



Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования  
Зарегистрирован в Научной Электронной Библиотеке  
Лицензионный договор № 727-11/2014

Учредитель и издатель – *Общественная научно-техническая академия «Контенант»*  
Издается с 2002 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПТИКЕ*

**Поздняков А.А., Гайфулин Т.А., Сухоруков А.И.**

Исследование возможности оптимизации компьютерной обработки изображений звездного неба больших размеров ..... 3

**Заварзин В.И., Кравченко С.О.**

Выбор марок оптических материалов для апохроматической коррекции компенсатора в трехзеркальных схемах Кука ..... 7

**Соломатин В.А., Осипова Н.С.**

Панорамная стереосъемка с помощью PAL-объектива ..... 18

**Торшина И.П., Якушенков Ю.Г.**

Некоторые особенности системного подхода при проектировании оптико - электронных систем 3-го поколения ..... 22

### *ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ*

**Архипов С.А., Абдулкадыров М.А., Добриков Н.С.**

Анализ физико-технологических проблем изготовления облегченных термостабильных оптико-механических систем на основе карбида кремния для оптико-электронной аппаратуры космического базирования ..... 28

**Семенов А.П., Абдулкадыров М.А., Добриков Н.С.,**

**Игнатов А.Н., Патрикеев В.Е. Папаев А.Ю.,**

**Полянщиков А.В., Придня В.В.**

Изготовление внеосевых высокоасферичных крупногабаритных астрономических зеркал ..... 47

**Кожевников А.А., Крехова Е.Ю., Лебедева В.А.,**

**Поздняков А.Е., Рыськов В.С., Храмогин Д.А.**

Автоматизированное управление процессом варки особого оптического стекла на нестандартном оборудовании ..... 58

**Валейский Д.В., Касинский Н.К., Красовский С.Н.**

Нанесение равнотолщинных покрытий на крупногабаритные оптические детали ..... 63

**Валейский Д.В., Касинский Н.К., Красовский С.Н.**

Влияние средств откачки на состав остаточной атмосферы в вакуумной камере ..... 66



## СОДЕРЖАНИЕ

(продолжение)

<b>Валейский Д.В., Касинский Н.К., Красовский С.Н.</b> Определяющие факторы и методика расчёта воспроизводи- мости толщины вакуумных покрытий оптических деталей ...	70
<b>Валейский Д.В.</b> Открытое акционерное общество «Оптическое станкострое- ние и вакуумная техника» .....	75
<b>Пелих С.А., Пелих И.С.</b> Реиндустриализация, пути ее реализации .....	85
<b>ИСТОРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	
К 85-летию Корницкого И.П. ....	93
<b>Калюгин В.С.</b> История Красногорского механического .....	95
<b>ИНФОРМАЦИЯ</b>	
Научно-техническая конференция ПАО КМЗ «Оптико-электронные приборы и комплексы» .....	102
Научно-техническая конференция «Голография. Наука и практика» .....	105
Информация для авторов статей .....	114

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗДНОГО НЕБА БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

ПОЗДНЯКОВ А.А., ГАЙФУЛИН Т.А., СУХОРУКОВ А.И.

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

E-mail: hpkbbkc@yandex.ru

*Произведена оценка возможностей параллельного программирования для обработки видеозображений, выполнен анализ эффективности распараллеливания алгоритмов обработки видеок кадров с использованием платформы CUDA на современных графических процессорах.*

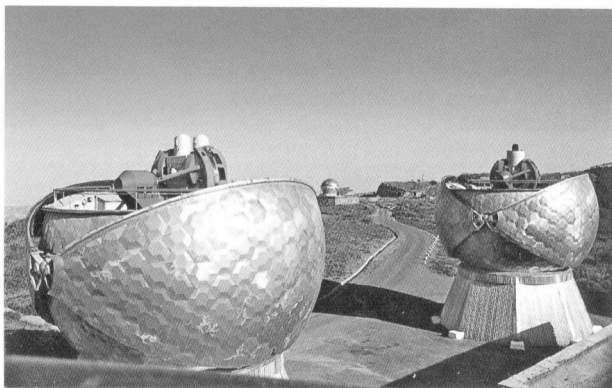
**Ключевые слова:** GPU, CUDA, NVidia, графический процессор, цифровая обработка изображений.

В современной нестабильной геополитической обстановке в мире все больше внимания уделяется передовым образцам высокотехнологичного вооружения и военной техники. В этом плане системам контроля космического пространства (ККП) отводится немаловажная роль.

На данный момент на вооружении нашей страны стоит оптико-электронный комплекс контроля космического пространства «Окно» (см. рис. 1). Комплекс предназначен для оперативного получения сведений о космической обстановке, каталогизации космических объектов искусственного происхождения, определения их класса, назначения и текущего состояния. ОЭК «Окно» позволяет производить обнаружение, распознавание и вычисление орбит космических объектов в автоматическом режиме на высотах от 2 тыс. до 40 тыс. км (в том числе и геостационарные орбиты) и размером более одного метра, а также способен обслуживать и низкоорбитальные космические объекты с высотами полета от 120 до 2000 км. Обнаружение

происходит в ночное время по отраженному от объектов на орбите солнечному свету. При этом фиксируются как известные, так и вновь обнаруженные объекты. На сегодняшний день в каталоге комплекса «Окно» содержится информация о 9 тысячах объектов на орбите.

В настоящее время на предприятии ПАО Красногорский завод им. С. А. Зверева приступили к созданию специализированных наземных средств контроля космического пространства нового поколения, позволяющих существенно расширить информационные возможности системы ККП. Актуальность работы обусловлена тем, что разрабатываемая в рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) перспективная оптическая станция будет иметь в приемном канале широкоформатную ПЗС-матрицу. Станция позволит производить телеметрию звездного неба в более высоком качестве, что приведет к аппаратным и временным трудностям в обработке больших потоков информации, что и требует разработки способов оптимизации



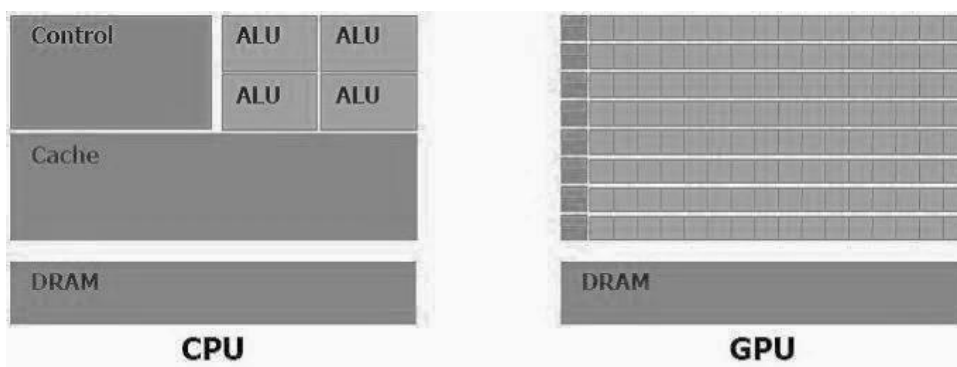
**Рисунок 1.**  
*Опτικο-электронный комплекс «Окно»*

обработки видеокладов. Была поставлена задача – не изменяя аппаратную структуру вычислительной системы, существенно увеличить скорость обработки видеокладов.

Увеличение производительности вычислительной техники в последние десятилетия осуществлялось в основном за счет повышения тактовой частоты центрального процессора. Данный способ всегда был и остается наиболее надежным из всех возможных. Однако ввиду технических ограничений при изготовлении интегральных схем уже невозможно рассчитывать на рост частоты работы процессора. Применение многопроцессорных систем также не получило широкого распространения, так как требует сложных и дорогостоящих многопроцессорных материнских плат. Поэтому эволюция вычислительной техники пошла по другому пути – развитию идеи многоядерности процессоров. Принцип увеличения производительности процессора за счёт нескольких ядер

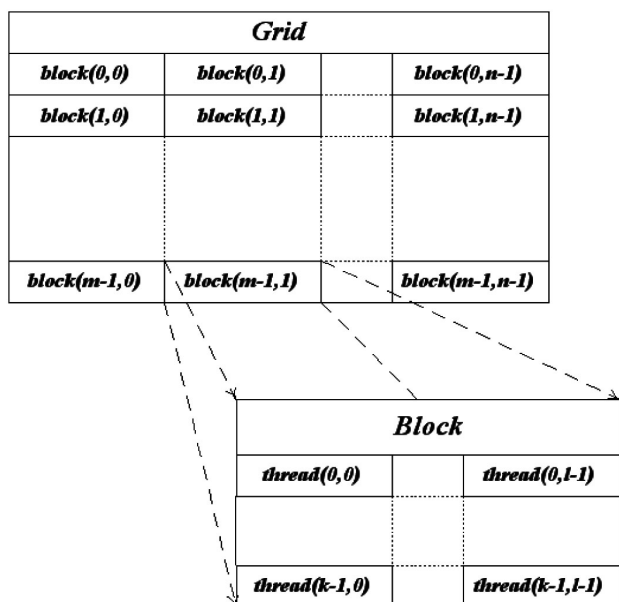
заключается в разбиении выполнения потоков (различных задач). Можно сказать, что практически каждый процесс, запущенный в системе, имеет несколько потоков. Однако одним из самых важных недостатков является внушительное энергопотребление, а значит, сильное тепловыделение и высокие температуры чипа при работе под нагрузкой. Также существенным минусом является высокая себестоимость процессора, возникающая из-за увеличения количества «железа». Поэтому процесс наращивания числа ядер замедлился. Графические процессоры (GPU) шагнули далеко вперед в плане наращивания вычислительной мощности и общего количества вычислителей. Однако такая высокая плотность достигается за счет максимального упрощения дизайна самого чипа [1]. На рис. 2 приведены примеры CPU и GPU архитектур.

General-purpose graphics processing units (GPGPU) – техника использования графического процессора видеокарты для вычислений общего назначения, которые обычно проводит центральный процессор. Вычисление на GPU не предполагает переноса нагрузки с центрального процессора на графический. Как правило, центральный процессор при этом остается загруженным, а использование графического процессора, наряду с центральным, позволяет повысить производительность, тем самым сократить время выполнения задачи. Причем сам GPU здесь выступает в роли своеобразного сопроцессора для CPU, но ни в коем случае не заменяет его полностью.



**Рисунок 2.**  
*Пример CPU и GPU архитектур*





**Рисунок 3.**  
*Иерархия нитей в CUDA*

Анализ существующего аппаратного комплекса ОЭЖ «Окно» позволил выявить возможность оптимизации путем использования платформы CUDA в перспективной оптической станции, позволяющей значительно увеличить скорость и точность обработки видеокadra за счет переноса реализации параллельных алгоритмов обработки на графические вычислители.

CUDA – программно-аппаратная архитектура, разработанная компанией Nvidia для видеокарт серии GeForce 8000 и старше. Платформа обеспечивает набор расширений для языков C/C++/Fortran, позволяющих выражать как параллелизм данных, так и параллелизм задач на уровне мелких и крупных структурных единиц. Существует поддержка фреймворка OpenCL [2].

CUDA использует большое число отдельных нитей для вычислений. Часто каждому вычисляемому элементу соответствует одна нить. Все они группируются в иерархию – grid/block/thread (см. рис. 3).

Верхний уровень – grid, – соответствует ядру, которое является функцией вычисления данных в GPU, и объединяет все нити, выполняющие данное ядро. Grid представляет собой одномерный или двухмерный массив блоков (block). Каждый блок (block)

является одно/двух/трехмерным массивом нитей (threads). При этом каждый блок представляет собой полностью независимый набор взаимодействующих между собой в пределах одного блока нитей.

Для контроля исполнения работы нитей GPU используется так называемый warp. С программной точки зрения, он является пулом нитей, в пределах которого происходит параллельная работа потоков, запрошенных при вызове ядра. Размер warp’а для всех GPU составляет 32, то есть параллельно исполняются только 32 нити. Одновременно на GPU можно запустить несколько warp’ов.

В ходе исследования завершена оценка возможностей параллельного программирования для обработки видеоизображений (разработка программы генерации кадра звездного неба большого размера (10’000x10’000 пикселей)), ведется работа над разработкой способов распараллеливания алгоритмов обработки видеокadров (см. рис. 4) с использованием платформы CUDA и оценка их эффективности на современных графических ускорителях, путем разработки пробных программ анализа кадра звездного неба больших размеров (например, через алгоритм вычитания матриц).



**Рисунок 4.**  
*Общая схема обработки кадра звездного неба*

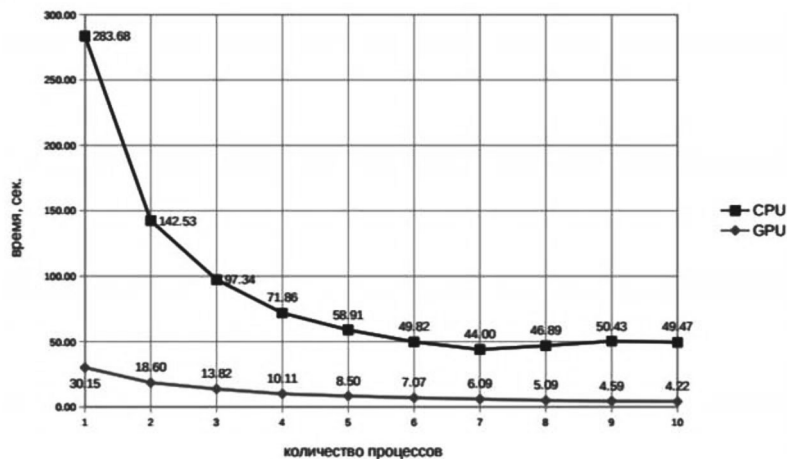


Рисунок 5.

Временная оценка анализа кадра звездного неба больших размеров

Таблица 1.

Временные показатели работы программы генерации кадра звездного неба большого размера (10 000 x 10 000 пикселей)

	Последовательный алгоритм, t	Распараллеленный алгоритм, t
CPU	5,689 с	1,473 с
GPU	9,371 с	0,958 с

Анализ предварительных результатов говорит о том, что производительность видеочипов значительно превосходит производительность CPU (см. табл. 1, рис. 5). Однако не стоит забывать, что выполнение расчётов на GPU показывает отличные результаты в алгоритмах, использующих параллельную обработку данных. То есть, когда одну и ту же последовательность математических операций применяют к большому объёму данных. При этом лучшие результаты достигаются, если отношение числа арифметических инструкций к числу обращений к памяти достаточно велико.

Следующий шаг исследований – это проведение оценки возможности применения гетерогенных вычислений (фреймворка OpenCL) для обработки видеоизображений, что может дополнительно повысить скорость обработки информации.

Результатом работы станет прототип про-

граммы для модуля обработки видеоданных в перспективной оптической станции. Разработка программного обеспечения позволит:

- увеличить производительность компьютерной обработки изображений звездного неба больших размеров;
- уменьшить вероятность ложной тревоги;
- увеличить точность распознавания космических объектов и определения их координат и орбит, что в полной мере отвечает интересам Воздушно-космических сил РФ.

Список литературы:

1. Суперкомпьютер из видеокарты: задействуем возможности GPU для ускорения софта. // Режим доступа: <http://haker.ru/56966>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров: Пер. с англ., Слинкина А. А., научный редактор Боресков А. В. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 232 с.: ил.

## ВЫБОР МАРОК ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АПОХРОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ КОМПЕНСАТОРА В ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫХ СХЕМАХ КУКА

ЗАВАРЗИН В.И., КРАВЧЕНКО С.О.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

E-mail: dekan.oep@gmail.com

**Аннотация.** Представлена методика выбора оптических материалов линзового компенсатора аберраций в трехзеркальной схеме Кука исходя из условия получения апохроматической степени коррекции хроматических аберраций. На примере спектрального диапазона 0,45 – 0,96 мкм проведен выбор оптических материалов для линз компенсатора из стекол каталогов LZOS и SCHOTT, получены оптимальные комбинации марок стекол трехлинзового компенсатора, обеспечивающие исправление вторичного спектра и минимизацию значений третичного спектра. Представленная методика и рекомендации позволили найти оптимальные комбинации материалов для исследуемого спектрального диапазона 0,45 – 0,96 мкм. Применение методики в практике расчета оптических систем для дистанционного зондирования Земли позволят повысить качество исправления хроматических аберраций и ускорить процесс разработки новой аппаратуры дистанционного зондирования Земли.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, зеркально-линзовый объектив, триплет Кука, асферическая поверхность, линзовый компенсатор, особые стекла, оптимальная комбинация стекол, хроматическая аберрация.

## THE CHOICE OF OPTICAL MATERIALS FOR APOCHROMATIC CORRECTION COMPENSATOR IN THE COOK MIRROR TRIPLET

ZAVARZIN V.I., KRAVCHENKO S.O.

Moscow State Technical University n.a. Bauman

E-mail: dekan.oep@gmail.com

**Annotation.** The text deals with a methodology selecting of optical materials lens-compensator of aberrations in the Cook's three-mirror scheme, based on the conditions for receiving the degree of apochromatic correction of chromatic aberrations. On the example of the spectral range 0.45 - 0.96 microns, carried out selection of optical materials for compensator's lenses from glasses from catalogs LZOS and SCHOTT, obtained the optimum combination of glass types three-lens compensator to ensure correction of the secondary spectrum and minimize the value of the tertiary spectrum. Presented technique and tips may help to find the optimal combination of materials for the investigated spectral range of 0.45 - 0.96 microns. Application of a technique in the practice of computation of optical systems for remote exploring of the Earth will increase the quality of correction of chromatic aberrations and accelerate the development of new devices to remote exploring of the Earth.

**Keywords:** remote sensing of the Earth, catadioptric lens, the secondary spectrum, superapochromat, duo-channel objective, Cook mirror triplet, aspheric surface, lens compensator, special glass, the optimum combination of glass, chromatic aberration.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к использованию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в различных областях народного хозяйства. Наряду с использованием этих данных в интересах Министерства обороны, нефтегазовой промышленности, геологических, океанических, лесных, сельскохозяйственных предприятий, все чаще они находят применение в городском, муниципальном и региональном управлении, в землеустройстве, картографии, обнаружении и ликвидации чрезвычайных ситуаций и многом другом. В связи с этим возрастает потребность в приборах и аппаратуре ДЗЗ из космоса [1, 2]. Поэтому актуальной задачей является разработка съемочной аппаратуры ДЗЗ среднего пространственного разрешения (размер проекции пикселя на поверхность Земли составляет 2...10 м) в целях создания топографической основы для обновления цифровых топографических карт масштабов 1:10 000 – 1:200 000. Подобную аппаратуру строят по схеме «объектив + приемник изображения», реализуют схему «щелевой» съемки, когда сканирование поверхности Земли осуществляется вдоль направления полета космического аппарата, а объектив формирует изображение подстилающей поверхности на светочувствительных элементах приемника.

Многие характеристики объектов можно изучать по панхроматическим снимкам, имеющим высокое пространственное разрешение. Однако все большее внимание пользователей данных ДЗЗ привлекают мультиспектральные данные, разрешение которых, как правило, ниже, но которые обладают рядом других неоспоримых преимуществ. Мультиспектральные снимки позволяют исследовать многие характеристики объектов на земной поверхности, которые не проявляются в панхроматическом режиме, наличие дополнительных спектральных видеоданных по территории значительно повышает дешифрируемость объектов местности, получаемых на панхроматических снимках (табл. 1).

Выбор и обоснование оптической схемы объектива, а также его габаритно-аберац-

онный расчет являются важными этапами проектирования аппаратуры ДЗЗ. В результате такого расчета на основе требований к качеству оптического изображения и заранее заданных габаритных ограничений определяют конструктивные параметры, продольные и поперечные габариты системы [2, 3].

Когда речь идет о щелевой съемке, и при этом требуется компактная схема, то разработчики обычно обращаются к схемам типа «Кассегрена» или «Ричи-Кретьена». Но они имеют ряд недостатков, таких как центральное экранирование, которое существенно снижает контраст на средних пространственных частотах, которые являются рабочими частотами ПЗС приемников, вторым недостатком данных схем является малое угловое поле, что делает их невозможным при применении в широкозахватной аппаратуре ДЗЗ [4]. Применением линзовых компенсаторов в схемах Ричи-Кретьена удастся увеличить угловое поле до  $2\omega=5^\circ$ , что все равно недостаточно для широкозахватной съемочной аппаратуры. Исключить влияние центрального экранирования и увеличить угловое поле объектива можно применив схемные решения с эксцентрично расположенным полем изображения.

Одной из таких схем, с внеосевым полем изображения, является схема Кука (рис. 1). Данный объектив представляет собой анастигматическую оптическую систему, в ко-

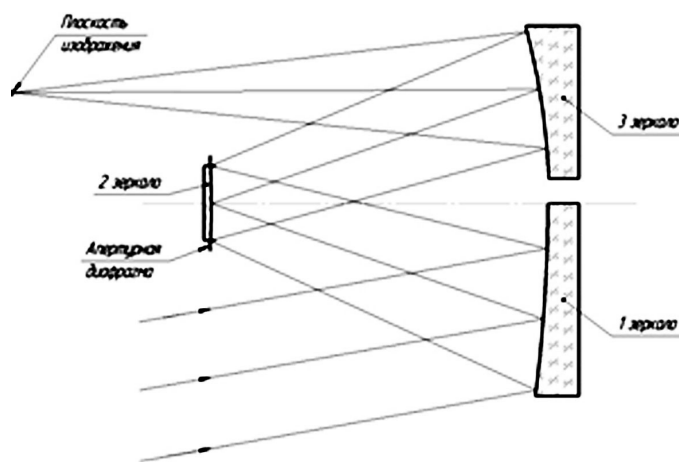


Рисунок 1.  
Зеркальный триплет Кука

**Таблица 1.**  
**Основные спектральные диапазоны ОЭА ДЗЗ**

Наименование спектрального канала	Спектральный диапазон, мкм	Применение информации
Видимый синий (Blue)	0,45-0,51	Отображение побережий; Дифференциация грунта/растительности, лиственной/хвойной флоры, Картографирование типов леса, Фрагментация структур горных пород (сланцы, фосфаты, эвопораты).
Видимый зеленый (Green)	0,51-0,58	Таксация леса (зона соответствует коэффициенту отражения здоровой зеленой растительности); Идентификация искусственных объектов местности; Составление карт концентрации наносов и осадков в мутных водах; Выявление горных пород богатых железом.
Видимый красный (Red)	0,63-0,69	Идентификация разновидностей растений; Определение границ грунта.
Видимый красный (Red)	0,705-0,745	Зона соответствует «склону» спектральной кривой растительности, отражает содержание хлорофилла, протеина и азота. Значительное улучшение точности оценки состояния растительности, и выявление нарушений даже на ранних стадиях их появления.
Ближний инфракрасный (NIR)	0,77-0,89	Контроль количества вегетационной биомассы и прогнозирование урожая.
Ближний инфракрасный	0,89-0,96	Контроль состояния растительного покрова, оценка биомассы и продуктивности. Зона менее подвержена влиянию атмосферы, чем канал NIR.
КИК Коротковолновый инфракрасный	1,55-1,70	Контроль содержания влаги в растениях, Дифференциация облаков/снега/льда, выделение геологических пород и границ почв. Выявление посевов наркотических растений.

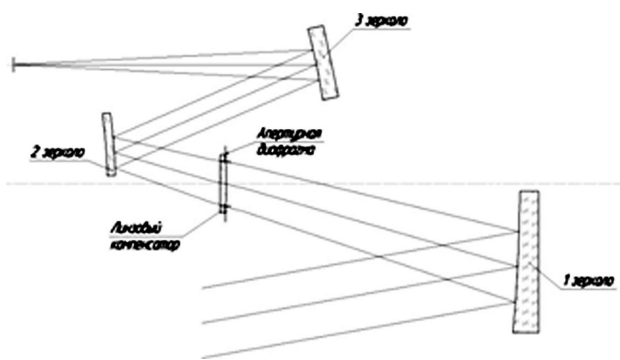
торой зеркала децентрированы как по апертуре, так и по полевому углу. В этом объективе первое зеркало - внеосевой фрагмент эллипсоида с положительной оптической силой, второе - внеосевой фрагмент гиперболоида с отрицательной оптической силой, третье - внеосевой фрагмент эллипсоида с положительной оптической силой [5]. 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 [6, 7, 8].

Для устранения этого недостатка в объектив может быть введен линзовый компен-

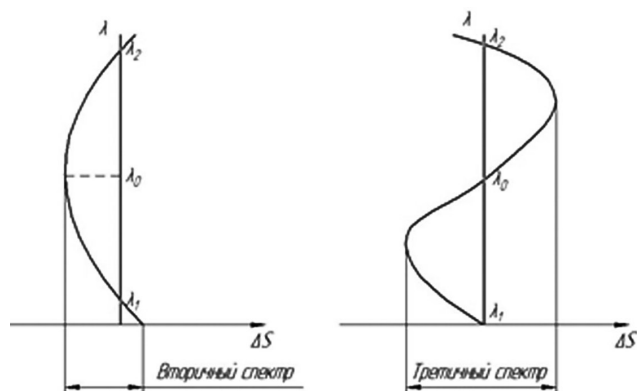
сатор aberrаций, который оптимально располагать между первым и вторым зеркалом (рис. 2). Чтобы компенсатор оставался осесимметричным и наиболее компактным и не экранировал пучок лучей, идущий в объектив, необходимо располагать апертурную диафрагму всей системы на одной из поверхностей линзового компенсатора, в противном случае нижнюю часть линзового компенсатора необходимо будет отрезать (изготавливать фрагменты линз).

Одним из преимуществ зеркальных систем над линзовыми является отсутствие хроматических aberrаций, применение же линзовых корректоров aberrаций в таких системах должно быть обоснованным т.к. они дополнительно вносят хроматические aberrации,





**Рисунок 2.**  
*Зеркальный триплет Кука с линзовым компенсатором, расположенным между первым и вторым зеркалом*



**Рисунок 3.**  
*Вторичный и третичный спектры*

которые проявляются даже в парааксиальной области. Оптические системы для ДЗЗ работают в широком спектральном диапазоне, далеко выходящим за видимый диапазон. Поэтому в линзовых компенсаторах aberrаций необходимо устранение не только хроматизма положения, но и значительное уменьшение вторичного спектра (рис. 3). Для уменьшения вторичного спектра необходимо, чтобы компенсатор aberrаций имел апохроматическую степень коррекции хроматических aberrаций. До середины XX в. считалось, что для получения апохроматов необходимо применение особых стекол. В 60х годах XX века было показано [9], что в трехлинзовой тонкой системе может быть существенно уменьшен вторичный спектр при использовании обычных стекол. Хотя описанные объективы и имеют апохроматическую степень коррекции хроматических aberrаций, но при этом не устранены следующие недостатки [9]:

- большой третичный спектр (рис. 3), порядка 300 мкм;
- узкий спектральный диапазон;
- резкое увеличение вторичного спектра при расширении длинноволновой области спектра до 1 мкм.

Проектируемый компенсатор должен быть лишен аналогичных недостатков, чтобы его можно было применять в качестве корректора aberrаций в объективе типа Кука для аппаратуры ДЗЗ. Наибольший интерес представляет спектральный диапазон 0,45 – 1,7 мкм, в котором расположены большинство информативных спектральных каналов, для

расчета будем использовать диапазон 0,45 – 0,96 мкм, расчет же для области 0,45 – 1,7 мкм будет аналогичным, но этот диапазон имеет мало практического интереса, так как чувствительность приемников в инфракрасном диапазоне значительно ниже чувствительности приемников видимого диапазона и в коммерческой доступности отсутствуют инфракрасные приемники с временной задержкой и накоплением сигнала, из-за чего для получения одинакового отношения сигнал/шум в разных диапазонах, необходимо иметь разную апертуру в инфракрасном и видимом диапазонах. Поэтому спектральный диапазон 0,45 – 1,7 мкм целесообразно разбить на два диапазона 0,45-0,96 мкм и 1,55 – 1,7 мкм и сделать их отдельными каналами, каждый со своей апертурой.

Проведем выбор оптических материалов линзового компенсатора схемы Кука для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм как среди обычных, так и особых, таких как ОК4 или зарубежных аналогов, работающих в более широкой области спектра, например, стекла S-FPL53, N-FK51A, N-PK52A, N-FK5, и сравним третичные спектры рассчитанных объективов, корректоры aberrаций, которых содержат только обычные стекла и корректоров в состав, которых входят особые стекла.

Для зеркально-линзовых систем типа Кука хроматизм положения объектива полностью определяется хроматизмом положения компенсатора aberrаций, работающего в сходящихся пучках лучей, т.к. зеркальная часть объектива не вносит вклад в хроматизм



объектива. До компенсатора aberrаций расположено первое зеркало объектива, которое формирует сходящийся пучок лучей, и при расчете компенсатора необходимо учитывать этот факт, передвигая предметную плоскость из бесконечности на расстояние  $S = f'_1 + d_1$ , где  $f'_1$  – фокусное расстояние первого зеркала компенсатора,  $d_1$  – расстояние от первого зеркала до первой поверхности линзового компенсатора.

Основной хроматический параметр для предмета расположенного на конечном расстоянии  $C'_i$  ( $\alpha'_i - \alpha_i$ )  $C_i$ , где  $C_i$  – основной хроматический параметр для предмета в бесконечности [9]. Если  $C_i$  равен нулю, то и  $C'_i$  будет равен нулю, и коррекция хроматизма будет стабильной т.е. не зависеть от положения предмета.

Запишем условия для получения апохроматической степени коррекции aberrаций для трехлинзового компенсатора из двух или трех различных марок стекол.

Условие масштаба для трехлинзового тонкого компенсатора:

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

где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – приведенные оптические силы тонких компонентов компенсатора.

Основной хроматический параметр для предмета в бесконечности:

$$C_i = - \sum_1^k \frac{\varphi_k}{v_k}, \quad (2)$$

где

$$v_k = \frac{n_{\lambda_0} - 1}{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}} \quad (3)$$

Основной хроматический параметр для предмета на конечном расстоянии:

$$C'_i = (\alpha'_i - \alpha_i) C_i$$

где  $\alpha_i$  и  $\alpha'_i$  – углы первого вспомогательного луча в пространстве предметов и изображения соответственно.

Условие равенства нулю основного хроматического параметра  $C_i$  для тонкого компенсатора, состоящего из трех тонких линз:

$$\frac{\varphi_1}{v_1} + \frac{\varphi_2}{v_2} + \frac{\varphi_3}{v_3} = 0 \quad (5)$$

Условие (4) является весьма важным, так как при выполнении этого условия тонкий компонент будет свободен от хроматизма положения и увеличения. Если данное условие будет выполняться, то коррекция хроматизма будет стабильной, и не будет зависеть от положения предмета [10].

Основной хроматический параметр вторичного спектра тонкой линзы для предмета, расположенного на конечном расстоянии можно записать следующим образом [10]:

$$C'_{\text{BC}} = C'_{1\text{BC}} + C'_{2\text{BC}} = -(\alpha_3 - \alpha_1) \cdot \frac{p_k \cdot \Delta n}{n_{\lambda_0} - 1} \quad (6)$$

где  $\alpha_1$  – угол падения луча на тонкую линзу,  $\alpha_3$  – угол луча прошедшего через тонкую линзу,

$$\Delta n = n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2} \quad (7)$$

$$p_k = \frac{n_{\lambda_3} - n_{\lambda_2}}{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}} \quad (8)$$

Получаем:

$$p_k = \frac{n_{\lambda_3} - n_{\lambda_2}}{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}} \quad (9)$$

Оптическая сила тонкой линзы:

$$\Phi = \frac{1}{h} \cdot (\alpha_3 - \alpha_1) \quad (10)$$

где  $h$  – высота первого вспомогательного луча на поверхности тонкой линзы.

В соответствии с (10) выражение (9) для основного хроматического параметра вторичного спектра тонкой линзы примет вид:

$$C'_{\text{BC}} = -h\Phi \cdot \frac{p_k}{v_k} \quad (11)$$

где  $\Phi$  – оптическая сила компенсатора.

Если система состоит из  $k$  тонких линз, имеем:

$$C'_{\text{BC}} = -h\Phi \sum_1^k \varphi_k \cdot \frac{p_k}{v_k} \quad (12)$$

где  $\varphi_k$  – приведенная оптическая сила  $k$ -ой тонкой линзы.

Для предмета расположенного в бесконечности, получаем:

$$C_{BC} = - \sum_1^k \varphi_k \cdot \frac{p_k}{v_k} \quad (13)$$

Для устранения вторичного спектра в системе из тонких компонентов необходимым условием является равенство нулю выражения (13).

Применительно к нашей системе состоящей из трех линз:

$$\frac{\varphi_1}{v_1} \cdot p_1 + \frac{\varphi_2}{v_2} \cdot p_2 + \frac{\varphi_3}{v_3} \cdot p_3 = 0 \quad (14)$$

Сопоставляя выражения (4) и (14), получим следующее условие для параметров стекол, относительной частной дисперсии:

$$p_1 = p_2 = p_3 \quad (15)$$

Для одновременного выполнения условий (1) и (5), необходимо чтобы:

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

При расчете зеркальной части объектива типа Кука с линзовым компенсатором, у зеркальной части объектива полностью исправлена сферическая aberrация, что в свою очередь определяет расчет линзового компенсатора, у которого должна быть тоже исправлена сферическая aberrация, а так как он обладает хроматическими aberrациями, то должен быть исправлен и сферохроматизм.

На рис. 4 представлены графики спектральной чувствительности трех типов линеек ПЗС выпускаемых фирмой НПП «ЭЛАР», которая является основным поставщиком ПЗС линеек для аппаратуры ДЗЗ [11]. Максимум спектральной чувствительности всех трех типов приемников приходится на область 600 – 700 нм, середина спектрального диапазона 450 – 960 нм, приходится на длину волны 705 нм, выберем стабильную длину волны  $\lambda = 656,27$  нм, как основную длины волны для расчета.

Исходя из сделанных выводов, для выбора стекол была составлена краткая таблица стекол, в которую вошли особые стекла фирмы ЛЗОС, OHARA и SCHOTT, и наиболее популярные стекла российского и немецкого

производителей групп ЛК, БК, ТК, СТК, ЛФ, БФ, КФ, ТФ, ТБФ с коэффициентами дисперсии и с частными относительными дисперсиями для заданной спектральной области 0,45 – 0,96 мкм.

По данной методике для получения апохроматической степени коррекции aberrаций компенсатора для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм были выбраны комбинации стекол и по результатам расчета компенсатора, получены значения третичного спектра объективов (таб. 3).

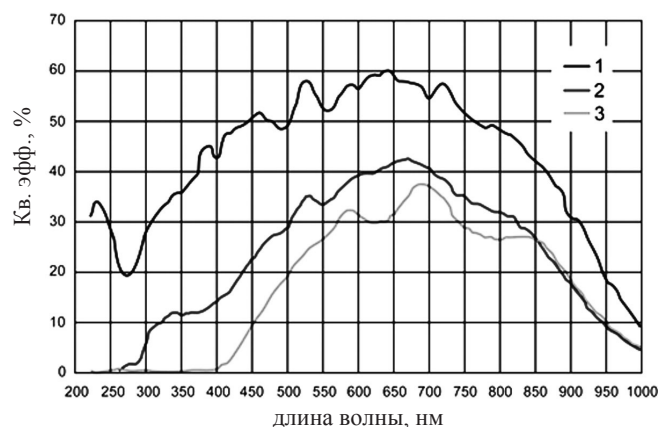
В табл. 3 использованы обозначения:

$\Delta v_{\max} = [(n_c - 1)/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\max} - [(n_c - 1)/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\min}$  – максимальное отклонение коэффициентов дисперсии для соответствующих комбинаций стекол;

$\Delta p_{\max} = [(n_c - n_{0,96})/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\max} - [(n_c - n_{0,96})/(n_{0,45} - n_{0,96})]_{\min}$  – максимальное отклонение относительных частных дисперсий для соответствующих комбинаций стекол.

На рис. 5 представлены графики продольного хроматизма рассчитанных объективов с комбинациями стекол из табл. 3.

Результаты расчетов показали, что данная методика дает стабильный результат для получения апохроматической степени коррекции aberrаций линзового компенсатора, если разница между относительными частными дисперсиями стекол не более  $0,015 \times p_{cp}$ , где  $p_{cp}$  – среднее значение относительной частной дисперсии для рассматриваемой спектральной области.



**Рисунок 4.**  
Спектральная чувствительность трех типов (1, 2, 3) приемников ПЗС фирмы НПП «ЭЛАР» для средств ДЗЗ

**Таблица 2.**  
**Параметры оптических стекол**

Стекло	$n_c$	$n_{0,45}$	$n_{0,96}$	$(n_c - n_{0,96}) / n_{0,45} - n_{0,96}$	$(n_c - 1) / n_{0,45} - n_{0,96}$
F2	1,6150317	1,6388106	1,6039304	0,318269391	17,63268846
F5	1,5987453	1,620843	1,5882989	0,320992131	18,39796768
KZFSN5	1,6492005	1,6720919	1,6377637	0,333160492	18,91157998
LF5	1,5772294	1,5970108	1,5677277	0,324477258	19,71203185
N-BAF4	1,6015659	1,620804	1,5920417	0,331134854	20,91508329
N-BAF10	1,6657783	1,6854429	1,6559554	0,333120814	22,57832302
N-BAF52	1,6047322	1,6228279	1,5956296	0,334675329	22,23419111
N-BAK1	1,5694866	1,5831472	1,5623241	0,343968958	27,34879053
N-BAK4	1,5657494	1,5797121	1,5583891	0,34518126	26,53235473
N-BALF4	1,5763113	1,5911167	1,5686219	0,341830112	25,61975657
N-BK7	1,5143223	1,5253195	1,5080754	0,362263035	29,82598686
N-FK5	1,4853455	1,4947739	1,4798177	0,36959923	32,45112395
N-FK51A	1,4847971	1,4923382	1,4804926	0,363383872	40,92634396
N-KZFS8	1,7143651	1,7433266	1,7007071	0,320463638	16,7614613
N-KZFS11	1,6332378	1,6540069	1,6225966	0,338780591	20,16019586
N-LAF7	1,7431983	1,7733008	1,7291901	0,317569207	16,84848121
N-LAF21	1,7830067	1,805875	1,7712655	0,339247894	22,62403964
N-LAF33	1,7804945	1,8051575	1,7682207	0,332291915	21,13053919
N-LAK8	1,7089739	1,7271422	1,6991716	0,350450115	25,3471109
N-LAK10	1,715725	1,7352913	1,7053875	0,345691852	23,93424916
N-LAK14	1,6929655	1,7101977	1,683575	0,352725306	26,02912176
N-LASF40	1,8274508	1,8585841	1,8127191	0,321196991	18,0410073
N-LASF45	1,7943581	1,8263446	1,7795668	0,316203413	16,98151901
N-PK51	1,5264627	1,5358625	1,52146	0,347349419	36,55356362
N-PK52A	1,4951395	1,5034667	1,4906409	0,350746152	38,60496031
N-SK2	1,6041354	1,618862	1,596448	0,342973142	26,95348443
N-SK4	1,6095419	1,6238754	1,6018968	0,347842902	27,73342706
S-FPL53	1,4373665	1,443674	1,4339013	0,354579594	44,75390629
БК4	1,5275934	1,5396336	1,5211581	0,348315337	28,55638007
БК10	1,5658039	1,5797841	1,558573	0,340901698	26,67489663
БФ1	1,5218745	1,5350428	1,5149961	0,343118818	26,03293809
БФ8	1,5789642	1,5963496	1,5704624	0,328417133	22,36488303
БФ11	1,6187735	1,6349181	1,610582	0,336598715	25,42615703
БФ16	1,6667896	1,6864121	1,6571147	0,330230669	22,75934383
БФ21	1,6099351	1,6307185	1,5990961	0,342763358	19,28807111
БФ25	1,603787	1,6220433	1,5948484	0,328686629	22,20221439
БФ28	1,6587794	1,6849487	1,6467027	0,31576374	17,22479214
КФ6	1,4978992	1,5099382	1,4914773	0,347864947	26,97047273
ЛК3	1,4852898	1,4948049	1,4798066	0,3655881	32,35632038
ЛК7	1,4805977	1,4905364	1,4748613	0,365956198	30,65994475
ЛФ9	1,5756348	1,5969656	1,5655761	0,32044792	18,33845076
ОК4	1,4458178	1,4524482	1,4428044	0,312470188	46,22843692
ОФ1	1,5263792	1,5404714	1,518925	0,345960346	24,43003007
СТК3	1,655992	1,6717852	1,6476771	0,344900677	27,21043964

*Продолжение таблицы 2.*

Стекло	$n_c$	$n_{0,45}$	$n_{0,96}$	$(n_c - n_{0,96}) / n_{0,45 - n_{0,96}}$	$(n_c - 1) / n_{0,45 - n_{0,96}}$
СТК12	1,6881522	1,7054424	1,678861	0,349537647	25,88848593
СТК19	1,7396434	1,7599555	1,7290799	0,342131003	23,955596
ТБФ10	1,8076826	1,8418441	1,7920685	0,31368984	16,22647643
ТК9	1,6136742	1,6295146	1,6056255	0,336919348	25,68846043
ТК12	1,566093	1,5784787	1,5592409	0,356178981	29,42607783
ТК14	1,6099951	1,623878	1,6025084	0,350343479	28,54499382
ТК21	1,6530505	1,6707862	1,6442212	0,332365895	24,58311688
ТФ1	1,6420688	1,6688179	1,6298741	0,313135852	16,48706084
ТФ3	1,7103567	1,744523	1,6952646	0,306386322	14,42102667
ТФ5	1,7473132	1,785944	1,7305182	0,303017728	13,4831288
ТФ10	1,7971435	1,8419995	1,7780861	0,298175344	12,47224369
Ф1	1,6080529	1,6312071	1,5972389	0,318356581	17,9006512
Ф8	1,6198222	1,6443317	1,6084913	0,316148815	17,29395319

**Таблица 3.**  
*Третичные спектры рассчитанных объективов*

№ комбинации	Отрицательный компонент	Положительный компонент	Отрицательный компонент	Третичный спектр, мкм	$\Delta v_{\max}$	$\Delta p_{\max}$
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

Если удастся найти стекла с очень близкими значениями относительных частных дисперсий (идеальную пару стекол, с разницей частных дисперсий не более  $0,0015 \times p_{cp}$ ), то можно обойтись двумя марками стекол, а если не удастся найти стекла с очень близкими значениями относительных 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. Стекла группы БФ и ТБФ дают большой вторичный спектр в

спектральном диапазоне 0,45 – 0,65 мкм, примером может служить комбинация 1, график хроматизма положения которой представлен на рисунке 5а, видно, что в длинноволновой области вторичный спектр находится в приемлемых пределах, а вот в коротковолновой области наблюдается резкое увеличение вторичного спектра, также сочетание стекол групп БФ, ТБФ, ТФ как друг с другом, так и с другими группами стекол в спектральном диапазоне 0,45 – 0,96 мкм дает большой третичный спектр, поэтому не рекомендуется их применять для получения компенсаторов с апохроматической степенью коррекции хроматических аберраций. Без примене-

ния «особых кронов» получить апохромат с приемлемым значением третичного спектра представляется достаточно сложной задачей. Из большого количества комбинаций стекол лишь одна дала приемлемый результат, а именно комбинация 11, у остальных комбинаций из обычных стекол третичный спектр получился в 2 – 7 раза больше третичного спектра объективов, содержащих «особые кроны». Стекло ОК4 являясь особым кроном для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм имеет относительную частную дисперсию близкую к стеклам группы ТФ и вследствие чего у рассчитанных объективов получается большой третичный спектр. Другое особое стекло N-FK51A имеет относительную частную дисперсию близкую к обычным кронам, и в таком случае компенсатор получается весь выполнен из стекол с низким показателем преломления, что приводит к большей кривизне поверхностей линз, чем с комбинациями типа СТК (КФ)– ОК – СТК (КФ) и как следствие к увеличению aberrаций высших порядков компенсатора и снижению качества изображения всего объектива. Для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм нет необходимости в применении и разработки новых стекол группы ОФ, они легко заменяются стеклами из группы СТК.

Если ставить задачу получения апохромата с хорошим качеством изображения только из каталога стекол выпускаемых ЛЗОС, то задача в данной оптической схеме очевидно не имеет решения. Необходимо либо наращивать количество линзовых компонентов в компенсаторе или вводить асферические поверхности на зеркальные компоненты. Еще один путь для выхода из сложившейся ситуации является разработка новых стекол группы ОК, аналогов стекол S-FPL53, N-PK51 и N-PK52A, которые хорошо себя зарекомендовали в качестве низкодисперсных стекол в широком спектральном диапазоне.

Для примера расчет объектива типа Кука с линзовым компенсатором у оптика-расчетчика может занять от 1-2 недель до месяца. Используя данную методику, уйдет час на составление таблицы с частными дисперсия-

ми материалов и потребуется не более суток для получения и выбора конечного варианта объектива. Еще одним плюсом является, то, что если мы однажды получили комбинации для определенного спектрального диапазона, то можем их применять в дальнейшем. Так как объективы для ДЗЗ имеют примерно одинаковые спектральные диапазоны, то необходимость в частом составлении таблиц подобным таблицам 2 – 3 отпадает. Следует отметить, что задавая оптические материалы в качестве оптимизируемого параметра в оптической системе, мы на порядок увеличиваем время оптимизации

На основании проделанных исследований можно дать следующие рекомендации по выбору марок стекол для трехлинзового компенсатора в схемах Кука для получения апохроматической степени коррекции хроматических aberrаций:

Разница между частными относительными дисперсиями стекол для выбранного спектрального диапазона должна быть не более 1,5%;

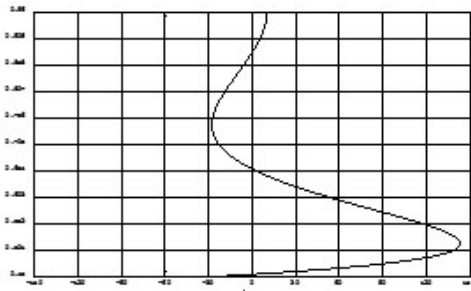
Оптическая схема компенсатора должна содержать один положительный и два отрицательных компонента. Положительную линзу целесообразно располагать между двумя менисками, и она должна быть выполнена из «особого крона»;

Необходимо выбирать стекла с низкой дисперсией, для спектральной области 0,45 – 0,96 мкм это стекла групп КФ (KZFSN), ТК (SK), ЛК (FK), СТК (LAK), ОК (PK), LAF.

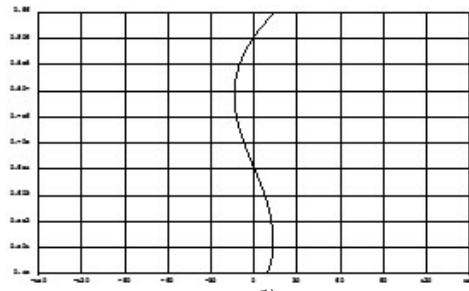
## ВЫВОДЫ

Разработана методика и рекомендации по выбору оптических материалов для апохроматической коррекции aberrаций компенсатора в трехзеркальной схеме Кука, которая позволила найти оптимальные комбинации материалов для исследуемого спектрального диапазона 0,45 – 0,96 мкм, это комбинации КФ6 – N-PK51 – N-SK4, КФ6 – N-PK51 – КФ6, N-SK4 – N-PK51 – N-SK4, N-LAK8 – N-PK52A – N-LAK8, ТК12 – S-FPL53 – N-LAK14, ТК14 – N-PK52A – N-LAK14, N-LAF33 – ТК21 – N-LAF33, N-LAK8 – ТК14 – N-LAK8.

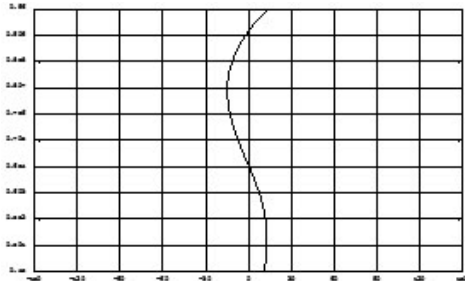




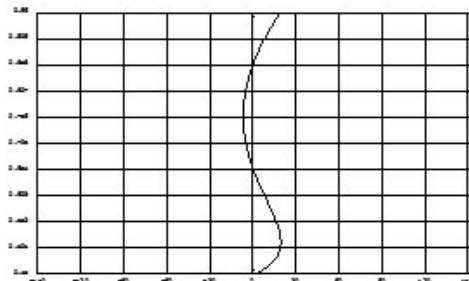
**а)**



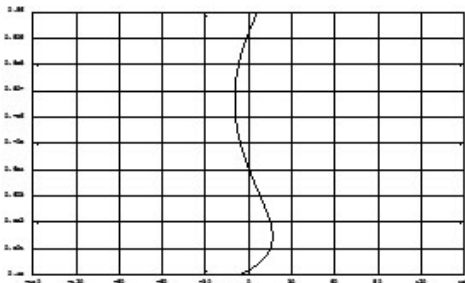
**б)**



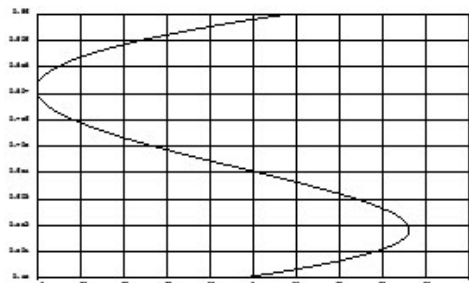
**в)**



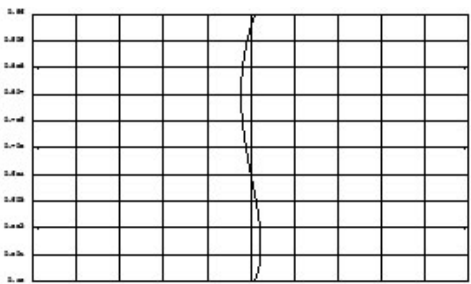
**г)**



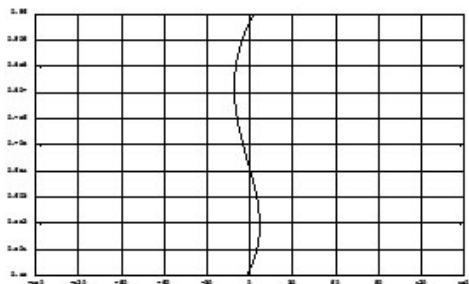
**д)**



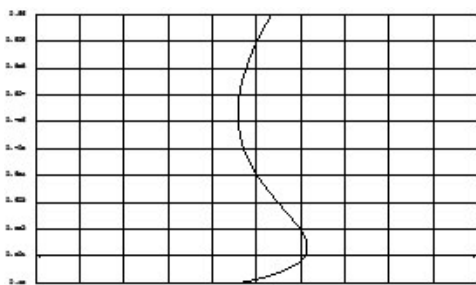
**е)**



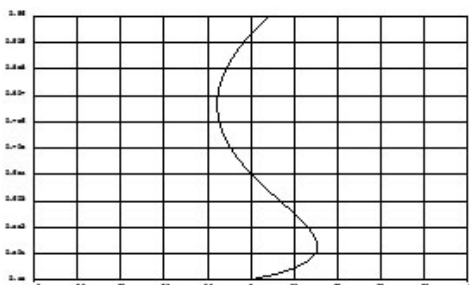
**ж)**



**з)**



**и)**



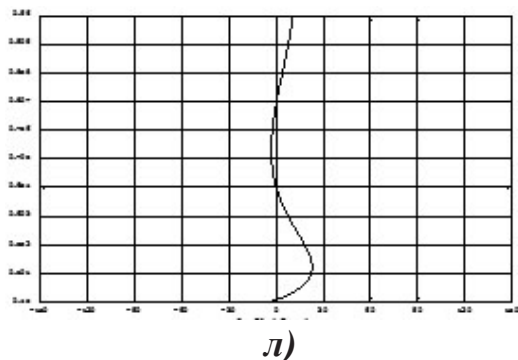
**к)**

**Рисунок 5.**

**Хроматизм положения объектива с рассчитанным компенсатором из комбинаций стекол:**  
**а) БФ21 – БФ1 – БФ21; б) КФ6 – N-ПК51 – N-SK4; в) КФ6 – N-ПК51 – КФ6; г) N-SK4 – N-ПК51 – N-SK4;**  
**д) N-LAK8 – N-ПК52A – N-LAK8; е) ТФ1 – ОК4 – ТБФ10; ж) ТК12 – S-FPL53 – N-LAK14;**  
**з) ТК14 – N-ПК52A – N-LAK14; и) N-LAF33 – ТК21 – N-LAF33; к) KZFSN5 – N-BAF10 – KZFSN5;**  
**л) N-LAK8 – ТК14 – N-LAK8**



Продолжение рисунка 5



Предлагаемая методика и представленные рекомендации по выбору материалов в практике расчета оптических систем для ДЗЗ позволяют повысить качество изображения, улучшить коррекцию хроматических аберраций, а также минимизировать количество линзовых элементов корректора, отказаться от применения не технологичных внеосевых асферических поверхностей зеркал, а так же заметно сократить время расчета подобных систем.

*Список литературы:*

1. Заварзин В.И., Кравченко С.О., Морозов С.А. Методика расчета объективов с зеркалами Манжена на основе трехзеркальной системы с эксцентрично расположенным полем изображения. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение»: электронное издание. 2013. № 1. С. 1 – 13.
2. Архипов С.А., Заварзин В.И., Сенник Б.Н. Разработка и изготовление оптических систем для перспективной космической аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Оптический журнал. 2013. Т. 80, №1. С. 34-38.
3. Заварзин В.И., Кравченко С.О., Морозов С.А. Методика расчета компактных внеосевых трехзеркальных объективов с зеркалами Манжена. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013.

№ 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/819.html>

4. Токарев А.А. Длиннофокусные объективы с эксцентрично расположенным полем изображения // Известия вузов. Сер. Приборостроение. 1988. Т. XXXI. № 7. С. 74-79.

5. Cook, Lacy G. US Pat. №4733955. МПК G02B 17/06, 23/06.

6. Архипов С.А., Заварзин В.И., Заварзина В.В., Кравченко С.О., Морозов С.А., Сенник Б.Н. Зеркально-линзовый объектив (варианты) // Патент № 2461030 РФ, МПК G02B 17/08, опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. 14 с.

7. Архипов С.А., Заварзин В.И., Малыхин В.А. и др. Юстировка и аттестация длиннофокусного трехзеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2009. № 4. С. 24 – 36.

8. Заварзин В.И., Ли А.В., Морозов С.А. Методика сборки и юстировки зеркально-линзовых объективов с эксцентрично расположенным полем изображения. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/822.html>

9. Парко В.Л., Хацевич Т.Н. Апохроматический объектив без использования особых стекол. ГЕО-Сибирь-2010 Т. 5 ч. 1. Сборник материалов VII Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА. 2010. С. 125 – 129.

10. Дубовик А.С., Апенко М.И., Дурейко Г.В. и др. – Прикладная оптика. Учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1992г. – 480 с.

11. Лазовский Л. Приборы с зарядовой связью: Прецизионный взгляд на мир Электронный ресурс. / Л. Лазовский. — СПб.: АВТЭКС. – 26 с. URL: <http://www.autex.spb.ru/download/sensors/ccd.pdf>

## ПАНОРАМНАЯ СТЕРЕОСЪЕМКА С ПОМОЩЬЮ PAL-ОБЪЕКТИВА

СОЛОМАТИН В.А., ОСИПОВА Н.С.

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

E-mail: vsolomatin@mail.ru, mylty89@mail.ru

**Аннотация.** Показана возможность получения панорамных стереопар при использовании зеркально-линзовых панорамных компонентов (PAL-линз) в качестве насадок к фото и видеокамерам. Определены перспективы применения панорамных оптико-электронных систем с PAL для контроля полостей.

**Ключевые слова:** стереосъемка, стереокамера, панорамная оптическая система.

## PANORAMIC STEREOSHOOTING USING PAL-LENS

SOLOMATIN V.A., OSIPOVA N.S.

Moscow state University of geodesy and cartography (MIIGAiK)

E-mail: vsolomatin@mail.ru, mylty89@mail.ru

**Abstract.** The paper discusses the obtaining of panoramic stereopairs while using mirror-lens (PAL-lens) components as an extender to photo and video cameras as well as the prospects of their applications to checking up various body flaws.

**Keywords:** stereoshooting, stereocamera, panoramic optical system.

### ВВЕДЕНИЕ

Стремление осуществить воспроизведение изображений, создающих впечатление объемности и телесности изображаемых предметов, можно проследить с давних времен. В 280 году до н.э. Евклид впервые обнаружил объемность пространства, три его измерения человек воспринимает благодаря бинокулярному зрению. Первое научное описание стереоэффекта принадлежит Иоганну Кеплеру, приведенное в его «Диоптрике» (1611 г.), однако до практического использования стереоэффекта было еще далеко.

Лишь с появлением методов оптической записи изображений, в первой половине XIX века были разработаны первые стереоскопические системы, позволяющие получать объемное изображение. Считается, что первый опыт стереоскопической съемки предпринял Мозер в 1844 году. Принцип действия двухобъективного стереофотоаппарата описал физик Д. Брюстер в 1849 году. А в 1850 г. Милле и в 1852 г. Дансер изготавливают фотокамеры для съемки на дагерротипных пластинках.

Один из первых в мире стереоскопических фотоаппаратов был изготовлен и в России И.Ф. Александровским в 1854 году [1].

В связи с развитием фотографии в 20 веке стереоскопическая съемка стала важным направлением фотограмметрии.

В XXI веке развитие стереоскопических оптических систем приобрело второе дыхание. Начало положила развлекательная индустрия (компьютерные игры, 3D-кино). Усовершенствовались способы стереосъемки (современные стереоскопические фото- и видеокамеры) и методы наблюдения стереоскопического изображения, которые прошли путь от стереоскопов до стереочков и виртуальных шлемов. Одним из главных трендов развития технологий сегодня становится виртуальная реальность. У шлемов виртуальной реальности колоссальные перспективы, спектр применения такой технологии весьма широк. Практически в любом секторе экономики возможно использовать VR-технологии. Начиная от военных отраслей (дистанционное управление техникой) и кончая сложнейшими медицинскими операциями, в которых шлем может стать настоящими «вторыми глазами» врача.

Появление цифровых фотокамер привнесло новые технологии, позволяющие получить дополнительные опции при стереосъемке, поскольку цифровой фотоаппарат – это оптико-электронное устройство, включающее микропроцессор.

Суть стереоскопической съемки – получить два изображения сюжета, сделанные с различных точек зрения [2].

Стереоскопическую съемку можно производить различными способами:

- двукратной съемкой одного объекта с двух точек одной камерой;
- однообъективными камерами с использованием стереонасадок;
- двумя камерами, закрепленными на общей площадке или установленными на некотором расстоянии друг от друга, но

равноудаленными от объекта съемки;

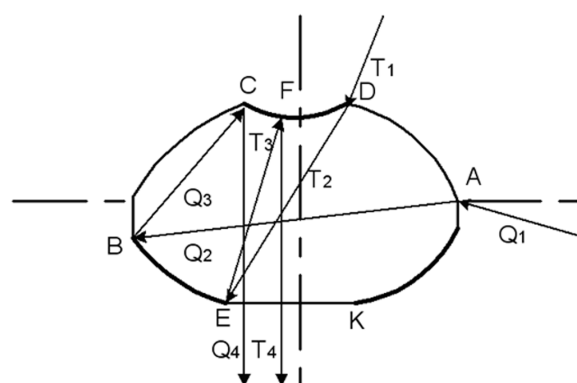
– стереоскопическими камерами.

Во всех этих случаях используются камеры с ограниченным угловым полем.

В последние годы получили развитие панорамные оптические системы кругового обзора, угловое поле которых охватывает весь горизонт. Таковыми, в частности, являются системы на основе панорамных зеркально-линзовых объективов типа PAL (panoramic annular lens).

В Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) разработаны фото- и видеосистемы с использованием PAL. В отличие от известных подобных оптических систем разработанный в МИИГАиК [3] объектив не имеет асферических поверхностей и обладает большим угловым полем. Оптическая схема объектива с ходом двух главных лучей приведена на рис. 1.

Объектив представляет собой моноконструкцию, ограниченную четырьмя поверхностями: первая поверхность – сферическая преломляющая, вторая и третья поверхности – сферические отражающие, четвертая – плоская преломляющая. Луч Q ( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ) идет под максимальным углом (близок к горизонту), луч T ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) – под минимальным углом (близок к надиру).



**Рисунок 1.**  
*Оптическая схема панорамного компонента с ходом лучей*

Объектив дает цилиндрическую проекцию пространства (рис. 2).

Поле обзора определяется углами  $\alpha$  и  $\beta$ . Угловое поле составляет  $360^\circ$  по азимуту и может достигать  $75^\circ$ - $80^\circ$  по углу места в зависимости от конструкции объектива. Глубина изображаемого пространства простирается от первой поверхности объектива до бесконечности. Кольцевое изображение формируется внутри объектива, и для анализа изображения требуется оптическая система переноса изображения, например, ПЗС-матрица. В связи с этим панорамный зеркально-линзовый объектив обычно является лишь одним из компонентов панорамной оптической или оптико-электронной системы. В этом состоит одна из особенностей PAL. Другими же являются, как уже отмечалось, кольцевая форма изображения и бесконечная глубина изображаемого пространства, и к ним следует добавить практическую афокальность PAL и малые размеры входного зрачка (при габаритном диаметре PAL порядка 60 мм входной зрачок может иметь диаметр 2 мм и относительное отверстие 1:1.5 – 1:2).

В настоящее время нами проводятся исследования по использованию PAL для получения панорамных стереопар.

Стереопара может быть получена, например, путем перемещения PAL-объектива на интервал (базу съемки)  $\Delta$  по вертикали (рис. 3) из точки  $O_1$  в точку  $O_2$  [4]. Точке  $P(x,y,z)$  в пространстве предметов соответствуют точки  $O_{1e}$  и  $O_{2e}$  в пространстве изображений, по которым могут быть определены углы  $\varphi_{\rho 1}$  и  $\varphi_{\rho 2}$ . Приняв начало координат в точке  $O_{1e}$ , можно вычислить радиус  $\rho$  как

$$\rho = \frac{\Delta \cos \varphi_{\rho 2}}{\sin(\varphi_{\rho 2} - \varphi_{\rho 1})}$$

Широкие функциональные возможности имеет видеокамера SONY, для которой разработан PAL-объектив. Камера позволяет получить панорамное изображение в реальном масштабе времени, осуществлять масшта-

бирование, фокусировку, делать цифровые снимки, т.е. реализовывать все возможности камеры в режиме панорамной съемки. Её мы и использовали для получения панорамного стереоизображения. На рис. 4 представлена схема видеокамеры с насадкой, на рис. 5 - видеокамера на штативе, на рис. 6 - пример панорамной стереоскопической стереопары, полученной с помощью видеокамеры.

Фокусное расстояние PAL составляет единицы миллиметров, что дает малое увеличение, поэтому перспективным представляется использование панорамных стереоскопических систем в эндоскопии для контроля внутренних полостей шахт, колодцев, труб, разрезов, т.е. объектов сравнительно небольших размеров.

Как наглядный пример изображения полости, на рис. 7 представлена стереопара скру-

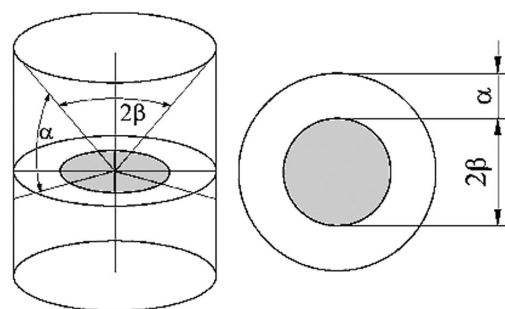


Рисунок 2.

Цилиндрическая проекция пространства

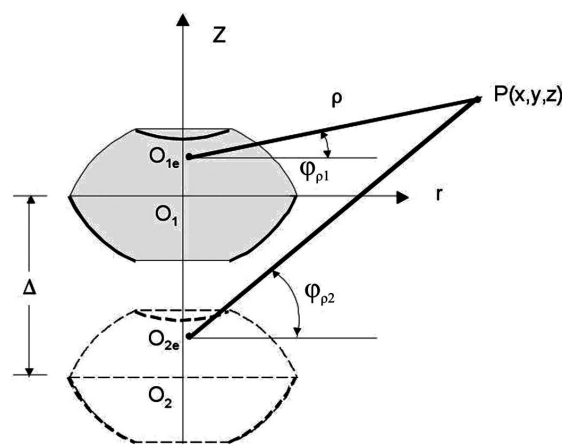
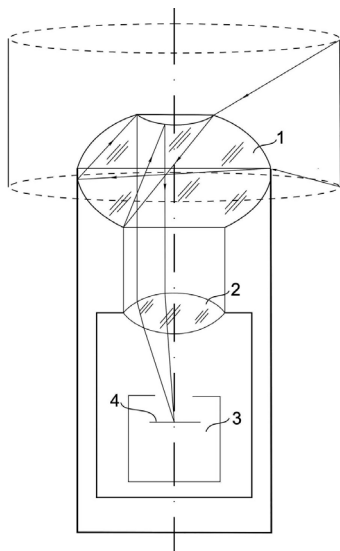


Рисунок 3.

Схема получения стереопары с помощью PAL – объектива





**Рисунок 4.**

*Схема видеокамеры с насадкой:*

- 1 - PAL, 2 - объектив камеры, 3 - ПЗС-камера,  
4 - кольцевое панорамное изображение*

ченного в рулон листа ватмана с наклеенными на него легко узнаваемыми предметами и автографом соавтора доклада. На рис. 8 дана стереопара в виде развернутых изображений полости.

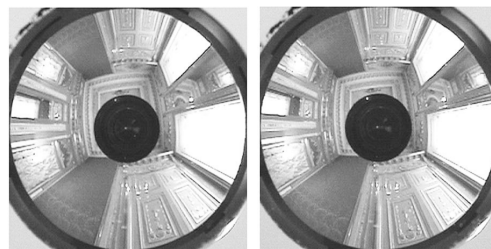
Стереоэффект этих двух снимков (рис. 7), полученных с помощью PAL-объектива, мы наблюдали с помощью поляризационного монитора и поляризационных стереочков, используя программу Stereo Comparator 4.2.

Таким образом, практически доказана возможность получения панорамных стереопар с помощью PAL.



**Рисунок 5.**

*Видеокамера на штативе*



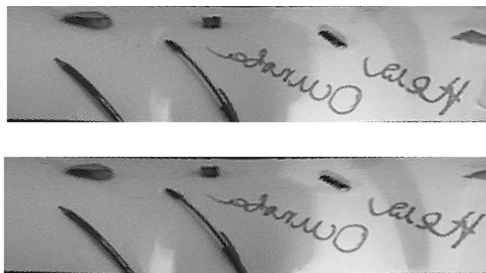
**Рисунок 6.**

*Стереопара, полученная PAL-объективом МИИГАуК в виде насадки к камере SONY. Интерьер музея «Золотые комнаты» в МИИГАуК*



**Рисунок 7.**

*Пример изображения полости*



**Рисунок 8.**

*Развернутое изображение данной полости*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ближайшей задачей мы видим разработку программного обеспечения, позволяющего решать контрольно-измерительные задачи с использованием панорамной стереосъемки.

Как уже было сказано, наиболее перспективным представляется применение панорамных стереопар для контроля полостей.

*Список литературы:*

1. Валюс Н.А. Стереоскопия. – М.: Академия наук СССР, 1962. – 405с.
2. Соломатин В.А. Панорамная видеокамера // Оптический журнал. – 2007. – т.74 № 12. – С. 30-33
3. Сыров А. А. Путь фотоаппарата - М.: Искусство, 1954. - 144с.
4. Weech, G.N.E., Gilbert, J.A., Matthys, D.R. «A stereoscopic system for radial metrology,» Proc. of the 2001 SEM Annual Conference and Exposition, Portland, Oregon, June 4-6, 2001, pp. 199-202.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИКО - ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ 3-ГО ПОКОЛЕНИЯ

ТОРШИНА И.П., ЯКУШЕНКОВ Ю.Г.

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

E-mail: yakush@miigaik.ru

**Аннотация.** Отмечаются некоторые особенности системного подхода при проектировании оптико - электронных систем 3-го поколения (ОЭС-3). Указывается роль компьютерного моделирования при анализе и синтезе ОЭС-3. Формулируются задачи, стоящие перед разработчиками ОЭС-3 на ближайшие годы.

**Ключевые слова:** системный подход, оптико-электронная система, компьютерное моделирование.

## SOME PARTICULAR FEATURES OF SYSTEM APPROACH FOR 3-RD GENERATION ELECTRO-OPTICAL SYSTEM DESIGNING

TORSHINA I. P., YAKUSHENKOV YU. G.

Moscow state University of geodesy and cartography (MIIGAik)

E-mail: yakush@miigaik.ru

**Abstract.** Some particular features of system approach for 3-rd generation electro-optical system (EOS-3) designing are noted. Significance of computer modeling for analysis and synthesis of EOS-3 is underlined. Problems for EOS-3 designers during nearest years are formulated.

**Keywords:** System approach, electro-optical system, computer modeling.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных тенденций развития и совершенствования оптико-электронных систем (ОЭС) является создание систем 3-го поколения (ОЭС-3) на базе многоэлементных фотоприемных устройств (ФПУ), работающих в двух и более спектральных диапазонах.

В состав оптико-электронных систем входят оптические, механические, электромеханические, микропроцессорные и другие электронные звенья, причем все они выполняют основные функции системы. Много-

мерность оптических сигналов и возможность принимать и обрабатывать в реальном масштабе времени огромные объемы информации выдвигают ОЭС на первое место в системах автоматического обнаружения и распознавания различных объектов и полей на фоне естественных и организованных помех.

Увеличение и усложнение задач, решаемых ОЭС, приводит к необходимости применять системный подход при их проектировании, т.е. использовать методологию проектирования ОЭС как целостного комплекса взаимосвязанных элементов и применять единые



методики синтеза и анализа этих элементов (звеньев) и системы в целом, устанавливая связи между важнейшими показателями качества работы системы, к числу которых относятся требования к чувствительности ОЭС и ее разрешению – энергетическому, пространственному, спектральному, динамическому.

Имеющиеся в литературе [1-3] сведения о системном подходе к проектированию различных приборов и систем нуждаются в конкретизации и даже корректировке при анализе и синтезе ОЭС-3. Целью настоящей публикации является рассмотрение некоторых особенностей системного подхода к проектированию ОЭС-3.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Системный подход к проектированию ОЭС основывается на представлении процесса обработки сигнала в отдельных ее звеньях в виде некоторых физических и математических моделей. Эти модели, многократно описанные в литературе [4-8 и др.], порой являются упрощенными, так как описать все многообразие схемотехнических решений и непрерывно развивающейся элементной базы ОЭС какой-то единой моделью не представляется возможным и целесообразным. Тем не менее системный подход при проектировании оказывается весьма продуктивным, особенно в случае использования критериев оптимизации ОЭС при их синтезе и анализе, чаще всего базирующихся на современных статистических методах обработки информации. Задача разработчика при синтезе обычно состоит в нахождении такой структуры и расчете параметров и характеристик основных ее элементов, которые обеспечивают заданные критерии качества работы ОЭС для возможных условий ее работы. Анализ системы позволяет сравнить качество различных систем и определить возможные пути их совершенствования. Часто конечной целью системного подхода является структурная оптимизация, состоящая в целенаправленном, обычно итерационном процессе получения конкретных результатов, например, показателей качества работы ОЭС, с целью оптимизации решения задачи, стоящей перед

ним в заданных условиях и ограничениях.

При решении задач анализа по известным структурной схеме и параметрам определяются характеристики ОЭС в целом (или ее части). При решении задач синтеза, наоборот, определяется структурная схема, конструкции (или) параметры, при которых ОЭС имеет заданные характеристики. Если определяют параметры системы, то решают задачу параметрического синтеза; если же определяют ее структурную схему, то решают задачу структурного синтеза. При определении оптимальных (в каком-либо смысле) значений параметров или структуры системы решают задачу параметрической, или структурной, оптимизации. Как известно [2,4], основными принципами системного подхода являются:

1. Единство, позволяющее рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящего уровня исследования или проектирования;
2. Целостность, т.е. одновременная совместимость элементов разной направленности;
3. Структуризация, позволяющая анализировать системы в их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры;
4. Динамичность как способность системы к изменению состояния под воздействием направленных или случайных факторов;
5. Взаимозависимость системы и среды, т.е. способность системы проявлять свои свойства в процессе взаимодействия со средой;
6. Иерархичность строения, т.е. наличие множества элементов, расположенных на разных уровнях с подчиненностью элементов одних уровней (низших) другим, расположенным на более высоком уровне;
7. Декомпозиция как возможность расчленения объекта на составные части, каждая из которых имеет цели, вытекающие из общей цели системы;
8. Множественность, позволяющая использовать множество математических моделей для описания отдельных элементов и систем в целом.

Системный анализ может включать:

- анализ и описание принципов построения и работы ОЭС в целом;

- анализ особенностей всех элементов ОЭС, их взаимозависимости и внутреннего строения;
- установление сходства и различия конкретной проектируемой ОЭС и других систем;
- перенос по определенным правилам свойств выбранной модели на свойства проектируемой ОЭС.

Часто конечной целью системного подхода является структурная оптимизация, состоящая в целенаправленном, обычно итерационном процессе получения конкретных результатов, например, показателей качества работы ОЭС, с целью оптимизации решения задачи, стоящей перед системой в заданных условиях и ограничениях. С точки зрения современной системотехники основными этапами разработки сложных систем, к которым относятся ОЭС-3, являются:

- общее исследование проблемы;
- постановка задачи;
- выбор совокупности показателей эффективности работы ОЭС (критериев качества);
- анализ или синтез общей схемы ОЭС, ее оптимизация;
- изготовление рабочей документации, необходимой для проектирования ОЭС;
- оценка параметров и характеристик разработанной ОЭС;
- испытания комплекса и корректировка структуры или параметров и характеристик отдельных звеньев ОЭС в случае необходимости.

Уже на первых этапах разработки ОЭС необходимо знать характеристики ее 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, фоновую обстановку, в которой происходит ее функционирование; параметры излучателей, включая помехи и фоны; параметры среды распространения оптического сигнала).

Большинству ОЭС-3 свойственно хорошее энергетическое, пространственное, спектральное и временное разрешение, что позволяет осуществлять автоматическое или полуавтоматическое распознавание и идентификацию различных источников излучения на больших дальностях при наличии помех. В таких системах эффективно используются различия в характере собственного и отраженного оптического излучения разных объектов в выбранных рабочих спектральных диапазонах.

Для многих практических применений ОЭС-3 важно получать информацию о наблюдаемой сцене одновременно в двух или более рабочих спектральных диапазонах, чтобы обеспечить работу системы в динамическом режиме, уменьшить искажения изображений из-за взаимного относительного перемещения ОЭС и сцены, устранить влияние быстрых изменений фоновой обстановки, т.е. условий эксплуатации системы, исключить искажения из-за вибраций платформы-носителя ОЭС и т.д. В отличие от ОЭС первых поколений, в которых разделение на узкие рабочие спектральные диапазоны часто осуществлялось с помощью механически сменяемых узкополосных оптических фильтров, располагаемых перед приемником/приемниками излучения, т.е. путем последовательного во времени просмотра сцены в разных спектральных диапазонах, при использовании ОЭС, работающих в «смотрящем» режиме [9], заметно уменьшаются вероятности ложных тревог и увеличивается эффективность работы системы.

Дополнительным преимуществом использования двух или нескольких спектральных диапазонов является то, что оптимальным диапазоном для обнаружения того или иного объекта может быть один, а для его идентификации – другой. Такие диапазоны могут выбираться на разных участках оптического спектра – от ультрафиолетового (УФ) до дальнего инфракрасного (ИК).

Среди важнейших показателей эффективности работы ОЭС-3 обычно выделяются требования к ее разрешению (энергетическому, спектральному, пространственному,

временному) и чувствительности. Перечни этих показателей и формулы для их расчета и моделирования приводятся во многих источниках [4-7 и др.].

Большинству ОЭС-3 свойственно хорошее энергетическое, пространственное, спектральное и временное разрешение, что позволяет осуществлять автоматическое или полуавтоматическое распознавание и идентификацию различных источников излучения на больших дальностях при наличии помех. В таких системах эффективно используются различия в характере собственного и отраженного оптического излучения разных объектов в выбранных рабочих спектральных диапазонах.

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 на первых этапах их проектирования является удобным и достаточно эффективным инструментом.

Средства компьютерного моделирования позволяют 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, в частности для обеспечения заданных показателей качества ее работы.

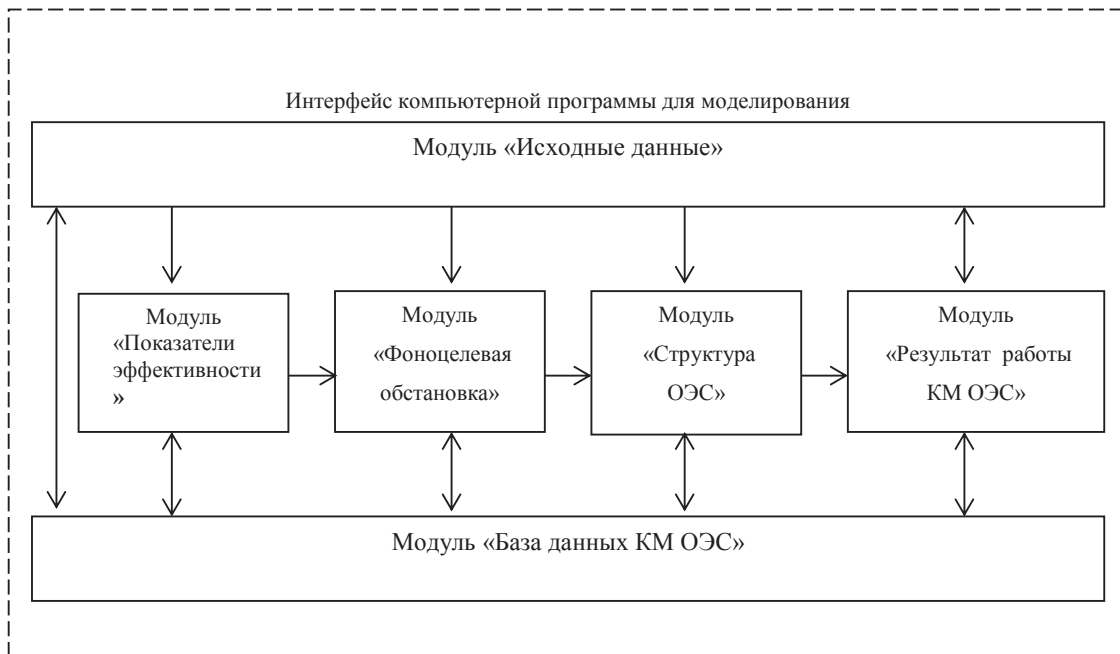
Компьютерная модель ОЭС должна учитывать весьма разнообразные условия, в которых она работает – среду, особенности излучателей (объектов, фонов, помех), метод работы ОЭС и т.д. Поэтому правомерно говорить об обобщенной компьютерной модели ОЭС (КМ ОЭС), в которой учитываются самые различные условия функционирования системы, а также возможные изменения ее структуры и элементной базы [5]. Обобщенная структурная схема компьютерной модели ОЭС представлена на рис. 1.

Разработка КМ ОЭС, как правило, заключается в последовательном выполнении четырех основных этапов, в результате которых производится переход от объекта-оригинала к его математической модели в виде компьютерной модели (рис. 2).

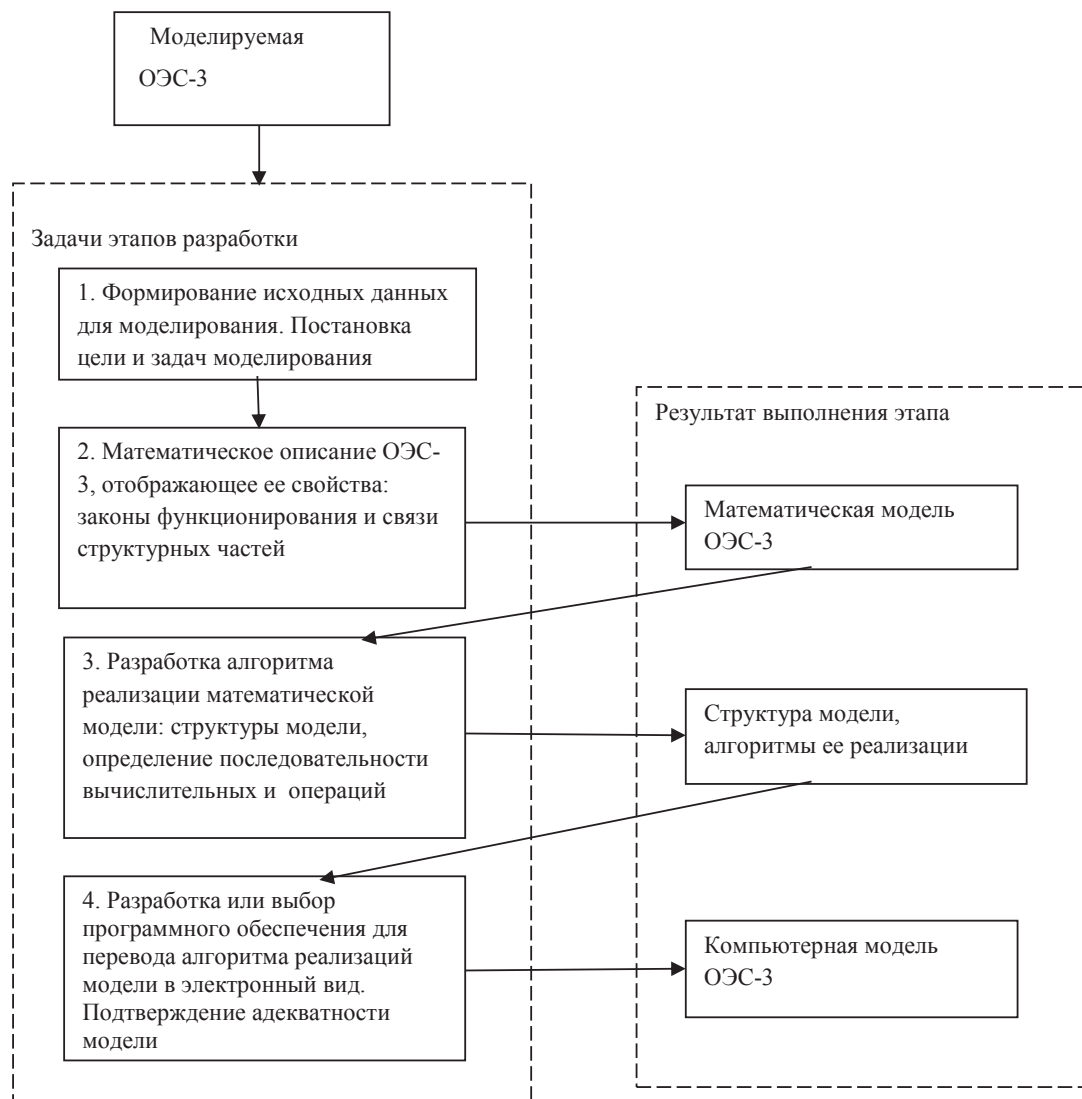
Нужно отметить, что в последние годы методы компьютерного моделирования условий работы ОЭС-3 успешно развиваются. В качестве примера можно указать на компьютерные модели (программы) Iрма [10], насчитывающую несколько модификаций, и Dirsig [11]. С помощью этих и ряда других моделей успешно синтезируются изображения различных объектов и сцен, на которых они наблюдаются при различных внешних условиях, для достаточно широкого оптического участка спектра – от видимого до длинноволнового инфракрасного.

К числу основных задач, стоящих перед разработчиками ОЭС-3 на ближайшие годы, относятся:

- разработка методики выбора оптимальных спектральных рабочих диапазонов для систем конкретного назначения;
- определение корреляционных связей между сигналами, получаемыми в различных спектральных диапазонах;
- классификация различных объектов (материалов, покрытий, образований), обнаруживаемых или наблюдаемых с помощью ОЭС;
- использование различий в поляризационных характеристиках отдельных объектов и фонов, на которых они наблюдаются;
- совершенствование элементной базы, в частности, создание новых многодиапазонных (многоспектральных) ФПУ высокого пространственного разрешения; оптических систем, работающих в широком спектральном диапазоне; снижение масс-габаритных параметров и энергопотребления; уменьшение стоимости компонентов ОЭС и систем в целом и т.д. и т.п.;
- создание адаптивных ОЭС-3;
- совершенствование методов проектирования и испытаний ОЭС, в частности, дальнейшее развитие компьютерного моделирования самих систем и условий их эксплуатации.



**Рисунок 1.**  
**Обобщенная структурная схема компьютерной модели ОЭС**



**Рисунок 2.**  
**Этапы разработки компьютерной модели при проектировании ОЭС-3**



Решение этих задач определяет направление развития и совершенствования ОЭС-3. Напомним некоторые из них:

- расширение круга задач, решаемых одной и той же ОЭС (обнаружение, слежение, классификация, измерение и т.п.);
- повышение геометрического, спектрального, временного и энергетического (температурного) разрешения;
- расширение спектральной области работы как в сторону УФ, так и в сторону длинноволнового ИК-диапазона;
- совершенствование методов обработки сигналов в ФПУ и электронном тракте системы;
- создание адаптивных ОЭС с перестраиваемыми параметрами и характеристиками всей системы и отдельных ее звеньев (оптической системы, ФПУ, электронного тракта, системы отображения);
- увеличение частоты кадров;
- увеличение динамического диапазона обрабатываемых сигналов, в частности, увеличение диапазона аналого-цифрового преобразования до 15 бит и более;
- снижение стоимости.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Развитие высокоточных информационно-измерительных оптико-электронных систем 3-го поколения (ОЭС-3) продолжается быстрыми темпами, опережая в ряде случаев прогнозы 3-5-тилетней давности.

2. Учитывая сложную структуру современных ОЭС-3 и непрерывное совершенствование их элементной базы, системный подход, заключающийся в представлении разнородных по физическим принципам работы звеньев ОЭС и различных по способу описания сигналов, проходящих через эти звенья, представляется необходимым условием проектирования ОЭС-3.

3. При использовании системного подхода к решению задач анализа и синтеза существующих и перспективных ОЭС необходимым и эффективным методом является компьютерное моделирование.

4. Наибольшее внимание следует уделить системному подходу для решения таких задач как:

- расширение круга задач, решаемых одной и той же ОЭС-3 (обнаружение, слежение, классификация, измерение и т.п.);
- повышение геометрического, спек-

трального, временного и энергетического (температурного) разрешения ОЭС-3;

- расширение спектральной области работы как в сторону УФ, так и в сторону длинноволнового ИК-диапазона;
- создание адаптивных ОЭС-3 с перестраиваемыми параметрами и характеристиками всей системы и отдельных ее звеньев (оптической системы, ФПУ, электронного тракта, системы отображения);
- снижение стоимости ОЭС-3.

#### Список литературы:

1. *Норенков И.П.* Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М.: Высшая школа, 1986. – 304 с.
2. *Щенетов А.Г.* Основы проектирования приборов и систем: учебник для вузов. – М.: Академия, 2011. – 368 с.
3. *Driggers R.G., Cox P., Edwards T.* Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems. – Boston, London: Artech House, 1998. – 427 p.
4. *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Введение в проектирование оптико-электронных приборов: системный подход: Учебник. Под ред. Ю.Г.Якушенкова. – М.: Университетская книга, 2016.- 488 с.
5. *Торшина И.П.* Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации. – М.: Университетская книга, Логос, 2009. – 248 с.
6. *Тарасов В.В., Торшина И.П., Якушенков Ю.Г.* Инфракрасные системы 3-го поколения// Под общ. ред. Ю.Г.Якушенкова. - М.: Логос, 2011. - 240 с.
7. *Торшина И.П., Якушенков Ю.Г.* Оценка адекватности компьютерной модели оптико-электронной системы её заданным свойствам. - Изв. вузов. Приборостроение. 2009, № 9.- С. 63-68
8. *Торшина И.П., Якушенков Ю.Г.* Особенности компьютерного моделирования оптико-электронных систем третьего поколения. - Оптический журнал. – 2010. – № 2.- С.87-89
9. *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения.- М.: Университетская книга; Логос, 2007. - 192 с.
10. *Baccheschi N.L.* Generation of a combined dataset of simulated radar and EO/IR imagery // SPIE Proc.- 2005.-V. 5806.-P. 88-99.
11. *Lach S.R., Brown S.D., Kerekes J.P.* Semi-automated DIRSIG scene modeling from 3D LIDAR and passive imaging sources // SPIE Proc.- 2006.- V.6214. - P. 1-12.

УДК 681.7.013:528.8



## АНАЛИЗ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

\*АРХИПОВ С.А., \*\*АБДУЛКАДЫРОВ М.А., \*\*ДОБРИКОВ Н.С.

\*ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», Московская обл., г. Красногорск

\*\*АО «Лыткаринский Завод Оптического Стекла», Московская обл., г. Лыткарино

E-mail: arhipof@zenit-kmz.ru

**Аннотация.** Сформулированы требования к «идеальному» конструкционному материалу для изготовления облегченных зеркал и несущих конструкций оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Показано, что карбид кремния обладает уникальным сочетанием физико-механических свойств, позволяющих создавать облегченные, термостабилизированные оптико-механические системы ОЭА ДЗЗ. Проведен анализ состояния отечественных технологических разработок изготовления крупногабаритных оптических зеркал из карбида кремния.

**Ключевые слова:** карбид кремния, система оптико-механическая, оптико-электронная аппаратура, облегченное зеркало, дистанционное зондирование Земли, термостабильность, шероховатость оптической поверхности.

## ANALYSIS OF PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF MANUFACTURING LIGHTWEIGHT THERMALLY STABLE OPTO-MECHANICAL SYSTEMS BASED ON SILICON CARBIDE FOR OPTOELECTRONIC SPACE-BASED EQUIPMENT

\*ARKHIPOV S.A., \*\*ABDULKADYROV M.A., DOBRIKOV M.S.

\*APJSC «S.A. Zverev Krasnogorsky Zavod», Moscow region, Krasnogorsk

\*\*SC «Lytkarino optical glass factory», Moscow region., Lytkarino

E-mail: arhipof@zenit-kmz.ru

**Abstract.** The requirements for “ideal” constructional material for the manufacture of lightweight mirrors and supporting structures of the opto-electronic devices (OED) for the Earth remote sensing (ERS) are formulated. The silicon carbide is shown to have a unique combination of physical and mechanical properties, which allows one to manufacture lightweight thermally stable opto-mechanical systems for OED ERS. The analysis of domestic technologies for production of large optical mirrors made of silicon carbide was conducted.

**Keywords:** silicon carbide, opto-mechanical system, optoelectronic equipment, lightweight mirror, remote earth sensing, thermal stability, roughness of the optical surface.



## ВВЕДЕНИЕ

Оптико-электронная аппаратура (ОЭА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначена для получения изображений земной поверхности.

Система оптико-механическая (СОМ) ОЭА определяет ее основные характеристики: пространственное разрешение и захват. В состав СОМ обычно входят: оптические элементы, корпус (несущая конструкция), фокальный узел с приемниками изображения, бленда-крышка. На несущей конструкции кроме оптических элементов, устанавливаются составные электромеханические и оптические части обеспечивающих подсистем ОЭА, термодатчики и термонагреватели, жгуты и кабельная сеть. При моноблочном исполнении ОЭА на несущей конструкции также устанавливаются электронные блоки системы приема и преобразования изображения, электронные блоки системы управления. Несущая конструкция выполняет функцию корпуса объектива, обеспечивая сохранность взаимного пространственного положения оптических элементов (зеркал, линзовых компенсаторов, призмных устройств и светофильтров).

Для ОЭА высокого пространственного разрешения (АВР), функционирующей на низких орбитах (от 400 до 900 км), и для ОЭА ДЗЗ на геосинхронных и высокоэллиптических орбитах СОМ выполняется на основе зеркальных или зеркально-линзовых систем с диаметром главного зеркала от 0,5 до 3,0 м и более, длиной системы до 4-6 м и более. Такие крупные габариты СОМ противоречат требованиям по ограничению массы ОЭА, обостряют проблемы разгрузки высокоточных крупногабаритных зеркал, теплового режима и температурной стабильности СОМ. Преодоление этого противоречия возможно лишь на пути создания *облегченных, термостабильных* СОМ.

Проблемы термостабилизации СОМ актуальны также и для ОЭА среднего и низкого пространственного разрешения (АСР, АНР), устанавливаемой на малых космических аппаратах (МКА). СОМ АСР, АНР строится

на основе оптических систем с диаметром входного зрачка до 300-400 мм. Однако расширенный рабочий температурный диапазон (от минус 20 до плюс 40°C) платформы МКА существенно усложняет задачи термостабилизации СОМ АСР, АНР. Обеспечение требуемой *термостабильности* СОМ ОЭА МКА возможно за счет использования, как для оптических элементов, так и для несущей конструкции, материалов с равными и высокими коэффициентами теплопроводности.

## ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ,

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЭА ДЗЗ

Жизненный цикл ОЭА содержит три основных стадии:

- стадия изготовления, хранения и транспортирования;
- пуск в составе космического аппарата (КА);
- орбитальная эксплуатация в составе КА.

На стадии изготовления оптические и механические детали подвергаются интенсивным технологическим термомеханическим воздействиям. При транспортировании и хранении на ОЭА воздействуют транспортные (механические, температурные, влажностные воздействия, изменение атмосферного давления) нагрузки.

При пуске КА основное функциональное назначение СОМ ОЭА – прочность. На ОЭА воздействуют интенсивные механические перегрузки, удары, вибрации, акустические и тепловые воздействия.

На стадии орбитальной эксплуатации ОЭА должна реализовывать свою основную функцию – получение съемочной информации. В течение орбитальной эксплуатации (длительность которой для современной ОЭА должна достигать 7-10 лет) интенсивность механических воздействий (вибраций, перегрузок, ударов) существенно меньше, однако возрастают тепловые нагрузки и действует комплекс физических воздействий космического пространства (глубокий вакуум, невесомость, ионизирующие излучения, тяжелые заряженные частицы, ультрафиолет и пр.).

В соответствии с ГОСТ РВ 20.39.304-98 бортовую аппаратуру космической техни-

ки в зависимости от назначения и условий эксплуатации классифицируют по группам. ОЭА ДЗЗ обычно относят к группе 5.3 «Аппаратура, предназначенная для установки в негерметизированных отсеках, а также на внешней поверхности космических аппаратов с применением мер защиты». ОЭА должна функционировать в автоматическом режиме по командам от бортового комплекса управления КА на всем протяжении срока эксплуатации КА. ГОСТ РВ 20.39.304-98 регламентирует требования к прочности и стойкости ОЭА путем задания значений воздействующих факторов на стадиях пуска и орбитальной эксплуатации. Дополнительные требования к самой ОЭА и условиям ее эксплуатации конкретизируются в тактико-техническом задании (ТТЗ) на ОЭА.

#### ТРЕБОВАНИЯ К «ИДЕАЛЬНОМУ» МАТЕРИАЛУ ДЛЯ СОМ

Анализ современной ОЭА ДЗЗ, задач ФКП-2025 по достижению тактико-технических характеристик перспективной бортовой аппаратуры позволяет сформулировать обобщенные требования к ОЭА:

- повышение в 2-3 раза информационных характеристик ОЭА, определяющих повышение требования к точности размеров, форм деталей, поверхностей деталей и соединений;
- увеличение срока службы ОЭА до 10 и более лет;
- противоречивые требования по увеличению габаритов оптики (для достижения информационных характеристик) и по снижению массы СОМ;
- ужесточение орбитальных условий эксплуатации (расширение температурного диапазона для применения в составе МКА или переход на геосинхронные и высокоэллиптические орбиты).

Ключ к реализации поставленных ФКП-2025 задач – развитие технологических возможностей создания оптических зеркал и несущих конструкций на основе новых нетрадиционных материалов. Для изготовления облегченных зеркал и несущей конструкции желательно использовать один и тот же ма-

териал. Опыт создания современной ОЭА позволяет сформулировать следующие требования к такому «идеальному» перспективному материалу.

#### 1. Физико-механические свойства

Материал должен иметь:

- 1.1. Минимальную плотность  $\rho$ ;
- 1.2. Максимальный модуль упругости  $E$ ;
- 1.3. Максимальную относительную жесткость  $E/\rho$ ;
- 1.4. Максимальную теплопроводность  $\lambda$ ;
- 1.5. Максимальную температуропроводность  $\alpha$ ;
- 1.6. Минимальный коэффициент температурного расширения  $\alpha_T$ ;
- 1.7. Максимальную термостабильность  $\lambda/\alpha_T$ ;
- 1.8. Высокую размерную стабильность;
- 1.9. Высокие пределы прочности при статических, динамических и вибрационных перегрузках;
- 1.10. Соответствующие свойства для установки закладных деталей в зеркала и элементы несущей конструкции;
- 1.11. Максимальную однородность микроструктуры и минимальные остаточные напряжения для обеспечения возможности получения оптических поверхностей;
- 1.12. Высокую электропроводность для защиты ОЭА от электростатических воздействий;
- 1.13. Экологически чистые технологии его производства.

#### 2. Конструктивно-технологические свойства

- 2.1. Материал должен обеспечивать возможность изготовления ячеистых пластин и оболочек (облегченных зеркал) с размерами:
  - диаметр до 2,5-3,0 м,
  - толщины стенок облегченных ячеистых структур до 1-3 мм;
- 2.2. Материал должен позволять изготавливать асферические рабочие поверхности зеркала, характеризующееся среднеквадратическим отклонением (СКО) отраженного от него волнового фронта (как правило, в пределах  $0,03-0,05\lambda$ ,  $\lambda = 0,633$  мкм);
- 2.3. Материал должен позволять изготавливать рабочие поверхности зеркала с микро-

шероховатостью не более 10 ангстрем (по Rq) до покрытия и 15 ангстрем после нанесения стандартного (ИИ4ИЭ) зеркального покрытия на подложку;

2.4. Материал должен обеспечивать возможность изготовления ферменных или оболочечных несущих конструкций:

– габариты: диаметр до 1 м, длина до 2,5-3,0 м,

– толщины оболочек или стенок труб до 1-3 мм,

– массы установленных на несущих конструкциях деталей (зеркал, линз) от 10 до 500 кг;

2.5. Материал зеркала и несущая конструкция должны обеспечивать поэтапную сборку и юстировку оптической системы;

2.6. Несущая конструкция, облегченные зеркала должны иметь максимальную жесткость и минимальный вес;

2.7. Несущая конструкция, облегченные зеркала совместно с термозащитными элементами и системами обеспечения температурного режима должны обеспечивать требуемую термостабильность СОМ.

В условиях космического пространства, глубокого вакуума, температур от минус 80 до плюс 50°C (в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.304-98 для ОЭА группы 5.3 и требованиями технического задания), на протяжении всего жизненного цикла ОЭА и срока эксплуатации ОЭА 10-15 лет материал должен обеспечивать:

2.8. Прочность конструкции зеркал, несущей конструкции, зеркального покрытия,

2.9. Сохранность формы рабочей поверхности зеркал по среднеквадратическому отклонению до уровня 0,001- 0,002 λ,

2.10. Сохранность взаимного положения оптических элементов СОМ с погрешностью до 0,003-0,005 мм , 1-2 угл. с.

### **3. Экономические требования**

3.1. Изготовление зеркал и несущих конструкций должны производиться на предприятиях РФ;

3.2. Стоимость материала должна быть умеренной;

3.3. Затраты на производство должны быть минимальны. Желательно использование имеющегося технологического оборудова-

ния и отлаженных технологических процессов;

3.4. В перспективе до 2025 года требуется изготовление до 10 несущих конструкций и до 30-40 облегченных зеркал в 1 год.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

В табл. 1 представлены результаты сравнения известных конструкционных материалов, применяемых для изготовления крупногабаритных зеркал и несущих конструкций, по выше сформулированным требованиям.

Из табл. 1 видно, что только из четырех материалов (ситалл, карбид кремния, алюминий) можно изготовить оптические зеркала. Прочие материалы требуют остекления. Вопрос, в принципе, решаемый. Например, для бериллия подобрано (1980 г.) стекло, которое спекается с подложкой (изделие 17В37, разработчики зеркал: Красногорский завод совместно с ГОИ им. С.И. Вавилова, заказчик изделия – ГРКНПЦ «ЦСКБ-Прогресс»; размеры плоских сканирующих зеркал 400x270 и 283x 84 мм) [1]. Однако остекление влечет за собой проблемы термостабильности, прочности и размерной стабильности конструкции зеркала.

Из табл. 1 следуют неоспоримые **преимущества** карбида кремния:

- имеет высокую температурную стабильность (**безусловный лидер**);

- входит в число размерно-стабильных материалов;

- имеет высокую относительную жесткость (2-е место после бериллия), возможность сверхоблегчения (толщина стенки до 1 мм и комплексные элементы жесткости);

- обладает уникальным сочетанием физико-механических свойств, позволяющих создавать принципиально новые конструкции крупногабаритной оптики, включая не только оптические зеркала, но и конструкции, работающие в условиях криогенных и контрастных температур и динамических нагрузок (вибрационных, ударных и т.д.);

Таблица 1. Характеристики конструкционных материалов

№ пп.	Характеристика	Значения						
		Карбид кремния	Бериллий	Ситалл СО-115М	Алюминий	Углепластик	Углерод-углерод	
1.1	Плотность $-\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,6 - 3,2	1,85	2,53	2,73	1,5	1,56	
1.2	Модуль упругости $-E$ , ГПа	400-450	300	91	71	135	140	
1.3	Относительная жесткость $-E/\rho$	150	164	36	26	90	89	
1.4	Теплопроводность $-\lambda$ , Вт/м К	110-130	180	1,6	130	2,3	1,5	
1.5	Температуропроводность $-a \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	68	52	0,8	53	1,1	1,1	
1.6	КТР $-\alpha_T$ , $10^{-6}$ , К <sup>-1</sup>	2,5 - 4,0	11,4	0,05	24	1,02	0,5	
	Теплоемкость $-C$ , Дж/кг К	680	1880	821	900	1400	890	
1.7	Термостабильность $-\lambda/\alpha_T$	43	16	32	10	2,2	3	
1.8	Размерная стабильность	+	- Остекление	+	Старение	- Летучий остаток	- Остекление	
1.9	Прочность материала	+	+	+/-	+	+	+	
1.10	Конструктивные возможности соединения деталей	+/- Закладные детали	+/- Закладные детали	- Оправы зеркал	+	+/- Закладные детали	+/- Закладные детали	
1.11	Однородность микроструктуры, остаточные напряжения	+	+	+	+/-	- Ортопропность	- Ортопропность	
1.12	Электропроводность	+/-	+	-	+	-	-	
1.13	Экологичность	+	Опасен	+	+	+	+	
2.1	Ячеистые структуры	+	+	+	+	+	+	
2.2	Возможность получения оптической поверхности ВД спектра	+	- Остекление	+	+	- Остекление	- Остекление	
2.3	Шероховатость оптической поверхности	+	- Остекление	+	+	- Остекление	- Остекление	
2.4	Возможность изготовления несущей конструкции	+	+	-	+	+	+	
2.5	Возможность сборки, юстировки	+	+	+	+	+	+	
2.6	Оптимизация массы	+	+	-/+	+	+	+	
2.7	Термостабильность конструкции	+	+	+	+	-	-	
2.8	Прочность конструкции	+	+	+/-	+	+	+	
2.9	Размерная стабильность конструкции зеркала	+	+/- Остекление	+	+	-	-	
2.10	Размерная стабильность несущей конструкции	+	+	-	Старение	- Летучий остаток	+	
3	Экономические требования	+/-	+/-	+	+	+	+/-	



- обеспечивает получение оптической поверхности (по технологиям АО ЛЗОС);
- обладает изотропностью физико-технических свойств;
- имеет очень высокую устойчивость к химическому воздействию и коррозии, к деформации ползучести при нагрузке, износостойкость;
- обеспечивает короткие сроки производства (относительно быструю обработку) и значительную гибкость в структурном дизайне;
- производство обеспечено отечественными технологиями полного цикла от сырья до конечной конструкции.

**Недостаток** карбида кремния в сравнении с ситаллом – относительная дороговизна производства. Однако этот недостаток компенсируется возможностью изготовления однородных оптико-механических структур из зеркал, несущих элементов конструкции и корпуса, не требующих затрат на создание специальных служебных систем для их разгрузки, термостатирования и термостабилизации, что является обязательным для аналогичных конструкций на основе облегченных ситалловых зеркал.

## ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ ЗЕРКАЛ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

В рамках Программы Министерства обороны США AMSD (Advanced Mirror System Demonstrator) были проведены масштабные работы по выбору материала и созданию базовых технологий для изготовления силовых и крупногабаритных охлаждаемых облегченных зеркал из карбида кремния [2].

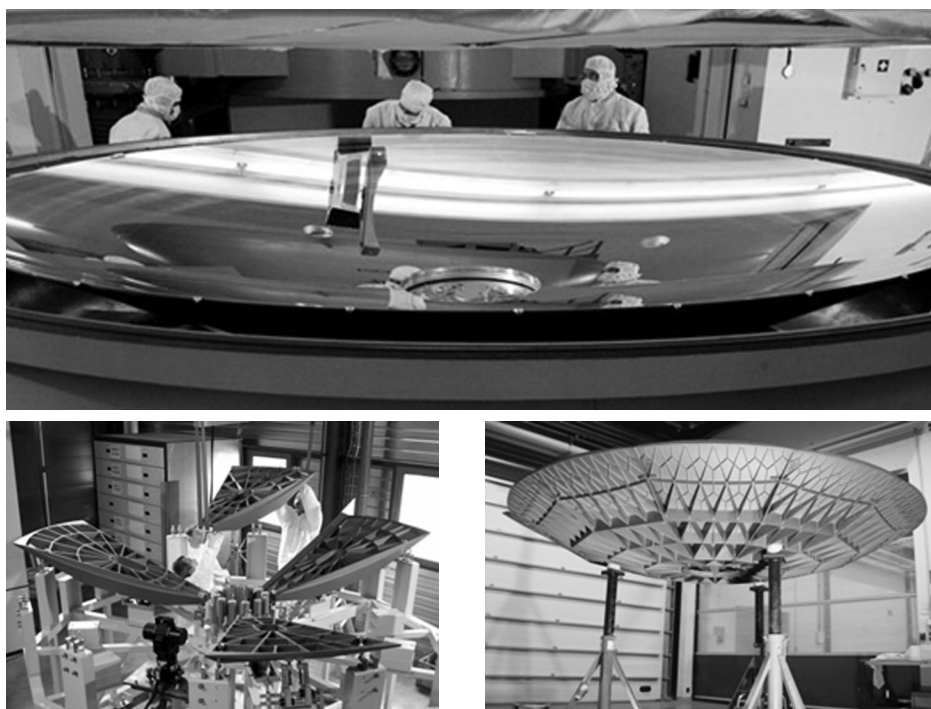
Программа дала основание для широкомасштабных исследований этого вопроса в Германии, Франции, Японии, США [3-8].

Сегодня технология изготовления оптических систем из карбида кремния успешно развивается в Китае [9].

Отметим наиболее значимые зарубежные проекты облегченных зеркал из карбида кремния.

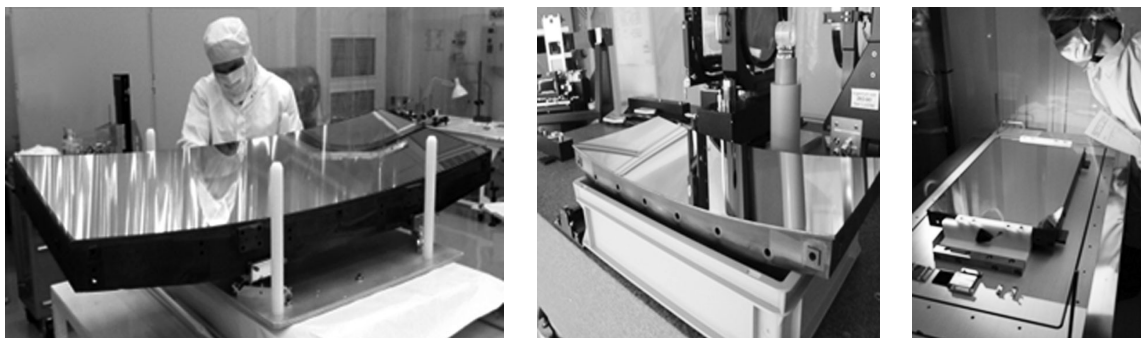
Главное зеркало, диаметром 3,5 м, инфракрасного телескопа «Гершель» (проект Европейского космического агентства 2009-2013 годы). Зеркало состоит из 12 карбидокремниевых элементов, соединенных с помощью вакуумной сварки (см. рис. 1) [10].

Зеркала из карбида кремния для телескопа Gaia были изготовлены французской компа-



*Рисунок 1.  
Зеркало телескопа Гершель и его сборка*





*Рисунок 2.*  
*Зеркала телескопа Gaia*

нией Boostec в 2013 г. (см. рис. 2). Первое зеркало имеет размеры 1490×540 мм. Формообразование оптических поверхностей производили фирмы: Sagem (French) – 1-е зеркало, AMOS of Liege (Belgium) – 2, 4, 5, 6 зеркала Carl Zeiss Optronics GmbH in Oberkochen (Germany) – 3-е зеркало [11].

В настоящее время сформировались три направления использования оптики на основе карбида кремния:

- облегченные крупногабаритные телескопы наземного и космического базирования для ДЗЗ и изучения Вселенной;
- оптико-электронная аппаратура для малых космических аппаратов ДЗЗ;
- зеркала для мощных лазеров специально назначения.

Лидером изготовления конструкций из карбида кремния является компания Boostec <boostec@mersen.com> [12].

#### **ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ ЗЕРКАЛ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

В ФИАН в начале 70-ых годов были проведены исследования, которые показали, что карбид кремния имеет неоспоримое преимущество перед традиционными материалами по физико-техническим свойствам и может с успехом использоваться для создания новой элементной базы электрорадиоизделий (ЭРИ) и лазерных отражателей высокоэнергетического излучения. Краткая история НИ-ОКР по исследованию возможности использования карбида кремния для изготовления облегченных зеркал и конструкций приведена в табл. 2.

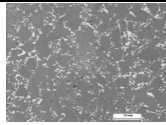
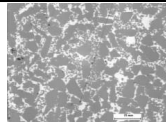
Самосвязанный или реакционноспеченный карбид кремния (РКК) - двухфазный конструкционный керамический материал, получаемый методом реакционного спекания был разработан специалистами ЦНИИМ (Грань И.Н.). Международное обозначение этого подкласса карбидокремниевых материалов – SiSiC. РКК – практически безупрочный и беспористый материал. Микроструктура РКК имеет две характерные особенности - присутствие связанного карбидокремниевое каркаса, обеспечивающего высокие физико- механические показатели материала и свободного, несвязанного кремния. РКК – коррозионностойкий материал, устойчивый к воздействию пластовой жидкости, перхлорбензола, карбамида, неорганических кислот и др. Материал неустойчив в смеси азотной и плавиковой кислот и щелочных средах. РКК применяют в парах трения осевых и радиальных подшипников скольжения погружных центробежных и роторно-вихревых насосов и герметичных насосов, торцевых уплотнениях насосов, запорной арматуре, разнообразных износостойких изделиях. Изделия из РКК предназначаются для работы в абразивосодержащих и агрессивных средах, в силу отличных трибологических показателей материала, обусловленных его высокой твердостью, высокими модулем упругости, коэффициентом теплопроводности. и коррозионной стойкостью. В табл. 3 приведены физико-механические свойства РКК.

Облегченные зеркала изделия 17В317, изготовленные из РКК, не были доведены до требований по качеству рабочей поверхности по причине растрескивания заготовок.

**Таблица 2.**  
**НИОКР по использованию карбида кремния**

Годы	Заказчик НИОКР	Исполнители	Что сделано
1975-1985	АН СССР	ФИАН, ЦНИИМ	Исследованы свойства, предложены технологии
1985-1992	ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»	КМЗ, ЦНИИМ, АО ЛЗОС	Для изделия 17В317 – заготовка эталонного зеркала «шпала» 200×700 мм. Для изделия 17В320Ц - фрагмент облегченного зеркала Ø300×140 мм.
1985-2000	РАН	НПО «Луч» (ООО «ЛВИ»)	Облегчённое зеркало Ø300 мм
1985-2000	Инозаказчик (Китай)	ВНЦ ГОИ	Зеркала до Ø600 мм
2011-2012	Роскомос	КМЗ, ООО «ЛВИ»	Разработка ЭП на несущую конструкцию и зеркала из карбида кремния
2012-2014	Минпромторг РФ	АО ЛЗОС	Разработана технология формообразования рабочей поверхности зеркал из карбида кремния. Опытный образец облегченного зеркала Ø775 мм (29 кг)
2014 - 2016	Минпромторг РФ	АО ЛЗОС	Разработана технология изготовления зеркал из спеченного карбида кремния (SSiC). Внедрено в производство оборудование по изготовлению изделий из карбида кремния. Опытные образцы облегченных зеркал из SSiC Ø300 мм (3 кг), Ø540 мм (10 кг)

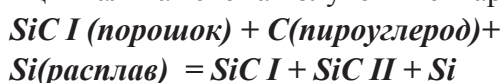
**Таблица 3.**  
**Физико-механические свойства РКК производства ООО «Вириал»**

Характеристика	Материал	
	РКК ТУ 1915-010-2304285-2003	РКК для крупногабаритных изделий ТУ 1915-015-2304285-2009
Плотность, г/см <sup>3</sup> ;	3,05 - 3,11	3,00 - 3,04
Доля кремния, %	12 - 18	18 - 24
Микроструктура	 Плотность 3,08 г/см <sup>3</sup> , VvSi = 0,15 репер - 70 мкм	 Плотность 3,02 г/см <sup>3</sup> , VvSi = 0,24 репер - 70 мкм
Предел прочности при изгибе, МПа	330 - 450	240 - 320
Модуль Юнга, ГПа	380 - 410	360 - 400
Микротвердость зерен SiC, ГПа	25 - 30	25 - 30
Трещиностойкость, МПа м0,5	3,50 - 4,50	3,00 - 4,00
Коэффициент теплопроводности, Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup>	140 - 180	100 - 120
Коэффициент термического расширения, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	3 - 4	3 - 4

На макете облегченного зеркала из РКК для изделия 17В320Ц был получен требуемый цвет рабочей поверхности, однако проблему светорассеяния («апельсиновая корка») преодолеть не удалось. В настоящее время изделия из РКК выпускает ООО «Вириал» [13].

**Двухфазный композиционный материал**, состоящий из карбида кремния и кремния в отношении по объему (80...85)/(15...20)% соответственно, получил словное название «сикар». Технология создания крупногабаритных облегченных зеркал из «сикара» была разработана в ГОИ им. С.И. Вавилова (Химич Ю.П.) в первой половине 1990-х годов [14].

Принципиальная схема получения сикара:

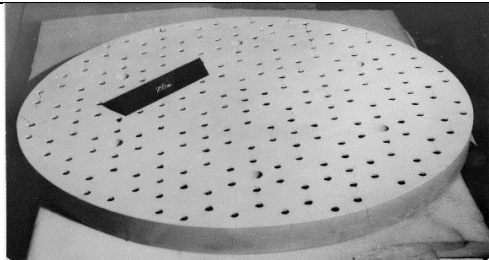
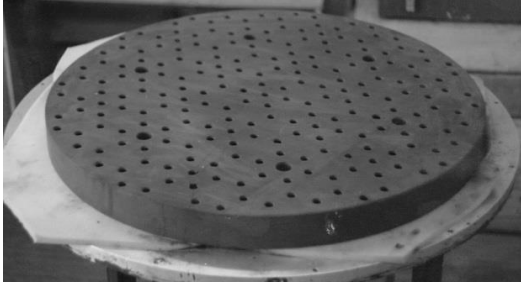
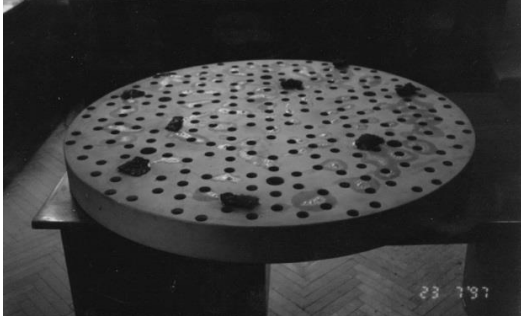


В табл. 4 отражены основные этапы технологии изготовления заготовки облегченного зеркала.

В период 1992-2005 гг. в ГОИ им. С.И. Вавилова разработаны, изготовлены и исследованы образцы зеркал из «сикара» размером от 200 до 930 мм. Проведены механические, климатические и термовакуумные оптические испытания зеркал. Специалистами ГОИ были проведены исключительно ценные исследования [15] способности зеркал из карбида кремния сохранять параметры оптической поверхности в течение длительного времени - долговременная размерная стабильность.

Необратимое изменение формы оптической поверхности с течением времени может быть вызвано возможным переходом (релаксацией) материала к полностью равновесному состоянию. Механизмами внутренней размерной нестабильности в общем случае могут быть релаксация остаточных напряжений и эволюция структурно-фазового состояния.

**Таблица 4.**  
*Основные этапы изготовления заготовки облегченного зеркала*

Этап технологии	Содержание	Внешний вид заготовки
Зеленая фаза	Изготовление заготовки из карбида кремния	
Черная фаза	Введение пироуглерода в заготовку	
Серая фаза	Силицирование заготовки	

**Таблица 5.**  
**Результаты контроля формы зеркал при долговременной выдержке**

Зеркало		Год изготовления	Результаты контроля формы СКО волнового фронта ( $\lambda=0,633$ мкм)	
			При изготовлении	Текущий контроль
Форма	$\varnothing$ , мм			
Сферическое	515	1995	0,047 $\lambda$	0,043 $\lambda$
Сферическое	630	1994	0,05 $\lambda$	0,052 $\lambda$
Асферическое	630	1997	0,07 $\lambda$	0,068 $\lambda$

В табл. 5 приводятся результаты текущего контроля формы оптической поверхности зеркал из «сикара» в сравнении с результатами, полученными 13-16 лет назад при их изготовлении.

Результаты свидетельствуют об абсолютной стабильности зеркал из карбида кремния как по отношению к долговременным выдержкам, так и при изменении температуры в широком диапазоне.

Неизменными являются и параметры шероховатости оптических поверхностей. Зеркала из «сикара» демонстрируют также отсутствие необратимых изменений (гистерезиса) формы после нагрева до 100°C и охлаждения вплоть до криогенных (20К) температур.

В НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова» к 2011 году планировалось завершение программы по вводу в действие технологического оборудования и созданию производства облегченных заготовок зеркал из материалов на основе карбида кремния диаметром до 1500 мм, которая, однако, так и не выполнена до настоящего времени в полном объеме.

На базе **метода реакционного спекания** ООО «Керамические технологии» (ранее ООО «ЛВИ» , Бабаянц Г.И.) заявило об освоении технологии изготовления зеркал из карбида кремния различного назначения, включая как традиционные конструкции оптики, так и облегченные варианты зеркал с коэффициентом облегчения до 0,7 – 0,8 для информационных систем и зеркал телескопов [16]. Технологическая схема производства зеркал включает следующие этапы:

1. Глубокая химическая очистка порошка карбида кремния.
2. Приготовление шихты (различными методами) с рецептурой обеспечивающей по-

лучение карбида кремния оптического качества.

3. Приготовление шликера на кремний органической основе.

4. Проектирование в соответствии с конструкцией зеркала оснастки многоазового использования с закладными элементами для формования заготовки зеркала методом шликерного литья.

5. Предварительная термообработка, разборка приспособления.

6. Предварительная обработка основы зеркала для придания ей формы и размеров максимально приближенных к заданным чертежом.

7. Высокотемпературная обработка при  $T = 850^\circ\text{C}$  (Образуется пористая заготовка, состоящая из порошка карбида кремния и активного углерода).

8. Пропитка заготовки расплавленным кремнием (силицирование) при  $T = 1550^\circ\text{C}$ . Полученная заготовка имеет гетерофазную структуру: основа карбид кремния с включениями свободного кремния до 8-15 %.

9. Пескоструйная обработка.

10. Предварительная обработка алмазным инструментом для придания изделию размеров, соответствующих чертежу и обработка оптической поверхности до ближайшей сферы методом свободного притира.

11. Асферизация оптической поверхности зеркала с получением шероховатости менее  $50\text{Å}$  и отклонением формы не более  $\lambda/20$  при критерии СКО  $\lambda = 0,6328$  мкм.

ООО «Керамические технологии» также заявило об освоении технологий изготовления несущих конструкций и способов соединения отдельных элементов конструкций с помощью закладных крепежных элементов из инвара, технологий сварки реакцион-



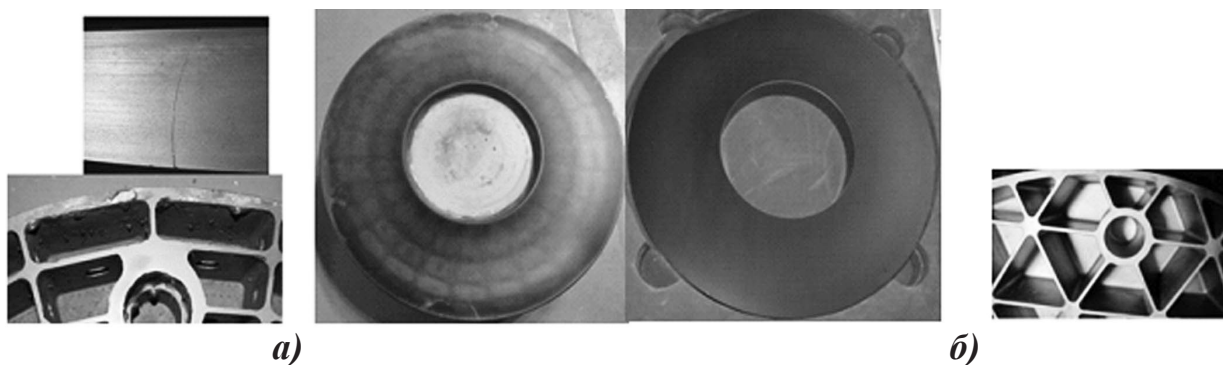


Рисунок 3.  
а) – образец НПК «ГОИ им. С.И.Вавилова»; б) – образец АО «ЛЗОС»

но-спеченного карбида кремния, в которых структура сварного шва идентична структуре основного материала.

Проведенный обзор показывает, что в России существуют технологии изготовления зеркал и конструкций из карбида кремния. Основные этапы российских технологий:

- формирование заготовки методом шликерного литья;
- высокотемпературное науглераживание заготовки;
- высокотемпературное силицирование;
- алмазная механическая обработка + доводка оптической поверхности для зеркал позволяли получать конструкции зеркал с минимальной толщиной стенки до 3-4 мм с габаритами, ограниченными размерами высокотемпературной печи.

В 2012 году, по инициативе ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» и АО ЛЗОС, всем заинтересованным отечественным предприятиям (в т. ч. НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова», ООО «Керамические технологии») было предложено изготовить образцы зеркал из карбида кремния для исследования основной проблемы отечественных технологий – значительное светорассеяние рабочей поверхности (так называемая «апельсиновая корка»), не позволяющей применять зеркала из карбида кремния в ВД спектра. Однако, не смотря на настойчивость предприятий-инициаторов, образцы альтернативных зеркал НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова» и ООО «Керамические технологии» не были представлены.

Но, несмотря на это, АО ЛЗОС в 2014 году удалось организовать изготовление зеркала

диаметром 775 мм с привлечением нескольких зарубежных соисполнителей. На полученной заготовке АО ЛЗОС успешно отработал технологию обработки исполнительных поверхностей и получил высокоточное зеркало, пригодное для применения в современных оптико-электронных комплексах.

В 2015 году НПК «ГОИ им. С.И.Вавилова» смогло предоставить заготовку изготовленную методом шликерного литья (ООО «Керамические технологии» заготовку так и не предоставило). Таким образом у АО ЛЗОС появилась уникальная возможность обработать зеркало из альтернативного материала и сравнить два зеркала, изготовленные по различным технологиям (см. рис. 3). После обработки российской заготовки был проведен сравнительный анализ физико-механических свойств. И по всем параметрам, таким как, прочность, трещиностойкость, однородность оптической поверхности, остаточная микрощероховатость, качество изготовления структуры облегчения - зеркало от НПК «ГОИ им. С.И.Вавилова» уступило образцу АО ЛЗОС. Кроме того было выявлено непригодность образца НПК «ГОИ им. С.И.Вавилова» для применения в качестве оптического элемента в связи с наличием трещин на рабочей поверхности, высокой неоднородностью и большой величиной остаточной шероховатости и как следствие низкой отражающей способности.

В 2014 году АО ЛЗОС приступило к работам по постановке промышленной технологии изготовления крупногабаритных зеркал из карбида кремния для ОЭА ДЗЗ.



## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что для изготовления крупногабаритных облегченных оптических элементов в разное время использовались 3 различных технологии. Их можно разделить на три поколения по времени разработки и технологическому уровню сложности (см. рис. 4):

- **первое поколение** – технология изготовления зеркал из реакционносвязанного карбида кремния с использованием шликерного литья (LPSiC): формование заготовки без давления, температура изготовления около 1800°C;

- **второе поколение** – технология изготовления зеркал из реакционносвязанного карбида кремния с использованием гидростатического прессования заготовок (SiSiC): формование заготовки с давлением около 200 МПа, температура спекания около 1800°C;

- **третье поколение** – технология изготовления зеркал из спеченного карбида кремния с использованием гидростатического прессования заготовок (SSiC): формование заготовки с давлением около 200 МПа, температура спекания около 2100°C.

Карбид кремния третьего поколения (SSiC – спеченный карбид кремния) имеет ряд существенных преимуществ перед карбидами 1-го и 2-го поколения, а именно: высокая однородность, трещиностойкость, отсутствие остаточных внутренних напряжений, хорошая обрабатываемость, небольшая величина остаточной микрошероховатости, позволяющая использовать зеркала, изготовленные из этого материала не только в инфракрасном, но и в видимом диапазоне (ВД) спектра.

В России на данный момент имеет место существенное технологическое отставание и имеется только технология шликерного литья (LPSiC) – технология 1-го поколения, появившаяся около тридцати лет назад. За последние годы технология не совершенствована-

Рисунок 4.  
Основные этапы получения заготовок



**Таблица 6.**  
**Достоинства и недостатки различных технологий**

Технология	Достоинства:	Недостатки:
LPSiC (1-е поколение)  SiSiC (2-е поколение)	- отсутствие пористости, - усадка при спекении менее 2%, - требования к чистоте и размеру зерен исходного сырья не такие высокие как у SSiC	- невозможность использования в видимом диапазоне; - плохая обрабатываемость (связана с неоднородностью материала – материал состоит из SiC и Si, имеющих разную жесткость и соответственно различную подаваемость шлифовке и полировке), - большие внутренние напряжения после термообработки и соответственно больше вероятность растрескивания больших заготовок.
SSiC (3-е поколение)	- высокая однородность, - высокая трещиностойкость, - отсутствие остаточных внутренних напряжений; - хорошая обрабатываемость (связана с высокой однородностью – материал состоит только из SiC); - небольшая величина остаточной микрошероховатости, позволяющая использовать зеркала, изготовленные из этого материала не только в инфракрасном, но и в ВД спектра.	- наличие пористости поверхности (<1%) - высокая усадка при спекении около 20% - высокие требования к чистоте и размеру зерен исходного сырья (<0,5 мкм)

лась и, более того, есть все предпосылки, что она будет утеряна, т.к. за последние 10 лет в России не было сделано ни одного крупногабаритного зеркала, пригодного к применению в оптико-электронных комплексах.

Более подробный анализ позволяет выявить достоинства и недостатки различных технологий, которые представлены в табл. 6.

#### **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БАЗА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

За последние несколько десятков лет АО ЛЗОС изготовило оптику в рамках 120 международных проектов для десятков телескопов мира по заказам Великобритании, США, Германии, Италии, Испании, Греции, Китая, Бельгии, Индии и других стран.

В 2014-2016 гг. АО ЛЗОС разработаны инновационные решения по созданию отечественной технологии изготовления крупногабаритных конструкций из карбида кремния [17]:

– использование высокочистого сырья, органических добавок и катализаторов спекания. От состава исходного сырья зависит

50% успеха получения качественных заготовок. Эта стадия является ключевой для проведения дальнейших этапов;

– применение в качестве метода формования холодного изостатического прессования с давлением до 150-200 МПа. При этом прессуется цельная заготовка, из которой в дальнейшем выфрезеровываются излишки материала (до 80%) до получения финального дизайна. К плюсам такого подхода можно отнести: высокую однородность материала после стадии спекания, малое время изготовления структуры облегчения (обработка в 20-30 раз быстрее чем, если бы она проводилась после спекания, т.к. после прессовки материал хорошо поддается обработке; изготовление структуры облегчения для крупногабаритного зеркала из стекла занимает от нескольких месяцев до полугода, для аналогичного зеркала из карбида кремния от нескольких дней до 1-2 недель);

– использование специального твердосплавного инструмента с алмазным покрытием, позволившее улучшить качество и скорость обработки прессованных заготовок;

– разработка технологических процессов спекания для получения максимально беспористых образцов;

– разработка инновационных методов обработки исполнительных поверхностей с получением шероховатости до 1 нм (Ra).

Применение технологии третьего поколения (спеченный карбид кремния SSiC) позволило изготовить крупногабаритные зеркала с оптическим качеством, которые могут работать не только в ИК, но и в ВД спектра.

На рис. 5 отображена структурная схема технологического процесса изготовления крупногабаритных конструкций из карбида кремния поставленная на АО «ЛЗОС».

В табл. 7 представлено высокотехнологичное оборудование, применяемое для изготовления зеркал из SSiC.

Образцы зеркал, полученные в АО «ЛЗОС» с использованием новой технологии, представлены на рис. 6. Основные характеристики зеркал:

- диаметр – до 1500 мм;

- коэффициент облегчения – до 80% ;

Достижимое среднеквадратическое отклонение (СКО) отраженного волнового фронта от рабочей поверхности –  $0,015 \lambda$  ( $\lambda=633 \text{ нм}$ ). Жесткость материала позволила добиться на опытных образцах точности изготовления поверхности, превышающей в 2 раза аналоги из стекла.

На зеркалах из SSiC, изготовленных по технологии 3-го поколения, достигнута микрошероховатость рабочей поверхности зеркала 7 ангстрем (по Rq) до покрытия и 8 ангстрем после нанесения покрытия (рис. 7). Коэффициент отражения от покрытия 1И41ИЭ, нанесенного на ложку из карбида кремния, в среднем на 3% менее, чем у ситалла (рис. 8).

Разница уменьшается от 4,5% в видимой области до 1,5% в ИК области спектра (рис. 9). Это незначительно сказывается на отражающих способностях зеркал и сегодня

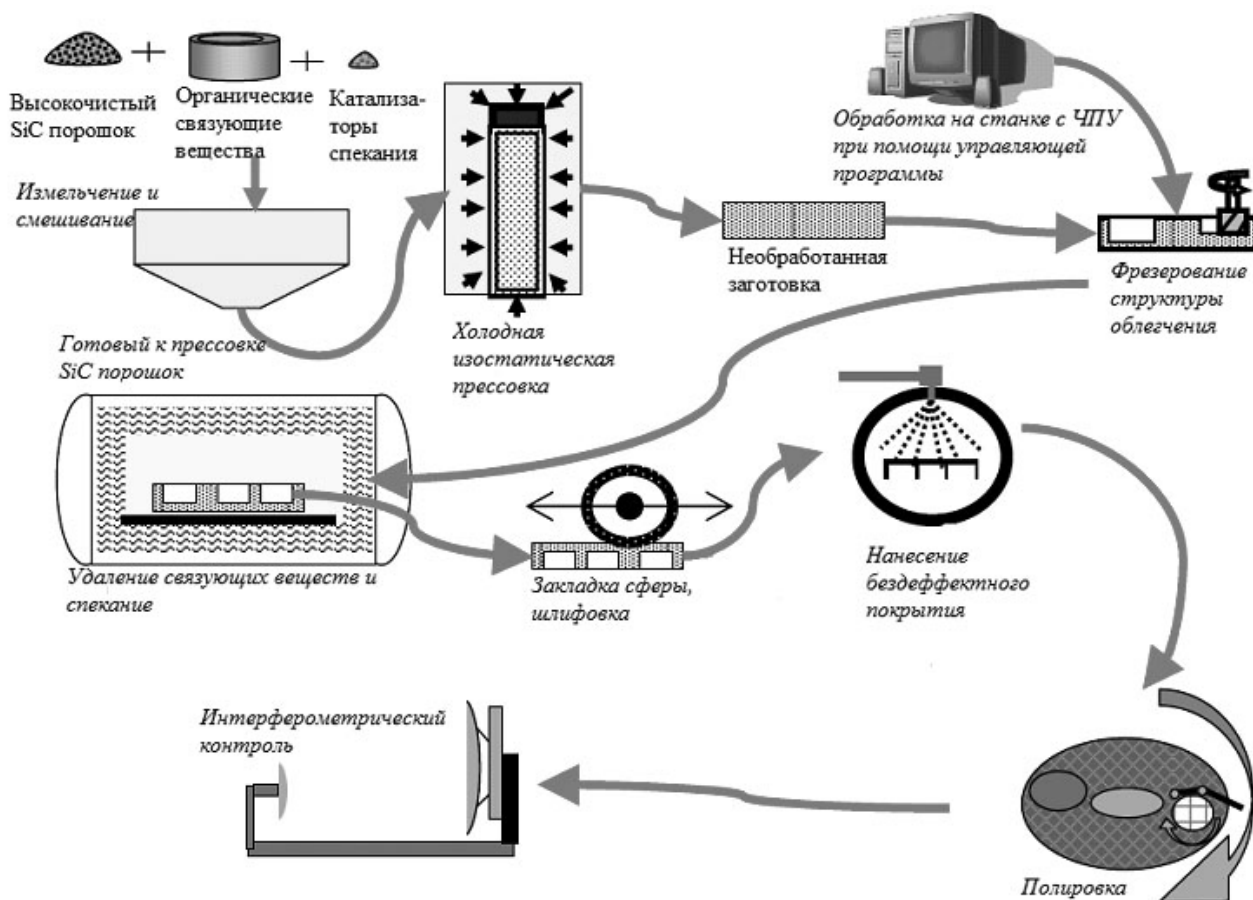


Рисунок 5.

Структурная схема технологического процесса изготовления облегченных зеркал из карбида кремния

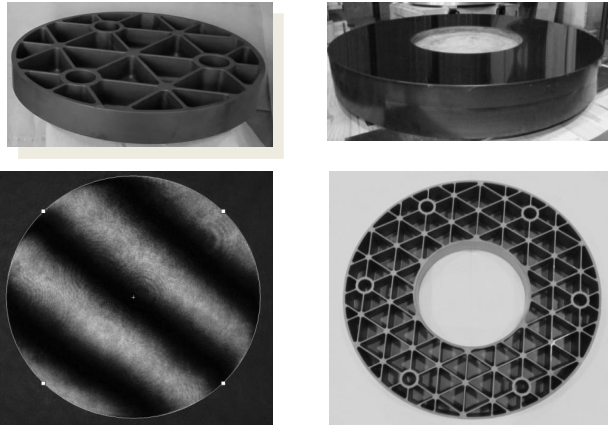
Таблица 7.

Технологическое оборудование для изготовления облегченных зеркал из карбида кремния

<b>Оборудование:</b>	<b>Внешний вид:</b>
<p><i>Шаровая мельница</i></p>	
<p><i>Распылительная сушилка</i></p>	
<p><i>Холодный изостатический пресс</i></p>	
<p><i>Фрезерный обрабатывающий центр</i></p>	

<b>Оборудование:</b>	<b>Внешний вид:</b>
<p><i>Шлифовально-полировальный станок</i></p>	
<p><i>Высокотемпературная вакуумная печь</i></p>	
<p><i>Установка для нанесения CVD покрытий</i></p>	
<p><i>Вакуумная установка для нанесения оптических покрытий</i></p>	





**а)**  
опытный образец  
зеркала  $\varnothing 300$  мм  
и его интерферограмма

**б)**  
опытный образец  
зеркала  $\varnothing 775$  мм

**Рисунок 6.**  
Облегченные зеркала из карбида кремния,  
изготовленные АО «ЛЗОС»

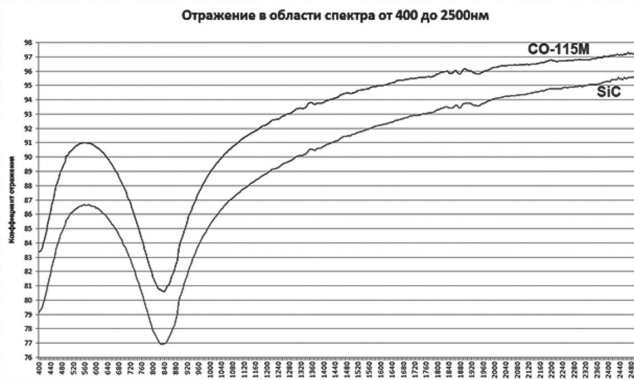
данный материал можно использовать для работы в ВД спектра.

В дальнейших работах АО ЛЗОС предполагается разрабатывать методы нанесения промежуточных покрытий на поверхность зеркал (с возможностью последующей обработки), позволяющих исключить влияние микропор на отражающую способность зеркал.

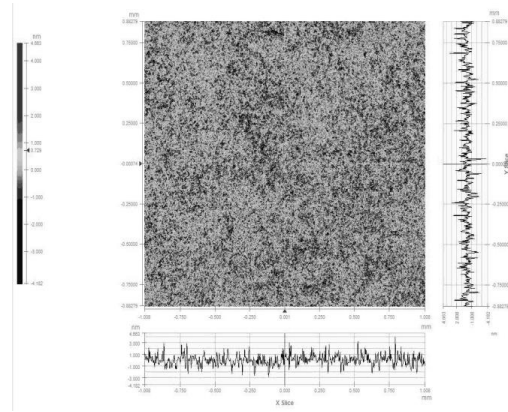
### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ основных физико-технологических проблем изготовления оптико-механических систем на основе карбида кремния для оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) космического базирования показал:

– карбид кремния обладает уникальным со-



**Рисунок 8.**  
Коэффициент отражения поверхности



**Рисунок 7.**  
Микрошероховатость поверхности

четанием физико-механических свойств, позволяющих создавать принципиально новые крупногабаритные термостабилизированные оптико-механические системы, работающие в условиях криогенных и контрастных температур, при динамических нагрузках (вибрационных, ударных и т.д.) в составе КА;

– в России существуют технологии 1-го поколения изготовления облегченных зеркал и конструкций из карбида кремния (содержащие этапы шликерного литья, высокотемпературного науглераживания заготовки, высокотемпературного силицирования, алмазной механической обработки и доводки оптической поверхности для зеркал); основной нерешенной проблемой этих технологий вплоть до 2015 года была проблема значительного светорассеяние рабочей поверхности зеркала (так называемая «апельсиновая



**Рисунок 9.**  
Относительное изменение  
коэффициента отражения

корка»), не позволяющей применять зеркала из карбида кремния в видимом диапазоне (ВД) спектра;

– в зависимости от технологического уровня сложности можно выделить три поколения технологий:

*1-е поколение* – технология изготовления зеркал из реакционносвязанного карбида кремния с использованием шликерного литья: формование заготовки без давления, температура изготовления около 1800°C,

*2-е поколение* – технология изготовления зеркал из реакционносвязанного карбида кремния с использованием гидростатического прессования заготовок: формование заготовки с давлением около 200 МПа, температура спекания около 1800°C,

*3-е поколение* – технология изготовления зеркал из спеченного карбида кремния с использованием гидростатического прессования заготовок: формование заготовки с давлением около 200 МПа, температура спекания около 2100°C;

– технология 3-го поколения позволяют получить высокооднородный карбид кремния и обрабатывать его до уровня микрошероховатости оптических стекол, тем самым преодолеть проблеме «апельсиновой корки».

2. Анализ технологической готовности отечественных предприятий к производству облегченных зеркал и несущих конструкций на основе карбида кремния показал, что в АО ЛЗОС создана инновационная технология 3-го поколения изготовления крупногабаритных (диаметром до 1,5 м) зеркал ВД спектра из карбида кремния, позволяющая производить не уступающую лучшим мировым аналогам ОЭА для космических комплексов ДЗЗ и исследования Вселенной.

*Список литературы:*

1. <http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/SPACE/tupikov.pdf>
2. <http://spie.org/newsroom/0250-nasa-defines-mirror-technology-needs-for-future-space-telescopes>
3. [https://www3.toshiba.co.jp/power/pic/english/tech\\_materials/index.htm](https://www3.toshiba.co.jp/power/pic/english/tech_materials/index.htm)
4. <http://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/AOAXinetics/AdvancedSystems/>

[Pages/SiliconCarbide.aspx](http://www.trecenterprises.com/Pages/SiliconCarbide.aspx)

5. <http://www.trecenterprises.com/Pages/Products%20and%20Services/Advanced%20Materials/mirrors.html>

6. <http://www.energyn.com/69>

7. <https://www.zygo.com/?/opt/components/mirrors/siliconcarbide-mirrors.htm>

8. <http://spie.org/newsroom/0258-foam-core-enables-stiff-lightweight-mirrors?highlight=x2404&ArticleID=x8709>

9. <http://spie.org/newsroom/6582-fabricating-large-scale-mirrors-using-reaction-bonded-silicon-carbide>

10. <http://sci.esa.int/herschel/34705-herschel-primary-mirror-fabrication/>

11. <http://sci.esa.int/gaia/49199-gaia-mirrors-ready-to-shine/>

12. [https://www.mersen.com/uploads/tx\\_mersen/22-boostec-sintered-SiC-mersen.pdf](https://www.mersen.com/uploads/tx_mersen/22-boostec-sintered-SiC-mersen.pdf)

13. <http://www.virial.ru/materials/>

14. Любарский С.В., Химич Ю.П. Оптические зеркала из нетрадиционных материалов // Оптический журнал, 1994, №1, С. 76-83.

15. Химич Ю.П., Никитин Д.Б., Серегин Д.А. Размерная стабильность зеркал из карбида. // Оптический журнал, 2010, №12, С. 65-66.

16. Бабаянц Г.И. «Разработка материалов в эскизный проект ОКР «Прибор-СР», в части несущей конструкции аппаратуры среднего разрешения (НК АСР) из карбида кремния» / Научно-технический отчет «Прибор-СР-Корпус», ФИАН, 2011.

17. Абдулкадыров М.А., Добриков М.С. Инновационные решения АО ЛЗОС при изготовлении зеркал из карбида кремния / Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции «Инновационные проекты в оптико-электронном приборостроении», МГТУ, 2016.

*References*

1. <http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/SPACE/tupikov.pdf>
2. <http://spie.org/newsroom/0250-nasa-defines-mirror-technology-needs-for-future-space-telescopes>
3. [https://www3.toshiba.co.jp/power/pic/english/tech\\_materials/index.htm](https://www3.toshiba.co.jp/power/pic/english/tech_materials/index.htm)
4. <http://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/AOAXinetics/AdvancedSystems/>

Pages/ SiliconCarbide.aspx

5. <http://www.trexenterprises.com/Pages/Products%20and%20Services/Advanced%20Materials/mirrors.html>

6. <http://www.energyn.com/69>

7. <https://www.zygo.com/?/opt/components/mirrors/siliconcarbide/mirrors.htm>

8. <http://spie.org/newsroom/0258-foam-core-enables-stiff-lightweight-mirrors?highlight=x2404&ArticleID=x8709>

9. <http://spie.org/newsroom/6582-fabricating-large-scale-mirrors-using-reaction-bonded-silicon-carbide>

10. <http://sci.esa.int/herschel/34705-herschel-primary-mirror-fabrication/>

11. <http://sci.esa.int/gaia/49199-gaia-mirrors-ready-to-shine/>

12. [https://www.mersen.com/uploads/tx\\_mersen/22-boostec-sintered-SiC-mersen.pdf](https://www.mersen.com/uploads/tx_mersen/22-boostec-sintered-SiC-mersen.pdf)

13. <http://www.virial.ru/materials/>

14. *Lyubarskiĭ S.V., Khimich Yu.P.* Optical mirrors made from unconventional materials Journal of Optical Technology, 1994, no 1, pp. 76-83.

15. *Khimich Yu.P., Nikitin D.B., Seregin D.A.* Dimensional stability of silicon carbide mirrors Journal of Optical Technology, 2010. v. 77. no 12. pp. 786-787

16. *Babayants G.I.* Development of materials in preliminary design in the part of the supporting structure of medium resolution instruments silicon carbide Scientific and Technical Report «Pribor-SR-Korpus», LPI RAS, 2011.

17. *Abdulkadyrov M.A., Dobrikov M.S.* Innovative solution JSC LZOS in the production of mirrors made of silicon carbide Abstracts of the All-Russian Scientific and Technical Conference «Innovative projects in the opto-electronic instrument», MSTU, 2016.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВНЕОСЕВЫХ ВЫСОКОАСФЕРИЧНЫХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

СЕМЕНОВ А.П., АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ДОБРИКОВ Н.С., ИГНАТОВ А.Н., ПАТРИКЕЕВ В.Е.  
ПАПАЕВ А.Ю., ПОЛЯНЩИКОВ А.В., ПРИДНЯ В.В.

АО «Лыткаринский Завод Оптического Стекла», Московская обл., г. Лыткарино

E-mail: lastro@lzos.ru

**Аннотация.** Разработана технология с использованием автоматизированной системы с программным управлением и набором специальных инструментов, позволяющая выполнять асферизацию внеосевых крупногабаритных оптических элементов астрономических и космических телескопов с отклонением от ближайшей сферы более 1 мм.

**Ключевые слова:** телескопы, стеклокерамика, астроситалл, астрономические зеркала, облегченное зеркало, временная и деформационная стабильность.

## PRODUCTION OF OFF-AXIS HIGH ASPERICITY LARGE-SIZE ASTRONOMICAL MIRRORS

SEMENOV A.P., ABDULKADUROV M.A., DOBRIKOV N.S., IGNATOV A.N., PATRIKEEV V.E.,  
PAPAEV A.Y., POLANCHIKOV F.V., PRIDNYA V.V.

JSC «Lytkarino Optical Glass Factory», Moscow region., Lytkarino

E-mail: lastro@lzos.ru

**Abstract.** Technology with the use of programmable computer-controlled system and a set of special instruments, which makes possible aspherization of optical elements with deviation from the nearest sphere of more than 1 mm at the stage of milling, grinding and polishing, was developed. The equipment and software for testing the surface shape at all stages of processing, was described.

**Keywords:** Telescopes optic, optical fabrication, optical testing, aspherical mirrors, measurements by spherometer.

## ВВЕДЕНИЕ

В АО «ЛЗОС» за последние 10-15 лет разработана технология обработки крупногабаритной астрономической и космической оптики, которая позволила изготовить зеркала для крупных российских и зарубежных телескопов. Это главное и вторичное зеркала крупнейших в мире обзорных телескопов VST (VLT Survey Telescope, 2.6 м) и VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy, 4 м)[1-4], которые установлены в обсерватории Паранал в Чили, сеть 17-ти телескопов LGOGT (Las Cumbres Observatory Global Telescope Network, США) с главными зеркалами диаметром 1 м и вторичными диаметром 345 мм, телескоп TNT (Thai National telescope, США, Австралия, Таиланд) с главным зеркалом диаметром 2.4 м[4], зеркала телескопа DOT ARIES (Devasthal Optical Telescope, DOT, for Aryabhata Research Institute of Observational Sciences, ARIES, Бельгия, Индия) с главным зеркалом диаметром 3.7 м[5,6].

Зеркала этих телескопов имеют значительную асферичность и высокую апертуру, что создает существенные трудности не только при обработке данных зеркал, но и при их контроле.

Для успешного изготовления таких оптических элементов необходим контроль процесса производства оптики на всех стадиях обработки, начиная с предварительного шлифования и кончая финишной доводкой.

Постепенный рост асферичности изготовленных зеркал (рис. 1), усложнение их конфигураций до внеосевых и с некруглым внешним контуром – такова тенденция развития и усложнения современных оптических элементов. Внеосевые оптические элементы для формирования панелей телескопа «Миллиметрон» диаметром 1400-1500 мм имеют асферичность до 20 мм.

Наиболее сложные в производстве оптические детали – высокоасферичные внеосевые с некруглой формой внешнего периметра (рис. 2).

Накопленный опыт формообразования позволяет выполнять обработку таких поверхностей. В качестве примера рассмотрено формообразование внеосевых деталей, включая прототип внеосевого сегмента зеркала телескопа E-ELT. Также АО «ЛЗОС» по заказу Астрокосмического центра ФИАН (Физический институт академии наук) изготовил первую экспериментальную матрицу из Астроситалла в виде сегмента размером около 1400 мм. Характерная особенность -

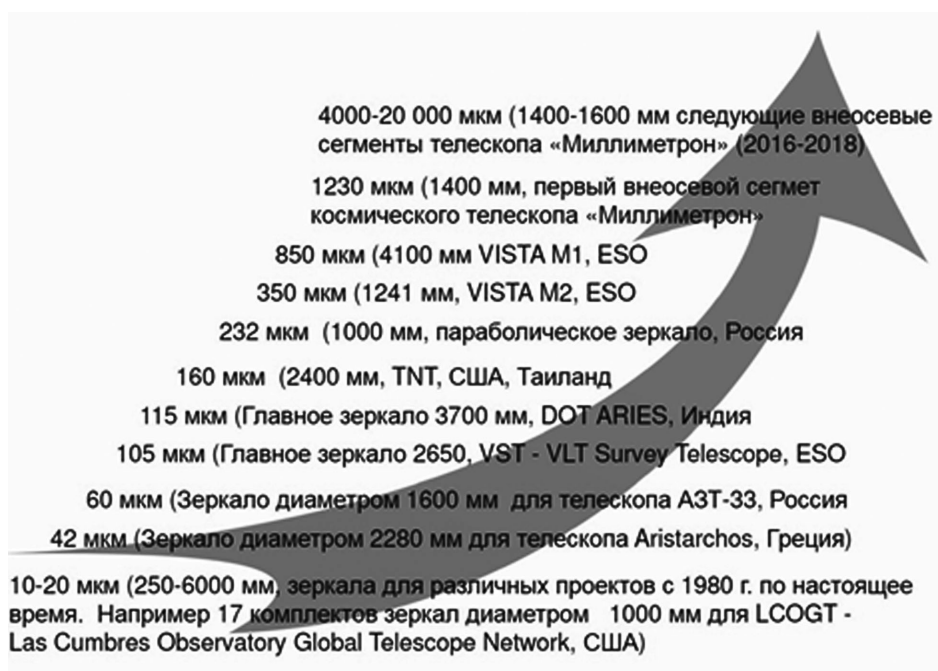


Рисунок 1.

*Рост асферичности изготавливаемых зеркал*



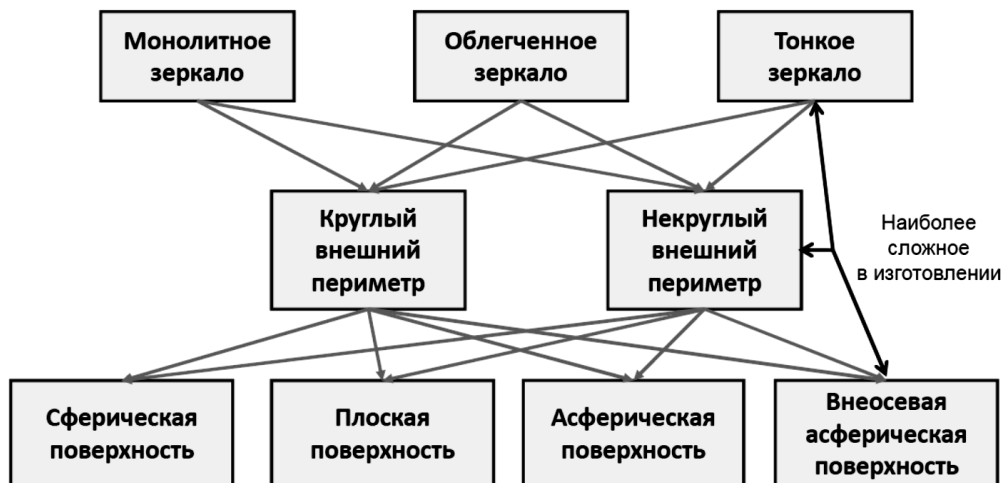


Рисунок 2.  
Различные типы крупногабаритных зеркал

высокая асферичность (1.3 мм) и отклонение от требуемой параболической формы менее 10 мкм. Эта матрица служит для прессования элемента главного зеркала из углепластика космического телескопа «Миллиметр» (<http://radioastron.ru/>). Впервые достигнута такая точность при высокой асферичности на крупногабаритном зеркале. Для финишного формообразования использовался программно-управляемый комплекс для финишной доводки. Допускаемые отклонения для всего главного зеркала обсерватории «Миллиметр» диаметром 10 м составляют менее 100 микрон при асферичности 140 мм, при этом главное зеркало состоит из отдельных прецизионных панелей, которые устанавливаются на подвижных опорах – актуаторах.

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВНЕОСЕВЫХ  
АСФЕРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
С КОНТРОЛЕМ КОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ  
И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CGH**

Рассмотрим асферизацию внеосевого зеркала диаметром 560 мм и асферичностью 200 мкм с расстоянием от центра детали до оптической оси около 480 мм. Асферизация такой детали выполнялась шлифованием от ближайшей сферы с использованием гибкого шлифующего инструмента. Специально разработанная конструкция инструмента позволяет осуществлять постоянный контакт всей его поверхности с поверхностью обрабаты-

ваемой детали при перемещении инструмента по поверхности детали. Инструмент в любой части детали обладает необходимой эластичностью и принимает форму поверхности, соответствующей форме обрабатываемой поверхности в данной области и создает максимально возможное давление на деталь для осуществления съема материала, в том числе и краевыми областями инструмента. При этом будет сохраняться постоянный вид профиля съема под инструментом. Кроме того, возможен выход такого инструмента за край детали для обработки краевых зон поверхности зеркала. Профиль съема под инструментом определяется экспериментально (рис. 3). Этот профиль съема вводится в программу для расчета сеанса обработки асферической поверхности.

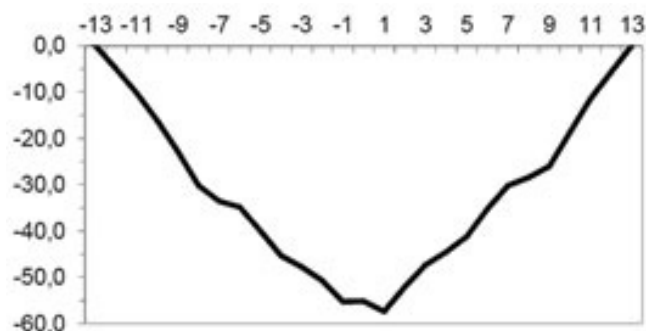
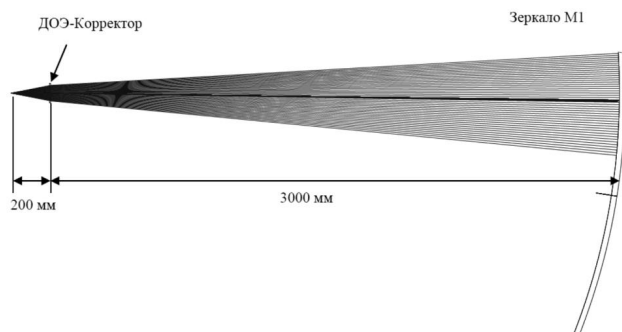


Рисунок 3.  
Профиль съема под инструментом в мкм



**Рисунок 4.**

**Схема контроля внеосевого параболоида**

Контроль формы поверхности при асферизации выполнялся на 6-координатной измерительной машине КИМ-1400, которая позволяет выполнять построение карты отклонений от сферической поверхности с точностью 3-5 мкм. По исходной карте отклонений от сферы проводился первый сеанс формообразования. Затем выполнялся сеанс контроля на КИМ 1400 от сферической поверхности и выполнялось вычитание полученной карты из карты теоретических отклонений. Мы получаем новую карту съема материала для нового сеанса обработки. Таким образом, последовательное устранение припуска на обработку приводит к минимизации отклонений формы поверхности от требуемого внеосевого параболоида. Затем выполнялось предварительное полирование поверхности.

Финишная доводка выполнялась с контролем в схеме с CGH корректором волнового фронта, изготовленным Институтом автоматики и электротехники (Новосибирск) [7-9].

На рис. 4 представлена схема контроля параболоида, на рис. 5 показан корректор CGH с настроенными фокусирующими элементами для юстировки CGH относительно интерферометра.

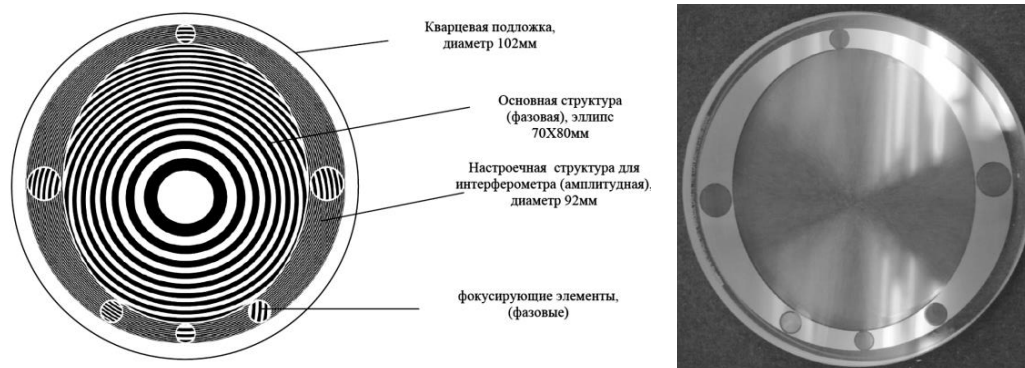
Фокусирующие элементы создают светящиеся точки в краевой области детали, в центре и в положении вершины оптической оси, по которым осуществляется юстировка детали относительно корректора.

На рис. 6 представлено облегченное внеосевое зеркало диаметром 560 мм в стенде контроля, светящиеся реперные точки для юстировки внеосевой поверхности относительно интерферометра (рис. 7) и показана интерферограмма отраженного волнового фронта зеркала (рис. 8). Достигнутое качество отклонений параболоида от теоретического 0.051 ( $\lambda=632.8$  нм).

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВНЕОСЕВОГО ПРОТОТИПА СЕГМЕНТА ТЕЛЕСКОПА E-ELT**

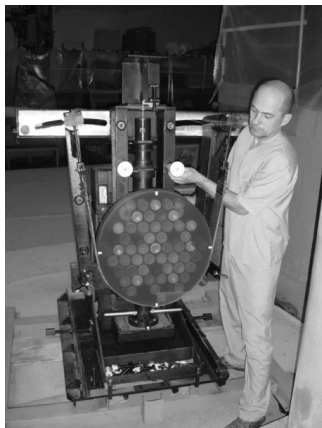
В настоящее время в Европе и в США ведутся работы по созданию сверхбольших телескопов. В Европе создается телескоп E-ELT (European Extremely Large Telescope – Европейский чрезвычайно большой телескоп) с 39-метровым главным зеркалом, в США телескоп TMT (The Thirty Meter Telescope – Тридцатиметровый телескоп) с 30-метровым главным зеркалом.

Данные зеркала являются составными, состоящими из внеосевых шестигранных сег-

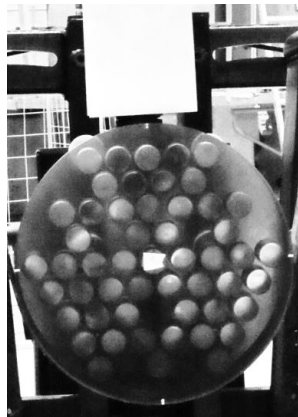


**Рисунок 5.**

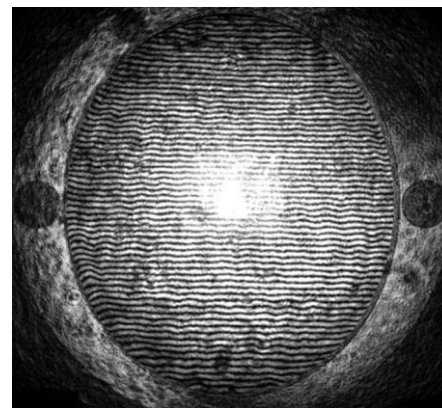
**Контроль внеосевого зеркала диаметром 560 мм с использованием CGH**



**Рисунок 6.**  
*Зеркало диаметром 560 мм  
в стенде контроля*



**Рисунок 7.**  
*Фокусирующие элементы,  
создающие светящиеся точки  
для юстировки детали*



**Рисунок 8.**  
*Интерферограмма отраженного  
волнового фронта внеосевого зеркала  
диаметром 560 мм, контролируемого  
с использованием CGH*

ментов и являются наиболее сложными в изготовлении.

Один из способов асферизации оптической поверхности шестигранника – асферизация малым инструментом с дополнительными вспомогательными элементами (рис. 9). При этом сегмент базируется на подложку, деформации которой на порядок меньше той точности формы поверхности сегмента, которую необходимо получить. Асферизация выполняется на станке с программным управлением, контроль формы поверхности осуществляется с использованием 3D измерительной машины. Такой способ оказался достаточно трудоемким и малоэффективным для массового производства. Необходим более быстрый метод асферизации.

Для такого производства разработан метод шлифования поверхности детали в упруго-

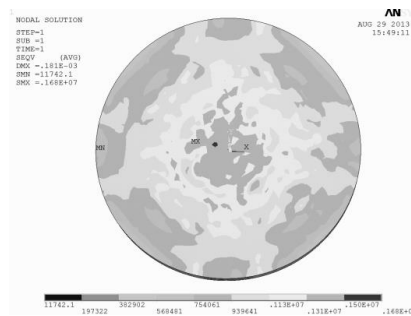
деформированном состоянии. А для финишной доводки используются только методы формообразования с использованием программно-управляемого малого инструмента или ионного пучка.

Для отработки технологии изготовления сегмента был асферизован и прополирован прототип внеосевого сегмента зеркала диаметром 1520 мм и толщиной 50 мм из Астроциалла. Работа проводилась в рамках эксперимента по изготовлению модели прототипа наиболее удаленного от центра сегмента зеркала телескопа E-ELT. Отклонение данной поверхности от ближайшей сферы составляет 203 мкм.

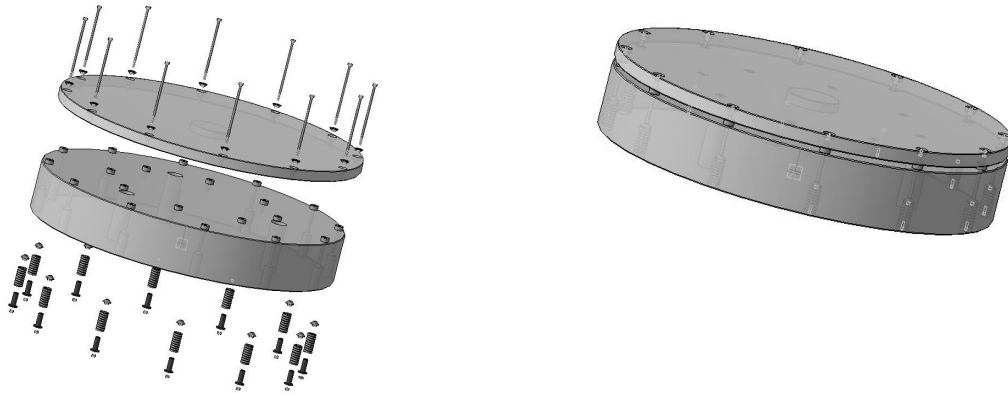
Для быстрой асферизации такого сегмента удобно изогнуть заготовку таким образом, чтобы места съема материала были выпуклыми. Затем поверхность шлифуется полно-



**Рисунок 9.**  
*Изготовление сегмента методом асферизации  
малым инструментом*



**Рисунок 10.**  
*Внутренние эквивалентные напряжения  
(до 1,68 МПа в центре)*

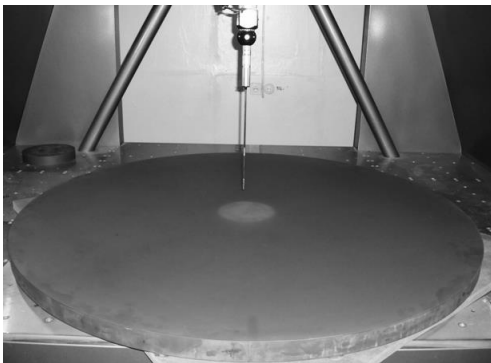


**Рисунок 11.**

**Принципиальная модель выполнения деформаций заготовки оптической детали для асферизации методом упругой деформации**

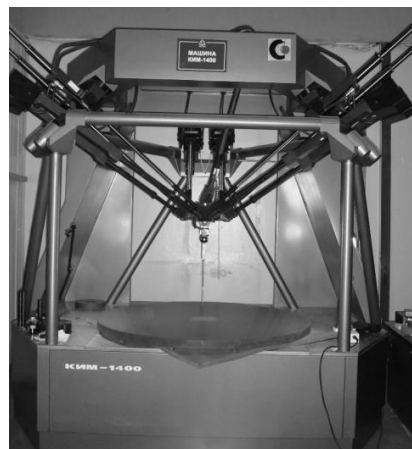
размерным инструментом, чтобы получить сферическую поверхность и наибольший сьем материала будет в тех местах, которые приподняты. После снятия деформаций будет получена асферика, которую затем надо довести до требований спецификации программно-управляемым шлифованием малым инструментом. Внутренние эквивалентные напряжения, возникающие при таком изгибе, составляют величину 1,68 МПа в центре (рис. 10). Напряжения вполне допустимые для заготовок из Астроситалла с соответствующими геометрическими параметрами. Деформация заготовки осуществляется регулируемыми по высоте микрометрическими упорами с помощью прижимных механизмов (рис. 11). Толщина подложки выбиралась такой, чтобы ее собственные деформации были малы по сравнению с деформацией рабочей детали.

Измерения формы поверхности проводились на координатно-измерительной машине КИМ-1400. Машина 3D используется для контроля формы асферических поверхностей. По результатам измерений строилась карта отклонений поверхности, и данные отклонения сопоставлялись с теоретическими отклонениями от ближайшей сферы для детали диаметром 1520 мм, центр которой находится на расстоянии 20886 мм от вершины зеркала М1. На рисунках 12-13 представлен процесс измерения координат точек на поверхности детали. По выполненным измерениям строится карта волнового фронта для длины волны 632,8 нм, из которой вычитается требуемая теоретическая карта волнового фронта и в результате получаем карту волнового фронта отклонений от требуемой поверхности. Как видно из сравнительного анализа (рис. 14,15), реально полученная форма



**Рисунок 12.**

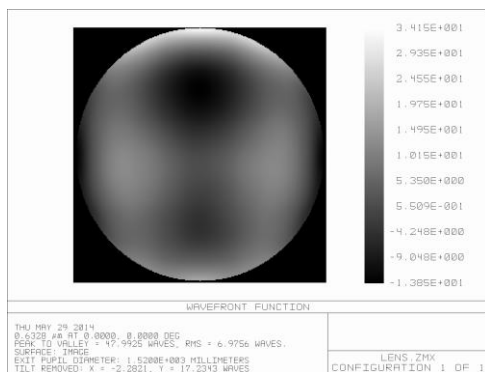
**Прототип на координатно-измерительной машине**



**Рисунок 13.**

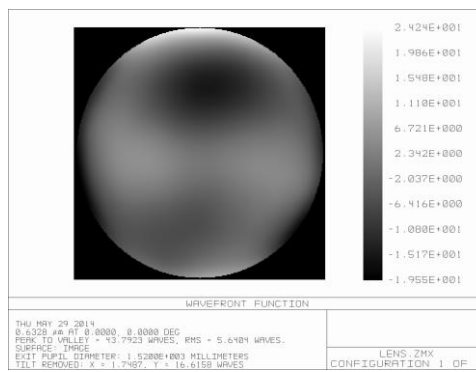
**Прототип на координатно-измерительной машине**





**Рисунок 14.**

**Остаточный предполагаемый волновой фронт отклонений формы поверхности детали от теоретической после снятия напряжений. Размах 15 мкм, RMSповерхности = 2.2 мкм**



**Рисунок 15.**

**Остаточная карта волнового фронта после снятия напряжений и контроля на КИМ-1400. Отклонение профиля от заданного размах 13.8 мкм, RMSповерхности = 1.8 мкм**

модели прототипа похожа на теоретически предсказанный результат, что свидетельствует о достаточно надежном поведении материала Астроситалл по сохранению упругости деформации и показывает работоспособность конструкторско-технологических приемов обработки прототипа сегмента.

#### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВНЕОСЕВОГО НЕКРУГЛОГО ВЫПУКЛОГО ВЫСОКОАСФЕРИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

##### *Характеристики оптической детали*

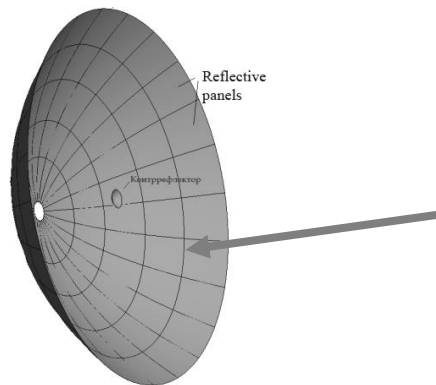
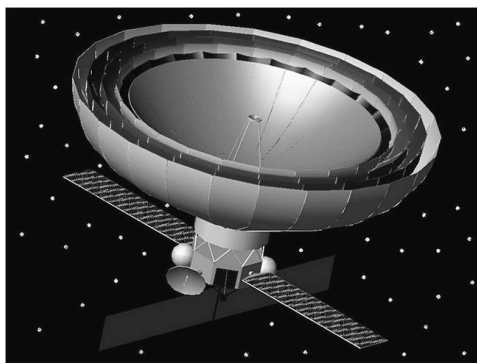
АО «ЛЗСО» изготовил первую экспериментальную матрицу из Астроситалла в виде сегмента размером около 1400 мм. Характерная особенность - высокая асферичность (1.3 мм) и отклонение от требуемой параболической формы менее 10 мкм. Эта матрица служит для прессования элемента главного зеркала из углепластика космического теле-

скопа «Миллиметрон» (рис. 16). Допускаемые отклонения для всего главного зеркала обсерватории «Миллиметрон» диаметром 10 м составляют менее 100 микрон при асферичности 140 мм.

Была изготовлена матрица с внеосевой выпуклой параболической поверхностью асферичностью 1.3 мм. Крайний внешний сегмент имеет асферичность около 20 мм (!).

Основные габаритные размеры детали приведены на рис. 17. Видно, что контур матрицы является трапецией, малое основание которого составляет 88.6 мм, большое – 405.2 мм, длина достигает 1223.6 мм. Фокусное расстояние параболоида  $F = 2400.0$  мм. Центр параболоида смещен относительно левого края детали на 295.0 мм, а ось параболоида наклонена относительно детали на угол  $\varphi = 10^{\circ}43'35'' = 10.726388888^{\circ}$ .

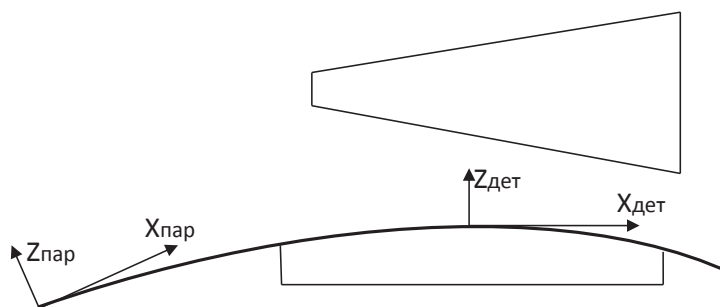
Ближайшая базовая сфера для внеосевого



**Рисунок 16.**

**Главное зеркало имеет диаметр 10 м и крайний сегмент имеет асферичность около 20 мм**





**Рисунок 17.**  
**Контур изделия и схема ориентации параболоида**

параболоида вычисляется в системе координат параболоида (СКП). Радиус ближайшей базовой сферы для заданных параметров внеосевого параболоида и габаритов детали составляет 4923.799 мм. Центр сферы находится на оси параболоида. Координаты центра сферы с СКП  $\{0.0, 0.0, -4923.0245\}$ .

Припуск на асферизацию оценивается как отклонение поверхности параболоида от ближайшей базовой сферы. Распределение припуска носит стандартный характер, максимальное значение припуска располагается на расстоянии 1095.045 от оси параболоида (в СКП) и составляет 1337.75 мкм.

Для вычисления припуска в системе координат детали (СКД) нужно перевести в СКД ближайшую базовую сферу. Радиус сферы в СКД останется без изменений, а координаты центра приобретут вид  $\{9.655, 0.0, -4922.603\}$ .

Как следует из приведенных данных, в СКД центр ближайшей базовой сферы не совпадает с центром детали. Это значит, что сегмент ближайшей базовой сферы в соответствии с техническими требованиями должен быть незначительно наклонен относительно нижней плоскости. Из оценочных данных видно,

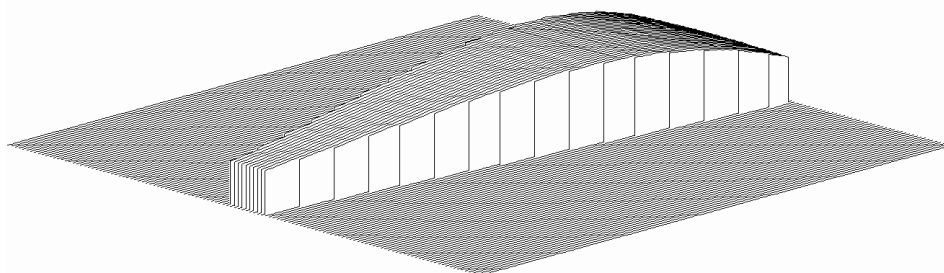
что левый край ниже правого примерно на 1.8 мм. На рис. 18 приведена топографическая карта припуска от ближайшей базовой сферы в СКД. Размах припуска 1337 мкм, RMS припуска 388 мкм.

### **Предварительное формообразование**

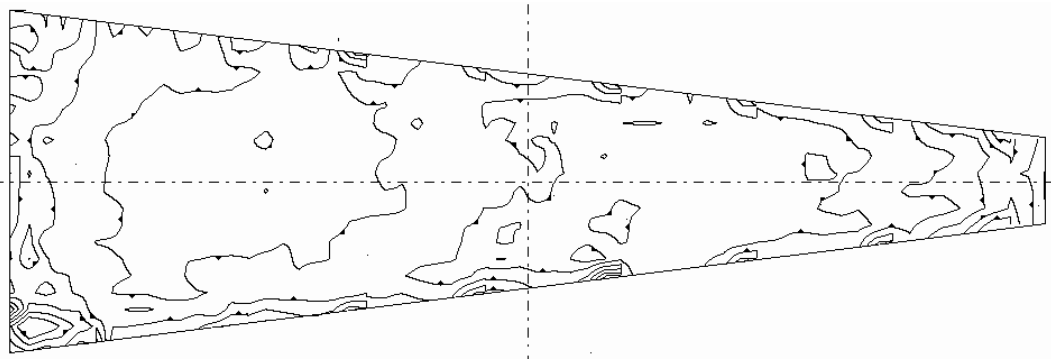
Стандартная технология асферизации предполагает формирование на поверхности детали ближайшей базовой сферы с последующим снятием припуска на асферизацию. Как правило, устранение припуска на несимметричной детали ведется шлифованием малым инструментом по программируемой траектории.

Процедура носит итерационный характер, каждая итерация сопровождается системой контроля промежуточных поверхностей, анализом оставшегося припуска и назначением сеанса для следующего приближения.

Однако очевидно, что устранение шлифованием припуска величиной более одного миллиметра на протяженной детали крайне непроизводительно и займет много времени. Поэтому для ускорения работы была выбрана другая технология, когда на поверхности детали сразу формировалась асферическая поверхность. Работа выполнялась путем



**Рисунок 18.**  
**Топографическая карта припуска в СКД**



**Рисунок 19.**  
*Результат расчета и топографическая карта припуска (градация изолиний 5 мкм).  
 Размах топографии 48 мкм, RMS – 5.3 мкм*

фрезерования кольцевым алмазным инструментом под управлением ЧПУ.

Фрезерование проводилось в два этапа – грубый съем, когда инструмент снимал до 5 мм за проход, и тонкая обработка, когда съем не превышал 0.5 мм. Такой подход позволил также снизить глубину нарушенного слоя.

Как показали дальнейшие измерения, была получена асферическая поверхность, отличающаяся от номинальной не более, чем на 100 микрон.

***Контроль формы поверхности на стадии формообразования и программное обеспечение для контроля***

Известны различные способы контроля оптики контактными методами [10-12]. В данном случае контроль формы поверхности после стадии фрезерования и на этапе шлифования выполнялся на координатно-измерительной машине КИМ-1400. Машина имеет гексаподовый механизм перемещения каретки, на которой крепится контактный щуп. Тяги гексапода оснащены лазерными измерителями перемещений, что гарантирует высокую точность позиционирования. Точность измерения координат КИМ-1400 составляет 0.5 мкм. КИМ-1400 оснащен компьютерной системой управления SamISO, позволяющей реализовывать измерения в автоматическом режиме. В состав библиотеки системы входит большое количество стандартных подпрограмм для измерения простых поверхностей типа плоскости, сферы, цилиндра, конуса и др.

Для измерения асферической поверхно-

сти детали была разработана оригинальная управляющая программа. Измерения проводились непосредственно в узловых точках сетки, соответствующих требованиям программно-управляемого комплекса. Шаг сетки задавался в качестве параметра программы, система вычисляла координаты с учетом геометрии и габаритов детали и проводила измерения. Результаты измерений система записывала в виде унифицированного файла топографии. Это позволило практически напрямую включить результаты измерений в технологическую систему. При измерении формы асферической поверхности шариком контактного щупа, необходимо было учитывать, что КИМ-1400 фактически измеряет координату центра шарика. Основным результатом программы было получение топографической карты припуска для дальнейшей обработки поверхности.

На рис. 19 приведен пример результата расчета карты поверхности после сеанса шлифования малым инструментом и топография оставшегося припуска.

***Шлифование и полирование***

Шлифование поверхности детали решало две задачи: устранение следов обработки и трещиноватого слоя после фрезерования, и доводка формы поверхности до требований спецификации – среднеквадратичное отклонение (RMS) должно быть меньше 1 мкм.

Устранение следов обработки фрезой и дальнейшее шлифование выполнялось с использованием набора малых гибких инструментов на резиновой подложке с латунными



**Рисунок 20.**  
**Финишная доводка матрицы**

пятаками на станке с программным управлением, также как при обработке внеосевой детали диаметром 560 мм. На первоначальной стадии обработка велась в режиме заглаживания по траекториям так, что инструменты с одинаковой скоростью проходил по всей поверхности детали, реализуя равномерный съем. Для устранения остаточного рельефа после фрезерования применялась более крупная фракция абразива, а затем все более мелкая для устранения остаточных ошибок и получения требуемой для полировки шероховатости (рис. 20). Когда была достигнута асферическая поверхность требуемого качества, она была отполирована для устранения мата после шлифования. Полировка также проводилась набором малых инструментов.

#### **Аттестационный контроль**

После завершения формообразования поверхности аттестационный контроль формы поверхности также проводился альтернативным методом. Для измерений использовался



**Рисунок 21.**  
**Панель из углепластика на матрице**

измерительный комплекс ATOS III. Система основана на проецировании на измеряемое изделие (измеряемую поверхность) линейных растровых картин. На неплоской поверхности линейные полосы становятся нелинейными. Оптико-электронная система оцифровывает наблюдаемую картину и, используя встроенное программное обеспечение, позволяет восстановить форму измеряемой поверхности.

Система является достаточно универсальной, применимой для самых разнообразных деталей. Не предъявляется специальных требований к предварительной ориентации детали для измерений. Допустимо измерение протяженных деталей – система, используя набор реперных точек на измеряемой поверхности, в автоматическом режиме выбирает нужную комбинацию и состыковывает друг с другом фрагменты независимых измерений.

Особенностью системы является очень большой объем измеряемых точек: на поверхности детали выборка достигала 2,5 миллионов. Для обработки такого объема данных система оснащена специализированным сервером с распараллеливанием вычислений, а также высокопроизводительной графической подсистемой. Поверхность строится как результат триангуляции измеренных точек. Недостатком системы является невысокая точность – по паспортным данным точность определения координаты составляет 10-15 мкм. Система позволяет сопоставлять полученные результаты измерений с заданной моделью, вычисляя значения отклонений фактической поверхности от модели. При этом выполняется оптимизация

**Таблица 1.**

Параметр	Чертеж	Измерения
Вершинный радиус	4800±50 мм	4812.55 мм
Внеосевой параметр	906.704 мм	906.704 мм
Смещение вершины по Z	-85.637 мм	-85.344 мм
Смещение вершины по Y	0 мм	17.0 мм
Угол наклона по B	10.726°	10.674°
Угол наклона по C	0°	0.017°

по поиску лучшего пространственного соответствия модели и реальных данных. Для лучшей сравнимости приведены требуемые параметры детали и полученные результаты (табл. 1).

После устранения выбросов, связанных с погрешностью измерений ATOS III, была проведена аппроксимация полиномами. Размах отклонений составляет 5.73 мкм, RMS – 1.07 мкм. Полученные значения совпадают с измеренными на приборе КИМ-1400 в АО «ЛЗСО». На рис. 21 показана панель из углепластика на матрице.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология изготовления крупногабаритных высокоасферических вогнутых и выпуклых внеосевых поверхностей оптических деталей (более 1 мм) с произвольной конфигурацией внешних границ, с использованием контактных методов на стадии предварительного формообразования и шлифования и интерференционных методов на стадии финишного полирования с достижением оптического качества.

#### Список литературы:

1. *Semenov, A.P., Abdulkadyrov, M.A., Belousov, S.P., Patrikeev, V.E., Pridnya, V.V.*, «Methods of fabrication and testing of unique large size optics in LZOS, JSC (VST, VISTA and other projects)», Proc. SPIE 8450, 84504T-1 – 84504T-12 (2012).
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», Proc. SPIE 7018, 701804 (2008).
3. *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).
4. *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», Proc. SPIE 7739, 77390P (2010).
5. *Semenov, A.P., Abdulkadyrov, M.A., Patrikeev, A.P., Patrikeev, V.E., Pridnya, V.V.*, «M1 and M2 mirror manufacturing for ARIES project: current status», Proc. SPIE 7739, 773907 (2010).
6. *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», Proc. SPIE, 8450, 84504R (2012).
7. *Poleshchuk, A.G.*, «Fabrication and application of diffractive optical elements», Proc. SPIE 7544, 75443L-1 - 75443L-12 (2010).
8. *Poleshchuk, A.G.*, «Computer generated holograms for aspheric optics testing», Proc. SPIE 7133, 713333-1- 713333-9 (2009).
9. *Полещук А.Г., Маточкин А.Е.* Лазерные методы контроля асферической оптики. – Фотоника, 2011, №2, с.38–43.
10. *Burge, J.H.*, «Measurement of large convex aspheres», Proc. SPIE 2871, 362-373 (1996).
11. *Smith, B.K., Burge, J.H. and Martin, H.M.*, «Fabrication of large secondary mirrors for astronomical telescopes», Proc. SPIE 3134, 51-61 (1997).
12. *Burge, J. H., Su, P., Zhao, C.* «Optical metrology for very large convex aspheres», Proc. SPIE 7018, 701818-1 - 701818-12 (2008).



# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ ОСОБОГО ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА НА НЕСТАНДАРТНОМ ОБОРУДОВАНИИ

КОЖЕВНИКОВ А.А., КРЕХОВА Е.Ю., ЛЕБЕДЕВА В.А., ПОЗДНЯКОВ А.Е., РЫСЬКОВ В.С., ХРАМОГИН Д.А.

АО «Лыткаринский Завод Оптического Стекла», Московская обл., г. Лыткарино

E-mail: lastro@lzos.ru

**Аннотация.** Ранее уже рассказывалось об особенностях создания систем автоматизированного управления (САУ) производства оптического стекла (см. Журнал «Контенант» Том 15, №2. 2016 г. стр. 100-106), отмечались определенные трудности и необходимость особого подхода при решении подобной задачи. Среди многообразия марок оптических стекол есть составы, производство которых требует особых подходов и осуществляется с использованием нестандартного оборудования. Современные требования к качеству стекла заставляют модернизировать производство не только массовых, но и редких, уникальных марок стекол. В настоящей работе показана возможность внедрения САУ на нестандартном оборудовании для производства стекла марки ОК-4.

**Ключевые слова:** показатели преломления, aberrации вторичного спектра, класс особых стекол, технология варки, автоматизированная варка, система стабилизации.

## ОСОБЫЕ СТЕКЛА: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, НАЗНАЧЕНИЕ, ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

Известно, что основные характеристики оптических стекол – показатель преломления ( $n$ ), средняя дисперсия ( $nF' - nC'$ ) и коэффициент дисперсии или число Аббе ( $v_e$ ). Зависимость показателя преломления оптического материала от длины волны света представляет собой сложную кривую (рис. 1).

Как видно из кривой данной зависимости, показатель преломления меняется более резко в синей части спектра, т.е. на коротких длинах волн. Для детализации зависимости показателя преломления с изменением длины волны помимо показателя преломления и коэффициента средней дисперсии, используют следующие характеристики:

– частные дисперсии  $(n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2});$  (1)

– относительные частные дисперсии

$$P_{x,y} = \frac{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}}{nF' - nC'} \quad (2)$$

– коэффициент дисперсии

$$v_e = \frac{n(e) - 1}{n(F') - n(C')} \quad (3)$$

На практике зависимость показателя преломления среды от длины волны, проходящего через нее излучения, проявляется в виде хроматических aberrаций оптических систем, которые приводят к окрашиванию изображений и, как следствие, к снижению разрешающей способности.

С помощью сочетаний стекол марок кронов и флинтвов возможно исправление хроматической aberrации для двух длин волн.

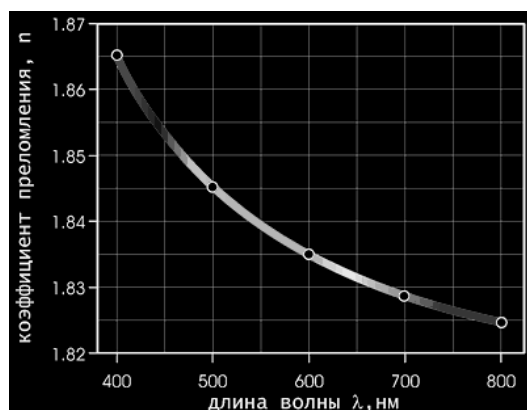


Рисунок 1.  
Зависимость показателя преломления  $n_\lambda$  от длины волны  $\lambda$



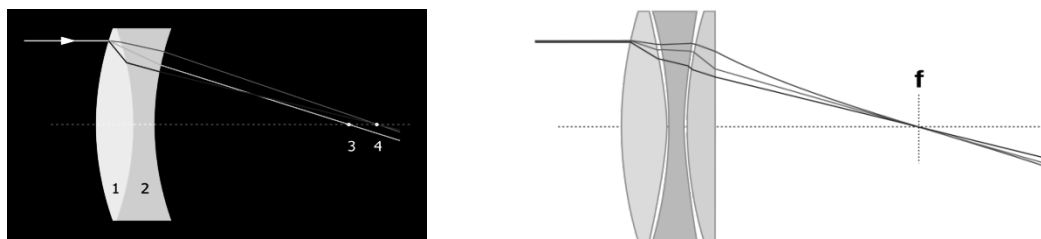


Рисунок 2.

Ход лучей в оптических схемах: а) ахроматизованной; б) апохроматизованной

Однако остаются aberrации для других волн спектра, которые называются вторичным спектром (рис. 2). Вторичный спектр удается уменьшить путем подбора стекол с резко различными коэффициентами дисперсии и близкими относительными частными дисперсиями в синей или красной областях спектра. Пример такой системы показан на рис. 2 справа [1].

Если на график зависимости значений относительных частных дисперсий  $P_{x,y}$  от их коэффициентов дисперсии  $v_e$  нанести значения обычных стекол, то большая часть точек расположится вдоль некоторой средней прямой, которую принято называть «нормальной прямой» (рис. 3). Значения  $P_1$  и  $P_2$  двух обычных стёкол с существенно отличными коэффициентами дисперсии  $v_1$  и  $v_2$  (что необходимо для исправления хроматической aberrации положения) не могут быть одинаковыми. Таким образом, условие исправления вторичного спектра для большинства оптических стекол невыполнимо.

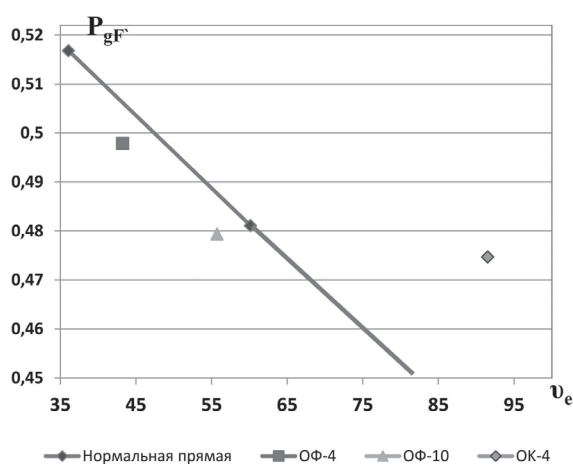


Рисунок 3.

Расположение значений относительных частных дисперсий (для участка  $g-F'$ ) в зависимости от коэффициента дисперсии для особых стекол

В связи с этим был создан класс так называемых особых стекол, которые на диаграмме «относительная частная дисперсия - коэффициент дисперсии» расположены либо выше «нормальной прямой» (стекла типа ланг-), либо - ниже (стекла типа «курц»).

Одним, из таких стекол является стекло марки ОК-4, которое создает идеальную пару с другим стеклом ОФ-10 благодаря почти равным относительным частным дисперсиям на участках спектра ( $F'-e$ ) и ( $g-F'$ ), а также большой разницы в коэффициентах дисперсии [2]. Эти стекла могут применяться для создания светосильных двухлинзовых объективов-апохроматов – см. табл. 1.

Стекло типа ОК-4 относится к фторфосфатным стеклам, характеризующимся аномальными оптическими свойствами - значительно увеличенной относительной частной дисперсией в синей части спектра и высокими значениями коэффициента дисперсии. Его уникальные оптические свойства обусловлены присутствием в их составе больших концентраций фторидных солей. Данный состав - итог начатой в середине прошлого века работы по разработке аналога флюорита ( $CaF_2$ ).

В отличие от стекол флюорит не поддается столь же точной обработке поверхностей. Учитывая перспективность фторфосфатных материалов работы велись во многих странах, в том числе и в СССР.

В 1981-1983 гг. в СССР был разработан состав нового оптимального фторфосфатного стекла ОК1641 со свойствами флюорита. В дальнейшем на базе предприятий ГОИ им. С.И.Вавилова и АО ЛЗОС разрабатывалась опытная технология синтеза данного состава.

Позднее состав ОК1641 был скорректирован с целью улучшения кристаллизационной

**Таблица 1.**  
**Основные характеристики ОК-4 и ОФ-10**

Характеристика	ОК4	ОФ10
Показатель преломления, $n_e$	1,44850	1,53381
Средняя дисперсия, $n_{F'} - n_{C'}$	0,00490	0,00958
Число Аббе, $v_e$	91,53	55,73
Относительная частная дисперсия для участков спектра $F' - e$ $g - F'$	0,5069 0,4747	0,5075 0,4794
Отклонение $v_e$ от нормальной прямой для участков спектра $F' - e$ $g - F'$	+28,46 +27,04	-6,34 -5,50
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,54	2,53

способности в интервале температуры выработки. АО ЛЗОС освоил производство данного состава, известного как ОК4 (особый крон-4), в промышленном масштабе [3].

#### **ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА МАРКИ ОК-4**

Известно, что фторфосфатные стекла, к которым относится ОК-4, обладают высокой агрессивностью к стекловаренным сосудам, высокой склонностью к кристаллизации и летучестью компонентов, что создает значительные технологические трудности при получении стекла оптического качества и требует разработки специального оборудования и применения особых приемов варки. Например, варка осуществляется в тигле, оснащенном специальным стеклотвором, исключающего потери компонентов стекла за счет улетучивания.

Несмотря на принятые меры, традиционно, выход годного стекла не велик. Причина не только в высокой летучести сырьевых компонентов, но и в высокой кристаллизационной способности состава. Основные виды брака – свили и кристаллы.

Формируясь на стадии варки, обедненные фтором поверхностные слои стекломассы затягиваются в процессе отлива при малых вязкостях, образуя в заготовке свили. Возможные отклонения от работы мешалки в процессе варки также способствуют возникновению дефектов типа свили в стекле.

Поскольку интервал кристаллизации бли-

зок к температуре отлива, то существующий градиент температур по высоте тигля, увеличивает возможность образования кристаллов в холодной его части. Сформированные кристаллы при отливе попадают в стекло.

Таким образом, стало очевидно необходимость организации более точной регулировки параметрами процесса варки стекла ОК-4.

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ СТЕКЛА МАРКИ ОК-4**

Установка периодической варки оптического стекла ОК-4 включает в себя диэлектрическую камеру с расположенным внутри индукционным устройством, состоящим из индуктора, футеровки и платинового тигля с нижним сливным патрубком (см. рис. 4). Патрубок имеет два электрических вывода, с помощью которых он подключен к понижающему трансформатору для прямого резистивного нагрева. Для перемешивания стекломассы имеется платиновая мешалка винтового типа, которая приводится в движение асинхронным двигателем с частотным преобразователем. Вертикальное перемещение производится с помощью привода вертикального перемещения. Готовое стекло сливается последовательно в две формы, перемещаемые в горизонтальной плоскости и имеющие нагреватели из нихрома для их предварительного нагрева.

Ранее управление таким оборудованием производил оператор вручную по записанному в технологическом журнале режиму. Причем, регулирующее оборудование находилось в разных шкафах управления.

Индукционный нагрев тигля производился от машинного преобразователя частоты, который находился в специально оборудованном машинном зале. Для обеспечения охлаждения машинного генератора требовалась станция водяного охлаждения. Все эти особенности регулировки режима не способствовали стабильной работе и воспроизводимости результатов от варки к варке.

На первом этапе работы были определены параметры, необходимые для включения в систему автоматизации.

Имеющийся в составе стекловаренного тигля стеклотвор, исключает операции досыпки шихты и исправлений показателей качества стекла во время варки. Поэтому, работу оборудования в установках такого типа, можно детерминировать и свести к временной последовательности взаимосвязанных регулировок во времени температуры тигля, температуры выработочного патрубка, скорости, положения и времени вращения мешалки, температуры форм.

Блок-схема разработанной автоматической системы управления (САУ) установкой периодической варки ОК-4 представлена на рис. 4.

Система управления включает в себя шесть контуров:

- контур управления температурой тигля, включающего в себя транзисторный преобразователь частоты с выходным током 10 кГц, согласующее устройство, индуктор и термопару;
- контур управления температурой патрубка, включающего сетевой фильтр, фазоимпульсный регулятор напряжения, понижающий трансформатор, термопару;
- контур управления скоростью вращения

мешалки, состоящий из частотного привода, асинхронного двигателя, редуктора и счетчика оборотов в виде инкрементального энкодера (датчика угла поворота);

- контур управления вертикального перемещения мешалки, состоящий из частотного привода, двигателя, червячной передачи и тросикового датчика высоты;

- два контура управления температурой форм для отлива, состоящих из фильтра сети, широтно-импульсного регулятора напряжения, нагревателя из нихрома и термопары типа ТХА.

Для организации синхронной работы всех контуров управления они подключены к одному программируемому логическому контроллеру, который обеспечивает их работу по наперед заданной единой технологической программе. Это обеспечивает точное поддержание режима варки и выработки стекла по температуре тигля, температуре патрубка и форм, оборотам и положению мешалки. Кроме того это обеспечивает точное повторение температурно-временного режима в последующих варках и не допускает отклонение от технологического процесса.

Особое внимание уделялось автоматическому управлению мешалкой.

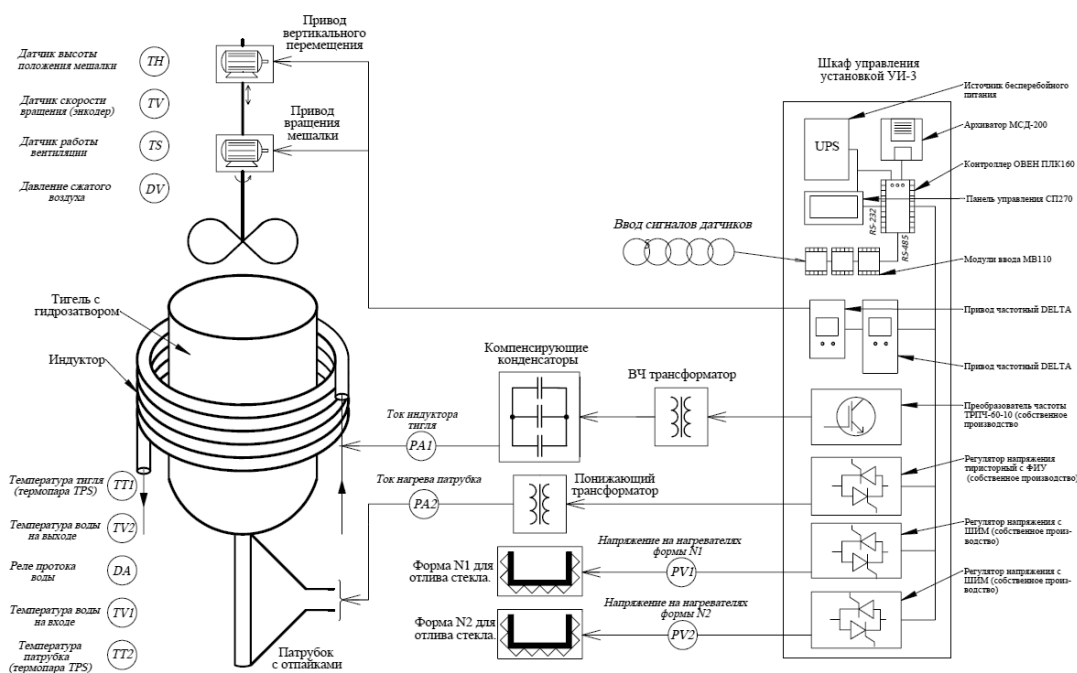


Рисунок 4.  
Блок-схема системы управления установкой периодической варки ОК-4

Таблица 2.

Результаты сравнительного анализа качества варок до внедрения САУ и после

Тип процесса	Количество варок с		Количество варок с кристаллами, %	Количество варок с пузырьностью ниже категории 4В, %
	бессвильность, более 80% (по объему отливки)	бессвильность, менее 30 % (по объему отливки)		
с САУ	78 варок из 100	22 варки из 100	26%	10%
без САУ	48 варок из 100	52 варки из 100	39%	30%

В основе регулирования – точная зависимость между заданной температурой тигля и оборотами мешалки.

Разработанная система управления имеет развитую систему сигнализации об аварийных ситуациях, информация о которых поступает на светосигнальную колонну, дублируется на сенсорной панели, протоколируется и архивируется. Все параметры технологического процесса записываются на карту памяти.

Основная проблема при создании такой установки - обеспечение электромагнитной совместимости силового электрооборудования и микроэлектроники в одном шкафу. Поскольку преобразователь частоты для индукционного нагрева тигля выполнен на базе транзисторов с изолированным затвором большой мощности, а также частотные преобразователи приводов мешалки и вертикального перемещения содержат быстро переключающиеся полевые транзисторы, электромагнитные помехи от их работы очень высоки. Кроме того, регуляторы напряжения для нагрева форм, выполненные на базе ти-

ристоров, включены непосредственно в питающую сеть, что является дополнительной причиной появления «проводниковых» помех в сети. Для решения этой задачи были применены мощные входные и выходные фильтры для каждого полупроводникового регулятора, затем тщательно разделено в шкафу расположение силовой электроники и микроэлектроники (ПЛК, панель управления, модули ввода вывода), а силовые цепи, сигнальные и цифровые проложены в разных каналах.

С помощью вышеописанных и некоторых других средств борьбы с помехами получено компактное современное программируемое устройство управления установкой, которое отвечает поставленной задаче получения стекла высокого качества и обеспечения воспроизводимости результатов (рис. 5).

После внедрения автоматической системы управления была проведена серия варок, результат анализа качества которых обобщен в табл. 2.

Таким образом, при проектировании новой системы управления были учтены все особенности технологического процесса варки стекла ОК-4, что положительно отразилось на качестве выпускаемой продукции после ее внедрения.

*Список литературы:*

1. Павлушкин Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов. М.: Стройиздат, 1983. 432 с.
2. Молев В.И., Ромейкова С.П., Громова Л.В., Белоусов С.П., Понин О.В. // Патент России № 2498950 С1. 2013 г.
3. Урусовская Л.Н., Галант В.Е., Молев В.И., Глебов Л.Б., Петровский Г.Т. // Отчет о работе Разработка промышленной технологии варки фторфосфатного стекла ОК1641-замениителя флюорита. Лыткарино: ЛЗОС-1988. 92С.



Рисунок 5.

Шкаф управления модернизированной установкой периодической варки стекла ОК-4

# НАНЕСЕНИЕ РАВНОТОЛЩИННЫХ ПОКРЫТИЙ НА КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

ВАЛЕЙСКИЙ Д.В., КАСИНСКИЙ Н.К., КРАСОВСКИЙ С.Н.

ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Беларусь

E-mail: os\_vt@mail.belpak.by

*Предложен способ получения равномерных по толщине вакуумных металлodieлектрических покрытий на крупногабаритных оптических деталях с помощью вращающейся корректирующей маски.*

**Ключевые слова:** приемная поверхность, вакуумные покрытия, корректирующая маска, равномерность по толщине.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных характеристик вакуумной установки является распределение конденсата по всей приемной поверхности, которое определяется как контролируемые, так и неконтролируемые факторами. К контролируемым факторам относится расположение источников испарения, скорость испарения, давление в вакуумной камере, распределение температуры по приемной поверхности, кинематика движения деталей, тип держателей деталей и их расположение в вакуумной камере. К неконтролируемым факторам можем отнести, например, колебания показателя преломления наносимых пленок, изменение формы поверхности испарения распыляемого вещества, ведущее к отклонению от косинусного закона распределения распыляемого вещества.

Одним из основных требований, предъявляемых к вакуумной установке, является обеспечение заданной толщины конденсата по всей приемной поверхности.

В связи с дальнейшим развитием космической тематики все большую актуальность приобретает проблема получения равномер-

ных по толщине оптических покрытий с высокими оптическими и эксплуатационными характеристиками на крупногабаритных деталях.

## МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

В оптическом приборостроении предпочтительнее решения связанные с совершенствованием конструкции вакуумной камеры, при общем сохранении ее размеров. При увеличении размеров камеры соответственно увеличивается рабочая зона, однако, наряду с этим, резко возрастает расход пленкообразующих материалов, увеличиваются в целом габариты и мощность установок. Поэтому, для получения равномерных по толщине вакуумных оптических покрытий по всей поверхности крупногабаритной оптической детали, диаметр которой соизмерим с диаметром вакуумной камеры, целесообразно использовать корректирующие маски, в основу расчета которых положено регулирование потока вещества для получения покрытий с заданной равномерностью по толщине по всей приемной поверхности [1-4].



Расчетная неравномерность толщины оптического покрытия по детали диаметром 590мм, установленной в вакуумной камере установки ВУ-2М, внутренний диаметр которой равен 700мм, составляет 33%. Получение покрытий с заданной равномерностью по поверхности данной детали возможно только при использовании вращающейся маски, конфигурация которой определяется исходя из реального распределения покрытия по детали.

В связи с этим была рассчитана и экспериментальным путем откорректирована, изготовлена корректирующая маска, позволяющая наносить равномерные по толщине вакуумные покрытия на плоские поверхности оптических деталей диаметром 590мм. в вакуумной камере установки ВУ-2М.

В основу расчета распределения конденсата по приемной поверхности положено общепринятое выражение для вычисления толщины конденсата:

$$t = \int_0^{\tau} \int_{Ae} \frac{\Gamma \cos \varphi^n(\tau) \cos \theta(\tau)}{\pi \rho R^2} dAe d\tau, \quad (1)$$

где  $t$  – толщина оптического покрытия,  $\tau$  – длительность испарения,  $Ae$  – площадь поверхности испарения,  $\Gamma$  – скорость испарения,  $\rho$  – плотность испаряемого вещества,  $\varphi(\tau)$  – угол между нормалью к поверхности испарения и радиус-вектором точки, в которой определяется толщина оптического покрытия,  $\theta(\tau)$  – угол между радиус-вектором рассматриваемой точки и нормалью к поверхности конденсации,  $R$  – радиус-вектор рассматриваемой точки,  $n$  – показатель степени, зависящий от условий напыления.

Корректирующая маска представляет собой заслонку, ось вращения которой параллельна оси вращения детали или совпадает с ней. Размеры лепестка корректирующей маски определяются местоположением маски относительно детали и источника испарения. Контур лепестка маски определяется углами раскрытия  $Q_i$  и радиусами  $R'_i$ , которые определяются по формулам:

$$R'_i = \frac{R_i(H + H_1)}{H_2}, \quad (2)$$

$$Q_i = \pi \left[ 1 - \frac{kt_0}{\sum_{N=1}^k t_N} \right], \quad (3)$$

где  $R'_i$  – радиус маски (расстояние от оси вращения маски до дуги на маске),  $R_i$  – расстояние от изображаемого центра маски до соответствующей дуги на детали,  $H$  – расстояние от источника испарения до дна вакуумной камеры,  $H_1$  – расстояние от плоскости маски до дна вакуумной камеры,  $H_2$  – расстояние от источника испарения до напыляемой детали,  $t_0$  – минимальная толщина оптического покрытия на детали,  $t_N$  – толщина оптического покрытия в точке  $A_N$ ,  $k$  – количество точек  $A_N$ , принадлежащих детали. Данные формулы для расчета формы корректирующей маски были выведены на основании схемы расположения внутрикамерных устройств, изображенных на рис. 1. В точках  $A_N$  рассчитывается толщина оптического покрытия по формуле (1).

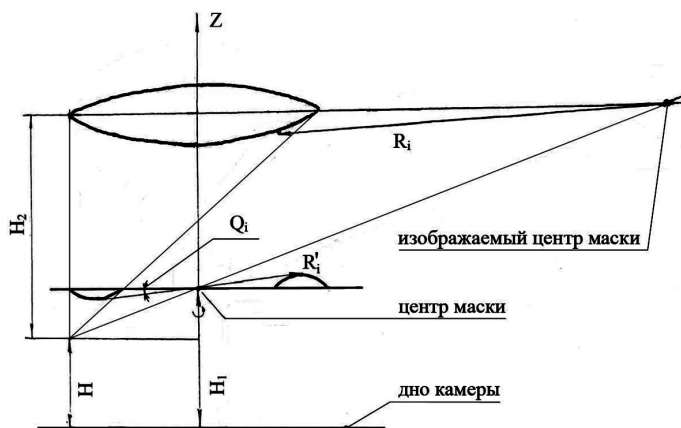
Корректирующая маска устанавливается между деталью и испарителями. Форма лепестка корректирующей маски представлена на рис. 2.

Местоположение маски над испарителем определяется телесным углом потока вещества, падающего на деталь, а также размерами вакуумной камеры.

Корректирующая маска вращается в сторону, противоположную направлению вращения оптической детали, а скорость вращения корректирующей маски в 25 раз больше скорости вращения оптической детали. Корректирующая маска, благодаря своей форме, избирательно экранирует поверхность оптической детали, чем уменьшает неравномерность толщины оптического покрытия по поверхности детали.

Применение рассчитанной вращающейся корректирующей маски снижает неравномерность толщины оптического покрытия по поверхности оптической детали диаметром 590 мм до 2%.

Второй проблемой при нанесении металлодиэлектрических покрытий на крупногабаритные детали, диаметр которых сравним с диаметром вакуумной камеры, первым слоем которых наносится, например, слой алюми-

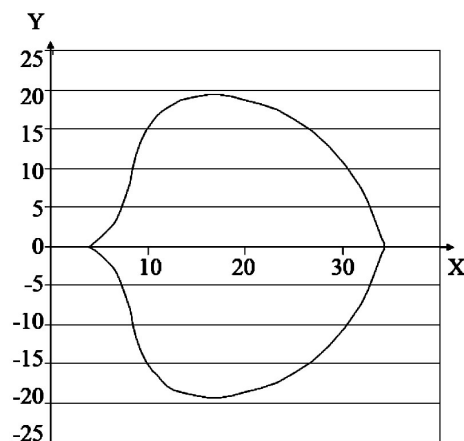


**Рисунок 1.**  
*Расположение корректирующей маски внутри вакуумной камеры*

ния, является то, что при этом нет возможности контроля толщины слоев, наносимых после алюминия, с помощью фотометрического контроля, который ведется в данной установке по центральному свидетелю. Поэтому контроль толщины наносимых слоев ведется в данном технологическом процессе с помощью кварцевого измерителя толщины наносимых слоев, установленного между испарителями и оптической деталью.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен способ получения равномерных по толщине вакуумных металлодиэлектрических покрытий на крупногабаритных оптических деталях, позволяющий снизить неравномерность толщины вакуумного покрытия по поверхности оптической детали диаметром 590 мм до 2%.



**Рисунок 2.**  
*Схематическое изображение формы лепестка корректирующей вращающейся маски*

#### Список литературы:

1. Холлэнд О. Нанесение тонких пленок в вакууме. – М.; Мир. 1963 – с.78
2. Справочник технолога-оптика./ Под общей редакцией М.А. Окатова – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004 – с.479
3. Трофимова Ж.П. Анализ распределения конденсата и выбор корректирующих масок для получения равномерных по толщине оптических покрытий. /Ж.П. Трофимова, В.М.Холодов, Т.И. Демидович, Я.В. Петлицкая, А.В. Савченко// Оптико-механическая промышленность – 1987. – №6. –с.30.
4. Усоскин А.И. Корректирующие диафрагмы для повышения равномерности толщины вакуумных покрытий./А.И. Усоскин // Оптико-механическая промышленность – 1984. – №8. – с.33.

# ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ НА СОСТАВ ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ

ВАЛЕЙСКИЙ Д.В., КАСИНСКИЙ Н.К., КРАСОВСКИЙ С.Н.

ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Беларусь

E-mail: os\_vt@mail.belpak.by

*Проведен сравнительный анализ состава остаточной атмосферы в вакуумных установках одного типа с различными средствами откачки, а также анализ состава остаточной атмосферы при испарении двуокиси гафния, двуокиси циркония, сернистого цинка.*

**Ключевые слова:** остаточная атмосфера, вакуумная камера, оптические покрытия, парциальное давление, пленкообразующие материалы.

## ВВЕДЕНИЕ

Состав остаточной атмосферы в вакуумной камере оказывает существенное влияние на свойства оптических покрытий и определяется процессами сорбции и десорбции, протекающими на внутренних поверхностях камеры и всей откачной системы, применяемыми средствами откачки и процессами, связанными с испарением и конденсацией пленкообразующего материала.

По данным исследований [1, 2] при испарении сернистого цинка поглощается до 25% паров воды, составляющих перед напылением до 90% остаточной атмосферы, 95% кислорода. Одновременно повышается содержание водорода и к концу испарения остаточная атмосфера на 85% состоит из водорода.

При испарении окислов гафния [3] возрастает парциальное давление водорода примерно на два порядка, в то же время парциальное давление кислорода определяется диссоциацией окисла гафния и почти не зависит от напуска воздуха. Парциальное давление паров с массовым числом 44 зависит от степени загрязненности внутреннего объема вакуумной камеры, от типа высоковакуумного насоса.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ОСТАТОЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В связи с использованием в настоящее время различных средств откачки в вакуумных технологических установках и существенным расширением номенклатуры применяемых для напыления пленкообразующих материалов (ПОМ) представляет интерес сравнительный анализ состава остаточной атмосферы в вакуумных установках одного типа с различными средствами откачки, качественный и количественный анализ атмосферы при испарении ПОМ.

Состав остаточной атмосферы технологического вакуумного объема установки является важнейшим параметром, определяемым в первую очередь конструкцией установки и свойствами используемых материалов. Был проведен сравнительный анализ остаточной атмосферы в вакуумных установках одного типа, но с различными средствами откачки, а именно:

– на установке типа ВУ-1А с криогенным высоковакуумным насосом;

– на установке ВУ-2М с паромасляным насосом;

– на установке А-700QE с криогенным насосом высокой производительности.

Измерение парциального давления производилось с помощью масс-спектрометра МХ-7304 с анализатором монополярного типа, позволяющим разрешать ионы с массовыми числами от 1 до 200 и сходимостью показаний не хуже 2,5%. Анализатор масс-спектрометра располагался при проведении измерений так, что плоскость его входного отверстия находилась на уровне приемной поверхности подколпачной арматуры.

Идентификация масс-спектрометрических пиков представляет определенные сложности, обусловленные тем, что разные соединения могут давать одинаковые рефлекссы [4, 5]. Идентифицировать соединения можно с учетом других сопутствующих пиков, поскольку возможна диссоциация сложных молекул в процессе измерения.

Состав остаточной атмосферы был исследован после следующих этапов технологического цикла: высоковакуумной откачки, прогрева вакуумной камеры, прогрева ПОМ, последовательного напыления каждого из пяти слоев.

Как видно из приведенного в таблице 1 сравнения остаточной атмосферы в разных установках, основную часть её составляют пары водорода ( $H_2$ ), воды ( $H_2O$ ), азота ( $N_2$ ), кислорода ( $O_2$ ) и углеводороды.

Остаточное давление паров углеводородов выше у установок с паромасляным насосом (ВУ-2М). Несколько более высокое давление углеводородов в установке ВУ-1А по сравнению с А-700 QE обусловлено тем, что в качестве антифрикционной смазки используется вакуумное масло ВМ-1.

Было определено давление углеводородов в установках А-700 QE, ВУ-1А и ВУ-2М при не нагретой и нагретой до 600°K камерой. Результаты приведены в таблице 2.

**Таблица 1.**  
*Состав остаточной атмосферы в вакуумных камерах установок ВУ-1А, А-700QE, ВУ-2М до напыления*

Тип вакуумной установки, тип насоса	Состав остаточной атмосферы, %				
	$H_2$	$H_2O$	$N_2$	$O_2$	Углеводороды
ВУ-1А (криогенный насос, скорость откачки 1,5 м <sup>3</sup> /с)	1,6	65,8	20,0	4,2	8,0
А-700QE (криогенный насос, скорость откачки 10,0 м <sup>3</sup> /с)	3,9	85,2	8,2	U	5,2
ВУ-2М (паромасляный насос)	2,3	82,0	5,3	U	9,5

**Таблица 2.**  
*Парциальное давление углеводородов в нагретых до 600°K и ненагретых вакуумных камерах*

Тип вакуумной установки, тип насоса	Содержание углеводородов, %	
	без нагрева	с нагревом
ВУ-1 А (криогенный насос)	8,1	13,1
А-700QE (криогенный насос)	5,2	13,0
ВУ-2М (паромасляный насос)	9,5	17,8

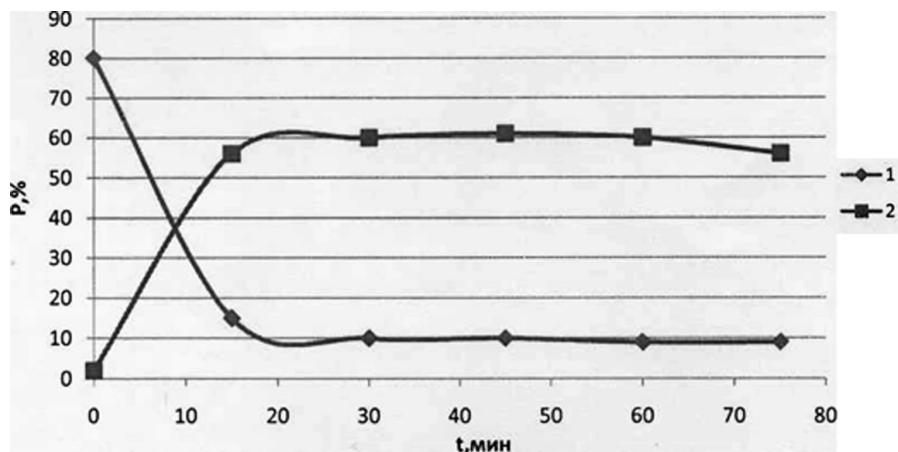


Рисунок 1.

Кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении двуокиси гафния (кривая 1 – H<sub>2</sub>O, кривая 2 – H<sub>2</sub>)

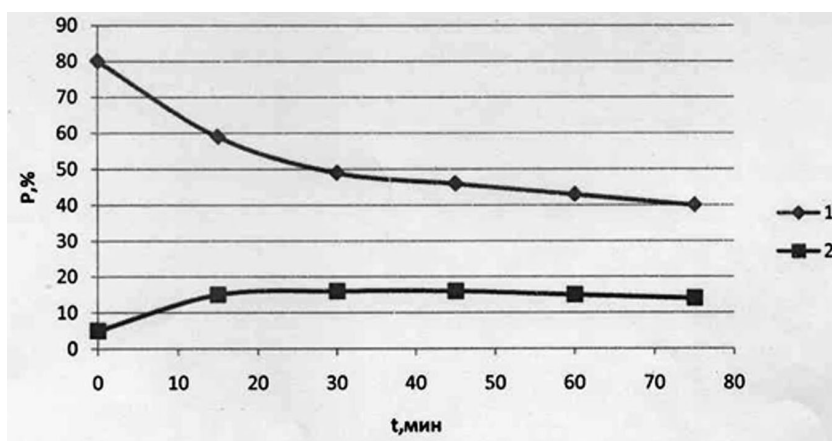


Рисунок 2.

Кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении двуокиси циркония (кривая 1 – H<sub>2</sub>O, кривая 2 – H<sub>2</sub>)

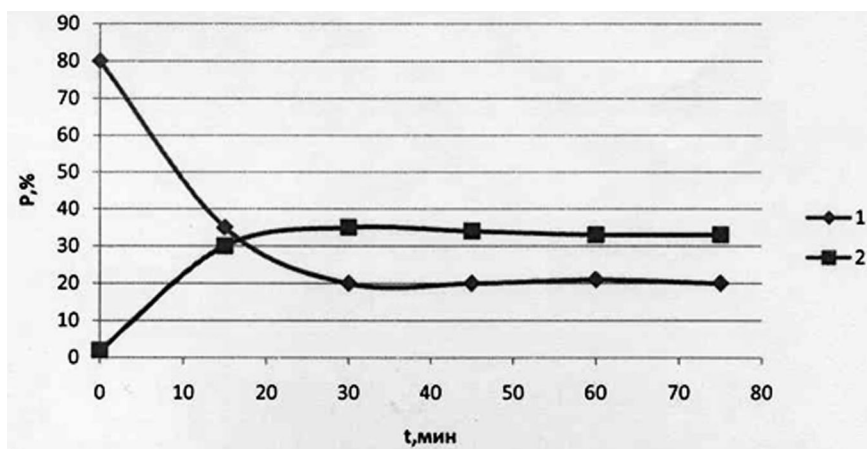


Рисунок 3.

Кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении сернистого цинка (кривая 1 – H<sub>2</sub>O, кривая 2 – H<sub>2</sub>)



В вакуумной установке ВУ-2М с паромасляным насосом давление углеводородов в нагретой камере близко к давлению насыщенных паров ВМ-1 при этой температуре.

Несколько ниже давление углеводородов при использовании безмасляной откачки, хотя негативное влияние оказывает наличие вакуумного масла в отдельных узлах установки ВУ-1А при использовании криогенных насосов.

Случайное попадание паров масла в вакуумную камеру резко увеличивает давление углеводородов. Парциальное давление водорода, кислорода, азота не зависит от средств откачки.

Газоотделение при нагреве пленкообразующих веществ оказывает большое влияние на состав остаточной атмосферы. Поэтому была проведена работа по анализу состава остаточной атмосферы при испарении двуокиси гафния, двуокиси циркония, сернистого цинка, изготовленных на разных заводах. Масс-спектрометрический анализ остаточной атмосферы проводился на неотожженных таблетках пленкообразующего материала в течение 1,5 часа.

На рис. 1 представлена кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении двуокиси гафния.

На рис. 2 представлена кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении двуокиси циркония (кривая 1 -  $H_2O$ , кривая 2 -  $H_2$ ).

На рис. 3 представлена кинематика парциального давления водорода и паров воды при испарении сернистого цинка (кривая 1 -  $H_2O$ , кривая 2 -  $H_2$ ).

Как видно из рисунков 1, 2, 3 основное изменение парциального давления паров воды и водорода происходит в течение первых 15 минут. Поскольку при нанесении оптических покрытий обычно таблетки пленкообразующих материалов используются повторно, то

длительное обезгаживание рекомендуется для неотожженных таблеток, а при последующем их использовании газоотделение уменьшается и уменьшается длительность отжига пленкообразующего материала под заслонкой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

Использование безмасляных средств откачки снижает давление паров воды и углеводородов по сравнению с использованием паромасляного насоса.

Для эффективного снижения давления углеводородов необходимо устранять источники паров масла в вакуумной камере.

Парциальное давление паров воды и водорода при напылении пленкообразующих материалов разных партий, полученных от разных заводов-изготовителей, наиболее значительно изменяется в начальный период времени, а затем остается на одном уровне.

### Список литературы:

1. Pulker N.K. Исследование процесса испарения диэлектрических материалов / N.K. Pulker, E.J. Jung //Thin Solid Films - 1969. -с.219-228.
2. Корнеев Ю.М. Масс-спектральные термодинамические исследования двойных систем, образованных халькогенидами второй группы. /Ю.М.Корнеев, И.М.Карасев, И.А.Тимошин, Т.А.Волкова, П.Н.Сидоров, А.В.Новоселова // Журнал физической химии - 1972.- Т.46, №46.
3. Введенский В.Д. Сорбционные процессы при нанесении оптических покрытий. / В.Д. Введенский //ОМП.-1986.-№9.-с.25.
4. Вакуумная техника: Справочник /Под общей редакцией Е.С. Фролова, В.Е.Минайчева - М.Машиностроение, 1985.- с.327.
5. Пипко А.Н., Плисовский В.Я., Королевич Б.И., Кузнецов В.И. Основы вакуумной техники.- М.,1981.

# ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ И МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТОЛЩИНЫ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

ВАЛЕЙСКИЙ Д.В., КАСИНСКИЙ Н.К., КРАСОВСКИЙ С.Н.

ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника», г. Минск, Беларусь

E-mail: os\_vt@mail.belpak.by

*Исследовано влияние нагрева оптических деталей на воспроизводимость оптической толщины многослойных узкополосных фильтров второго порядка на основе окислов циркония и кремния, получаемых на вакуумных установках моделей ВУ-800, ВУ-2М и ВУ-1А. Предложено, для более точной количественной оценки воспроизводимости оптической толщины вакуумных покрытий, кроме величины относительного стандартного отклонения экспериментально определить величину доверительной вероятности.*

**Ключевые слова:** воспроизводимость, вакуумные покрытия, факторы, оптическая толщина, дисперсия.

## ВВЕДЕНИЕ

Воспроизводимость свойств оптических вакуумных покрытий (ОВП) является важной характеристикой технологических процессов, реализуемых на конкретных вакуумных установках. В соответствии с требованиями ГОСТ воспроизводимость понимается как степень близости, в пределах наперед заданного предела, результатов повторных испытаний объекта, или реализации процесса, при одинаковых условиях этих испытаний [1].

На практике, в ходе технологических процессов нанесения покрытий в вакууме, эти условия лишь с большой натяжкой можно считать постоянными, так как процесс испарения, конденсации и формирования оптического покрытия является динамическим с большими отклонениями от стационарных условий даже на протяжении времени формирования одного слоя.

Современный технологический процесс нанесения ОВП определяется рядом как контролируемых (давление, температура, гео-

метрические размеры напыляемой детали, форма и геометрические размеры приёмной поверхности, взаимное геометрическое расположение источников испарения, нагревателя и приёмной поверхности), так и неконтролируемых факторов (концентрация дефектов, угол падения потока на деталь, размеры кристаллитов, отклонение от стехиометрии, остаточная атмосфера) [2]. Среди большого количества контролируемых технологических параметров термический нагрев оптических деталей является важным этапом технологического процесса нанесения покрытий. От режима термообработки зависит качество выпускаемых изделий (такие показатели как адгезия покрытия к стеклянной основе, структура покрытий и др.), а также производительность всего процесса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целью статьи - исследовать влияние нагрева оптических деталей на воспроизводимость оптической толщины ОВП.

Процесс нанесения ОВП последовательно реализовывали на вакуумных установках моделей ВУ-800, ВУ-1А, ВУ-2М, серийно выпускаемых на ОАО «Сморгонский завод оптического станкостроения». Многослойный узкополосный фильтр второго порядка на основе окислов циркония  $ZrO_2$  и кремния  $SiO_2$  наносили на детали диаметром 40 мм. Под оптической толщиной пленки  $t$  понимали величину:

$$t = n \times h,$$

где  $n$  - коэффициент преломления,  $h$  - геометрическая толщина ОВП. Для измерения оптической толщины пленки использовали прибор спектрометрического контроля СФКТ-751, который позволяет контролировать толщину оптического покрытия по отражению монохроматического света контрольной длины волны  $\lambda_k$  выбираемой в области спектра 380 - 1000 нм, от отдельного контрольного образца [3].

Оптическую толщину ОВП определяли в 5 точках сферической приемной поверхности как в одном технологическом цикле, так и от цикла к циклу.

Фильтры наносили на непрогретые и нагретые до 300°C оптические детали. Оптическая толщина пленки определялась по положению длины волны, соответствующей максимуму пропускания фильтра -  $\lambda_{max}^1$ . Неравномерность толщины по сферической приемной поверхности рассчитывалась по пяти точкам по следующей формуле:

$$\delta t = \frac{\lambda_{max}^1 - \lambda_{max}^5}{\lambda_{max}^1} \quad (2)$$

где верхний индекс указывает на номер точки сферической приемной поверхности. Температуру поверхности деталей измеряли термопарным методом. Для измерения температуры приемная поверхность делилась на десять сферических зон в форме концентрических слоев с одинаковой площадью поверхности.

Нулевая зона соответствует положению оптической детали на оси приемной поверхности. Испаритель располагали на расстоянии 250 мм от оси приемной поверхности (рис. 1).

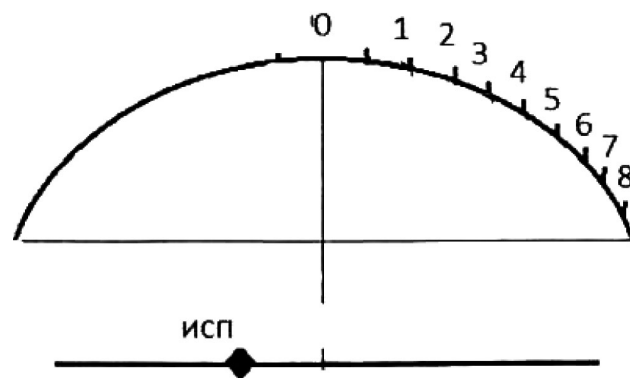


Рисунок 1.

Относительное расположение испарителя (исп) и сферических зон на приёмной поверхности в вакуумной камере. 0, ..., 9 – номер сферической зоны (места расположения деталей), исп - испаритель

Нагрев оптических деталей, находящихся на приемной поверхности, определяется тепловым потоком как от внешних нагревательных устройств, так и от испарителя. Из-за сферической формы приемной поверхности, плотность поглощенного потока максимальна в центре этой поверхности и уменьшается к её периферии. Исследования показали, что распределение температуры по приемной поверхности зависит от радиуса ее кривизны. С ростом радиуса кривизны график распределения становится более пологим. Перепад температуры от центра к периферии уменьшается (рис. 2).

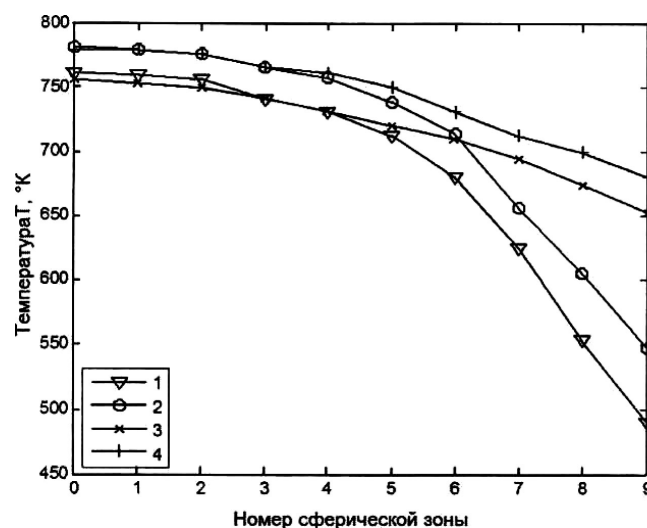


Рисунок 2.

Распределение температуры по приёмной поверхности. Радиус кривизны поверхности: 1,2 – 0,385 м; 3,4 – 1,0 м. Нагрев поверхности: 2,4 – от испарителя и нагревателя; 1,3 – только от испарителя

В случае плоской приёмной поверхности перепад температур минимален. Однако на плоской приёмной поверхности неравномерность толщины ОВП достигает 35%. Таким образом сферическая форма приёмной поверхности является необходимой для получения равномерных по толщине ОВП.

Для экспериментального изучения воспроизводимости оптической толщины ОВП от процесса к процессу, многослойный узкополосный фильтр наносили при одних и тех же технологических режимах для нескольких последовательно загружаемых партий оптических деталей. Величина  $\lambda_{max}^i$  для разных партий представлена в таблице 1. Измерения проводили на оптических деталях, расположенных на позиции 1 (рис. 1).

Величину эмпирического стандарта вычисляли по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_{max}^i - \lambda_{max}^{cp})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $n = 6$ ,

$$\lambda_{max}^{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_{max}^i \quad (4)$$

В качестве меры воспроизводимости используем относительное стандартное отклонение [4], в процентах:

$$s_r = \frac{S}{\lambda_{max}^{cp}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Тогда, для данных, приведенных в таблице 1, относительное стандартное отклонение  $s_r$  составит 2,9 %. Следовательно, воспроизводимость ( $B$ ), т.е. повторяемость оптической толщины ОВП от процесса к процессу, при одинаковых технологических режимах их осаждения определена по формуле:

$$B = 1 - s_r \quad (6)$$

и она составит 97,1%.

Для более точной оценки воспроизводимости оптической толщины кроме знания величины отклонения  $\Delta\lambda_{max}$  необходимо задать и величину доверительной вероятности проводимых оценок. Другими словами требуется знание того, что результат измерения оптической толщины ОВП отличается от истинного значения  $\lambda_{max}$  на величину большую  $\Delta\lambda_{max}$ . Для получения таких характеристик используем интервальную оценку результатов измерений  $\Delta\lambda_{max}$ .

Таблица 1.

Результаты контроля оптической толщины ОВП

№ загрузки	3	4	5	6	8	9
$\lambda_{max}^i$	660	630	650	620	670	650
$\lambda_{max}^{cp}$	646,6					
Величина эмпирического стандарта, S	18,62					

Таблица 2.

Определение величины доверительного интервала, воспроизводимости от уровня значимости для заданного числа измерений

Уровень значимости, $\alpha=1-B$	$t(P,k)$	$\Delta\lambda_{max}$	Относительное максимальное отклонение, $\delta = \frac{\Delta\lambda_{max}}{\lambda_{max}^{cp}}, \%$	Воспроизводимость B, %
0,05	2,57	19,53	3,0	97
0,03	3,1	23,56	3,6	96,4
0,02	3,37	25,61	4,0	96
0,015	4,03	30,63	4,7	95,3



Так как точное значение дисперсии нам не известно и мы пользуемся рассчитанной по результатам эксперимента эмпирической дисперсией, то для оценки величины доверительного интервала воспользуемся формулой [4]:

$$\Delta\lambda_{max} = t(P, k) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где  $t(P, k)$  – коэффициент Стьюдента;  $P$  – доверительная вероятность;  $k = n - 1$  – степень свободы.

Результаты оценки воспроизводимости технологического процесса нанесения узкополосного фильтра от величины доверительного интервала, воспроизводимости от уровня значимости для заданного числа измерений представлены в табл. 2.

Таким образом, уровень воспроизводимости 97% соответствует доверительной вероятности 95%.

Следовательно, количество годных деталей в каждом технологическом цикле не превышает  $(0,97 \times 0,95) \times 100\% = 92,15\%$ .

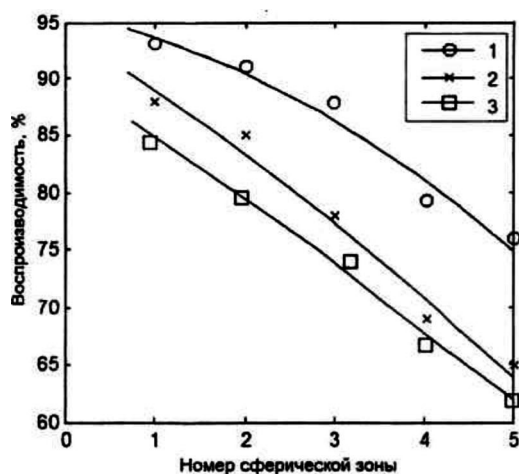
Влияние положения оптической детали на сферической приёмной поверхности на воспроизводимость оптической толщины ОВП исследовали как для случая осаждения покрытий на детали, прогреваемые до 300 °С, так и на детали, осаждаемые без предварительного прогрева (рис. 3).

Как видно из приводимых результатов, воспроизводимость оптической толщины уменьшается при переходе к «нагревной» технологии нанесения ОВП. Воспроизводимость в одном процессе при нанесении ОВП на детали, нагреваемые до 300°С, составляет 84%, а при нанесении на непрогреваемые детали - 99%. При этом, при формировании ОВП на не нагретых оптических деталях воспроизводимость уменьшается от центра к периферии приемной поверхности (рис. 3а).

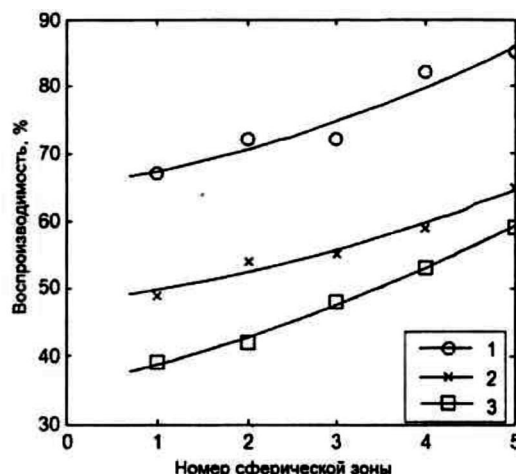
Для осаждения оптических покрытий на предварительно прогреваемые детали, наоборот, уменьшение наблюдается от периферии к оси (рис. 3б). Последний эффект, по всей вероятности, связан с неравномерностью нагрева приемной сферической поверхности (рис. 2) и возникновения эффекта реиспарения, вызываемого перегревом деталей в позициях 0, 1 и 2 (рис. 1).

### ВЫВОДЫ

Воспроизводимость оптической толщины ОВП уменьшается при использовании предварительного нагрева оптических деталей до 300°С и составляет 84 %. Наименьшая воспроизводимость, в этом случае, наблюдается на деталях, расположенных наиболее близко к оси сферической приёмной поверхности, что, по всей видимости, связано с неравномерностью нагрева этой поверхности.



а



б

Рисунок 3.

Зависимость воспроизводимости от положения оптической детали на сферической приёмной поверхности при нанесении покрытий на

а) – непрогреваемые и б) – предварительно прогреваемые детали: 1 – 1,5%; 2 – 2%; 3 – 3%

При нанесении ОВП на непрогреваемые оптические детали воспроизводимость по оптической толщине составляет 99%.

Показано, что с ростом радиуса кривизны приемной поверхности неравномерность её прогрева уменьшается, однако растет неравномерность толщины осаждаемых ОВП.

Предложено для более точной количественной оценки воспроизводимости оптической толщины ОВП кроме величины относительного стандартного отклонения экспериментально определять величину доверительной вероятности. Предложен подход к расчету процента выхода годных деталей.

#### *Список литературы:*

1. ГОСТ Р ИСО 5725 - 1 - 2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные правила и определения.

2. *Томаль В.С., Касинский Н.К., Иванов И.В.* Воспроизводимость свойств оптических вакуумных покрытий. Материалы. Технологии. Инструменты. - 2013. - Т.18 №1. с. 75-77.

3. *Окатов М.А., Антонов Э.А., Байгожин А.* и др. Справочник технолога-оптика// под ред. М.А.Окатова/ СПб: Политехника, 2004.- 679 с.

Письменный Д.Т. Конспект лекций по теории вероятности, математической статистике и случайным процессам. - М.: Айрис-Пресс, 2008. - 320 с.



**Открытое акционерное общество  
«Оптическое станкостроение  
и вакуумная техника»  
(ОАО «ОС и ВТ»)**



Директор Валейский

*Предприятие на протяжении более 45 лет занимается разработкой оборудования для комплексной обработки оптических деталей. Основано 23 июля 1971 года, как Минский филиал Научно-исследовательского технологического института оптического приборостроения (г. Москва). За прошедший период в результате ряда структурных преобразований сформировано в настоящее время как самостоятельная единица – Открытое акционерное общество «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» (г. Минск), с ведомственной принадлежностью Министерству промышленности Республики Беларусь.*

*Предприятием за истекший период разработано более 180 моделей станков, вакуумных установок, промывочных комплексов, приборов и других изделий, которыми оснащены все оптические цеха стран СНГ и ряда стран ближнего и дальнего зарубежья.*

*Последние десять лет предприятие в рамках Союзных и республиканских программ разработало ряд новых моделей станков и промывочных комплексов, оснащенных ЧПУ. Такое оборудование поставлено и успешно эксплуатируется на ряде предприятий Российской Федерации (АО «ВОМЗ», ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», АО «ПО «УОМЗ», АО «Швабе-Оборона и Защита», ООО «НН Оптика», ГБОУ НПО Оптико-механический профессиональный лицей Санкт-Петербурга, ООО «Станко Импэкс», ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ» и др.) и Республики Беларусь (ОАО «БелОМО - ММЗ имени С.И. Вавилова», ОАО «Пеленг», ОАО «КБТЭМ-ОМО» и др.).*

- Из последних разработок предприятия стоит отметить:*
- заготовительное оборудование (АЗР-100; АЗК-100; КШС-35; АСШ-350 и др.);*
  - автоматизированный комплекс оборудования для беспротирочной промывки деталей и узлов оптики, точной механики;*
  - автоматизированный комплекс промывки для экологически чистой беспротирочной промывки крупногабаритных оптических деталей из кварцевого стекла перед нанесением покрытий;*
  - механизированный комплекс беспротирочной промывки водорастворимых оптических деталей из кристалла КДР в органических растворителях перед нанесением покрытий методом зольгель технологий;*
  - оборудование для обработки прецизионных плоских, сферических, асферических деталей диаметром от 100 до 600 мм, с точностью по СКО  $\lambda/80$  и шероховатостью 1-2 нм;*
  - оборудование для алмазной обработки оптических заготовок любого профиля;*
  - комплекс оборудования для изготовления прецизионных плоских, сферических и асферических крупногабаритных оптических деталей диаметром до 1000 мм;*
  - оборудование для обработки микрооптики;*
  - автоматическое контурно-шлифовальное оборудование для групповой обработки призм с размерами грани до 150 мм.*

*Разработанные нами технологии, оборудование и инструмент могут использоваться при создании оптико-механических деталей для перспективной продукции многих отраслей, прежде всего авиационной, ракетно-космической, бронетанковой, приборостроительной, машиностроительной и ряда других.*

*Предприятие сохранило свой научный потенциал, а квалификация кадров позволяет решить самые сложные научно-технические задачи.*

*Директор ОАО «ОС и ВТ» Д.В.Валейский*

*Реквизиты предприятия:  
220114, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Филимонова, 25  
os\_vt@mail.belpak.by , <http://www.osvt.by>  
тел. (017) 267-31-80, (017) 267-03-73, факс (017)267-47-80  
E-mail: os\_vt@mail.by, [www.osvt.by](http://www.osvt.by)*



Открытое акционерное общество  
"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"



220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25.  
тел. (017) 369-88-48, факс: (017) 267-47-80,  
E-mail: os\_vt@mail.belpak.by, <http://www.osvt.by>



### СТАНОК КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНЫЙ модели АЗК-100

Для получения круглых заготовок оптических деталей из прямоугольных заготовок с квадратным сечением и других профилей из кристаллических, аморфных и других оптических материалов алмазным инструментом.

Управление процессом обработки осуществляется посредством устройства числового программного управления (УЧПУ).

Станок предназначен для применения в многоменклатурном оптическом производстве.

#### Технические характеристики:

---

Размеры обрабатываемых заготовок, мм,	
– диагональ квадратной заготовки, .....	от 35 до 140
– длина столбика заготовки, .....	от 100 до 200
Требования к обработанной заготовке:	
– точность обработки диаметра, мм .....	до 0,05
– шероховатость, $R_a$ по ГОСТ 2789-73, мкм .....	3,2
Диаметр круга алмазного шлифовального чашечного конического по ГОСТ16172-90, мм.....	100
Потребляемая мощность, кВт, не более .....	5
Габаритные размеры станка, мм, не более:	
Д x Ш x В .....	950x1050x1990
Масса станка, кг, не более .....	1200

Станок укомплектован питателем СОЖ и установкой отсоса и очистки аэрозолей «Вихрь-2»



Открытое акционерное общество

«Оптическое станкостроение и вакуумная техника»

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25, (017) 263-80-52,  
Факс: (017) 267-47-80 E-mail: [os\\_vt@mail.belpak.by](mailto:os_vt@mail.belpak.by), <http://www.osvt.by>

## СТАНОК РАСПИЛОВОЧНЫЙ модели АЗР -100



Для распиливания оптических заготовок (брусков, штабиков, пластин, цилиндрических заготовок, кускового стекла) на мерные заготовки алмазными инструментами.

Управление процессом распиливания осуществляется посредством системы управления на базе программируемого контроллера

Станок предназначен для применения в многономенклатурном и мелкосерийном оптическом производстве.

### Технические характеристики:

Размеры распиливаемых заготовок, мм,	
– длина, ширина.....	от 50 до 200
– высота.....	от 10 до 70
– диаметр.....	от 5 до 70
Диаметры алмазно-отрезных кругов по ГОСТ 10110-87, мм.....	от 125 до 250
Количество алмазно-отрезных кругов, шт.....	от 1 до 5
Ширина реза, мм, .....	от 0,7 до 2,0
Перемещение стола, мм	
– продольное.....	от 0 до 320
– поперечное.....	от 0 до 200
Частота вращения шпинделя инструмента с <sup>-1</sup> (об/мин).....	от 25 до 50 (от 1500 до 3000)
Потребляемая мощность, кВт, не более.....	5,5
Габаритные размеры станка, мм, не более:	
Д x Ш x В.....	1455x1200x1600
Масса станка, кг, не более.....	1030

Станок укомплектован питателем СОЖ и установкой отсоса и очистки аэрозолей «Вихрь-2»

Открытое акционерное общество  
"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"



220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25.  
тел. (017) 369-88-48, факс: (017) 267-47-80,  
E-mail: os\_vt@mail.belpak.by, <http://www.osvt.by>



### Автоматизированный комплекс промывки АКП-3 (новая разработка)

Для экологически чистой беспротирочной промывки крупногабаритных оптических деталей из кварцевого стекла перед нанесением покрытий в вакууме.

С целью безопасности работы установки промывки и исключения попадания пыли в рабочую зону, на каркасе установки, включая столы загрузки и выгрузки, смонтировано защитное ограждение рабочей зоны. В нижней части защитного ограждения на передней стенке установлены раздвижные стеклянные окна. Каркас установки промывки закрыт дверями, что обеспечивает доступ к различным механизмам комплекса.

Управление работой автоматизированного комплекса промывки осуществляется на базе программируемого логического контроллера, сервосистемы, скоростных модулей ввода/вывода и панели оператора.

#### Технические характеристики:

Максимальный размер очищаемых оптических деталей, мм	760x440x80
Количество ванн-позиций в установке, шт,	5
из них:	
ультразвуковых	2
для сушки	1
Вместимость одной ванны, л, не менее	210
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	44
Суммарная установленная мощность комплекса, кВт, не более	100
Габаритные размеры ванны (внутренние) Д x Ш x В, мм, не менее	950x300x780
Габаритные размеры установки Д x Ш x В, мм	6000x2100x3000
Масса комплекса, кг, не более	2500





Открытое акционерное общество

"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25  
тел. (017) 263-80-52, факс: (017) 267-47-80

E-mail: [os\\_vt@mail.belpak.by](mailto:os_vt@mail.belpak.by), <http://www.osvt.by>

## СТАНОК ПОЛИРОВАЛЬНО- ДОВОДОЧНЫЙ АП-160



Станок АП-160 предназначен для асферизации оптических поверхностей на деталях диаметром от 50 до 160 мм и доводки асферических, сферических и плоских поверхностей малоразмерным инструментом

На станке реализуется принцип автоматизированной доводки поверхности оптической детали малоразмерным полировальником.

### Технические характеристики

Наружный диаметр обрабатываемой ОД, мм	от 50 до 160
Высота обрабатываемой ОД, мм, не более	60
Стрелка прогиба сферической поверхности обрабатываемой ОД, мм, не более	50
Точность формы обрабатываемой поверхности ОД по параметру СКО на всей световой зоне, при $\lambda=0,63$ мкм, не менее	$\lambda/80$
Частота вращения шпинделя изделия, $s^{-1}$ (об/мин)	от $1,6 \times 10^{-2}$ до 0,25 (от 1 до 15)
Частота вращения шпинделя инструмента, $s^{-1}$ (об/мин)	от 0,016 до 8 (от 1 до 500)
Амплитуда осцилляции инструмента, мм	от 0 до 15
Сила прижима инструмента, Н (кгс)	от 0,196 до 24,4 (от 0,02 до 2,5)
Масса электрошкафа, кг, не более	180
Габаритные размеры станка без электрошкафа, мм, не более: - длина x ширина x высота	1450x1600x1800
Габаритные размеры станка с электрошкафом, мм, не более: - длина x ширина x высота	1950x100x1800
Суммарная мощность установленных на станке двигателей, кВт, не более	3,5

Программа управления станком записана в промышленный компьютер стойки управления





Открытое акционерное общество  
"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25  
тел. (017) 263-80-52, факс: (017) 267-47-80  
E-mail: [os\\_vt@mail.belpak.by](mailto:os_vt@mail.belpak.by), <http://www.osvt.by>

## СТАНОК ПОЛИРОВАЛЬНО-ДОВОДОЧНЫЙ АП-350

Станок предназначен для автоматизированной доводки малоразмерным полировальным инструментом плоских, сферических и асферических поверхностей деталей диаметром до 350мм.



### Технические характеристики

Наружный диаметр обрабатываемой ОД, мм	от 50 до 350
Высота обрабатываемой ОД, мм, не более	100
Точность формы обрабатываемой поверхности ОД по параметру СКО на всей световой зоне, при $\lambda=0,63$ мкм, не менее	$\lambda/80$
Величина угла наклона оси вращения шпинделя изделия, в вертикальной плоскости, угл. град., не более	90
Величина перемещения шпинделя инструмента по координатам: - X (перемещение каретки), мм - Y (перемещение траверсы), мм - Z (перемещение пиноли), мм	300 240 100
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	от 0,01 до 25
Амплитуда осцилляции, мм	от 0 до 15
Сила прижима инструмента, Н	от 0,196 до 24,4
Суммарная мощность установленных на станке двигателей, кВт, не более	4,7
Масса станка, кг, не более	600
Габаритные размеры станка, мм, не более: Д x Ш x В	1000x1000x1800

Программа управления станком записана в промышленный компьютер стойки управления



Открытое акционерное общество

"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25.  
тел. (017) 263-80-52, факс: (017) 267-47-80,  
E-mail: os\_vt@mail.belpak.by, <http://www.osvt.by>

## СТАНОК ПОЛИРОВАЛЬНО-ДОВОДОЧНЫЙ АП-1000

Станок предназначен для автоматизированной доводки малоразмерным полировальным инструментом плоских, сферических и асферических поверхностей деталей диаметром до 1000мм.



### Технические характеристики

Наружный диаметр обрабатываемой ОД, мм	от 200 до 1000
Высота обрабатываемой ОД, мм, не более	150
Точность формы обрабатываемой поверхности ОД по параметру СКО на всей световой зоне, при $\lambda=0,63$ мкм. не менее	$\lambda/80$
Величина перемещения шпинделя инструмента по координатам: - X (перемещение каретки), мм - Y (перемещение траверсы), мм - Z (перемещение пиноли), мм	1025 940 77
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	от 40 до 240
Амплитуда осцилляции, мм	от 0,5 до 35
Сила прижима инструмента, Н	от 3,92 до 372,4
Суммарная мощность установленных на станке двигателей, кВт, не более	10,2
Масса станка, кг, не более	2850
Габаритные размеры станка, мм, не более: Д x Ш x В	3650x2780x2270

Программа управления станком записана в промышленный компьютер стойки управления.



**Открытое акционерное общество  
"Оптическое станкостроение и вакуумная техника"**

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25.  
тел. (017) 263-80-52, факс: (017) 267-47-80,  
E-mail: [os\\_vt@mail.belpak.by](mailto:os_vt@mail.belpak.by) , <http://www.osvt.by>

**СТАНОК АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИРОВАЛЬНО-  
ДОВОДОЧНЫЙ С ЧПУ модели АПД-500**



Станок предназначен для автоматизированной доводки методом ретуши рабочих поверхностей плоских и сферических оптических деталей диаметром от 70 до 500 мм.

**Технические характеристики**

Наружный диаметр обрабатываемой ОД, мм	от 70 до 500
Высота обрабатываемой ОД, мм, не более	100
Точность формы обрабатываемой поверхности ОД по параметру СКО на всей световой зоне, при $\lambda=0,63$ мкм, не менее	$\lambda/100$
Величина угла наклона оси вращения шпинделя изделия, в вертикальной плоскости, угл. град., не более	45
Величина перемещения шпинделя инструмента по координатам: - X (перемещение каретки), мм - Y (перемещение траверсы), мм - Z (перемещение пиноли), мм	$\pm 250$ $\pm 250$ 110
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	от 1 до 500
Частота вращения шпинделя изделия, об/мин	от 0,01 до 25
Амплитуда осцилляции, мм	от 0 до 15
Сила прижима инструмента, кгс	от 0,02 до 2,5
Суммарная мощность установленных на станке двигателей, кВт, не более	4,7
Масса станка, кг, не более	1150
Габаритные размеры станка, мм, не более: Д x Ш x В	1950x2100x1800





**Открытое акционерное общество**  
**«Оптическое станкостроение и вакуумная техника»**

220114, РБ, Минск, ул. Филимонова, 25, (017) 263-80-52,  
Факс: (017) 267-47-80 E-mail: os\_vt@mail.belpak.by , <http://www.osvt.by>

## **СТАНОК АЛМАЗНОШЛИФОВАЛЬНЫЙ МОД. АСШ- 350**



Станок модели АСШ-350 предназначен для алмазного шлифования плоских и сферических оптических деталей диаметром от 3 до 350 мм или блоков диаметром от 80 до 350 мм по технологическим переделам:

- шлифование рабочих поверхностей ОД;
- кругление габарита;
- сверление и расшлифовывание отверстий в ОД;
- нанесение конструктивных и технологических фасок;
- центрирование.

Управление работой станка осуществляется по управляющей программе в ручном и автоматическом режиме системы управления (СУ) на базе УЧПУ FAGOR 8055.

Станок обеспечивает надёжное крепление заготовок на наклейном приспособлении, в цанговом патроне или на магнитном столе.

### **Технические характеристики**

Наименование показателя	Величина показателя
Наружный диаметр обрабатываемой ОД (блока), мм	от 3 до 350
Наибольшая высота блока, мм	150
Диаметр посадочной поверхности шпинделя изделия, мм	60
Присоединительные размеры конца шпинделя инструмента по ГОСТ 15945-82	Конус 40
Угол установочного наклона бабки шлифовальной от вертикального положения (в сторону большего перемещения)	от 0° до 47°
Частота вращения шпинделя инструмента, с <sup>-1</sup> (об/мин)	от 33 до 100 (от 2000 до 6000)
Частота вращения шпинделя изделия, с <sup>-1</sup> (об/мин)	от 0,33 до 3,3 (от 20 до 200)
Масса станка (со стойкой управления, электрошкафом и питателем СОЖ), кг, не более	3500
Габаритные размеры станка (со стойкой управления, электрошкафом и питателем СОЖ), мм, не более:	
длина	2500
ширина	1600
высота	2300
Суммарная мощность установленных на станке двигателей, не более, кВт	10,5

Станок может комплектоваться по требованию Заказчика устройством очистки от аэрозолей «Вихрь»



## РЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ, ПУТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

\*ПЕЛИХ С.А., \*\*ПЕЛИХ И.С.

\*Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

\*\*Московский технический университет, г. Москва

E-mail: dashkevich\_alesya@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены подходы к разработке политики опережающего развития, направленной на преодоление экономического кризиса. Исследованы особенности экономического кризиса и пути его преодоления.

**Ключевые слова:** опережающее развитие, кризис, технологический уклад, глобализация, институциональная система, инновационная стратегия, интеллектуальный потенциал, синергетический эффект, кластер, японские кейрацу, корейские чаболи, конкурентоспособность, сценарий развития.

## REINDUSTRIALIZATION, WAYS OF ITS REALIZATION

\*PELIKH S., \*\*PELIKH I.

\*Academy of management under the President of the Republic of Belarus, Minsk

\*\*Moscow technical University, Moscow

E-mail: dashkevich\_alesya@mail.ru

**Abstract.** The article describes the approaches to the development of advanced development policy aimed at overcoming the economic crisis. The features of the economic crisis and ways to overcome it are researched.

**Keywords:** advanced development, crisis, technological way, globalization, institutional system, innovative strategy, intellectual potential, synergies, cluster, Japanese keyratsu, Korean chaboli, competitiveness, scenario.

Кризис, переживаемый в настоящее время ведущими странами, не был неожиданностью. Специалисты в области долгосрочного технико-экономического развития заблаговременно предупреждали о надвигающемся структурном и финансовом кризисе мировой экономики. Тем. не менее в деловых кругах

доминировало благодушное ожидание продолжения финансового бума, поддерживаемого новыми, все более сложными и виртуальными финансовыми инструментами.

За исключением Китая и Индии, которые предусмотрительно развили институты стратегического планирования и сохранили

валютный контроль, руководство ведущих стран доверилось агентам неолиберального течения развития экономики и привело свои страны к кризису. На этом фоне продолжающихся кризисных явлений экономический рост Китая и Индии является наглядным свидетельством значения самостоятельной валютно-финансовой, промышленной, структурной и монетарной политики, умелого применения широкого арсенала методов государственного регулирования кредитной и финансовой среды.

Наглядным доказательством прямой зависимости между глубиной кризиса и степенью дерегулирования экономики является ситуация в странах СНГ. Самый большой спад в экономике произошел в России и Украине. Белорусам удалось избежать глубокого спада благодаря активной аграрной, промышленной, структурной политике, умелому вмешательству государства в экономическую деятельность.

Дальнейшее развертывание кризиса в ведущих странах мира будет определяться сочетанием двух процессов – разрушения прежних экономических структур и становления новых. При этом существующие ныне финансовые, хозяйственные и политические институты либо перестроятся в соответствии с потребностями роста новых производственно-технологических систем, либо прекратят свое существование. Исторический опыт показывает, что с преодолением структурных кризисов такого рода и выходом мировой экономики на новую длинную волну экономического роста меняется не только технологическая структура экономики, но и ее институциональная система, а также состав лидирующих фирм, стран и регионов.

Выход из нынешней депрессии также будет сопровождаться масштабными геополитическими и экономическими изменениями. Не исключен коллапс ядра мировой капиталистической системы и обслуживающих его финансовых институтов. Мировая финансовая система становится поливалютной, а глобализация сменяется глокализацией – формированием крупных региональных

экономических союзов с ведущей ролью азиатско-тихоокеанского региона в мировой экономике.

При благоприятном сценарии выхода из кризиса глобализация станет более управляемой и сбалансированной с точки зрения интересов ведущих стран мира. Вероятно, усилится значение международных институтов регулирования экономики, возможно появление наднациональных институтов регулирования рынков и мировой валюты.

Кризис окажет различное влияние на разные страны в зависимости от сочетания объективного состояния их научно-технического потенциала и эффективности экономической политики. Он может быть катастрофическим для одних стран и регионов и управляемым для других. Следует понимать, что страны и институты ядра мировой финансовой системы будут пытаться использовать свое доминирующее положение для выживания за счет присвоения ресурсов периферийных стран путем установления контроля за их активами. Достигаться это будет обменом эмиссии резервных валют на собственность принимающих эти валюты стран.

Для любой страны необходимым условием благополучного выхода из кризиса является наличие собственной стратегии, ориентированной на сохранение своего экономического потенциала и опережающее создание предпосылок роста новых производств. Это предполагает защиту стратегических активов и внутреннего рынка в технической и структурной политике по выращиванию конкурентоспособных предприятий на перспективных направлениях экономического роста. Для этого необходимы эффективная система стратегического планирования и мощная национальная финансово-инвестиционная система, опирающаяся на внутренние источники кредита и защищенная от дестабилизирующих воздействий мирового финансового рынка.

Ведущая российская научная школа (Д.С. Львов, С.Ю. Глазьев, С.С. Губанов, А.В. Бузгалин, В.П. Орешин) убедительно доказывает, что теория долгосрочного технико-эконо-

мического развития есть процесс последовательной смены технологических укладов. Глубинные причины переживаемого в настоящее время мирового финансового кризиса связаны с замещением доминирующих в настоящее время 4-х-5-х технологических укладов на 6-й уклад. Преодоление кризиса произойдет на новой длинной волне экономического роста, материально-техническую основу которого составит очередной технологический уклад, ключевым фактором которого является сочетание нано-, био- и информационных технологий. Это, например, биотехнологии, основанные на достижениях молекулярной биологии и генной инженерии, нанотехнологии, системы искусственного интеллекта, глобальные информационные сети и высокоскоростные транспортные системы, энергетика, основанная на возобновляемых источниках энергии и др. Их распространение революционизирует традиционные и породит новые направления экономического роста, повышая экономическую эффективность производства и расширяя возможности потребления, создавая новые сферы экономической деятельности [1, с.231].

При любом из возможных сценариев развертывания глобального кризиса, подъем экономики Республики Беларусь, России и Украины возможен только на основе нового технологического уклада при наличии самодостаточной, опирающейся на внутренние источники денежного предложения кредитно-финансовой системы. Ключевая идея формирования эффективной антикризисной стратегии заключается в опережающем становлении базисных производств нового технологического уклада в экономике наших стран и ее скорейшем выводе на связанную с ним длинную волну экономического развития. Для этого необходима концентрация ресурсов в развитии составляющих новый технологический уклад производственно-технических комплексов, что предполагает проведение целенаправленной денежно-кредитной политики. Создание необходимой для этого системы макроэкономического

регулирования, включающей механизмы денежно-кредитной, налоговой, бюджетной и валютной политики, ориентированность на становление ядра нового технологического уклада, должно стать стержнем инновационной стратегии. Необходимым условием ее успеха является достижение синергетического эффекта, что предполагает комплексность формирования сопряженных кластеров производств нового уклада и согласованность макроэкономической политики с приоритетами долгосрочного технико-экономического развития.

В силу объективной неопределенности результатов нововведений, нелинейности связанных с их внедрением экономических эффектов, значительная часть которых является экстернальными, механизмы рыночной конкуренции не обеспечивают оптимизации использования имеющегося научно-технического и интеллектуального потенциалов. Это предопределяет критическую зависимость процессов накопления и реализации интеллектуального потенциала от общей культуры хозяйственной деятельности, политики государства, на которую приходится от 30% до 50% расходов на науку и образование, финансирование долгосрочных инвестиций в развитие инфраструктуры, а также поддержание благоприятного инновационного климата.

Коренное изменение регулирующей роли государства в современном мире, обретение им нового качества - информационно-аналитического, прогнозирующе-стратегического, а потому – социального и демократического – стало важным итогом неоиндустриальной революции. Поэтому формирование современной структурной промышленной политики государственного развития – важнейшая стратегическая задача в нынешних условиях.

Становление нового технологического уклада происходит путем формирования кластеров технологически сопряженных производств, образующихся по направлениям распространения его ключевого фактора. Ведущую роль в координации инновационных процессов в кластерах технологически

сопряженных производств играют крупные компании и бизнес-группы. Они являются системными частями инновационного процесса, который проходит в разных звеньях инновационной системы. Крупные наукоемкие компании могут взять на себя масштабные финансовые и технологические риски при разработке новых технологий. Такие компании контролируют сбытовые каналы, являются владельцами форматов и стандартов, что становится важным конкурентным преимуществом на высокотехнологических рынках, они создают и развивают технологические платформы [2, с.113].

Поучительным представляется опыт японских кейрацу или корейских чаболей, обеспечивающих решение задач расширения планового горизонта рыночных агентов, концентрации ресурсов на прорывных направлениях НТП, опираясь на государственное индикативное планирование и преобладание стратегических инвесторов (поставщики, потребители, банки) среди своих акционеров. В их состав обязательно входит банк, участие которого в деятельности является определяющим. Создание таких компаний – стратегическая задача государственного управления наших стран.

В Беларуси, например, это могут быть ТНК в нефтехимическом секторе, сельскохозяйственном машиностроении, оптико-электронном машиностроении и т.д. Необходимо восстановление длинных технологических цепочек разработки и производства наукоемкой продукции. Критерием выбора такой продукции является высокая добавленная стоимость.

Для этого следует, с одной стороны, провести воссоединение разорванных приватизацией или неумелым руководством технологически сопряженных производств, а с другой стороны стимулировать развитие новых наукоемких компаний, доказавших свою конкурентоспособность.

Надо помнить, что максимальную добавленную стоимость получает фирма, которая создает сложное наукоемкое изделие. Все промежуточные технологические переделы

получают в несколько раз меньше. Обычно ТНК создают вертикально-интегрированные комплексы, которые, получая высокую прибыль в конце процесса, потом распределяют ее по своим соображениям. При этом они только 30% узлов делают сами, а остальные получают из периферийных стран.

Формирование антикризисной стратегии должно предусматривать:

- создание системы стратегического планирования, способной выявлять перспективные направления экономического роста, а также направлять деятельность государственных институтов развития на их реализацию;

- формирование каналов финансирования проектов создания и развития производственно-технологических комплексов нового технологического уклада и сфер потребления их продукции;

- настройку макроэкономической политики на обеспечение благоприятных условий инновационной деятельности.

Система стратегического планирования должна включать: выбор приоритетов технико-экономического развития; инструменты и механизмы их реализации; институты организации соответствующей деятельности и методы контроля за достижением необходимых результатов.

К числу таких инструментариев, несомненно, относится форсайт. Применение форсайта даст мощный толчок для улучшения сложившейся ситуации, будет воплощением новых знаний. Значимость форсайта определяется тем, что он представляет собой информационную площадку, которая позволяет широко и свободно обсуждать проблемы развития науки и технологий с участием самых различных групп, сословий, слоев общества, правительственных организаций, предпринимателей банков. Реализация этого инструментария обеспечит практическую ориентацию экономических систем макро-, мезо- и микроуровня на вопросы предвидения своего будущего, готовности к сотрудничеству, концентрации на долгосрочной перспективе, объединения усилий и ресурсов инновационной деятельности.



В Китае для составления концепции развития до 2050-2100 было привлечено 52 группы ученых-экспертов с проведением оппонирования этих сценариев.

Для достройки системы стратегического планирования необходимо ввести нормы ответственности за достижение планируемых результатов и связать с ней инструменты макроэкономической политики. Решение первой задачи требует установления правовых норм экономической ответственности организаций и административной ответственности руководителей за выполнение устанавливаемых правительством целевых показателей развития.

Ориентация налогово-бюджетной политики на цели развития предполагает снижение налоговой нагрузки на все виды инновационной и высокотехнологической деятельности, а также приоритетное выделение бюджетных ассигнований на поддержку критически значимых для становления нового технологического уклада государственных расходов. Исходя из его структуры и опыта передовых стран, необходимо как минимум полуторакратное увеличение государственных расходов на здравоохранение и образование, являющихся несущими отраслями нового технологического уклада, двукратное увеличение ассигнований на науку. При этом увеличение финансирования следует концентрировать на перспективных направлениях развития нового технологического уклада, в которых наши организации имеют конкурентные преимущества. В частности, необходимо на порядок увеличить финансирование научных разработок в сфере молекулярной биологии, геномной инженерии и оптико-электроники, клеточных, вакуумных технологий, изготовления нанотехнологического оборудования, лазерных технологии, гелиоэнергетики, нанопорошков и новых материалов. Важной составляющей бюджетной политики должна стать ориентация госзакупок на приобретение высокотехнологической продукции отечественного производства.

В этих условиях денежная эмиссия должна иметь целевой характер и канализироваться

государством в приоритетных направлениях роста экономической активности. Многие критически важные для становления нового технологического уклада расходы, включая финансирование фундаментальных исследований, создание телекоммуникационной инфраструктуры, проведение испытаний новых технологий и т.д., могут быть осуществлены только при бюджетной поддержке.

Скорейшее внедрение ипотеки, предусмотренное решениями IV, V Всебелорусских собраний освободит для этого значительные бюджетные средства.

В период реализации антикризисной политики не следует ограничивать дефицит бюджета, финансируя его за счет внутренних источников и покрывая рост государственных заимствований путем эквивалентной эмиссии денег на рефинансирование коммерческих банков под залог государственных обязательств. При этом доходность последних не должна превышать среднюю норму прибыли в обрабатывающей промышленности.

Дефицит бюджета может составлять 60% ВВП как это прописано решениями Маастрихтского договора. Китай с самого начала реформ умело использует внутренние заимствования.

Инструменты денежно-кредитной политики должны обеспечить адекватное денежное предложение для расширенного воспроизводства и опережающего развития экономики на перспективных направлениях становления нового технологического уклада. Необходимо создать общепринятый в развитых странах эмиссионный механизм рефинансирования Национальным банком коммерческих банков под увеличение их кредитных требований к предприятиям реального сектора и в меру роста финансовых потребностей развивающейся экономики. Наш собственный и мировой опыт позволяет сконструировать оптимальные механизмы денежного предложения, замкнутые на кредитование реального сектора экономики и приоритетные направления ее развития. Для этого следует увязать условия доступа коммерческих банков к рефинансированию со сторо-

ны Национального банка с обязательствами по целевому использованию получаемых от государства кредитных ресурсов для финансирования производственных предприятий и приоритетных направлений хозяйственной деятельности. Это можно сделать комбинацией косвенных (рефинансирование под залог облигаций и векселей платежеспособных предприятий) и прямых (софинансирование государственных программ, предоставление госгарантий) способов денежного предложения. Посредством ломбардного списка Национального банка и лимитов госгарантий государство сможет избирательно воздействовать на денежные потоки, обеспечивая расширенное воспроизводство системообразующих предприятий, благоприятные условия для роста экономической активности и привлечения инвестиций в приоритетные направления развития.

Проще говоря, Национальному банку следует выдавать кредиты на рефинансирование коммерческих банков не до их предоставления конечным заемщикам, а после. В этом случае, чтобы получить кредит в Национальном банке, коммерческий банк должен будет вначале предоставить кредит предприятию. Лишь затем под его обязательство (вексель) он получит соответствующий заем в Национальном банке.

В условиях мирового кризиса развитие финансового сектора страны возможно только на основе опережающего роста внутреннего платежеспособного спроса в сравнении с внешним. Это нужно организовать через определенную промышленную политику, результатом которой должно стать внутреннее производство товаров и услуг в объеме не менее 60% ВВП. Это создаст такой прочный фундамент нашего устойчивого развития, которому не страшны будут никакие кризисы. Для Беларуси, например, эта задача перейти до 2030 г. полностью (наряду с атомной) на энергетику с применением возобновляемых источников. Придется создать целую отрасль для изготовления энергопроизводящего оборудования, которая задействует несколько десятков тысяч рабочих мест с гарантирован-

ным сбытом продукции. Всю строительную отрасль надо перестроить на изготовление всех элементов внутри страны (окна, двери, полы) из натурального дерева и т.д. Это создаст до 100 000 рабочих мест и т.д.

В этой связи реструктуризация финансового сектора должна ориентироваться на рост банковской системы в сочетании с ограничением финансовых спекуляций и стимулированием долгосрочных инвестиций, с инструментами развития и венчурного финансирования.

Важным условием реализации собственной антикризисной стратегии является отказ от использования зарубежных рейтинговых агентств для оценки надежности тех или иных заемщиков.

При этом ставка рефинансирования не должна превышать среднюю норму прибыли в обрабатывающей промышленности (в соответствии с международной практикой она должна находиться в пределах 4-6%), а сроки предоставления кредитов – соответствовать типичной длительности научно-производственного цикла производства машиностроительной продукции (2-7 лет).

В наших странах требуется серьезное внимание к основополагающим монетарным факторам. Прежде всего к наполнению экономики соответствующей денежной массой. Так Беларусь имеет всего, 23% денежной массы от ВВП. Россия и Украина имеет больше, но это значительно меньше 100%.

Необходимым условием перехода к политике длинных и дешевых денег для реального сектора экономики является восстановление валютного контроля, предусматривающее введение разрешительного порядка осуществления операций капитального характера при сохранении свободной конвертируемости рубля по текущим операциям. Без этого не удастся снизить процентные ставки и расширить до нужных масштабов (в 2-3 раза) кредитование реального сектора экономики. Важным элементом этой политики могла бы стать стабилизация обменного курса рубля в период антикризисных мер, а также введение обязательной продажи валютной выручки.

Это устранил потребность в крупных интервенциях Национального банка на валютном рынке и сэкономит валютные резервы для более важных целей. Будут остановлены механизмы долларизации экономики, отпадет необходимость в поддержании высокой процентной ставки.

Для повышения привлекательности операций в рублях целесообразно использовать фиксацию и последовательное уменьшение валютной позиции коммерческих банков, увеличение норм резервирования по их валютным операциям, ограничение системы госгарантий по банковским вкладам исключительно вкладами в рублях, восстановить налог на валютнообменные операции. Целесообразность этих мер определяется необходимостью не только борьбы с вывозом капитала, но и нейтрализации угроз дестабилизации финансового рынка и национальной безопасности в связи с ожидаемой экспансией иностранного спекулятивного капитала вследствие лавинообразно нарастающей долларовой эмиссии под монетизацию деривативов для спасения американских финансовых институтов.

В условиях нарастающей дестабилизации мировой валютно-финансовой системы нужно, с одной стороны, защитить внутренний рынок от набегов быстро увеличивающихся масс иностранного спекулятивного капитала, а, с другой стороны, расширять сферу использования собственной валюты. Для расширения сферы использования рублей в международных расчетах необходимо перейти на ценообразование и внешнюю торговлю за рубли, обеспечить рублевое кредитование экспорта товаров, а также максимально удешевить операции по обмену национальных валют интегрированных государств СНГ. Последняя задача может быть решена при помощи Межбанка СНГ, который, имея корреспондентские отношения с центральными банками всех государств Содружества, может на порядок снизить транзакционные издержки валютнообменных операций. Можно также воспользоваться механизмом валютных свопов, широко используемых ФРС

США и Китаем для поддержания спроса на свою валюту и расширения возможностей кредитования торговли.

Наряду с мерами по формированию национальной кредитно-инвестиционной системы должны быть приняты меры по защите финансовых институтов от разрушительных колебаний финансового рынка. Они могут включать дополнительные формы страхования кредитных рисков, расширение коридора соответствующих контрольных нормативов, изменение правил оценки залогов, ограничение маржинальных требований, введение методик оценки имущества, предусматривающих стабилизацию его стоимости. После принятия всех перечисленных выше мер возможно наращивание денежного предложения как необходимое условие поддержания внутреннего спроса, подъема инвестиционной и инновационной активности. В отличие от эмитентов мировых валют кризис в наших странах вызван не избытком денежного предложения и связанных с ним финансовых пузырей, а хронической недомонетизацией экономики, которая длительное время работала на износ вследствие острого недостатка кредитов и инвестиций. Наша экономика нуждается в существенном расширении денежного предложения для восстановления внутреннего рынка, подъема инновационной и инвестиционной активности в целях модернизации и опережающего развития.

Формирование опирающейся на внутренние источники финансово-инвестиционной системы позволит наращивать и максимально использовать сбережения, более трети которых в течение всего постсоветского периода выводились за рубеж. Это создаст условия для повышения нормы накопления. В Республике Беларусь последние 10 лет норма сбережений населения составляет двухмесячный средний доход, в Китае, например, норма сбережений составляет 13-ти месячный доход. Как показывает наш собственный и зарубежный опыт, для опережающего развития норма накопления должна составлять около трети ВВП. Для соответствующего повышения нормы сбережения целесообразно

но применение мер по дестимулированию расточительного и демонстративного потребления (введение прогрессивных налогов на сверхдоходы и имущество физических лиц, акцизов на продажи предметов роскоши и пр.) и стимулированию накоплений.

Кроме адекватной денежно-кредитной политики, инновационная стратегия должна включать активную промышленную политику, стимулирующую «точки роста» в общей депрессивной среде. При этом наибольшее значение имеют «точки роста» с большим мультипликатором, стимулирующие экономическую активность в большом числе технологически сопряженных производств.

Важным элементом промышленной политики наряду с формированием поддерживаемых государством крупных интегрированных корпораций должно стать стимулирование спроса на отечественное оборудование посредством соответствующего регулирования госзакупок и закупок контролируемых и поддерживаемых государством предприятий. Необходимы жесткие административные меры по ответственности их руководителей за соблюдение приоритетности закупок отечественной техники.

Важным направлением антикризисной стратегии является расширение экономического пространства путем создания Евразийского экономического союза. Создание интеграционных объединений расширяет возможности развития экономики, повышает ее устойчивость к внешним шокам, увеличивает масштаб деятельности и конкурентные преимущества наших предприятий. Реализуя общую антикризисную стратегию, государства БАЭС повышают свои возможности выхода из кризиса на траекторию опережающего развития.

Значительное увеличение денежного предложения, предусматриваемое антикризисной стратегией, требует кардинального повышения эффективности экономической политики в целях подавления инфляции. Инфляция вызывается в основном перманентным повышением цен до мировых. Следует осуществить переход масштаба цен до мировых пропорций.

Социальная составляющая антикризисной стратегии должна фокусироваться на поддержании на приемлемом уровне социальной инфраструктуры, а также на расширении возможностей для самореализации граждан (например, обучение безработных современным информационным технологиям, развертывание систем микрокредитования).

В условиях нарастающего хаоса и турбулентности на мировых рынках необходимо предусмотреть создание системы защиты экономической безопасности страны. Эта система, наряду с охарактеризованными выше инструментами валютного контроля, должна располагать защитными контурами финансовой, распределительной и имущественных систем.

Защита систем воспроизводства человеческого капитала должна гарантироваться переводом соответствующих статей бюджета в режим защищенных вне зависимости от бюджетных доходов. Необходимо также создание стратегических резервов основных сырьевых товаров, продовольствия и лекарств в целях поддержания производства и импорта критически значимых товаров.

При любом сценарии дальнейшего развертывания глобального кризиса страна должна сохранять возможность самостоятельной политики и влияния на глобальную ситуацию.

Важнейшей задачей инновационной политики является проблема создания интеллектуального потенциала нашей страны.

Эффективность использования интеллектуального капитала в наших странах, это, прежде всего, проблема его создания, защиты и капитализации.

Действительно в капитале субъектов хозяйствования развитых стран интеллектуальный капитал составляет 85-98%.

#### *Список литературы:*

1. Бодрунов, С.Д. Формирование стратегии реиндустриализации России / С.Д. Бодрунов. - Изд. 2 перераб. и доп. - СПб.: БИНИР, 2015. - 551с.
2. Глазьев, С.Ю. Уроки очередной российской революции : крах либеральной утопии и шанс на экономическое чудо / С.Ю. Глазьев. - Изд. доп. - М.: Экономическая газета, 2011. - 576с.



## *Корницкому Игорю Петровичу – 85 лет*



### *Уважаемый Игорь Петрович!*

*Мы гордимся тем, что Вы являетесь постоянным членом Президиума Общественной научно-технической академии «Контенант» на протяжении всей её истории.*

*Вы всю свою сознательную жизнь посвятили служению отечественной оптической науке во всем спектре её применения.*

*Закончив Киевский политехнический институт, Вы 22 года посвятили Киевскому заводу «Арсенал», пройдя путь от мастера до технического директора – первого заместителя генерального директора.*

*В середине 70-х годов Вы возглавили оптическую отрасль оборонной промышленности, где ярко проявились Ваши качества талантливого организатора и руководителя государственного масштаба.*

*Под Вашим руководством отрасль получила новый импульс в своем развитии, став еще более наукоемкой и высокотехнологичной.*

*Родились новые научные направления, расширились существующие, появились новые современные производственные мощности.*

*Вы вложили свой вклад в создание высокоточных систем прицеливания для ракетных комплексов всех типов и видов базирования, оптико-электронные системы для бронетанковой техники и авиации, оптико-электронные приборы для систем управления*

*полетом и навигации космических аппаратов, специальная аппаратура для съемки и наблюдения из космоса, комплекс аппаратуры для контроля околоземного космического пространства, лазерная техника различных видов и назначения и это не полный перечень научно-технических направлений, осуществляемых под Вашим руководством.*

*Под Вашим же руководством были построены, оснащены прогрессивным оборудованием, новейшими технологиями и высокопрофессиональным персоналом новые предприятия отрасли.*

*Вы, Игорь Петрович, славились своим умением подобрать, правильно расставить и сплотить руководящие кадры оптической отрасли.*

*Верный своему профессиональному долгу, ясно видящий роль и значение современной науки и технического прогресса на протяжении всей своей жизни Вы тратите много сил, знаний, умения и убежденность на развитие оптической науки в интересах Родины.*

*Ваши достижения отмечены высокими государственными наградами и званиями.*

*Вы являетесь лауреатом Ленинской и Государственной премий, награждены орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, За заслуги перед Отечеством IV степени, многими медалями.*

*Вам присвоено звание «Заслуженный машиностроитель Российской Федерации».*

*Огромный вклад Вы внесли в создание и развитие Общественной научно-технической академии «Контенант» в области оптических наук, направляя её деятельность на решение современных научных задач предприятиями оптической отрасли.*

*Президиум академии «Контенант» поздравляет Вас с 85-летием и желает крепкого здоровья и больших успехов во всех Ваших делах.*

*Президиум  
Общественной научно-технической  
академии «Контенант»*



КРАСНОГОРСКОМУ ЗАВОДУ

им. С.А.Зверева

75 лет



## История Красногорского механического ...

*Калюгин В.С. – генеральный директор*

### *Предыстория ...*

Перелистывая страницы истории ПАО КМЗ, можно проследить, как много одно предприятие сделало для своей страны и своего народа. Научные изделия, разработанные и созданные на базе завода, не раз подтверждали статус СССР и Российской Федерации как передовых держав. Фотоаппараты, которые были в каждом доме и служили не один десяток лет, до сих пор являются визитной карточкой завода во многих странах мира. Но поистине уникально то, что история предприятия тесно переплетается со становлением и развитием оптической отрасли в России и с зарождением подмосковного города Красногорска, который возник благодаря Красногорскому механическому заводу.

История создания предприятия уходит своими корнями в далекий 1905 год, когда российское правительство заключило договоры на открытие филиалов немецких фирм Carl Zeiss и Herz в Риге. Именно здесь постигали азы оптического производства будущие основатели Красногорского завода: В.М. Базилевич, Д.А. Пышный, А.Д. Смирнов, В.Ф. Юрге. После начала первой мировой войны заводы Carl Zeiss и Herz переводят в собственность государства и эвакуируют из Риги в Петроград. Здесь оба предприятия объединяют и создают на их базе первый в России государственный оптический завод.

В феврале 1917 года оптический завод, как и другие предприятия Петрограда, забастовал, работы не было. Советское правительство решает эвакуировать петроградскую оптическую промышленность, и в конце марта 1918 года на общем собрании был оглашен приказ о переводе завода в Воронеж. Но уже летом 1918 года



Здание оптических мастерских немецких фирм Carl Zeiss и Herz, г. Рига, 1914 г.

снова пришлось снимать все оборудование и грузить его в вагоны. Оставаться в Воронеже было опасно, с юга угрожал генерал П.Н. Краснов. На этот раз станцией назначения был выбран город Пермь. Из рабочих туда отправили только кадровых оптиков, без которых невозможно было развернуть производство на новом месте. Но в октябре того же года завод снова пришлось перевозить, на этот раз в Подольск, где оптическое производство обосновалось почти на 10 лет. В Подольске завод переключился на выпуск гражданской продукции.

Так в 1924 году предприятие приступило к изготовлению очков. В 1926 году начинается перевод завода из Подольска в маленький поселок Баньки в Павшинской волости Московского уезда. Весной 1927 года был отправлен последний эшелон с оборудованием, которое было полностью смонтировано на новом месте уже в августе того же года. А вскоре предприятие было переименовано в завод точной механики №19. В 1934 году завод точной механики №19 получает новый номер – завод №69. А в 1937 году предприятие переводят из Наркомата оборонной промышлен



ности в Наркомат внутренних дел с наименованием «Особый завод НКВД», который стал одним из передовых оптико-механических предприятий страны.

В апреле 1939 года Особому заводу №69 было присвоено имя В.И. Ленина, а 66 работников награждены орденами и медалями.

22 июня 1941 года началась Великая Отечественная война. Завод №69 сразу же перешел на работу без выходных дней. 3 июля в столице и Подмосковье начали формироваться батальоны, полки и дивизии народного ополчения. Записываться шли цехами, участками, бригадами, семьями. В октябре 1941 года завод был эвакуирован в г. Новосибирск, а в опустевших цехах разместили ремонтные мастерские воинских частей.

Такова предыстория Красногорского механического...

Но уже в феврале 1942 года, после того, как войска противника были отброшены от Москвы, на площадях завода имени В.И. Ленина было решено создать новое оптико-механическое предприятие - Государственный союзный завод №393 НКВ СССР (приказ Наркома вооружения СССР №63 от 1 февраля 1942 года). Основными направлениями развития завода стали разработка и изготовление гражданской продукции (фотокинотехники и научной аппаратуры) и специальной техники (аэрофотооборудования, прицельных устройств). Впоследствии предприятие переименовали в Красногорский механический завод.

С марта 1942 г. начался выпуск первых оптико-механических приборов: большой

стереотрубы (БСТ), танковой командирской панорамы (ПТК-5), перископической артиллерийской буссоли (ПАБ), минометного прицела (МПБ-8). С 1942-го по 1945 годы заводом выпущено свыше 400 тысяч приборов для нужд Красной Армии. Одновременно с наращиванием мощностей завода создаются специализированные КБ, которые в 1948 году постановлением Правительства объединяются в крупное Центральное конструкторское бюро (ЦКБ, ныне НТЦ) со своей экспериментальной и исследовательской базой. С этого времени практически вся продукция завода выпускается по собственным разработкам.

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» сегодня - это крупнейший научно-производственный центр отечественной оптико-механической и оптико-электронной промышленности. Юридически год основания предприятия - 1942-й, акционировано в 1993 году.

Производственная деятельность ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» направлена на разработку и организацию серийного производства образцов и комплексов широкой номенклатуры специальной и гражданской техники. Из этой номенклатуры особо выделяется тематика, по которой предприятие фактически является монополистом в Российской Федерации и на всём постсоветском пространстве.

За 75 лет на заводе создано более 50 наименований аэрофотоаппаратуры для 32 типов самолетов, среди них целые линейки кадровых, щелевых, панорамных и спектрональных аэрофотоаппаратов как для





пилотируемых, так и для беспилотных носителей, для фотосъемки земной поверхности с малых, средних и больших высот во всем диапазоне скоростей полёта.

Благодаря собственным конкурентоспособным разработкам, ПАО КМЗ является одним из мировых лидеров среди фирм, производящих аэрофотоаппаратуру (АФА) различного назначения. Аэрофотоснимки земной поверхности, полученные с помощью АФА разработки ПАО КМЗ, отличаются высоким качеством изображения, а сами АФА - большой надежностью работы в сложных климатических условиях. Среди последних разработок ПАО КМЗ цифровой аэрофототелевизионный аппарат АК-108ФТ для съемки объектов с больших высот и на больших дальностях и цифровой аэрофотоаппарат для средних высот АК-115Э.

Начало космической эры - запуски первых советских искусственных спутников Земли (ИСЗ) и первые высокого качества фотоснимки Земли с высоты в 200 км с высотной геофизической ракеты специальным фотоаппаратом Красногорского завода в 1957 году. Принятые Программы по созданию космических комплексов для изучения Земли, Луны и планет солнечной системы явились основополагающими для планомерного и целенаправленного создания и развития средств видового наблюдения. За короткий период предприятием были созданы:

- аппаратура для автоматической межпланетной станции «Луна», обеспечившая в 1959 году первую в мире фотосъемку обратной стороны Луны;
- фотоаппаратура топографического и обзорного наблюдения земной поверхности с ИСЗ серии «Космос», обеспечившая в первые фотосъемку и начало систематического наблюдения Земли, с 1962 г. аппаратура была принята на серийное производство;
- аппаратура кругового обзора для автоматической лунной станции (АЛС). 3 февраля 1966 г. с АЛС «Луна-9» получены фотографии лунной поверхности;
- топографическая аппаратура и аппаратура информационного наполнения топо-



графических карт, обеспечившая создание первых топокарт недоступных территорий;

- аппаратура детального видового наблюдения земной поверхности с ИСЗ серии «Космос»;
- оптико-телевизионная аппаратура для первых ИСЗ «Метеор»;
- аппаратура фототелевизионной съемки поверхности Марса для межпланетной станции «Марс-1»;
- комплекс аппаратуры орбитальной топографической, обзорной и детальной съемки лунной поверхности для станции «ЛОК»;
- ряд комплексов многозональной и спектральной аппаратуры «Природа» для исследования природных ресурсов Земли с ИСЗ «Ресурс-Ф»;
- оптико-электронная аппаратура «Геотон-Л1» для исследования природных ресурсов Земли и предупреждения экологических катастроф.

В последние годы специалисты НТЦ совместно с заводскими подразделениями работают над созданием перспективных средств видео наблюдения в широком спектральном диапазоне — создается широкозахватная многоспектральная аппаратура, аппаратура для малых космических аппаратов, гиперспектральная аппаратура, ведутся работы по созданию ИК-фурье-спектрометров. В результате этих работ в 2013, 2014 и 2016 годах с космодрома

—  
рнал



«Байконур» произведены запуски космического аппарата «Ресурс-П» с многозональной оптико-электронной аппаратурой «Геотон-Л1» и гиперспектральной аппаратурой (ГСА), а 28 апреля запущена первая в истории космодрома «Восточный» ракета-носитель «Союз-2.1а» с тремя российскими спутниками, в составе которых был космический аппарат «Аист-2Д» с оптико-электронной аппаратурой нового поколения «Аврора», разработанной и произведенной ПАО КМЗ.

Работы по обеспечению дистанционного зондирования с ИСЗ ведутся на предприятии более 55 лет, за эти годы созданы: уникальная стендовая и метрологическая база, специфические производственно-технологические мощности, уникальные технологии, обеспечивающие высокое качество и надежность аппаратуры видового наблюдения космических комплексов.

Более 50 лет предприятие создавало аппаратуру для оснащения полигонов и испытательных трасс гражданской авиации оптическими приборами и системами для траекторных измерений. За эти годы созданы и успешно эксплуатировались кинотеодолиты различных классов точности, работающие в различных областях спектра, а также системы кинорегистрации стартовых комплексов, обеспечивающие автоматическое сопровождение, измерение угловых координат, регистрацию объектов авиационной техники на взлете, посадке и трассе, ракет на старте и в полете, головных частей в районах падения. С 90-х годов прошлого столетия приборы внешнетраекторных измерений проектируются

в стационарном и мобильном исполнении, работают в ИК - и видимом диапазонах спектра и базируются на последних достижениях в области высокоточных систем сопровождения, матричных приемников излучения, высокопроизводительной аппаратуры обработки информации с выдачей результатов измерений в реальном масштабе времени.

В 1971 г. на заводе были разработаны, изготовлены и смонтированы в нескольких районах

страны высокоточные астрономические установки Максудова-Соболева, обеспечивающие уникальные по точности наблюдения искусственных спутников Земли.

Предприятие с 1974 года выполняет главную роль по созданию оптико-электронных комплексов и средств контроля космического пространства, обеспечивающих обнаружение естественных и искусственных космических объектов и определение в реальном масштабе времени параметров их движения.

В продолжение работ по созданию аппаратуры наблюдения за искусственными спутниками Земли был создан и в 2004 году поставлен на боевое дежурство уникальный комплекс контроля околоземного космического пространства для целей оперативного получения сведений о космической обстановке, каталогизации космических объектов искусственного происхождения, определения их класса, назначения, текущего состояния и национальной принадлежности, что позволяет получить своевременную информацию о соблюдении международных договоров и соглашений по использованию космоса, об аварийных и нештатных ситуациях на отечественных и зарубежных КО, оценивать техногенное засорение космоса.

С первых дней деятельности предприятие выпускает прицельные, наблюдательные комплексы и системы управления огнем для бронетанкового вооружения. На танках Т-55, Т-62, Т-72, Т-80, Т-90 и их модификациях установлены дневноночные прицельные системы, созданные специалистами завода в кооперации с предпри-



ятиями отрасли. Разработанные варианты модернизации прицельных систем этих танков обеспечивают существенное увеличение эффективности вооружения при минимальных затратах на модернизацию. Высокий технический уровень прицельных систем и СУО определяется высоким уровнем систем дальнометрирования, лазерно-лучевых систем наведения ПТУРС, систем стабилизации оптических и оптико-электронных каналов, элементной базы систем стабилизации, создаваемых предприятием.

Приказом Миноборонпрома СССР №269 от 10.06.1974 г. Красногорский механический завод был определён Головной конструкторской организацией в стране по системам управления огнем танков.

Всего за прошлые годы коллективом предприятия создано более 200 наименований приборов, прицелов, прицельных систем для БТТ, из них в серийном производстве освоено более 150 наименований.

Основной особенностью создаваемых сегодня прицельных систем нового поколения является автоматизация всех процессов поиска целей, их идентификация, подготовка и производство выстрела, что является основным условием создания роботизированных объектов ВТ.

Среди последних разработок Научно-технического центра предприятия модернизированный командирский комплекс «Агат-МДТ», а также тепловизионный прицел наводчика «Ирбис» с использованием отечественного тепловизионного канала и лазерного дальномера. Создание данных изделий позволило ликвидировать



отставание отечественных тепловизионных каналов от зарубежных аналогов по техническому уровню и решить проблему импортозамещения в прицельных системах БТТ.

На базе ПАО КМЗ создан Центр компетенции по разработке и производству оптико-электронных систем и элементов систем управления огнем для бронетанковой техники АО «Швабе». ПАО КМЗ является головной организацией Центра компетенции.

В 70-х годах прошлого столетия на основе накопленного опыта по созданию высокоточного оружия для наземной техники Научно-технический центр предприятия начал разработку систем наведения ПТУРС для объектов тактической авиации. В эти годы для оснащения боевых вертолетов Ми-24В и Ми-24Д были разработаны и поставлены на серийное производство системы наведения ПТУРС «Радуга-Ф» и «Радуга-Ш», унифицированные с наземными системами «Фаланга» и «Штурм-С». В 1995 году принят на вооружение разработанный специалистами НТЦ, не имеющий аналогов в мировом авиационном приборостроении, комплекс «Шквал» для одноместных боевых вертолетов К-50

(«Черная акула») и одноместных самолетов Су-251. Высокая степень автоматизации процессов стрельбы и наведения, автоматическая система слежения за целью, высокие точностные характеристики системы обеспечили одному члену экипажа возможность управления самолетом (вертолетом) и ведения стрельбы всеми имеющимися на борту боеприпасами и попадания ПТУРСами в цель типа «танк» на дальностях применения управляемого и неуправляемого оружия.

Современные обзорно-прицельные системы типа ГОР, разработанные и изготовленные ПАО КМЗ, обеспечивают вертолетам Ми-28Н круглосуточное и всепогодное решение боевых задач на максимальных дальностях.

Относительно молодым, но одним из важнейших направлений деятельности ПАО КМЗ является разработка элементов систем прицеливания оперативных такти-

ских ракетных комплексов и производство и модернизация лазерных целеуказателей и приборов артиллерийской разведки.

С 1993 года ПАО КМЗ было включено в кооперацию по созданию оптико-электронной аппаратуры для оснащения комплекса «Искандер». В 2006 г. комплекс принят на снабжение СВ МО РФ.

Одним из важных направлений деятельности Научно-технического центра является сопровождение производства и модернизация лазерных целеуказателей-дальномеров и приборов артиллерийской разведки:

- лазерных целеуказателей-дальномеров ЛЦД для комплексов управляемого высокоточного вооружения типа «Краснополь», «Китолов-2М», «Смельчак», «Сантиметр», «Малахит»;
- средств синхронизации работы комплексов управляемого вооружения;
- лазерных дальномеров на безопасной для глаз длине волны типа ЛДИ-11;
- средств технического зрения в ночных условиях.

Комплексы управляемого вооружения с набором указанных средств позволяют поразить малоразмерные цели типа «танк» с закрытых артиллерийских позиций на дальностях до 25 км с вероятностью, близкой к 100%.

На протяжении 75 лет предприятием создан ряд других оптико-электронных и оптико-механических автономных приборов в интересах всех силовых структур страны, таких, как полевые приборы наблюдения, бинокли со стабилизированным полем зрения, приборы для решения задач в артиллерии, уникальные снайперские прицелы и т.д.

С момента создания ПАО КМЗ - крупнейшее в СССР и России предприятие по выпуску гражданской продукции. Это известные в мире зеркальные фотоаппараты марки «Зенит», фотоснайперы, панорамные фотоаппараты «Горизонт», семейство штатных и сменных объективов «Зенитар», сверхскоростная фоторегистрирующая аппаратура, автоматизированные ком-

плексы рентгеновского качественного и количественного анализа веществ от лития до урана и ряд других.

История разработки и производства фотоаппаратуры в ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» стала своеобразной летописью отечественного фотодела. Многим поколениям фотографов фотоаппараты, созданные предприятием, служили надежно долгие годы.

Название фотоаппаратов «Зенит» стало торговой маркой завода и принесло ему всемирную известность.

Мировое признание объективов разработки и производства ПАО КМЗ произошло в 1958г., когда на Международной выставке в Брюсселе набор сменных фотографических объективов к зеркальным фотокамерам был удостоен высшей награды - «Гран-при». С тех пор объективы производства предприятия получали самые высокие оценки отечественных и зарубежных потребителей различного уровня - от любителей до профессионалов за отличное изображение, простоту и высокую надежность при приемлемой цене.

За время существования предприятия разработаны и выпускались серийно практически для всех отраслей народного хозяйства объективы с фокусным расстоянием от нескольких миллиметров до нескольких метров, а также с переменным фокусным расстоянием, с диаметрами линз от 5 до 600 мм, линзовые и зеркальные, с угловыми полями зрения от долей градуса до 180 градусов, работающие в ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной областях спектра, при ударных нагрузках в десятки тысяч «д», в космосе, под водой, в тропиках и на Северном полюсе.

ПАО КМЗ было и остается одним из крупнейших в России и СНГ разработчиков и производителей широкой гаммы объективов различного назначения.

Созданием изделий медицинской техники предприятие занимается с 1971 года. Вначале это были различные фоторегистрирующие устройства при эндоскопических и офтальмологических исследованиях, флюорографии и т.п. медицинских



С 1993 года разработки предприятия стали носить более комплексный характер: создаются комплексы, обеспечивающие наиболее раннюю диагностику заболеваний, в составе медицинских кабинетов с набором всей необходимой аппаратуры и инструментария.

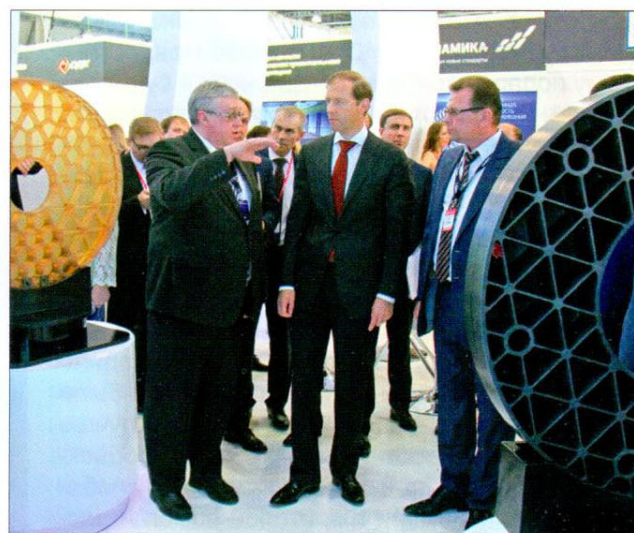
Для оснащения медицинских кабинетов разработаны и выпускаются универсальные медицинские кресла, бинокулярный кольпоскоп с цифровой видеонасадкой, щелевая лампа с цифровой насадкой для офтальмологических исследований, установки для разрушения использованных игл, эндопротезы тазобедренного сустава, применяемые в ортопедии и травматологии, бинокулярные лупы с диапазоном увеличения от 2 до 8 крат, используемые в нейрохирургии, кардиохирургии, пластической хирургии и стоматологии.

90-е годы прошлого столетия - годы активной конверсии. В эти годы создана широкая номенклатура изделий гражданского назначения, среди них: гамма наблюдательных приборов ночного видения, приборы медицинского назначения, линейки телевизионных приборов наблюдения на основе ПЗС-матриц, научная и другая аппаратура. Благодаря конверсионной продукции предприятию удалось сохранить основу научно-технического, производственного и кадрового потенциала в трудные годы становления российской государственности.

Сегодня гражданское направление обретает второе рождение. В обеспечение решения задач, поставленных перед предприятием госкорпорацией «Ростех» и АО «Швабе», в ПАО КМЗ разработана Программа развития гражданского приборостроения, согласно которой доля продукции гражданского назначения к 2025 году должна достичь 50% от объемов выпускаемой продукции. Программа предусматривает создание новой наукоемкой продукции широкой номенклатуры с неплохой перспективой выхода на отечественный и зарубежный рынки.

Создание изделий, развитие и внедрение новых технологий на заводе происходит с участием ведущих специалистов академических научных центров, научно-исследовательских и учебных институтов, крупных конструкторских и технологических организаций и предприятий страны. Их помощь неоценима во всем, что делается на заводе.

*Сегодня ПАО КМЗ это передовая научно-исследовательская и конструкторская база, уникальное высокотехнологичное производство, квалифицированный инженерно-технический и управленческий персонал, обеспечивающий создание новой техники и, как следствие, динамичное развитие, успешную работу предприятия во благо обеспечения безопасности нашего государства.*



# ИНФОРМАЦИЯ

---

## НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ»

посвященная 75-летию ПАО КМЗ

*АО «Швабе»,*

*ПАО «Красногорский завод им. С.А.Зверева»,*

*Общественная научно-техническая академия «Контенант»*

**Конференция состоится 19-20 октября 2017 года в ПАО КМЗ**

**Адрес Программного комитета:**

*143403, Московская обл., г. Красногорск, ул. Речная 8,*

*Красногорский завод им. С.А.Зверева, академия «Контенант»*

**Тел. 8(495) 5637055**

**E-mail: [book@contenant.ru](mailto:book@contenant.ru)**

**[www.contenant.ru](http://www.contenant.ru)**

### СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:

*Председатель – Калюгин В.С. – Генеральный директор ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»,*

*Заместитель председателя – Сенник Б.Н. – Президент академии «Контенант», главный оптик ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», доктор технических наук.*

### ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:

• **Абдулкадыров М.А.** – главный оптик, начальник НПК-95 АО «Лыткаринский завод оптического стекла», кандидат технических наук

• **Архипов С.А.** – начальник СКБ-1, главный конструктор космических и авиационных систем дистанционного зондирования Земли ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», кандидат технических наук

• **Архипова Л.Н.** – начальник отдела АО «Государственный Оптический Институт им. С.И. Вавилова», кандидат технических наук

• **Ахметов Р.Н.** – первый заместитель генерального директора - генеральный конструктор АО «РКЦ «Прогресс», доктор технических наук

• **Бабак В.П.** – президент НПК «Штурмовики Сухого», профессор, доктор технических наук

• **Бакланов А.И.** – заместитель генерального директора АО «РКЦ «Прогресс», генеральный директор филиала АО «РКЦ «Прогресс»-НПП ОПТЭКС, кандидат технических наук

• **Барышников Н.В.** – директор НИИ радиоэлектроники и лазерной техники, заведующий кафедрой «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э.Баумана, доктор технических наук, доцент

• **Бездидько С.Н.** – заместитель директора НТЦ ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», доктор технических наук

• **Васильев О.В.** – главный конструктор АО «Бортовые аэронавигационные системы», профессор, доктор технических наук

• **Гуляев Ю.В.** – академик РАН, доктор физико-математических наук

• **Карасик В.Е.** – директор научно-образовательного центра «Фотоника и ИК-техника» при МГТУ им. Н.Э.Баумана, профессор, доктор технических наук

• **Ковш И.Б.** – президент лазерной ассоциации, профессор, доктор физико-математических наук

- **Корницкий И.П.** – академик Общественной научно-технической академии «Контенант»
- **Корогаев В.В.** – заведующий кафедрой «Опτικο-электронные приборы и системы» НИУ ИТМО, профессор, доктор технических наук
- **Патрикеев А.П.** – генеральный директор АО «Швабе», кандидат экономических наук
- **Попов С.В.** – первый заместитель генерального директора АО «Швабе», доктор технических наук
- **Савиных В.П.** – президент МИИГАиК, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, летчик-космонавт
- **Тарасов А.П.** – исполнительный директор ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», кандидат технических наук
- **Хайлов М.Н.** – заместитель генерального директора по автоматическим космическим комплексам Госкорпорации «Роскосмос»
- **Шалагин А.М.** – директор института автоматики и электрометрии СО РАН, академик РАН, профессор
- **Шилов В.Б.** – заместитель директора АО «Государственный Оптический Институт им. С.И. Вавилова», доктор технических наук
- **Чистилин А.Ю.** – и.о. директора НТЦ ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», кандидат технических наук
- **Якушенков А.Г.** – заведующий кафедрой «Опτικο-электронные приборы» МИИГАиК, профессор, доктор технических наук

#### ЦЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Обобщение, анализ отечественных достижений в области разработки и производства оптико-электронных приборов и комплексов,
- Развитие научного и производственного сотрудничества предприятий-участников конференции,
- Обмен опытом по использованию современного технологического и метрологического оборудования,
- Создание предпосылок для формирования Государственных заказов и инвестиций.

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАИМЕНОВАНИЕ СЕКЦИЙ:

1. Оптико-электронные комплексы для решения целевых задач специализированных авиационных и сухопутных систем,
2. Оптико-электронные приборы и комплексы дистанционного зондирования Земли,
3. Оптико-электронные приборы контроля и мониторинга,
4. Технологии производства оптико-электронных приборов и комплексов.

#### ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ

Участникам конференции необходимо с 1 апреля по 30 сентября 2017 года подать в Оргкомитет заявку на участие в конференции по электронной почте:

**book@contenanr.ru**

Форма заявки:

**В Оргкомитет конференции  
«Оптико-электронные приборы и комплексы»**

Наименование организации \_\_\_\_\_  
 Количество участников \_\_\_\_\_  
 Количество докладов \_\_\_\_\_  
 Индекс, почтовый адрес организации \_\_\_\_\_  
 Телефон организации \_\_\_\_\_  
 E-mail: организации \_\_\_\_\_  
 Факс организации \_\_\_\_\_

№	Фамилия, имя, отчество (полностью)	Должность участника	Ученая степень	Е-mail: участника	Контактный телефон	Гостиница в месте проведения

### ЗАЯВКА НА ДОКЛАД

Участникам конференции необходимо до 30 сентября 2017 года подать в Оргкомитет заявку на доклад и тезисы доклада в Оргкомитет конференции по электронной почте:  
**book@contenanr.ru**

Форма заявки:

**В Оргкомитет конференции  
«Опτικο-электронные приборы и комплексы»**

Фамилия, имя, отчество докладчика (полностью)	
Фамилия, имя, отчество автора (соавторов)	
Название тезисов доклада	
Доклад (пленарный или секционный)	
Количество страниц тезисов	
Место работы и должность докладчика	
Ученая степень, ученое звание	
Почтовый адрес с индексом	
Е-mail:	
Телефон мобильный	
Факс	

### ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕЗИСОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В СБОРНИКЕ

1. К публикации принимаются тезисы объемом не более 3-4 страниц формата А4, включая вставленные рисунки.
2. Текст тезисов должен быть выполнен в редакторе Microsoft Word, шрифтами Times New Roman, межстрочный интервал - одинарный, ориентация листа - книжная, иллюстрации в формате .jpg представляются отдельными файлами.
3. Тезисы публикуются в авторской редакции после утверждения Программным комитетом.

### ПЕЧАТЬ МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Статьи по результатам докладов на конференции могут быть напечатаны в научно-техническом журнале «Контенант» номер 4 в 2017 году.

Журнал «Контенант» печатает статьи в одном из двух видов:

– для авторов, размещающих статьи в журнале и в одновременно в Научной Электронной Библиотеке (РИНЦ);

– для авторов, размещающих статьи только в журнале без публикации в НЭБ РИНЦ.

Правила для каждого вида статей размещены на сайте академии «Контенант»

www.contenanr.ru в разделе «Научно-технический журнал «Контенант» (для авторов).

Статьи просим высылать по адресу: book@contenanr.ru до 15 ноября 2017 года.

Целесообразно, если статьи готовы, привезти их с собой на конференции, для ускорения процесса печати.

При направлении статьи обязательно указывать домашний адрес первого автора для отправки журнала по почте.



**Уважаемые коллеги!**  
**Оргкомитет и Организаторы**  
**XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**ГолоЭкспо 2017 (HoloExpo 2017)**

приглашают Вас принять участие  
в Международной научно-технической конференции  
«Голография. Наука и практика»,  
которая состоится 12-14 сентября 2017 г., в г. Звенигороде,  
в отеле HELIOPARK Thalasso, ул. Лермонтова, д. 1  
([www.heliopark-thalasso-hotel.ru](http://www.heliopark-thalasso-hotel.ru))

Целью конференции является обсуждения новейших научно-технических достижений и технологий в области голографии в России, Республике Беларусь и в других странах СНГ и за рубежом, а также оценки состояния рынка голографических технологий и продукции и направлений их развития.

**ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:**

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия); АО НПО «Криптен» (г. Дубна, Россия), ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия), ЗАО «Голографическая индустрия» (г. Минск, Республика Беларусь), ФГУП «НТЦ «Атлас»» (г. Москва, Россия), ООО «Регула» (г. Минск, Республика Беларусь), ООО «Микро и наноголографические системы» (г. Москва, Россия), АО «НПО Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия), ООО «Наноточность» (г. Москва, Россия).

**ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:**

АО Научно-производственное объединение «Криптен» (г. Дубна, Россия).

**СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:**

ЗАО «Голографическая индустрия» (г. Минск, Республика Беларусь)  
ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия)  
ФГУП «НТЦ «Атлас»» (г. Москва, Россия)  
ООО «Регула» (г. Минск, Республика Беларусь)  
АО «НПО Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия)

**УСТРОИТЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ:**

ООО «Микро и наноголографические системы» (г. Москва, Россия).

Информационные спонсоры:

Журнал «Водяной Знак» (г. Санкт-Петербург, Россия)  
Журнал «Мир техники кино» (г. Москва, Россия)  
Журнал «Фотоника» (г. Москва, Россия)

**КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:**

– Министерства образования и науки РФ в лице департамента науки и технологий;  
– ведущих университетов и научно-исследовательских институтов России: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), Санкт-Петербургский государственный национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (СПб ИТМО), Санкт-Петербургский

Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова), Российский Университет Дружбы Народов (РУДН, г. Москва, Россия), Самарский государственный Аэрокосмический университета имени С.П. Королева (СГАУ имени С.П. Королева), Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Томский государственный университет, Оптическое общество им. Д.С. Рождественского (г. Санкт-Петербург); Самарский институт систем обработки изображения РАН, Институт Автоматики и Электростроения (ИАиЭ, г.Новосибирск) и др.

– ведущих научно-производственных предприятий России: АО «НПО ГИПО», АО «НПО «Криптен», ФГУП «НТЦ АТЛАС», ООО «ХолоГрэйт», ООО «Микро и наноголографические системы», ООО «Наноточность», АО «Государственный оптический институт имени С.И. Вавилова» (ГОИ имени С.И. Вавилова), ПАО «Славич» (г. Переславль-Залесский, Россия) и др.;

– ведущих университетов и предприятий Республики Беларусь: ЗАО «Голографическая индустрия», ООО «Магия света», ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова» Национальной академии наук Беларуси, Белорусского государственного университета, Белорусского оптико-механического объединения и др.

– зарубежных компаний и фирм в области голографии: OpSec Security (England), Компания «Демакс-Голография» (Болгария), ADL Optica GmbH (Germany), Process Color, Igneta Ernakulam, (Kerala, India), «Geola digital UAB» (г. Вильнюс, Литва), Институт голографии (г. Афины, Греция) и др.;

– Международной ассоциации производителей голограмм (ИНМА) в лице Яна Ланкастера.

**НА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ БУДУТ РАБОТАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ СЕКЦИИ:**

**Секция №1 -**

**«Технологии получения защитных голограмм»**

**Секция №2 -**

**«Формирование изображений и отображение информации с помощью голограммной оптики и оптико-голографических систем»**

**Секция №3 -**

**«Голограммные и дифракционные оптические элементы, методы компьютерного синтеза и технологии их изготовления, метаматериалы, нанотехнологии и плазмонные структуры для голографии»**

**Секция №4 -**

**«Изобразительная голография и фоточувствительные материалы для голографии»**

**Секция №5 -**

**«Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голографическая обработка информации»**

**РЕГЛАМЕНТ И ТЕМАТИКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ:**

– 11 сентября (понедельник) 2017 г. заезд и регистрация участников 14<sup>00</sup>-18<sup>00</sup> в холле отеля HELIOPARK Thalasso, ул. Лермонтова, д. 1, г. Звенигород;

– 12 сентября (вторник) 2017 г. – регистрация участников конференции 8<sup>30</sup>- 9<sup>30</sup>;

торжественное открытие конференции 9<sup>30</sup>- 10<sup>00</sup>;

– 12 сентября (вторник) 2017 г. - время заседаний 10<sup>00</sup>- 19<sup>00</sup>;

– 13 сентября (среда) 2017 г. - время заседаний 10<sup>00</sup>- 19<sup>00</sup>, закрытие конференции.

– 14 сентября (четверг) 2017 г. – экскурсионная программа по г. Звенигороду.

Рабочие языки конференции – русский и английский. Во время работы конференции будет обеспечен синхронный перевод с русского на английский и с английского на русский языки.

### **УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ С ДОКЛАДОМ:**

Для выступления на конференции с докладом следует прислать:

– до 28 апреля 2017 г. заявку с названием доклада, фамилиями авторов и названием организации на русском и английском языках по адресу e-mail: [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru);

– до 30 мая 2017 г. (deadline) тезисы доклада объемом от 2-х и до 10-ти страниц на русском языке и от 1-ой и до 3-х страниц на английском языке по адресу e-mail: [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru). Тезисы докладов оформляются в электронном виде на формате А4 с полями 25мм-слева, 20 мм-сверху и снизу, 15 мм-справа, шрифт Times New Roman, размер 14, только расширением .DOC.

Программным комитетом будет осуществлен отбор докладов на конференцию до 01 июля 2017 г. В программе конференции предусмотрены пленарные, секционные и стендовые доклады. Приглашения для выступлений будут высланы не позднее 10 июля 2017 г.

**Подробную информацию можно найти на сайте [www.holoexpo.ru](http://www.holoexpo.ru).**

### **УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ БЕЗ ДОКЛАДА:**

Для регистрации в качестве участника конференции без доклада следует до 31 мая 2017г. прислать заявку по электронной почте [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru). Форму заявки и подробную информацию о прошедших ранее конференциях можно найти на сайте [www.holoexpo.ru](http://www.holoexpo.ru).

Программа конференции постепенно (по мере поступления докладов) будет публиковаться на сайте [www.holoexpo.ru](http://www.holoexpo.ru) и в конечном виде будет представлена и разослана всем участникам конференции 10 июля 2017 г.

### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВЗНОСЫ:**

1) с докладчиков, представивших доклады на пленарных, секционных заседаниях, стендовых докладах из государственных институтов РАН, университетов и высших учебных заведений, отраслевых институтов и ФГУП, коммерческих организаций организационный взнос не взимается;

2) со студентов и аспирантов, как слушателей конференции, из любых организаций и всех стран организационный взнос не взимается;

3) с участников конференции без доклада взимается организационный взнос в размере 5000 рублей (включая НДС) с юридических лиц и 1500 рублей с физических лиц.

### **СПОСОБЫ ОПЛАТЫ:**

Форму заявки и форму для оплаты оргвзноса можно найти на сайте [www.holoexpo.ru](http://www.holoexpo.ru). Возможна оплата оргвзноса наличными деньгами в момент регистрации участника на конференции 11-12 сентября 2017 г. в г. Звенигороде.

Все участники конференции обеспечиваются сборником докладов конференции в электронном виде, сувенирами, кофе-брейками и участием в банкете.

Будет организовано транспортное сообщения на дни проведения конференции 12,13 сентября 2017 года м. Строгино(г. Москва) - HELIOPARK-Thalasso (г. Звенигород), HELIOPARK-Thalasso (г. Звенигород) - м.Строгино (г. Москва) утром и вечером.

Рекомендуем заранее бронировать номера в отеле HELIOPARK Thalasso ([www.heliopark-thalasso-hotel.ru](http://www.heliopark-thalasso-hotel.ru)), отеле «Татьяна Прованс» ([www.tatiana-provence.ru](http://www.tatiana-provence.ru)).

Председатель Организационного комитета, д.т.н., профессор  
XIV Международной конференции ГолоЭкспо 2017

С.Б. Одинок

Секретарь Организационного комитета  
XIV Международной конференции ГолоЭкспо 2017

Я.А.Град

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

### Шаблон для оформления тезисов докладов

#### Оформление статьи для сборника тезисов докладов международной научно-технической конференции «Голоэкспо»

А. Б. Иванов<sup>1</sup>, В. Г. Петров<sup>2</sup>, Д. Е. Сидоров<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Микро и наноголографические системы», Москва, Россия

Статья должна содержать аннотацию на 3–8 строк. Название статьи набирается стилем *Заголовок статьи*. Список авторов — стилем *Авторы*. Список аффилиаций — стилем *Аффилиации*. У каждого автора должна быть указана одна или несколько аффилиаций. Аффилиации указываются в виде полного названия организации, указания города и страны. Аннотация набирается стилем *Аннотация*. Ключевые слова должны включать 3–8 пунктов и набираются стилем *Ключевые слова*.

**Ключевые слова:** Оптика, Голография, Дифракционные оптические элементы

#### Введение

Статья должна быть предоставлена в Microsoft Word. Статья может состоять из разделов и содержать заголовки. Заголовки могут иметь одно- или двухуровневую нумерацию или не иметь её. Номер раздела в заголовке отделяется точкой и пробелом от самого заголовка раздела. Если статья делится на разделы, то должны быть разделы под заголовками Введение и Заключение без нумерации. Текст статьи набирается стилем *Обычный*. Заголовки разделов — стилем *Заголовок раздела*.

#### 1. Оформление элементов текста

Пример оформления нумерованного списка:

- 1) пример пункта нумерованного списка;
- 2) пример пункта нумерованного списка;
- 3) пример пункта нумерованного списка.

Пример оформления ненумерованного списка:

- пример пункта ненумерованного списка;
- пример пункта ненумерованного списка;
- пример пункта ненумерованного списка.

Единицы измерения физических величин отделяются от значения величин неразрывным пробелом (Ctrl + Shift + Пробел), в том числе °C и %, а также символы Ø и №. Числа начиная с 10 000 и более делятся на десятичные блоки по три цифры при помощи неразрывного пробела.

Пример оформления физических величин: 10 мм, 12 345 мкм, Ø 120 мм, 30°20'10", 0 °C, 100 %, 100 мм<sup>2</sup>, 1200 мм<sup>-1</sup>, 10 000 л/мм, № 1, № 12 345.

Оформление площади: 1024 × 768 точек, 100 × 100 мм<sup>2</sup>.

Оформление перечислений: от 2 до 3 мм, 2–3 мм, 2...3 мм.

Просим вас различать:

- дефисы (орфографический знак «-», никогда не обособляется пробелами, набирается с клавиатуры);
- минусы (математический символ «-», используется в формулах, набирается сочетанием Ctrl + Num-);
- короткие тире (знак «—», используется для указания численных интервалов и в обозначениях в роде He–Ne и ГОСТ 2.105–95, не окружается пробелами, также набирается сочетанием Ctrl + Num-);

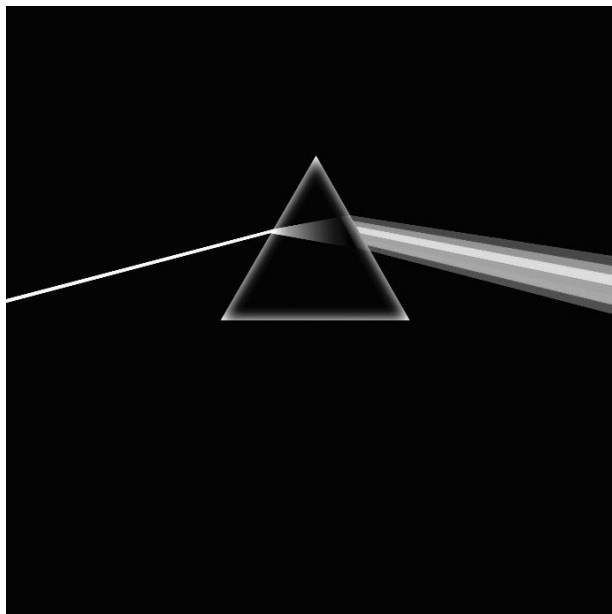


– длинное тире (пунктуационный знак «—», всегда обособляемый пробелами, набирается сочетаниями Ctrl + Alt + Num-).

Способ набора некоторых полезных символов с клавиатуры показан в таблице 2. Также символы можно вставлять при помощи меню *Вставка — Символ — Другие Символы*. Многие полезные символы есть в шрифте *Symbol*.

## 2. Рисунки

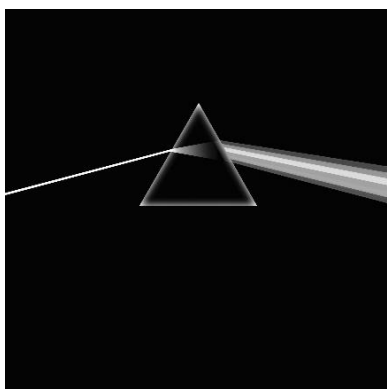
По возможности используйте векторные чёрно-белые изображения в форматах wmf и emf, поскольку сборник тезисов будет издан чёрно-белой печатью. Допускаются растровые и цветные изображения. По возможности используйте растровые изображения с разрешением 600 т/дюйм и не сжимайте их в Microsoft Word.



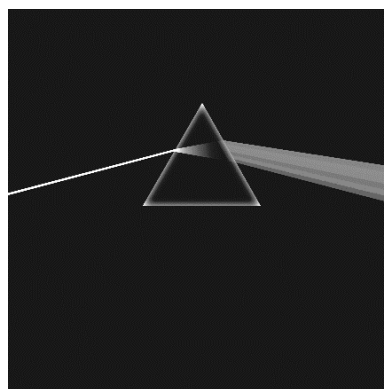
1 — входное излучение; 2 — призма; 3, 4 — выходное излучение

Рис. 1. Пример одиночного рисунка

Используйте для оформления рисунков стили *Рисунок*, *Подрисующий текст* и *Название рисунка*.



а) первое изображения



б) второе изображение

Рис. 2. Пример двойного рисунка

На все рисунки должны быть ссылки в тексте статьи, например, как показано на рис. 1.

### 3. Таблицы

Используйте для оформления таблиц стили *Название таблицы* и *Таблица*. Шапка таблицы набирается жирным, как показано в таблице 1.

Таблица 1. Пример таблицы

<b>Параметр</b>	<b>Значение</b>
Ширина $w$ , мм	10
Высота $h$ , мм	10
Глубина $d$ , мм	10
Температура $t$ , °C	-30

Таблица 2. Полезные знаки

<b>Знак</b>	<b>Символ</b>	<b>Alt-код</b>	<b>Знак</b>	<b>Символ</b>	<b>Alt-код*</b>
Дефис	-	Num-	Градус	°	Alt + 248
Минус	–	Ctrl + Num-	Знак «Плюс-минус»	±	Alt + 0177
Короткое тире	—	Ctrl + Num-	Знак умножения	×	Alt + 0215**
Длинное тире	—	Ctrl + Alt + Num-	Знак деления	÷	Alt + 0247**
Неразрывный пробел		Ctrl + Shift + Пробел			

\* цифры Alt-кода набираются на цифровой (правой) клавиатуре

\*\* набирать в английской раскладке

Первый абзац после таблицы набирается стилем *Обычный (после таблицы)* для добавления интервала после таблицы.

### 4. Формулы

Формулы должны набираться по центру строки. Элементарные формулы должны набираться символами в строку при помощи меню *Вставка — Символ — Другие символы*. Например, в тексте  $E = mc^2$ , или в отдельной строке стилем *Формула* (после одной табуляции).

$$ax^2 + bx + c = 0.$$

Греческие символы для простых формул и для упоминания переменных в тексте статьи должны набираться при помощи меню *Вставка — Символ — Другие Символы — Шрифт Symbol*. Символы переменных набираются наклонным шрифтом. Числа, функции греческие символы и размерности набираются прямым шрифтом. Например:  $a^2 + b^2 = c^2$ ;  $\cos \alpha = 0,5$ ;  $\lambda = 632,8$  нм;  $\Delta\varphi = 2\pi$ ,  $x_{\max} = 10$  мм,  $f_{\text{Об}} = 100$  мм.

Сложные формулы должны набираться в редакторе Microsoft equation при помощи меню *Вставка — Объект — Microsoft equation 3.0*.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (1)$$

Формулы, на которые необходима ссылка в тексте, должны справа (после второй табуляции) снабжаться номером в скобках, как показано в выражении (1).

Если переменные, входящие в выражение, требуют пояснение, это делается в том же абзаце: после выражения ставится запятая, далее набирается «где...» со строчной буквы без абзацного отступа стилем *Без отступа*.

$$f(x) = |x|,$$

где  $f(x)$  — функция,  $x$  — переменная.

## 5. Ссылки

На все пункты списка источников в тексте статьи должна быть ссылка в квадратных скобках [1, 2–7]. Список источников оформляется согласно ГОСТ 7.1–2003. Пример оформления списка источников показан ниже. Список источников набирается стилем *Список источников*. Пунктами списка источников могут быть: статьи [1, 2], книги [3, 4], патенты [5, 6], страницы в интернете [7].

## Заключение

Статья должна содержать заключение. Заключение может быть не обозначено заголовком, если статья не содержит разделов под заголовками.

## Список источников

- [1] **Иванов А. Б.** Оформление статей в научных журналах / А. Б. Иванов, В. Г. Петров, Д. Е. Сидоров // Голографический журнал. — 2017. — Том 1. — № 2. — С. 12–34.
- [2] **Ivanov A.** Composition of paper for scientific journals / A. Ivanov, V. Petrov, D. Sidorov // Holographic Journal. — 2017. — Vol 1. — № 2. — P. 12–34.
- [3] **Иванов А. Б.** Оформление научных книг / А. Б. Иванов, В. Г. Петров, Д. Е. Сидоров; пер. З. И. Смирнова под ред. К. Л. Кузнецова — М.: Наука, 1973. — 321 с.
- [4] **Ivanov A.** Composition of scientific book / A. Ivanov, V. Petrov, D. Sidorov. — Moscow: Publisher, 2017. — 321 p.
- [5] **Патент № 12 345 678 РФ.** Научное изобретение / А. Б. Иванов, В. Г. Петров, Д. Е. Сидоров, — Оpubл. 01.02.2017.
- [6] **Патент № 12 345 678 US.** Scientific invention / A. Ivanov, V. Petrov, D. Sidorov, — Оpubл. 01.02.2017.
- [7] Голография. Наука и практика / URL: <http://www.holoexpo.ru>

## Composition of paper for scientific-technical conference “Holoexpo” proceedings

*A. B. Ivanova<sup>1</sup>, V. G. Petrov<sup>2</sup>, D. E. Sidorov<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Micro and Nanoholographic Systems, Moscow, Russia

## Annotation

Статья должна быть снабжена названием, списком автором, списком аффилиаций, аннотацией и ключевыми словами на английском языке.

**Keywords:** Optics, Holography, Diffraction optical elements

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Заявка на участие в конференции для физических лиц

Для физических лиц

**ЗАЯВКА - ДОГОВОР**  
на участие в XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ГолоЭкспо 2017 (HoloExpo 2017)  
«Голография. Наука и практика»,  
которая состоится 12 - 14 сентября 2017 г., в г. Звенигороде,  
в отеле HELIOPARK Thalasso, ул. Лермонтова, 1

Просим зарегистрировать в качестве участника Конференции:

Контактное лицо \_\_\_\_\_ (полностью Ф. И. О., должность)

Тел.: \_\_\_\_\_ Факс: \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Банковские реквизиты физического

лица: расчетный счет \_\_\_\_\_

в банке \_\_\_\_\_ в г. \_\_\_\_\_

кор/счет \_\_\_\_\_ БИК \_\_\_\_\_

представляющее Предприятие (фирма, организация) \_\_\_\_\_

(организационная форма, полное название)

ИНН \_\_\_\_\_ КПП \_\_\_\_\_

Адрес: \_\_\_\_\_

(индекс, юридический адрес)

Руководитель \_\_\_\_\_ (полностью Ф. И. О., должность)

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ СБОР за участие в конференции составляет:**

- 1) с докладчиков, представивших доклады на пленарных, секционных заседаниях, стендовых докладах из государственных институтов РАН, университетов и высших учебных заведений, отраслевых институтов и ФГУП, коммерческих организаций организационный взнос не взимается;
- 2) со студентов и аспирантов, как слушателей конференции, из любых организаций и всех стран организационный взнос не взимается;
- 3) с участников конференции без доклада взимается организационный взнос в размере 5000 рублей (включая НДС) с юридических лиц и 1500 рублей с физических лиц.

**СУММА:** \_\_\_\_\_ рублей.

**В стоимость входит:** участие в конференции, папка участника с материалами конференции, обеспечение личными идентификационными карточками-пропусками, сборник трудов конференции в электронном виде (оптический диск, флэш-накопитель), кофе-брейк.

Настоящей заявкой-договором гарантирую оплату участия в конференции.

Заявка-договор направляется по электронной почте – [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru).

**УЧАСТНИК:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

**ОРГАНИЗАТОР:**

Общество с ограниченной ответственностью «Микро и наноголографические системы» (ООО «МНГС»)

ИНН 7701903691, КПП 770101001

Адрес юридический: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

Банковские реквизиты:

Р/с 40702810250060932301 в ПАО «Промсвязьбанк», г. Москва

К/с 30101810400000000555

БИК 044525555

Генеральный Директор

М.С. Ковалев

Контактные телефоны: (499) 263-63-44

E-mail: [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru)



ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Заявка на участие в конференции для юридических лиц

**ЗАЯВКА - ДОГОВОР**  
на участие в XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ГолоЭкспо 2017 (HoloExpo 2017)  
«Голография. Наука и практика»,  
которая состоится 12 - 14 сентября 2017 г., в г. Звенигороде,  
в отеле HELIOPARK Thalasso, ул. Лермонтова, 1

Просим зарегистрировать в качестве участника Конференции:

Предприятие (фирма), организация \_\_\_\_\_  
(организационная форма, полное название)  
ИНН \_\_\_\_\_ КПП \_\_\_\_\_

Адрес: \_\_\_\_\_  
(индекс, юридический адрес)

Банковские реквизиты: расчетный счет \_\_\_\_\_  
в банке \_\_\_\_\_ в г. \_\_\_\_\_  
кор/счет \_\_\_\_\_ БИК \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ (полностью Ф. И. О., должность)

Контактное лицо \_\_\_\_\_ (полностью Ф. И. О., должность)

Тел.: \_\_\_\_\_ Факс: \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ СБОР за участие в конференции составляет:**

- 1) с докладчиков, представивших доклады на пленарных, секционных заседаниях, стендовых докладах из государственных институтов РАН, университетов и высших учебных заведений, отраслевых институтов и ФГУП, коммерческих организаций организационный взнос не взимается;
- 2) со студентов и аспирантов, как слушателей конференции, из любых организаций и всех стран организационный взнос не взимается;
- 3) с участников конференции без доклада взимается организационный взнос в размере 5000 рублей (включая НДС) с юридических лиц и 1500 рублей с физических лиц.

Всего участников \_\_\_\_\_

**СУММА:** \_\_\_\_\_ рублей.

**В стоимость входит:** участие в конференции, папка участника с материалами конференции, обеспечение личными идентификационными карточками-пропусками, кофе-брейк.

Настоящей заявкой-договором наше предприятие (организация, фирма) гарантирует оплату участия представителей в конференции. Заявка-договор направляется по электронной почте – [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru).

После получения заявки-договора участнику конференции направляется счет в рублях на день оплаты.

**УЧАСТНИК:**

Руководитель \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

М.П.

Главный бухгалтер \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

**ОРГАНИЗАТОР:**

Общество с ограниченной ответственностью «Микро и наноголографические системы» (ООО «МНГС»)

ИНН 7701903691, КПП 770101001

Адрес юридический: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

Банковские реквизиты:

Р/с 40702810250060932301 в ПАО «Промсвязьбанк», г. Москва

К/с 30101810400000000555

БИК 044525555

Генеральный Директор \_\_\_\_\_ М.С. Ковалев

М.П.

**Контактные телефоны:** +7(499) 263-63-44

**E-mail:** [odinokov@bmstu.ru](mailto:odinokov@bmstu.ru)

**ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ СТАТЕЙ**

**Общественная научно-техническая организация**

**академия «Контенант»**

**заключила с 1 января 2017 года**

**Лицензионный договор № 727-11/2014**

**с Научной Электронной Библиотекой,**

**где размещена База данных РИНЦ**

**– интегрированный научно-информационный ресурс.**

**БАЗА ДАННЫХ РИНЦ НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
БИБЛИОТЕКИ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ НАУЧНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС В СЕТИ ИНТЕРНЕТ,  
ВКЛЮЧАЮЩИЙ НАУЧНЫЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО  
ЦИТИРОВАНИЯ.**

**ВСЕ АВТОРЫ, ЖЕЛАЮЩИЕ РАЗМЕСТИТЬ  
СВОЮ СТАТЬЮ С РЕГИСТРАЦИЕЙ В РИНЦ,  
ДОЛЖНЫ ВЫПОЛНИТЬ ТРЕБОВАНИЯ РЕДАКЦИИ,  
ИЗЛОЖЕННЫЕ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ  
ЖУРНАЛЕ «КОНТЕНАНТ»  
И НА САЙТЕ АКАДЕМИИ WWW.CONTENTANANT.RU  
В РАЗДЕЛЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «КОНТЕНАНТ»**

**Редакция**