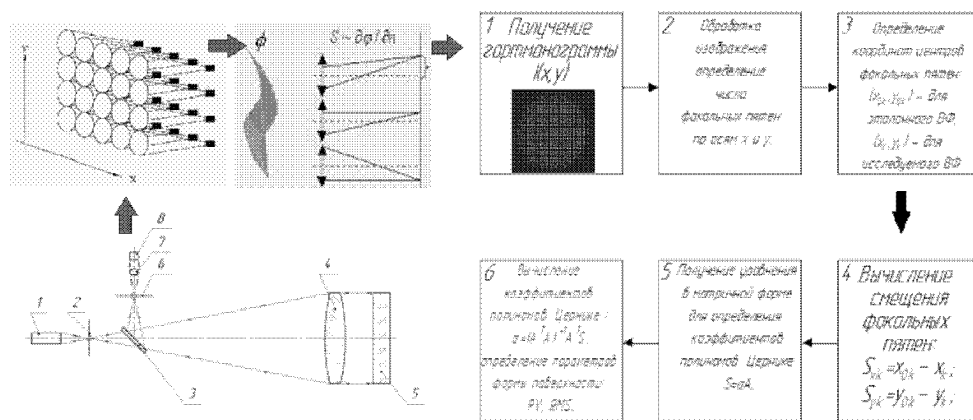


Рисунок 1.

Функциональная схема опико-электронного прибора и основные этапы модального метода обработки гартманограммы:

- 1 – источник излучения с микрообъективом;**
2, 6 – точечная диафрагма; 3 – светоделитель;
4, 7 – объектив; 5 – плоская контролируемая деталь; 8 – ДВФ

Список литературы:

1. Пуряев Д.Т., Лазарева Н.Л., Иконина А.В. Оптические системы двухлучевых интерферометров: Учебное пособие / под ред. Д.Т. Пуряева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 24 с.
2. Кирилловский В.К. Современные оптические исследования и измерения: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2010. 304 с.

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПРИ СБОРКЕ И ЮСТИРОВКЕ ВНЕОСЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

КОЛЮЧКИН В.Я., ОДИНОКОВ С.Б., ГОРЕВОЙ А.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: vkoluch@bmstu.ru

Обеспечение высоких требований к степени точности взаимного положения оптических компонент при сборке и юстировке внеосевых зеркально-линзовых объективов является сложной технической задачей. Особенно актуальна эта задача для крупногабаритных объективов, используемых в комплексах космического базирования. Целью предлагаемой работы является разработка методики контроля, которая должна обеспечить контроль погрешностей сборки и юстировки оптических компонент с заданной степенью точности.

Для решения задачи контроля предложено использовать интерферометр Физо с компенсаторами, выполненными на основе голограммных элементов – голограммных компенсаторов. Преимуществом таких компенсаторов является то, что они могут быть изготовлены с несколькими рабочими зонами. Каждая из этих зон рассчитывается и изготавливается таким образом, что голограммный компенсатор формирует эталонные волновые фронты, которые используются для контроля положения соответствующих оптических компонент юстируемого объектива. Это позволяет минимизировать требуемое количество компенсаторов, необходимых для обеспечения контроля при сборке и юстировке.

В общем случае при сборке и юстировке требуется произвести контроль следующих погрешностей положения оптических компонент: линейное смещение в продольном направлении – вдоль оптической оси; линейное смещение в поперечном направлении относительно оптической оси – поперечных децентрировок; поворотов компонент относительно вершин поверхностей оптических компонент – угловых децентрировок.

В работе показано, что для линзовых компонент со сферическими поверхностями рационально производить контроль по задним относительно интерферометра поверхностям. Во-первых, это позволяет исключить взаимное влияние угловых и линейных децентрировок, а, во-вторых, существенно повысить чувствительность интерференционного метода контроля.

Основными источниками погрешностей используемого интерференционного метода являются:

- методическая погрешность, которая обусловлена несовершенством методов расчёта и изготовления голограммных компенсаторов, а также несовершенством эталонного объектива, формирующего опорный и рабочий волновые фронты;
- инструментальная погрешность, которая обусловлена погрешностями оценки искажений интерферограмм, формируемых в интерферометре Физо при выполнении контроля;
- случайные погрешности измерений, обусловленные вибрациями аппаратуры и шумами устройства регистрации интерферограмм;
- погрешность установки голограммного компенсатора, которая вызывает погрешность формы волнового фронта, формируемого для контроля положения оптических компонент;

- погрешности конструктивных параметров оптических компонент контролируемой оптической системы, в том числе, погрешность показателя преломления, погрешность радиусов кривизны сферических поверхностей линзовых компонент, погрешность толщины, децентрировка поверхностей.

На основе анализа, проведённого методом математического моделирования, показано, что основным источником погрешностей метода контроля взаимного положения оптических компонент, являются погрешности конструктивных параметров этих компонент, даже если они находятся в расчётных пределах допустимых значений. Но эти погрешности являются систематическими для конкретного экземпляра контролируемого изделия. Поэтому имеется принципиальная возможность снижения их влияния на погрешности контроля при сборке и юстировке.

Чтобы обеспечить требуемые требования по точности контроля, перед началом процесса сборки и юстировки предлагается:

- произвести аттестационный контроль оптических компонент с целью получения данных о фактических значениях параметров, определяющих формы;

- по результатам аттестационного контроля расчётным путём произвести оптимизацию и расчёт допусков на взаимное положение элементов оптической схемы при условии достижения требуемого значения показателя качества оптической системы;

- методом математического моделирования получить расчётный вид интерферограмм и допустимый диапазон их изменения при отступлении положения аттестованных оптических компонент в пределах полученных допусков, а также с учётом погрешностей измерений их конструктивных параметров при аттестации.

Предложенная методика в принципе позволяет обеспечить заданную степень точности контроля при выполнении технологических операций сборки и юстировки оптических систем. Но для большей надёжности на этапе проектирования оптических систем следует проверять возможность реализации данного метода контроля погрешностей сборки и юстировки.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ВЫСОКОТОЧНОГО АНАЛИЗА ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., БАРЫШНИКОВ Н.В., ПАТРИКЕЕВ В.Е.,
КАРАСИК В.Е. ДЕНИСОВ Д.Г.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В настоящее время существует технологическая задача не только изготовления крупногабаритных оптических деталей с нанометровым уровнем значений параметров профилей оптических поверхностей (*Peak-to-Valley* – максимальное расстояние между высотой наибольшего выступа и глубиной наибольшей впадины относительно среднего уровня профиля поверхности; *Root-Mean-Square* – среднеквадратическое отклонение формы профиля оптической поверхности от ближайшей эталонной поверхности; *Rq* – среднеквадратическое значение отклонений точек профиля относительно базовой линии в пределах базовой длины), но и оперативного контроля данных деталей. Яркими примерами оптических систем, в которых существует необходимость в подобных оптических деталях, являются лазерная система *NIF*, установка «Луч» и телескоп *E-ELT*.

В данной работе предлагается, в качестве критерия параметров профилей изготавливаемых оптических деталей их частотная характеристика - двумерная функция *PSD-2D* (*Power Spectral Density* – спектральная плотность корреляционной функции). Однако, в настоящее время в стандарте *ISO* имеется описание лишь одномерной функции *PSD*. Очевидно, что невозможно напрямую сравнить измеренную двумерную функцию *PSD*, представляющую совокупность всех пространственных гармоник неоднородностей топографии двумерного профиля. Программное обеспечение современных интерферометрических приборов контроля позволяет получить одномерную функцию *PSD* лишь по одному из сечений, что не даёт полного представления о качества всей поверхности детали. В связи с этим предложен метод приведения двумерной функции *PSD-2D* к одномерному виду *PSD-1D* усреднением по азимуту. Такой подход позволит получить более полное представление о качестве профилей поверхностей технологических изделий в широком спектральном диапазоне неоднородностей. В данной работе расчёт функции *PSD* будет проводиться с использованием карты значений высот оптической поверхности $h(x,y)$, полученной при измерении поверхности интерферометром, например, компании *ZYGO* или *ESDI*. Преобразование Фурье над конечным полем неоднородностей задаётся в виде, представленном на рис. 1. В соответствии с теоремой Винера-Хинчина, устанавливающей связь между среднеквадратическим отклонением формы (СКО) поверхности и спектральной плотностью мощности корреляционной функции (*PSD*), возможна проверка правильности вычисления функции *PSD*. Среднеквадратическое отклонение параметров неоднородностей, рассчитанное по карте значений высот поверхности $h(x,y)$, а так же в соответствии с теоремой Винера-Хинчина по функции *PSD* должны совпадать.

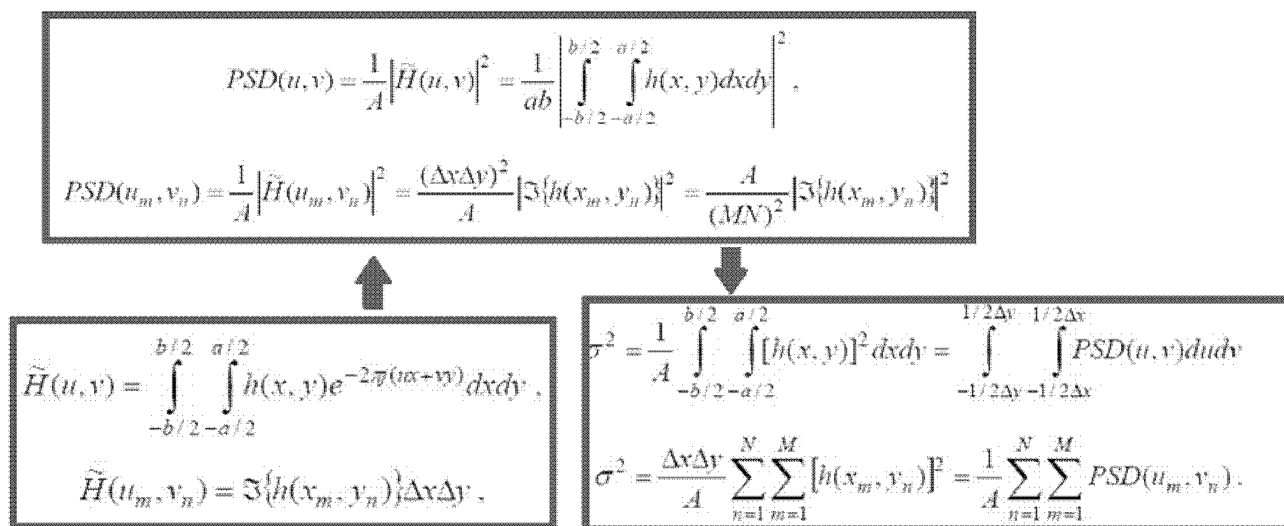


Рисунок 1.
Основные этапы алгоритма определения частотной характеристики структуры профилей поверхностей оптических деталей

На рис. 2 представлены результаты работы алгоритма. Для проверки правильности работы разработанного программного обеспечения была проведена серия экспериментальных измерений на Лыткаринском заводе оптического стекла.

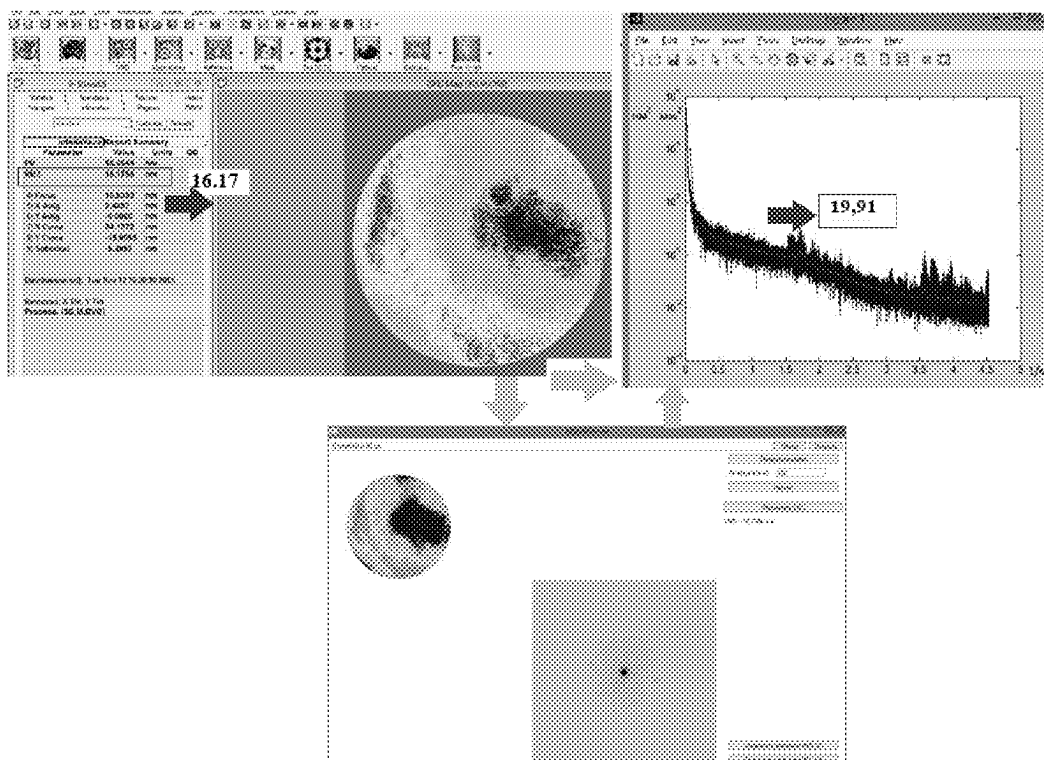


Рисунок 2.
Результаты экспериментальных измерений и расчёта частотных характеристик топографии профилей оптических поверхностей в соответствии с разработанным алгоритмом

МЕТОД КОНТРОЛЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА И ФОКАЛЬНЫХ ОТРЕЗКОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИНЗОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПАТРИКЕЕВ В.Е., СУДАРИКОВ И.Н., ШАРОВ Ю.А.

ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

E-mail: lastro-am@lzos.ru, sudarikov@lzos.ru

Основная сложность при контроле крупногабаритных линзовых оптических элементов состоит в том, что в большинстве случаев они имеют выпуклые оптические поверхности. Это в свою очередь накладывает ограничения на использование стандартных интерферометрических средств контроля оптики. На сегодняшний день большинство выпуклых поверхностей крупногабаритных линзовых элементов контролируют методом суб-апертур. Предлагаемый метод позволяет проводить контроль линзовых оптических элементов на полной апертуре детали.

Линзовый оптический элемент контролируется в проходящем лазерном излучении, причём излучение имеет сферический волновой фронт с центром в передней фокальной плоскости элемента. Это позволяет проводить измерения волнового фронта на полной апертуре детали, что даёт меньшую погрешность, по сравнению с методом суб-апертур, который имеет значительную погрешность при восстановлении полной топографической карты по данным суб-апертур.

Для измерения параметров волнового фронта используется специальная аппаратура, основанная на методе динамической интерферометрии. Использование динамического интерферометра позволяет получать карту поверхности в условиях вибрации. В то же время для минимизации движения воздушных потоков все элементы измерительной системы расположены внутри закрытого корпуса.

Контроль фокальных отрезков линзовых оптических компонентов предлагается с использованием лазерного дальномера и спецприспособлений. Благодаря такому подходу можно достичь погрешности измерения не более 0.5 мм при величине фокального отрезка 30 м.

На стадии изготовления и отработки методики контроля находится специально разработанный стенд, позволяющий контролировать волновой фронт и фокальные отрезки линзовых оптических компонентов размером до 600 мм и фокусным расстоянием от 5 до 30 м.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ДВУХ ПЛОСКОСТЕЙ

БАРЫШНИКОВ Н.В., ЖИВОТОВСКИЙ И.В., ДЕНИСОВ. Д.Г.,
ГЛАДЫШЕВА Я.В. АБДУЛКАДЫРОВ М.А, ПАТРИКЕЕВ В.Е.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла»

E-mail: yanagladysheva@gmail.com

В настоящее время большой интерес вызывают задачи, связанные с определением и контролем параметров качества оптических поверхностей. Это связано с появлением ряда современных технических систем, в состав которых входят крупногабаритные высокоточные оптические детали, в том числе с плоскими рабочими поверхностями. Требования к качеству поверхностей таких деталей очень высоки, так как определяют качество функционирования оптической системы в целом.

На сегодняшний день технология изготовления оптических поверхностей позволяет получить изделия различной конфигурации с требуемыми характеристиками. При этом необходимы методы измерения с высокой точностью параметров качества рабочих поверхностей изготавливаемых деталей процессе производства.

Требования к качеству подобных оптических деталей в последнее время определяются пространственно-частотными диапазонами, связанными с пространственным масштабом неоднородностей, например с пространственным масштабом неоднородностей: 450 – 33 мм, 33 - 2,5 мм, 2,5 - 0,12 мм, 0,12 - 0,01 мм [1]. Для каждого диапазона устанавливаются свои требования к размеру неоднородностей формы рабочей поверхности детали. Границы диапазонов определяются в основном возможностями приемной системы интерферометра.

Для контроля параметров качества поверхности в каждом диапазоне используются интерферометрические методы восстановления профиля оптической поверхности на основе интерферометра Физо. Однако для получения необходимой точности измерений при использовании интерферометрических методов необходимо проведение калибровки эталонной поверхности, входящей в схему интерферометра. Так как качество измеряемой детали сравнимо с качеством эталонной поверхности, то для получения объективных результатов требуется исключить ошибки поверхности эталона из результатов измерений. Для этой задачи в большинстве случаев используется метод трех плоскостей [2-3]. Классический метод трех плоскостей заключается в попарном измерении трех поверхностей А, В, и С, где А – эталонная поверхность, а В и С – две поверхности плоскопараллельные пластины. Эти измерения $W_1(x, y) \dots W_3(x, y)$ представлены как:

$$\begin{cases} W_1(x, y) = A(-x, y) + B(x, y) \\ W_2(x, y) = A(-x, y) + C(x, y) \\ W_3(x, y) = B(-x, y) + C(x, y) \end{cases},$$

где $B(-x, y)$ симметрично $B(x, y)$ относительно вертикальной оси и это означает, что плоскость используется как пластина на проход.

Однако эта система из трех уравнений имеет четыре неизвестные, что не позволяет вычислить профили поверхностей отдельно. Для нахождения недостающей неизвестной используются дополнительные измерения, например, поворот измеряемой поверхности вокруг оптической оси. Но контроль крупногабаритных деталей с горизонтальным расположением оптической оси накладывает ряд ограничений и классический метод калибровки трех плоскостей не может быть использован.

Авторами был исследован метод двух плоскостей, который был использован в проекте Laser Megajoule во Франции [5]. Путем перемещения при измерениях вспомогательной плоской пластины относительно эталонной пластины в плоскости перпендикулярной оптической оси. Этот метод двух плоскостей дает возможность получить информацию о форме эталонной поверхности, отделив ее от формы поверхности вспомогательной пластины.

Авторами был реализован алгоритм калибровки методом двух плоскостей в Matlab. Для определения точности работы алгоритма рассматривались поверхности, заданные в виде набора двумерных синусоид.

Шероховатую поверхность можно представить в виде набора гармоник, синусоидальных функций. Каждый пространственно-частотный диапазон можно охарактеризовать множеством гармоник, правая граница которого рассчитывается как величина обратная максимальному значению масштаба неоднородностей на данном интервале. Таким образом, при проверке алгоритма было установлено при каких гармониках и значениях перемещений возможно восстановление профиля исследуемой поверхности с погрешностью не более 5%. Исследование показало, что данный алгоритм позволяет проводить абсолютные измерения в диапазоне размера неоднородностей поверхности: 600 – 6 мм.

Данный алгоритм не позволяет проводить измерения исследуемой поверхности с более малым пространственным масштабом неоднородностей, что является дальнейшей задачей совершенствования алгоритма.

Список литературы:

1. *Campbell J. H.* NIF optical materials and fabrication technologies: An overview // Proceedings of SPIE. 2004. Vol. 5341.
2. *B. S. Fritz.* "Absolute calibration of an optical flat," Opt. Eng. 23, 379–383 (1984).
3. *Chen Xu, Lei Chen,* and Jiayi Yin* Method for absolute flatness measurement of optical surfaces. APPLIED OPTICS / Vol. 48, No. 13 / 1 May 2009
4. *U. Griesmann.* "Three-flat test solutions based on simple mirror symmetry," Appl. Opt. 45, 5856–5865 (2006).
5. *Franck Morin, Stephane Bouille.* Absolute interferometric measurement of flatness: application of different methods to test a 600 mm diameter reference flat. Proc. of SPIE Vol. 6616 66164G-1

МЕТОД И ПРИБОР ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРЯМЫХ ДВУГРАННЫХ УГЛОВ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЗМ

БАКЕРКИН А.В., КОНДРАТОВ Ю.В., КУЗЬМИН И.В., МЕЙТИН В.А.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

E-mail: kondratov@niipp-moskva.ru

Контроль двугранных углов правильной многогранной призмы обычно выполняют с помощью известного способа [1], требующего в случае повышенных требований к точности измерений применения дорогостоящего высокоточного гониометра или дополнительной многогранной призмы с уже измеренными углами.

Предлагаемый прибор позволяет повысить точность определений погрешностей изготовления ЗПЭ, существенно сокращая время процесса измерения.

Принцип работы прибора основан на том, что сумма центральных углов, образованных нормальными к поверхностям правильной четырехугольной призмы, составляет величину 360° (правильный четырехугольник выбран как наиболее интересный частный случай, но все рассуждения справедливы и для любого другого правильного многоугольника, удовлетворяющих условию $360/n$, где n – четное число).

Излучение автоколлиматора 1 (рис. 1) при помощи светоделителя 2 и зеркал 3, 4, 5 разделяется на два канала и направляется на смежные грани контролируемого изделия под произвольным углом, близким к углу 90° , который является постоянным в течение всего процесса измерений и обеспечивается конструкцией прибора.

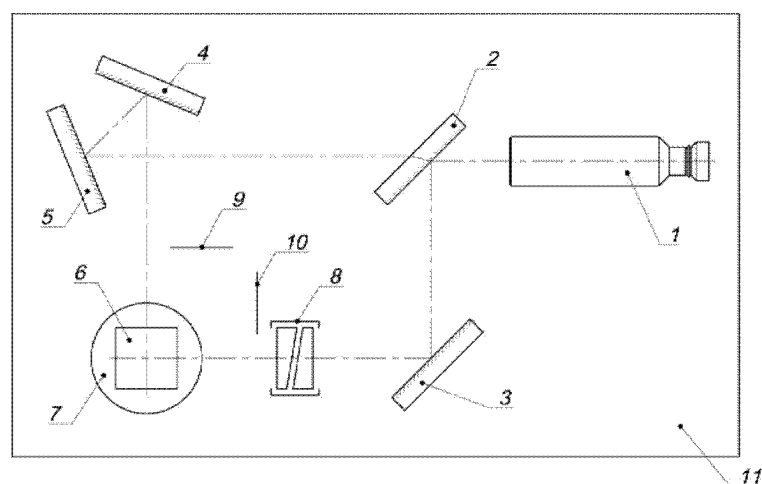


Рисунок 1.
Оптическая схема прибора

Такое расположение зеркал выбрано неслучайно, оно нечувствительно к одновременному развороту группы элементов 2, 3 вокруг вертикальной оси и независимому от этого разворота одновременному развороту системы из зеркал 4, 5 вокруг вертикальной оси, не приводящему к смещению направления излучения автоколлиматора от исходного. Таким образом, разворот групп элементов 2, 3 и 4, 5 или автоколлиматора в сагиттальной плоскости не повлияет на точность измерений.

Установив многогранную призму 6 на поворотный столик 7, небольшими поворотами стола вводят в поле зрения изображения автоколлимационных бликов от смежных граней призмы. Разворотом клинового компенсатора 8 добиваются расположения бликов на определенном расстоянии друг относительно друга. Шторки 9 и 10 служат для определения принадлежности бликов к конкретному каналу.

Угловое расстояние между бликами (B_{i+1}, A_i) измеряется. Оно несет разностную информацию (1) об угле падения излучения β и угле $\gamma_{i,i+1}$ между нормальными к смежным граням призмы.

$$\gamma_{i,i+1} - \beta = (B_{i+1} - A_i)$$

Затем разворачивают призму на угол близкий к углу 90° , так что бы в поле зрения автоколлиматора наблюдалась следующая пара бликов. После проведения операций измерения для оставшихся смежных граней можно составить систему уравнений, аналогичных (1). С учетом того, что сумма центральных углов γ_i равна 360° , а угол $\beta = const$, вычисляются углы между нормальными к поверхностям призмы, которые образуют дополнительные до 180° искомые двугранные углы [2].

Контроль одиночного угла призм производится методом сравнения с уже измеренным углом многогранной призмы.

На базе данного метода был сконструирован и изготовлен прибор ФК-547. В нем использовался аттестованный цифровой автоколлиматор ОПТРО-АК-015.

В ходе экспериментальных исследований прибора проводилось многократное измерение многогранной призмы, грани которой были изготовлены с отклонением от плоскостности не более $1/10$ интерференционной полосы.

Экспериментальные исследования нового прибора показали высокую повторяемость результатов измерений (средняя квадратическая погрешность не превышала $0,03''$), и он может быть использован для прецизионного технологического контроля двугранных углов призм и оптической оснастки используемой для их изготовления.

Список литературы:

1. Электронный учебник по дисциплине «Прикладная оптика». Теоретические и физические основы устройства ОП. Автор: *Митрофанов С.С.* (СПбГУ ИТМО) гл.4, раздел 3, подраздел 4, п. 4 «Гониометры», http://de.ifmo.ru/bk_netra.
2. Патент на полезную модель RU № 127902 МКИ G01 В11/26.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФОРМЫ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

БАКЕРКИН А.В., КОНДРАТОВ Ю.В., ЛЫСЕНКОВА Е.В., ЩУКИН Д.Г.

ОАО «Научно-производственная корпорация
«Системы прецизионного приборостроения», г. Москва

E-mail: kondratov@niipp-moskva.ru

Прибор предназначен для контроля формы полированных осесимметричных асферических оптических поверхностей на этапе их изготовления. Прибор целесообразно использовать в том случае, когда форма поверхности детали уже достаточно далека от исходной сферической заготовки, но в то же время еще не соответствует требуемому уравнению профиля. Схемы контроля, в которых используются методы, основанные на применении гомоцентричного пучка лучей, неприменимы для контроля оптической детали в процессе ее асферизации в связи с ненаглядностью данных методов и трудностями расшифровки интерферограмм.

Автоматизированный прибор состоит из автоколлимационного теневого прибора, имеющего интерфейс сопряжения с персональным компьютером, и персонального компьютера с установленным программным обеспечением LabView компании National Instruments.

Методика контроля формы отражающей асферической оптической поверхности основана на использовании автоколлимационного метода определения положения центров кривизны кольцевых зон контролируемой оптической поверхности [1]. В качестве источника излучения используется протяженная щель с четкой границей «свет-тень». Анализатором положения изображения источника, сформированного в результате отражения от кольцевой зоны поверхности детали, служит пространственный фильтр в виде нити. Автоколлимационный теневой прибор фиксирует характерное распределение света и тени (теневую картину), которое с помощью дополнительного объектива проецируется на матрицу приемника излучения. Эти элементы объединены в фокальный узел. Дугообразная граница света и тени соответствует диаметру зоны контролируемой поверхности, в центре кривизны которой в данный момент расположены источник излучения и анализатор.

Процесс измерения заключается в получении зависимости диаметра D кольцевой зоны на апертуре контролируемой поверхности от положения s источника излучения и анализатора. Фокальный узел при помощи моторизованного привода, управляемого при помощи программного обеспечения LabView, одновременно перемещают с определенным шагом вдоль оптической оси детали, в результате чего изменяется положение границы света и тени, соответствующей круговой зоне контролируемой поверхности с определенным радиусом кривизны. Определение диаметра границы света и тени производится при помощи специальной программы, написанной в программной среде LabView (рис. 1). Зная зависимость $D_{\text{теор}} = f(s_{\text{теор}})$ для идеальной поверхности, в результате разностно-интегрального преобразования можно получить информацию об отклонении профиля контролируемой поверхности оптической детали от теоретического профиля.

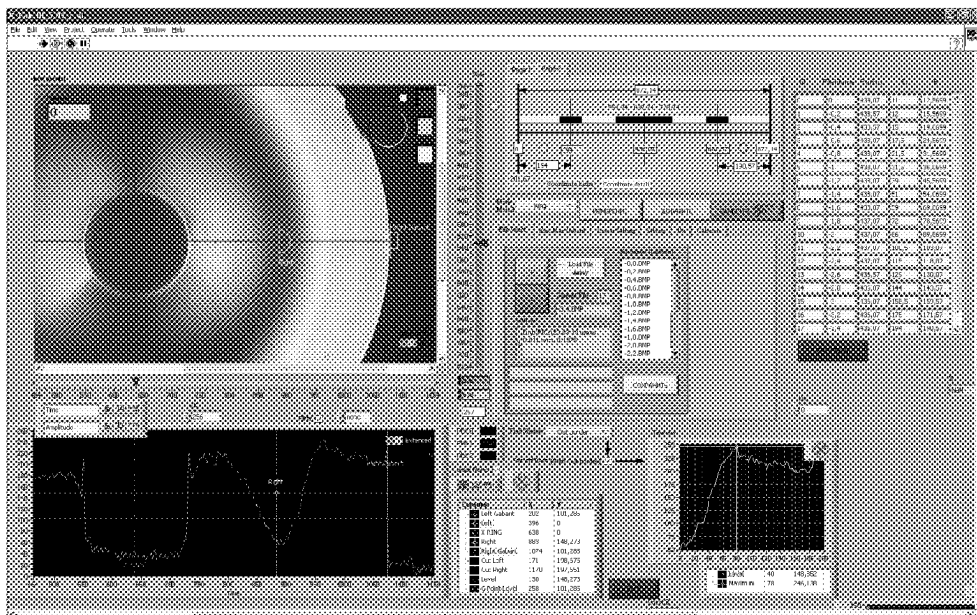


Рисунок 1.
Интерфейс программы для расчета отклонения формы поверхности

Результаты измерений автоматически заносятся в программу для расчета отклонения формы контролируемой поверхности от идеальной. В результате формируется протокол измерений в формате Microsoft Word с построением трех графиков:

- графика сравнения теоретических значений $D_{\text{теор}} = f(s_{\text{теор}})$ с измеренными значениями $D_{\text{изм}} = f(s_{\text{изм}})$;
- графика, демонстрирующего значение отклонения профиля контролируемой поверхности от теоретического профиля на каждом шаге измерений;
- графика суммарного отклонения профиля контролируемой поверхности оптической детали от теоретического профиля.

Экспериментальное исследование показало, что сходимость результатов измерений не превышает величину 0,3 мкм.

Фирма Zygo Corporation предлагает на рынке прибор для бесконтактного контроля формы асферических поверхностей Zygo VeriFire Asphere [2], позволяющий вести схожие измерения с использованием лазерного интерферометра. Точностные характеристики прибора Zygo VeriFire Asphere аналогичны точностным характеристикам автоматизированного прибора.

Список литературы:

1. ИБПА.25202.00004. Методика контроля формы асферической поверхности оптической детали.
2. www.zygot.com

МЕТОД ФАЗИРОВАНИЯ СОСТАВНОГО ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА РАДИОТЕЛЕСКОПА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МИЛЛИМЕТРОН»

ПУРЯЕВ Д.Т. БАТШЕВ В.И. КАПУСТИН А.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: ejingui@gmail.com

Проект «Миллиметрон» («Спектр-М») выполняется в рамках федеральной космической программы в АКЦ ФИАН им. П.Н. Лебедева под руководством академика РАН Н.С. Кардашева. Проект предполагает создание космической обсерватории, предназначенной для исследования различных объектов в спектральном диапазоне от 20 мкм до 20 мм, основная длина волны 300 мкм.

В качестве оптической системы телескопа выбрана классическая система Кассегрена. Главное зеркало диаметром 10 м имеет форму параболоида с фокусным расстоянием 2400 мм. Конструктивная особенность оптической системы телескопа заключается в том, что вторичное гиперболическое зеркало располагается внутри стрелки прогиба главного зеркала. Это исключает прямое попадание солнечных лучей на гиперболическое зеркало. Главное зеркало является составным и содержит центральное монолитное параболическое зеркало диаметром 3 м с центральным отверстием диаметром 600 мм, а также 72 внеосевых сегмента, расположенные в 24-х секторах, разделенных на 3 яруса.

Конечной целью фазирования является формирование на выходе из телескопа сферического бесступенчатого волнового фронта. Допустимая «ступенька» волнового фронта, согласно критерию Марешаля, не должна превышать 20 мкм для длины волны $\lambda = 300$ мкм. Поставленная цель достигается тогда, когда оптические оси всех сегментов, центрального зеркала и гиперболоида будут совмещены в единую ось – оптическую ось всего телескопа в целом, а фокусы сегментов и центрального зеркала совместятся с мнимым геометрическим фокусом F_2 гиперболоида (см. рис. 1). Кроме того, фокусные расстояния всех сегментов и центрального зеркала должны быть равны с точностью ± 10 мкм, что является сложной технологической проблемой и в данной работе не рассматривается.

Идея предлагаемого решения проблемы фазирования заключается в применении кольцевого конического зеркала, на которое падает осевой пучок параллельных лучей, отраженных от параболического сегмента. Оси сегментов и конических зеркал совмещены. Каждый параболический сегмент жестко соединен с соответствующим кольцевым коническим зеркалом, находящемся на внешнем крае сегмента.

В предлагаемой схеме контроля точечный источник света расположен в действительном фокусе F_1 контррефлектора 2 и при отражении от него образуется сферический волновой фронт с центром в его мнимом фокусе F_2 . Если контролируемый сегмент параболоида правильно ориентирован в пространстве, то волновой фронт отраженный от сегмента параболоида будет плоским и на кромку сегмента будет поступать строго параллельный пучок лучей. Угол раствора конической поверхности 3 рассчитывается таким образом, что параллельный пучок лучей, поступающий на внутреннюю поверхность конической кромки фокусируется в линию вблизи

вершины параболоида, где в предлагаемой схеме контроля установлено фотоприемное устройство (ФПУ) 4. Чувствительная площадка ФПУ лежит на оптической оси системы и перпендикулярна плоскости рисунка.

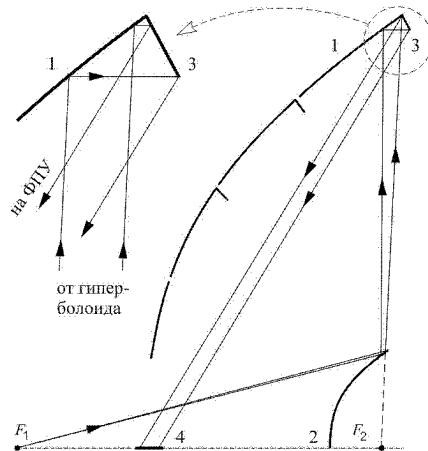


Рисунок 1.

*Схема контроля положения сегментов главного зеркала:
1 – сегмент внешнего яруса параболоида, 2 – контррефлектор,
3 – вогнутое коническое зеркало, 4 – ФПУ*

В процессе контроля очередного сегмента параболоида на приемнике излучения будет формироваться изображение в виде линии, которое создает коническая кромка каждого сегмента. По положению, размеру и интенсивности этого изображения можно сделать заключение о положении данного сегмента параболоида.

Для данной оптической системы фазирования смоделированы отклонения сегментов главного зеркала от их номинального положения и вычислены изменения в изображении фокальных линий для соответствующих децентрировок и поворотов сегмента. Полученная «ответная реакция» системы фазирования имеет порядок величины децентрировки сегмента, что позволяет с высокой точностью регистрировать на матричном приемнике излучения сдвиг сегмента главного зеркала по сдвигу фокальной линии.