



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

Поздравление сотрудников ПАО КМЗ	3
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПТИКЕ	
Нгуен Т.Л. Исследование технических путей построения двухспек- трального портативного прибора наблюдения	5
Крайский А.В., Постников В.А., Миронова Т.В., Султанов Т.Т., Крайский А.А., Шевченко М.А. Голографические сенсоры компонентов водных растворов и биологических жидкостей	11
ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ	
Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е., Семенов А.П., Денисов Д.Г., Наговицын В.В., Краснова Е.В., Джумаму- ратова А.А. Изготовление и метод контроля внеосевого асферического сегмента главного зеркала сверхбольшого европейского телескопа диаметром 39 метров	20
Абдулкадыров М.А., Патрикеев В.Е., Семенов А.П., Денисов Д.Г., Наговицын В.В., Сулейманов Г.М. Разработка оптимального технологического процесса изго- товления вторичного зеркала телескопа «DAG»	30
Минский механический им. С.И. Вавилова (ММЗ) - управляющая компания холдинга «БелОМО» отмечает 60-летний юбилей	35
Батова Г.В., Калюгин В.С., Митрофанова Ю.С., Сеник Б.Н., Тарасов А.П. Исследование технологических факторов, влияющих на достижение высоких светотехнических параметров оптических приборов	43
Паничев М.М., Альков П.С., Муратов А. Н. Разработка технологического процесса изготовления фото- катодного узла электронно-оптического преобразователя на основе моллирования в водородной среде	48
ОПТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ	
Крехова Е.Ю., Кошков С.В., Храмогин Д.А. Производство стеклокристаллических материалов на АО ЛЗОС: вчера, сегодня, завтра	53
Подобрянский А.В., Нефедов П.В., Майдашева Д.А., Афанасов Д.С., Григорьева А.А. Алмазный инструмент для обработки оптических деталей ..	58



*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

(продолжение)

Иванов В.С., Храмогин Д.А., Кораблев Д.В., Кошков С.В., Гембицкая И.М. Оценка стеклоустойчивости материалов для варки высокотемпературных оптических стекол	60
Валейский Д.В., Дорошкевич А.Г., Красовский С.Н., Мельников А.А., Наконечный В.П., Протько А.С., Шушканова Т.Г. Механизированный комплекс промывки МКП 1 для финишной промывки оптических деталей из водораствори- мых кристаллов	67
Валейский Д.В., Дорошкевич А.Г., Демидович Т.И., Красовский С.Н., Котович А.Н. Станок с ЧПУ для предварительного шлифования оптических заготовок от 2 до 20 мм	71
ИСТОРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
Цеханович А.В., Рунге В.Ф., Титов Е.И. Исторические вехи промышленного дизайна на БелОМО	74
Абрамов А.И. Эволюция танковых прицелов - от механических прицелов к системам управления огнем. Аналитический обзор	80



УКАЗ

ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О награждении государственными наградами
Российской Федерации

За заслуги в развитии ракетно-космической
промышленности и многолетнюю добросовестную работу
наградить:

**МЕДАЛЬЮ ОРДЕНА «ЗА ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ОТЕЧЕСТВОМ» II
СТЕПЕНИ**

АРХИПОВА Сергея Алексеевича – начальника
специального конструкторского бюро – главного
конструктора космических и авиационных систем
дистанционного зондирования Земли публичного
акционерного общества «Красногорский завод имени С.А.
Зверева», Московская область.

Президент
Российской Федерации  В. Путин

Москва, Кремль
27 июня 2017 года
№ 288

ПОЗДРАВЛЯЕМ
с правительственной наградой
члена Президиума Общественной научно-
технической академии «Контенант»,
Главного ученого секретаря академии

АРХИПОВА
СЕРГЕЯ АЛЕКСЕЕВИЧА

Желаем крепкого здоровья, творческих
успехов на благо нашей Родины





УКАЗ

ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О награждении государственными наградами
Российской Федерации

За заслуги в развитии ракетно-космической промышленности и многолетнюю добросовестную работу наградить:

ОРДЕНОМ ДРУЖБЫ

ГЕРАСИМЕНКО Владимира Владимировича – главного конструктора
детальных космических средств дистанционного зондирования Земли –
начальника отдела публичного акционерного общества «Красногорский завод
имени С.А.Зверева», Московская область.

Присвоить почетные звания:

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

ВИНОГРАДОВУ Сергею Леонидовичу – заместителю главного технолога –
начальнику технологического отдела сборки и электромонтажа изделий
общей техники публичного акционерного общества «Красногорский завод
имени С.А.Зверева», Московская область.

ПЕНЬКОВУ Андрею Ивановичу – начальнику цеха публичного акционерного
общества «Красногорский завод имени С.А.Зверева», Московская область.

Президент
Российской Федерации  В.Путин

Москва, Кремль
27 июня 2017 года
№ 288

**ПОЗДРАВЛЯЕМ
СОТРУДНИКОВ
ПУБЛИЧНОГО АКЦИОНЕРНОГО
ОБЩЕСТВА
«КРАСНОГОРСКИЙ ЗАВОД ИМЕНИ С.А.
ЗВЕРЕВА»
С ВЫСОКИМИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫМИ
НАГРАДАМИ.**



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПУТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ ДВУХСПЕКТРАЛЬНОГО ПОРТАТИВНОГО ПРИБОРА НАБЛЮДЕНИЯ

НГУЕН Т.Л.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

E-mail: photomos@mail.ru

Исследован технический путь построения двухспектрального портативного прибора наблюдения и разработан на основе ЭОП и тепловизора. Получены комплексированные изображения от двух каналов разных диапазонов 0,55-0,9 мкм и 8-12,5 мкм.

Ключевые слова: двухспектральный диапазон, ЭОП, тепловизор, комплексированные изображения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исключительную актуальность имеет решение проблемы обнаружения и распознавания объектов ночью в условиях ограниченной видимости: при любом уровне естественной ночной освещенности (ЕНО) вплоть до полной темноты, при пониженной прозрачности атмосферы (дымка, туман, дождь, снегопад, пыль и пр.), при воздействии световых помех (излучение фар, прожекторов, трассеров, пламя костров и пожаров, вспышки выстрелов, взрывов и пр.).

Решение этой задачи всегда было насущной необходимостью, обусловленной жесткими требованиями развития современной техники, потребностями высокоразвитой технологии.

Это имеет первостепенное значение для современной техники и даст возможность решить следующие проблемы в условиях ограниченной видимости ночью:

1. Вождение транспортных средств;
2. Проведение поисково-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях;
3. Проведение наблюдения в условиях недостаточной видимости;
4. Обеспечение работы правоохранительных органов.

Все эти проблемы требуют разработки нового класса приборов, способных обеспечить видение в широком диапазоне изменения внешних условий. Создание таких приборов является важнейшей народно-хозяйственной задачей.

Одним из возможных решений указанной задачи является создание двухспектрального портативного прибора наблюдения. Двухспектральный портативный прибор наблюдения предназначен для обнаружения и ведения наблюдения за различными объектами круглосуточно, в любых метеоусловиях. Прибор позволяет оператору использовать либо тепловизионное изображение, либо телевизионное, либо комплексированное теплотелевизионное, полученное цифровым сложением изображений от тепловизионного и телевизионного каналов. Прибор может использоваться как ручной или устанавливаться на каску. Внешний вид прибора представлен на рис.1а и 1б.

На сегодняшний день можно предложить два варианта построения прибора: вариант 1 с использованием прибора ночного видения в сочетании с тепловизором и вариант 2 с использованием низкоуровневой телевизионной камеры также в сочетании с тепловизором.

В табл. 1 представлены достоинства и недостатки двух вариантов построения прибора.

Приборы ЭОП способны работать при температуре до -40°C . Кроме элементов питания, ничего в них не реагирует на низкие температуры, и в этом одна из причин того, что в качестве батареек в них используется CR 123, малочувствительный к низким температурам. Совсем недавно для прицелов на базе матриц отрицательная температура была реальной проблемой, но с применением новых технологий стало возможным использование прибора до -25°C .

Все приборы на базе ЭОП чувствительны к засветкам. Для первого поколения, это реальная проблема. Но в любом приборе второго поколения стоит защита, которая просто выключает прибор, если уровень освещения превышает определенный лимит. Для использования прибора на свету используются различные фильтры, диафрагмы или, как в случае с НП-260, крышка объектива с различными меняющимися отверстиями.

В отличие от этих приборов, приборы ночного видения на базе матриц не боятся никаких засветок, не требуют фильтров и не нуждаются в регулировках.

Данные приборы можно использовать и днем, и ночью. При освещении приборы на матрицах значительно лучше позволяют распознавать цель.

На практике разница в отношении засветки очевидна. При выстреле из винтовки с прибором ночного видения на базе ЭОП происходит временное ослепление стрелка, вспышка выстрела подавляется электроникой прибора, но сам он становится «слепым» на пару секунд, чего достаточно, чтобы цель ушла из поля зрения. В электронном приборе такого эффекта не происходит.

В большинстве случаев традиционные приборы на базе ЭОП тяжелее своих электронных CCD матриц. На рис. 2 представлена функциональная схема прибора на основе ЭОП и тепловизионного модуля.

Канал ближнего ИК диапазона устройства предназначен для формирования телевизионного изображения объекта. Он состоит из объектива и ЭОП третьего поколения на основе GaAs ЭПМ102Г - 05 - 22 тип А. Объектив собирает слабый свет, исходящий от объекта наблюдения и передает его на поверхность фотокатода — строит изображение наблюдаемых объектов. При этом с противоположной стороны фотокатода возникает фотоэлектронная эмиссия с аналогичным пространственным распределением плотности электронного тока. В результате люминесценции на поверхности экрана возникает светящееся перевернутое изображение объекта. Фильтр служит для выделения измерений от оптических помех, действующих в широкой области спектра.



а)



б)

Рисунок 1.
Прибор ночного видения ENVG

Таблица 1.
Сравнение двухспектральных приборов на базе ЭОП и НТВУ

	ЭОП + тепловизор	НТВУ+ тепловизор
Достоинства	<ul style="list-style-type: none"> - Возможность работы при пониженной яркости 10^{-5} лк. - Дальность обнаружения и дальность распознавания больше чем у ПЗС камеры. - Низкое энергопотребление: - Способность работать при пониженной температуре (до -40°C). 	<ul style="list-style-type: none"> - Возможность дистанционной передачи изображения и его дублирования для нескольких операторов. - Простая конструкция за счет отсутствия оптического блока совмещения. - Чувствительность к лазерному излучению $\lambda = 1,06$ мкм.
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> - Габаритные размеры. - Большая масса. - Сложная конструкция за счет оптического блока совмещения. - Изображения не могут быть переданы дистанционно или продублированы для другого оператора. - Затруднен оперативный ввод служебной информации и обработки изображения в реальном масштабе времени. 	<ul style="list-style-type: none"> - Меньшая чувствительность (ее значение в нормальных условиях не превышает 0,01лк при частоте изображения 25 кадров/сек, хуже чувствительности приборов на ЭОП). - Высокое энергопотребление.

Канал дальнего ИК диапазона устройства предназначен для формирования тепловизионного изображения объекта. Он состоит из неохлаждаемого микроболометра FLIR Muon на оксиде ванадия (VOx) с форматом матриц: 640×480 с шагом пикселя - 17 мкм, объектива, электронного блока. Тепловое излучение от бесконечно удаленного объекта проходит через объ-

ектив и фокусируется в плоскости чувствительных элементов тепловизионного модуля, выходные сигналы с которого поступают в блок обработки информации, управляющий яркостью каждого элемента устройства отображения информации в соответствии с формируемым тепловым изображением.

Блок совмещения устройства предна-

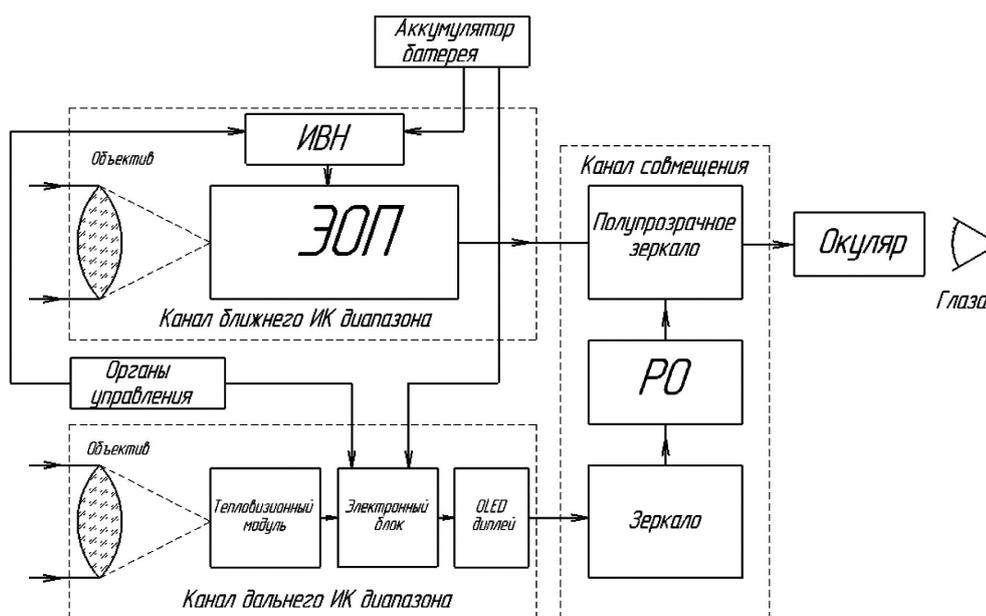


Рисунок 2.

Функциональная схема прибора на основе ЭОП и тепловизионного

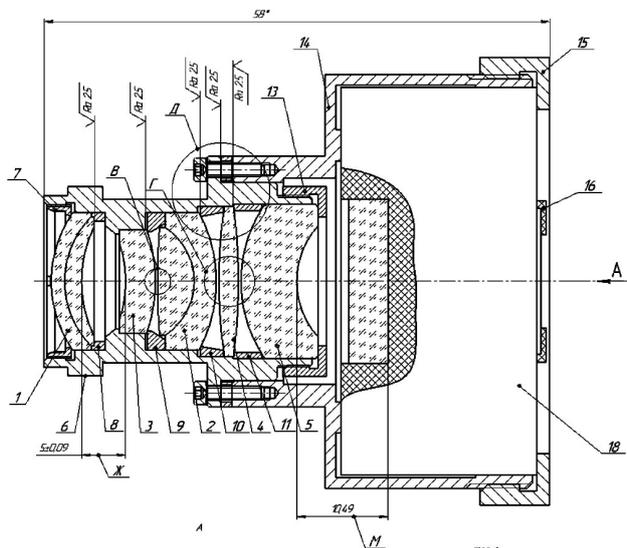


Рисунок 3.
Конструкция канала ближнего ИК диапазона

значен для совмещения двух изображений. Канал совмещения состоит из светоделительного кубика, полупрозрачных зеркал и репродукционного объектива. Получившиеся изображения от двух каналов с помощью канала совмещения будут соединяться в одно изображение, которое можно рассматривать через окуляр прибора.

Таким образом, прибор построен по 2-х канальной схеме с единым визуализирующим устройством, совмещающим оба изображения в одном за счет комплексирования изображений.

В табл. 2 и табл. 3 соответствия представлены основные характеристики объектива ближнего ИК диапазона и объектива дальнего ИК диапазона и на рис. 3 и рис. 4 соответствия представлены чертежи канала ближнего ИК диапазона и канала дальнего ИК диапазона.

Важнейшей функцией прибора является способность формировать комплексированное изображение. Методика синтеза комплексированного изображения построена на выделении (контрастированием и/или маркированием) предполагаемых объектов интереса.

В качестве критерия поиска объектов были выбраны два признака:

– яркостной признак обусловлен тем, что живая сила и техника имеют тепловое излучение выше излучения фона и контрастны на ТПВ изображении;

– признак движения позволяет уменьшить ошибку распознавания в условиях наблюдения, когда тепловое излучение фона «близко к излучению объекта: нагревание поверхностей на солнце, маскировка объекта и охлаждение при неблагоприятных погодных условиях, элементы инфраструктуры.

Значения двух признаков вычисляются независимо и результат объединяется при синтезе изображений.

На рис. 5 показана схема алгоритма синтеза. На вход алгоритма поступает:

- ТПВ кадр повышенного разрешения;
- ТВ кадр, трансформированный после выполненной привязки;
- данные, зафиксированные датчиками и подсистемами МСН на момент получения изображений: координаты, время и дата – соответствуют освещенности и средней температуре в данное время года и суток. Температура и влажность - корректирует средний уровень по погодным условиям, тип объекта позволяет судить о максимальной температуре излучения.

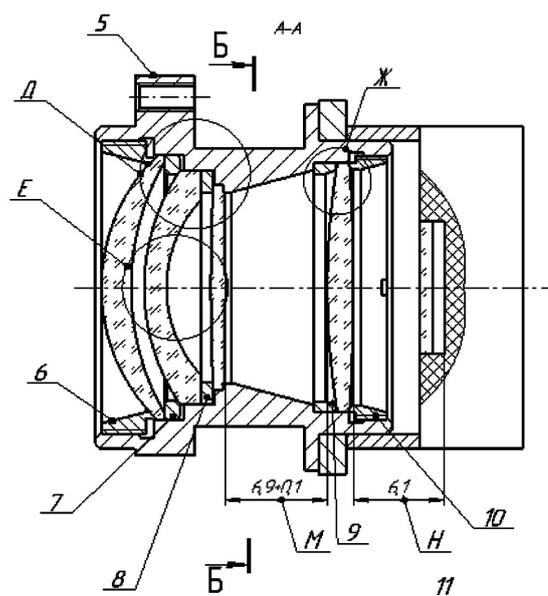


Рисунок 4.
Конструкция канала длинноволнового ИК диапазона

Таблица 2.
Основные характеристики канала
длинноволнового ИК-диапазона

Фокусное расстояние	15 мм
Относительное отверстие	1:1,2
Угловое поле	30 x 40
Спектральный диапазон	8-12,5 мкм
Коэффициент передачи контраста на частоте 30 мм ⁻¹ в центре поля не менее на краю не менее	0,45 0,3

Таблица 3.
Основные характеристики канала видимого
и ближнего ИК диапазона

Фокусное расстояние	20 мм
Относительное отверстие	1:1,2
Угловое поле	30 x 40
Спектральный диапазон	0,55-0,9 мкм
Коэффициент передачи контраста на частоте 64 мм ⁻¹ в центре поля не менее на краю не менее	0,45 0,3

База типовых сцен содержит установленные пороги для типовых условий наблюдения и может иметь вид, показанный в табл. 5. Для соответствующего времени суток (день, ночь, сумерки) и климатических показателей представлены экспертные оценки изменения порога среза. База может иметь более сложную, 3-х мерную структуру и учитывать другие факторы: например, местность наблюдения (город/пересеченная местность/помещение). Возможно расширить базу на отрицательные температуры.

Доступное в МСН цветное ТВ изображение позволяет сформировать описание ситуации, на основании которого оператор принимает свои решения по выполнению целевой задачи. По этой причине, основная концепция предлагаемого алгоритма синтеза заключается в наименьшем искажении исходного телевизионного (ТВ) изображения при добавлении на синтезируемый кадр целевой информации, полученной в инфракрасном спектре. Дополнительно используется маркирование движущихся объектов, поскольку данные объекты мо-

гут представлять особую важность для оператора. Поскольку исходное ТВ изображение является цветным, предлагается синтез производить по красной R-компоненте цвета (RGB- модель). Целевая информация, полученная в инфракрасном спектре - это результат обнаружения на ТПВ изображении объектов интереса по яркостному признаку и по признаку движения.

На основе обнаруженных движущихся объектов, порога среза для ТПВ изображения и исходного цветного ТВ изображения формируется новый кадр по следующей схеме:

$$F(x, y) = \begin{cases} TV(x, y), & \text{если } IR(x, y) < Y_{cp} \\ TV(x, y, R) + |IR(x, y) - \bar{A}| - \bar{A}_\Delta \\ IR(x, y), & \text{если } IR(x, y) > Y_{cp}; \overline{dx, dy}_{(x,y)} \neq \overline{dx, dy} \end{cases}$$

где $IR(x, y)$ - пиксель ТПВ изображения $TV(x, y, R)$, R-компонента пикселя ТВ изображения, \bar{A} - среднее значение яркости элементов ТПВ изображения,

\bar{A}_Δ - среднее значение абсолютных отклонений яркости элементов ТПВ изображения,

$\overline{dx, dy}_{(x,y)}$, $\overline{dx, dy}$ - локальное и глобальное движение кадра.

Второе выражение было применено в методике с приоритетом ТВ изображения. В данной схеме, пиксели, которые были выделены по яркости, отображаются как совокупность яркости ТВ и отклонения яркости ТПВ. Пиксели, обладающие одновременно движением и тепловым контрастом - отображаются как яркости ТПВ изображения.

В схеме синтеза можно использовать коэффициенты усиления: k, k_1, k_2 .

$$F(x, y) = \begin{cases} TV(x, y), & \text{если } IR(x, y) < Y_{cp} \\ k_1 \cdot TV(x, y, R) + k_2 \cdot IR(x, y) \\ k \cdot IR(x, y), & \text{если } IR(x, y) > Y_{cp}; \overline{dx, dy}_{(x,y)} \neq \overline{dx, dy} \end{cases}$$

Коэффициент k_1, k_2 принимают выбираются из правила $k_1 + k_2 = 1$, k не меньше 1 для маркирования движения.

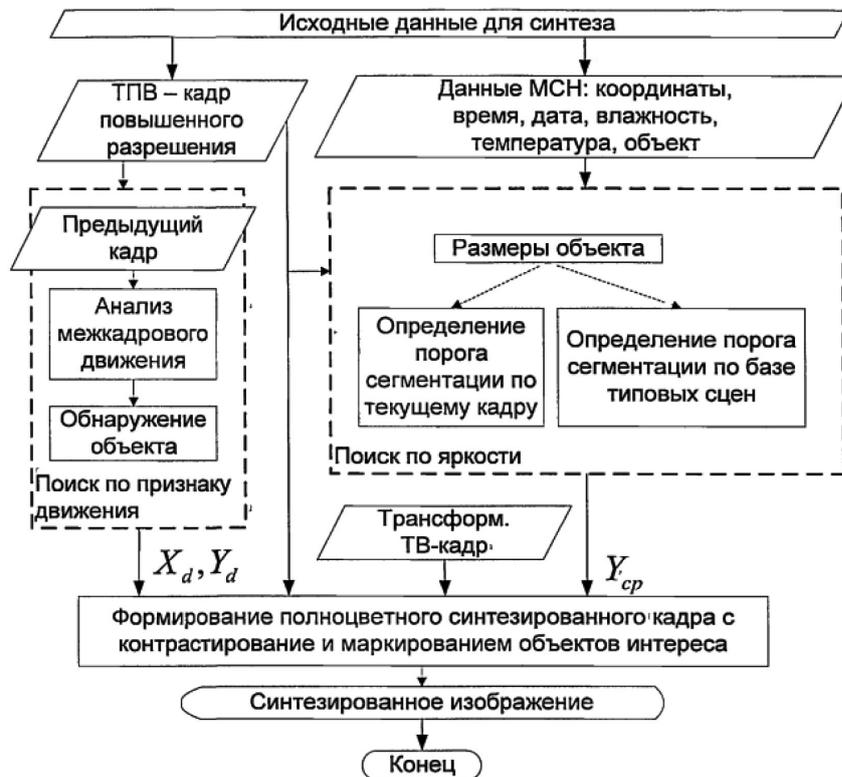


Рисунок 5.
Алгоритм синтеза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы были получены следующие результаты:

Рассмотрены характеристики и типы ДППН;

Рассмотрены принцип действия и функциональная схема прибора ДППН на основе ЭОП и тепловизионного модуля;

Представлен алгоритм синтеза комплексированного изображения.

Список литературы:

1. Кругер М.Я., Панов В.А. Справочник конструктора оптико-механических приборов - Машиностроение, 1968.

2. Латыев С.М. Конструирование точных оптических приборов - Политехника, 2007.

3. Zetax – руководство пользователя - 2009.

4. Михеев С.М. Комплексирование изображений разных диапазонов спектра в многоканальных системах наблюдения - М., 2007.

5. Грузевич Ю.К. Оптико-электронные приборы ночного видения - М., 2014.

6. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы смотрящего типа - М., 2004.

7. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность - М., 2012.

8. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях - М., 1999.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ КОМПОНЕНТОВ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

КРАЙСКИЙ А.В., *ПОСТНИКОВ В.А., МИРОНОВА Т.В., СУЛТАНОВ Т.Т., КРАЙСКИЙ А.А., ШЕВЧЕНКО М.А.

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, г. Москва

*ФНКЦ физико-химической медицины, ФМБА России, г. Москва

E-mail: postmaster@lebedev.ru, www.lebedev.ru

В работе рассматриваются различные аспекты, связанные с исследованиями и возможностями применения голографических сенсоров (ГС). По литературным данным проиллюстрирована жизненная важность экспресс-диагностики (point-of-care diagnostic) в медицине. Приводятся данные объема мирового рынка диагностики вообще, доля в нем экспресс-диагностики и темпы их роста. Обсуждаются свойства ГС, их достоинства, их измерительные возможности и возможные области применения. Обсуждаются возможности современной цифровой изобразительной техники, включая смартфоны для совмещения их с ГС. Подробно обсуждаются проблемы анализа содержания глюкозы в плазме и сыворотке крови и сопоставляются с существующими средствами.

Ключевые слова: голографические сенсоры, глюкоза, точность определения.

ВВЕДЕНИЕ

Голографические сенсоры (ГС) были предложены около 20 лет назад [1-2] и в последнее десятилетие привлекают внимание исследователей, поскольку на основе ГС возможно создать новый класс диагностических устройств [3-8].

В последние годы в практической медицине увеличивается потребность в экспресс-диагностике (см, например, [9]). Здесь сообщается, что в Бордерс (Шотландия) с помощью экспресс-диагностики инфаркта миокарда непосредственно в автомобиле время с момента поступления пациента в лечебное учреждение до начала лечения снизилось в среднем на 2.5 часа. Этим ежегодно спасают более 3500 жизней. Экспресс-диагностику можно проводить с помощью аппаратуры, основанной на разных методах анализа.

Например, глюкометры работают на фотометрическом или электрохимическом принципах. В [10] проводится сравнение мирового производства средств лабораторной диагностики в 2012 г и в 2017 г. В 2012 г. весь рынок оценивался в 52.5 млрд. долларов, сегмент экспресс диагностики – 15 млрд. долл. или 28.6%. В 2017 г. прогнозируется все производство 73.6 млрд.долл, т.е. общий рост на 40.2%, а сегмент экспресс-диагностики – 22.1 млрд.долл, т.е. составляет 30% от всего производства, а увеличение этого сегмента рынка на 47.3 %, т.е. экспресс-диагностика – сильно востребованный сегмент рынка. Подобные оценки приводит маркетинговая компания Markets&Markets для диагностики in vitro в целом в 2016 г.: рынок по совокупности продукта (инструменты, реактивы, программное обеспечение) оценивался

в 60.22 млрд. долл., к 2021 г. ожидается 78.7 млрд. долл. Согласованы с этими прогнозами оценки, этой же компании для более ранних лет [7]. Эти оценки относятся ко всем видам диагностики. Оптические сенсоры, в том числе и сенсоры на фотонных структурах, достаточно давно привлекли внимание исследователей [7] и уже находят применение в экспресс диагностике в массовом употреблении. При этом в зависимости от типа аналита (тестируемого компонента) и способа его распознавания получены различные чувствительности [7]: рН до 0.01, содержание глюкозы до 0.1 мМ (аминофенилборная кислота) и до 0.5 мМ (глюкозооксидаза), бифенол до 10^{-9} мкМ, цианиды до 10^{-4} мМ, холестерин до 1 нМ, ионы Hg^{2+} до 10 нМ, температура до 2°C и многое другое.

Голографические сенсоры – один из видов сенсоров на фотонных структурах. Их специфика в типе структур – в них образуются квазиодномерные интерференционные слои, отражение от которых сосредоточено в небольшом телесном угле и имеет узкополосный спектр длин волн.

1. ЧТО ТАКОЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

ГС позволяют создать новый класс диагностических устройств для определения компонентов растворов биологических жидкостей и газовых смесей. Их разработка и исследования начались в Кембриджском университете коллективом под руководством проф. К.Р. Лоу в 90-е гг. [1]. В обзоре 2014 г. [6] так дается определение ГС: это «аналитические устройства, отражающие узкополосный свет от ультрафиолетового до инфракрасного диапазонов, предназначенные для обнаружения и количественного определения аналитов и/или физических параметров». ГС могут применяться в различных областях: в медицине, пищевой промышленности, мониторинге окружающей среды и т.п.

В более узком смысле ГС - это голограммы Денисюка, т.е. многослойные периодические структуры, которые, как правило, изготавливают по фотографической технологии на

основе галоидного серебра, концентрация нанозерен которого изменяется периодически. При отражении от такой структуры для света, падающего нормально к слоям, имеется резонансная длина волны, которая равна удвоенному периоду структуры. Типичный спектр отраженного сигнала от сенсора имеет достаточно узкий пик, который хорошо аппроксимируется гауссовой функцией [10]. Характерные ширины - 8 – 20 нм. В полимерную матрицу встраиваются специальные вещества, при взаимодействии которых с тестируемым компонентом матрица изменяет свою толщину. Вследствие этого изменяется период слоев и длина волны отраженного света при освещении белым светом. Другими словами изменяется цвет сенсора. По этому изменению и можно определять концентрацию тестируемого вещества. При отбеливании голограмм возможно получение более высокой дифракционной эффективности (ДЭ). Сейчас исследуются и другие материалы, и способы изготовления голографических структур, например, применение наноразмерных синтетических цеолитов и 3-х-мерная цифровая печать [8].

В последние годы появилось несколько работ, в которых подведены итоги этапов работ по ГС [4-8]. Среди них выделяется, опубликованный в 2014 г. в Chem.Rev. большой обзор [4], в котором подводятся итоги работ за 20 лет в этой области и обсуждаются проблемы направления и его перспективы.

На основании этих работ можно сделать вывод, что **голографические сенсоры на основе «умных» гидрогелей - новый класс диагностических устройств с большими возможностями.**

2. ЧТО МОГУТ ИЗМЕРЯТЬ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

С помощью них можно измерять:

- кислотность (рН) водных растворов,
- содержание ионов металлов,
- содержания глюкозы в крови и в других биологических жидкостях, сорбитола, мочевины,
- концентрацию спирта, влажность;

- определять наличие: спор бактерий, метаболитов, роста бактерий;
- проводить анализ: лактата в плазме крови,
- определять с помощью голографических сенсоров на основе гидрофобной матрицы содержания горючих углеводородных газов в воздухе.

Перспективная проблемная задача – контроль соблюдения заданного температурного диапазона контролируемого объекта при хранении и перевозке!

Возможны и иные применения.

3. ДОСТОИНСТВА ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

К достоинствам сенсоров относится достаточно высокая чувствительность, причем для некоторых классов веществ – чувствительность к следовым концентрациям,

- простота работы, обратимость,
- достаточно высокая точность,
- многоканальность, в частности, возможность измерения неоднородных распределений,
- визуальная оценка или точная обработка цифровых изображений,
- легкая модификация сенсора для работы с другими компонентами,
- они дешевы,
- возможность работы в реальном времени,
- возможность работы без добавления химических реагентов,
- отсутствие токсичных продуктов, выделяющихся при работе,
- возможность применения в комбинации с микрофлюидной техникой.

4. ГДЕ МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

Голографические сенсоры могут применяться в различных областях: в медицине, пищевой промышленности, мониторинге окружающей среды, в частности, водных ресурсов, технике и т.п.

Могут быть массовые применения.

Контроль работы фильтров питьевой воды на содержание ионов металлов (или иные компоненты) в быту, в полевых условиях

при простом визуальном контроле или более точном цифровом с помощью адаптированного смартфона или простого специализированного устройства, т.е. универсальной упрощенной камерой, габариты которой не превосходят размеры смартфона. Такие камеры могут быть очень дешевы при массовом производстве. Применяться они могут при измерении жесткости воды. Это важно при избыточной минерализации воды, в местностях с железистой водой.

Возможен контроль содержания глюкозы в организме по слезной жидкости с помощью специализированных контактных линз или по поту. Это позволит резко понизить применение инвазивных методов контроля в быту.

Возможен контроль мочевины в молоке на молочных фермах, контроль воды в авиационном керосине.

В перспективе: можно предполагать контроль заданного температурного диапазона при хранении и перевозке биологических и других препаратов и массово применяться при хранении скоропортящихся продуктов в быту.

5. НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Основной целью нашей работы была разработка сенсоров для определения концентрации глюкозы в крови [10]. В работе использовали обычную схему для записи голограмм во встречных пучках. Для получения голограмм применялся обычный фотографический процесс с получением нанозерен металлического серебра при экспонировании фотоэмульсии в излучении гелий-неонового лазера с длиной волны 632,8 нм или второй гармоники твердотельного лазера с выходной длиной волны 533 нм по схеме на встречных пучках в растворе, с тем, чтобы период слоев после обработки в рабочих условиях давал пики отражения в рабочей области спектрометра.

Нами исследовался ряд матриц различных составов и конструкций на основе акриловой кислоты, чувствительных к рН и ионной

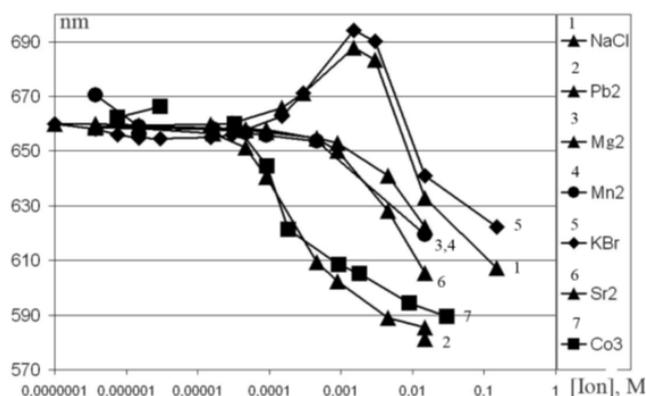


Рисунок 1.
Примеры отклика ГС для ионов некоторых 1-3-х-валентных металлов [3] в зависимости от концентрации

силе, а на основе аминофенилборной кислоты - чувствительных и к глюкозе.

На рис. 1 показаны отклики сенсора на основе акриловой кислоты на ионную силу в присутствии ряда катионов в широком диапазоне концентраций от 10⁻⁷ до 0.3 М.

Видно, что характер откликов различен для различных типов катионов. Для щелочных ионов отклик не монотонен, имеется четко выраженный максимум в области тысячных долей рН, по откликам двухвалентные ионы Mn, Mg, Sr образуют другую группу.

Отклик двухвалентного иона свинца близок к отклику трехвалентного кобальта и при больших концентрациях превос-

ходит его. Они образуют группу с большей чувствительностью сенсора к ней.

На рис. 2 показаны спектры отражения в дистиллированной воде после переноса в нее сенсора из раствора цитрата ($\lambda = 860$ nm ИК); в дистиллированной воде (стационарное состояние) ($\lambda = 724$ nm темнокрасный свет); водопроводной воде после фильтра Аквафор ($\lambda = 712$ nm темнокрасный); водопроводной воде после фильтра Барьер ($\lambda = 676$ nm красный); холодной водопроводной воде ($\lambda = 615$ nm светлокрасный); минеральной воде, содержащей ионы $[Ca^{2+}] 3 \cdot 10^{-3}$ М ($\lambda = 585$ nm желтый); растворе соли свинца в дистиллированной воде $[Pb^{2+}] 5 \cdot 10^{-3}$ М ($\lambda = 542$ nm зеленый). Видно, что голографические сенсоры вполне могут быть тестерами воды и позволяют определять пригодность бытовых фильтров воды по их способности очищать ее от ионов металлов.

На рис. 3 показаны отклики на концентрацию этилового спирта сенсора на основе акриловой кислоты и аминофенилборной кислоты в диапазоне концентраций 0 – 47%. Видно, что сенсор на основе акриловой кислоты в указанном диапазоне перекрывает практически весь видимый спектр. Следует отметить, что выбором условий записи голограммы можно управлять положением кривой по отношению к оси длин волн.

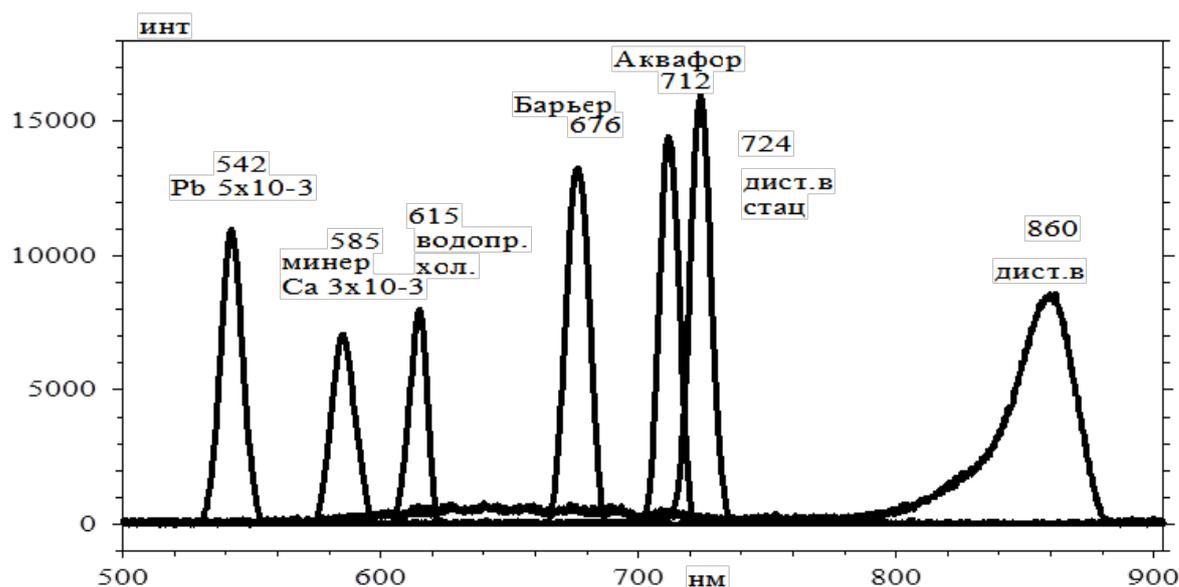


Рисунок 2.
Спектры отражения сенсора при наличии различных ионов металлов в воде [3]

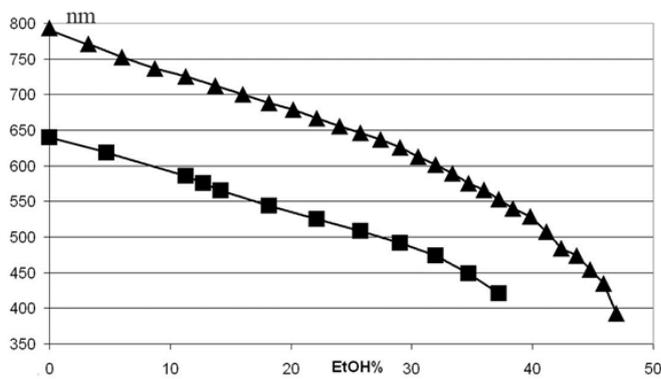


Рисунок 3.

Отклик на концентрацию этилового спирта сенсоров на основе акриловой кислоты (верхняя кривая) и аминофенилборной кислоты (нижняя кривая) [3]

6. К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ РЕЗОНАНСНОЙ ВОЛНЫ

Точность измерения длины волны зависит в первую очередь от спектральной ширины полосы коэффициента отражения голограммы. Он в свою очередь зависит от толщины голографического слоя при малой ДЭ и от величины ДЭ при большой ее величине. В последнем случае приходится пользоваться компьютерным расчетом.

В случае малой амплитуды модуляции показателя преломления, т.е. малой ДЭ, ширина наименьшая. В этом случае ширина линии отражения дается простым выражением. Из него легко определить число интерференционных слоев, т.е. толщину голографического слоя.

На рисунке показан экспериментальный спектр отражения сенсора и его аппроксимация гауссовой функцией. При аппроксимации пика отражения в экспериментальном слое определяется ширина отклика, и по формуле определяются эффективное число интерференционных слоев и эффективная толщина слоя.

Для малой ДЭ связь между параметрами голографического слоя дается выражением:

$$\delta\lambda = 0.886 \lambda^2 / (2nD) = 0.886 \lambda / N, \quad (1)$$

где $\delta\lambda$ – спектральная ширина линии отражения, λ – длина волны, D – толщина слоя,

$N = (2nD)/\lambda$ – число интерференционных слоев.

Для характерного экспериментального

спектра отражения $\lambda = 0.677$ мкм (красный), $n = 1.33$ – показатель преломления гидрогелевого слоя, ширина пика $\delta\lambda = 8$ нм, из выражения (1) вычисляется толщина голографического слоя $D = 19$ мкм. В [3] показано, что при титровании при резком уменьшении кислотности раствора происходит резкое, почти на порядок, увеличение ДЭ. Вследствие этого может происходить сильное искажение формы пика отражения и увеличение его ширины. При этом формула (1) перестает действовать, поскольку отклонения от нее становятся заметными при ДЭ больше 0.1 [10]. В этом случае для расчетов спектра коэффициента отражения мы использовали компьютерную модель. Решалась краевая задача для волнового уравнения с периодическим изменением диэлектрической проницаемости. Для описания диэлектрической проницаемости композитной среды эмульсии с нанозернами серебра использовалась формула Максвелла-Гарнетта [11-12]. Определение параметров ГС делалось методом подгонки параметров вычисляемого с помощью компьютерной модели пика отражения к параметрам экспериментального спектра отражения [10].

7. ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО СЕНСОРА

Основной проблемой при применении голографических сенсоров для анализа содержания глюкозы в сыворотке крови было сильное снижение чувствительности к глюкозе из-за наличия солей щелочных металлов. Отклик сенсоров глюкозы линейно зависит от содержания глюкозы в диапазоне концентраций от 0 до 20 ммоль/л в модельных растворах фосфатного буфера. Величина отклика зависит от ионного состава раствора, так, при увеличении ионной силы раствора (содержания NaCl) от 0 до 0,15 М чувствительность сенсоров снижается более чем на порядок от 6 нм/ммоль до 0,44 нм/ммоль. Это существенно ограничивает возможности практического применения сенсоров глюкозы для определения содержания глюкозы в биологических жидкостях, как правило, со-

державших заметное количество различных ионов. Линейны и отклики сенсоров в аналогичных модельных растворах шестиатомного спирта сорбита, который является продуктом восстановления глюкозы. Чувствительность этих сенсоров к сорбиту при наличии ионов металлов почти на два порядка выше чувствительности к глюкозе, при этом, при увеличении содержания ионов в растворе, величина отклика снижается примерно в два раза. При правильном подборе реакций, приводящих к восстановлению глюкозы до сорбита в биологических жидкостях, на основе голографических сенсоров можно разработать существенно более чувствительные аналитические системы для определения глюкозы.

Для этого проба сыворотки крови смешивалась с раствором, содержащим модификатор для восстановления глюкозы до сорбита. На рис. 4 треугольниками показаны отклики сенсора в модифицированных таким образом образцах сыворотки крови. Видно, что они практически совпадают с откликами в контрольных растворах сорбита в том же буфере. Чувствительность к содержанию глюкозы составляет более 400 нм/мМ. Стандартное отклонение (СО) при измерении длины волны (прецизионность) при ширине линии около 10 нм составило 0.05 нм. Это обеспечивает СО для концентрации глюкозы - до 1.0×10^{-4} мМ, т.е. 0.1 мкМ.

Для голограммы, использованной нами в реальном эксперименте с микрофлюидной техникой СО составило 8.0×10^{-4} мМ, в пересчете на исходный образец плазмы крови составляет 0.015 мМ глюкозы. Требования по международному стандарту ISO15197-2013 для электронных глюкометров: не менее 95% результатов глюкометра должны отклоняться от результатов эталонного анализатора составляющая при содержании глюкозы свыше 5.55 ммоль/л не более, чем на 15%, а при содержании глюкозы до 5.55 ммоль/л – 0.83 ммоль/л. Т.о. оказывается, что при содержании глюкозы 5.55 ммоль/л, что лежит в границах нормы, то в пределах этого требования могут оказаться реальные измерения 6.38 ммоль/л.

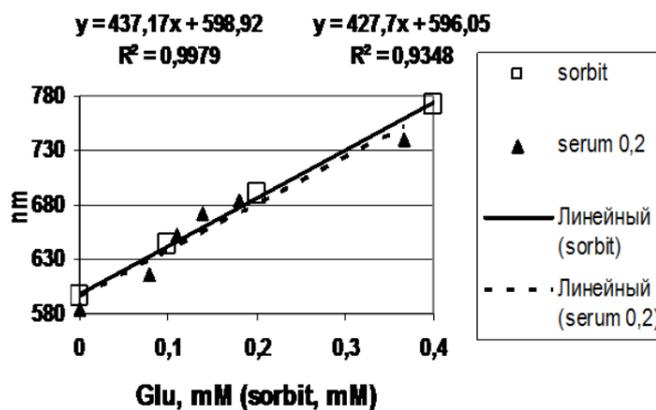


Рисунок 4.

Отклик сенсоров глюкозы в растворах сорбита и разбавленных модифицированных образцах сыворотки крови

Для эталонного анализатора «YSI 2300 STAT PLUS» - предел относительного СО измерений не превышает $\pm 2\%$. Это для содержания глюкозы 5.55 ммоль/л может при отклонении на 3 СО иметь измерения 5.86. Для голографического сенсора, с которым были проведены измерения, СО - 0.015 мМ. Поэтому измерения с отклонением до 3 СО не будут превышать 5.59 нм. Т.о. для ГС СО значительно лучше, чем для эталонного анализатора. Реальное отклонение в эксперименте с модельным раствором составило около 3%, т.е. на уровне эталонного прибора. По концентрационным зависимостям видно, что это отклонение явно носит систематический характер и значительно больше СО, т.е. прецизионности определения длины волны. Это мы связываем с неточностями навесок небольших количеств веществ и объемов растворов.

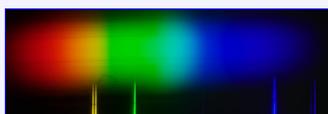
8. ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОТРАЖЕННОГО СЕНСОРОМ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

С помощью определенной калибровки для узкополосного излучения можно по цветности цифрового изображения поверхности сенсора определить длину волны этого излучения [14-15]. На рис. 5 показана одна из фотографий спектра лампы накаливания, по набору которых строится показанная на том же рисунке калибровочная поверхность. С помощью этой поверхности по цветовым

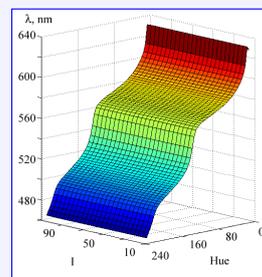
Колориметрический метод

Калибровка фотокамеры

Изображение спектра → Калибровочная поверхность



На нижней координатной плоскости оси – I-интенсивность, Hue-цветность (определяются по соотношению откликов сенсоров, вертикальная ось – длины волн- определяются по калибровочной поверхности при полученных двух других параметрах)



Измерение длин волн

Изображение сенсора → калибровочная поверхность → длина волны

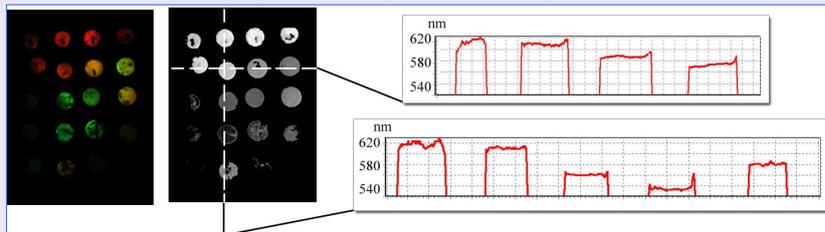


Рисунок 5.

Применение колориметрического метода определения длины волны, отражаемого сенсором излучения.

Вверху: слева один спектр лампы накаливания из набора спектров, по которым строится калибровочная поверхность (вверху справа).

Внизу: слева – изображение набора ячеек ГС с различным содержанием аналита, правее – карта длин волн этого изображения, справа – горизонтальное и вертикальное сечения карты длин волн

Holographic sensor concept

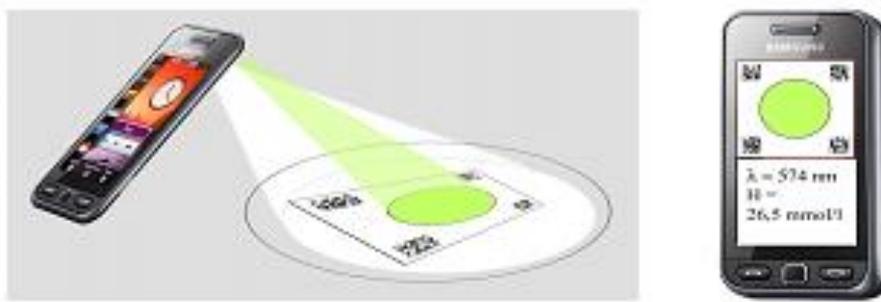


Рисунок 6.

Крайский А.В., Постников В.А., Миронова Т.В. – 2013 предложения использования смартфона для регистрации длины волны отклика ГС и определения содержания аналита

данным пикселя цветowego изображения (интенсивности I и его цветности Hue) определяется соответствующая этим данным длина волны излучения для этого пикселя. Так для всех точек изображения строится карта длин волн.

Внизу слева показаны фотография и карта длин волн для чипа с голографическими сенсорами с 24-мя ячейками, в которых на-

ходился аналит в различной концентрации, справа показаны горизонтальное и вертикальное сечение этой карты.

Колориметрический метод можно применять для цифровых изображений, полученных с помощью любых цифровых устройств: бытовых фотоаппаратов, смартфонов (см. рис. 6), WEB-камер, камер слежения, научных камер ит.п.

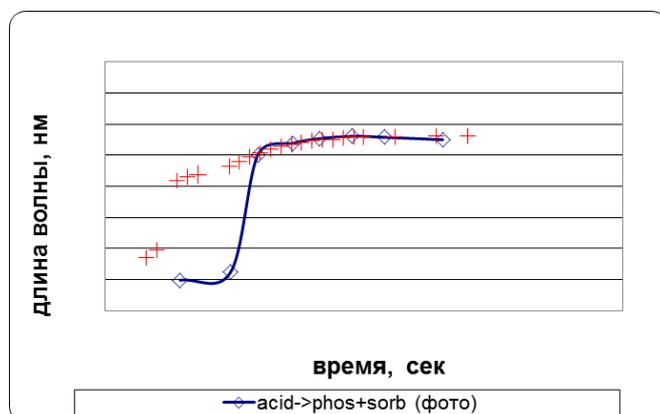


Рисунок 7.

Сравнение результатов спектральных и колориметрических измерений переходов сенсора в одинаковое конечное состояние из разных начальных состояний

Смартфон в сочетании с дифракционной решеткой для считывания спектра применен в [16]. При этом принцип работы его был другой, поскольку с длиной волны связывалось положение пикселя в спектре, развернутом по пространству голографической решеткой, т.е. цифровой приемник смартфона использовался просто как пространственно-чувствительный датчик.

Другой, чисто цветовой принцип работы смартфона был использован в [17].

На рис. 7 показано сравнение результатов измерения кинетики перехода для сенсора из одного состояния в другое с помощью спектрометра (кресты) и колориметрическим способом (синие ромбы). Переход проводился в одно и то же состояние (раствор сорбитола в фосфатном буфере) из разных начальных состояний – уксусная кислота – ромбы и фосфатный буфер - кресты. Вследствие этого на начальном этапе (до 85 сек) данные различаются. На следующем участке видно, что колориметрический способ не уступает по точности измерениям спектров с помощью спектрометра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Т.о. голографические сенсоры могут использоваться для анализа различных веществ. Сенсоры обладают пространственной многоканальностью, достоинства которой легко реализуются параллельной обработкой при использовании колориметрического ме-

тода обработки цифровых изображений поверхности сенсора.

По опыту работы с глюкозой можно сделать вывод, что можно находить способы повышения чувствительности применением специфических для данного анализа реакций. Поэтому нам представляется возможным при дальнейших разработках предусматривать определение и других веществ, в частности, других важных компонентов биологических жидкостей. Это позволит создавать мощные дешевые, простые в эксплуатации, малоразмерные и легкие измерительные комплексы, которые можно применять в быту, в полевых условиях, на производстве и т.д.

Мы считаем, что в первом приближении основные проблемы по разработке анализатора глюкозы решены на уровне НИР.

Далее требуется детальное сравнение этих анализаторов с существующими на настоящий момент. В случае признания их преимущества пока имеется возможность провести технологическую проработку производства этих сенсоров и их внедрения в практику. При этом имеет смысл ставить задачу шире создания анализатора на одно вещество и проводить разработку комплексного анализатора ряда значимых анализируемых компонентов.

Список литературы:

1. WO Patent Application 1995026499 A1, Hologram used as a sensor. / Lowe, C. R.; Millington, R. B.; Blyth, J.; Mayes, A. G., - Оpubл. October 5, 1995
2. Toal V. Introduction to Holography CRC Press: Boca Raton, FL, 2011. – 441 p.
3. Крайский А.В., Постников В.А., Султанов Т.Т., Хамидулин А.В. // Квантовая электроника. — 2010, — Том 40 №2, с. 178 - 182.
4. Mihaylova E., Cody D., Naydenova I., Martin S. and Toal V. (2013). Research on Holographic Sensors and Novel Photopolymers at the Centre for Industrial and Engineering Optics, in book “Holography - Basic Principles and Contemporary Applications”, Dr. Emilia Mihaylova (Ed.), ISBN: 978-953-51-1117-7, InTech, DOI: 10.5772/56061. p.89-102.

5. Postnikov, V. A.; Kraiskii, A. V.; Sergienko, V. I. (2013). Holographic Sensors for Detection of Components in Water Solutions, in book "Holography - Basic Principles and Contemporary Applications", Dr. Emilia Mihaylova (Ed.), ISBN: 978-953-51-1117-7, InTech, DOI: 10.5772/53564. p.103-128.
6. Yetisen, A. K.; Naydenova, I.; da Cruz Vasconcellos, F.; Blyth, J.; Lowe, C.R. // «Holographic Sensors: Three-Dimensional Analyte-Sensitive Nanostructures and Their Applications», Chem. Rev., 2014, 1409300950
7. Yetisen, A.K., et al., Photonic hydrogel sensors Biotechnol Adv 2016 May-Jun;34(3):250-71. Epub 2015 Oct 17
8. M.Zawadzka, T.Mikulchyk, D.Cody, S.Martin, A.K.Yetisen, J.L.Martinez-Hurtado, H.Butt, E.Mihaylova, H.Awala, S.Mintova, S.H.Yun and I.Naydenova. Photonic Materials for Holographic Sensing in M.J. Serpe et al. (eds.), Photonic Materials for Sensing, Biosensing and Display Devices, Springer Series in Materials Science 229, 2016. DOI 10.1007/978-3-319-24990-2_11
9. http://www.fedlab.ru/upload/medialibrary/c2f/steblina-yuv-_ekspress_diagnostika.-rostov_na_donu-02-iyunya-2015
10. Крайский А.А., Крайский А.В., // Квант. электроника, —2016 — Том 46 №6, С. 558–566.
11. J.C.Maxwell Garnett., // Phil.Trans., A, 1904, vol.203, p.385-420
12. J.C.Maxwell Garnett., // Phil.Trans., A, 1906, vol.205, p.237-288
13. Зайцева Г.В., Зарицкий А.Р., Кириченко М.М., Краснова М.А., Крайский А.В., Постников В.А., Шевченко М.А. // Краткие сообщения по физике ФИАН, —2017 — Том 44 №6, С.3.
14. Крайский А.В., Миронова Т.В., Султанов Т.Т., // Квант. электроника, — 2010 —Том 40, №7, с.652 - 658.
15. Крайский А.В., Миронова Т.В., Султанов Т.Т., // Квант. электроника, — 2012 —Том 42, №12, с. 1137-1139.
16. Dustin Gallegos, Kenneth D. Long, Hojeong Yu, Peter P. Clark, Yixiao Lin, Sherine George, Pabitra Natha and Brian T. Cunningham, Label-free biodetection using a smartphone, Lab Chip, 2013, 13, 2124, DOI: 10.1039/c3lc40991k
17. Juan L. Martinez-Hurtado , Ali K. Yetisen, and Seok-Hyun Yun. "Multiplex Smartphone Diagnostics" Paul C. Guest (ed.), Multiplex Biomarker Techniques: Methods and Applications, Methods in Molecular Biology, vol. 1546, 2017 DOI 10.1007/978-1-4939-6730-8_26, © Springer Science+Business Media LLC

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МЕТОД КОНТРОЛЯ ВНЕОСЕВОГО АСФЕРИЧЕСКОГО СЕГМЕНТА ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА СВЕРХБОЛЬШОГО ЕВРОПЕЙСКОГО ТЕЛЕСКОПА ДИАМЕТРОМ 39 МЕТРОВ

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПАТРИКЕЕВ В.Е., СЕМЕНОВ А.П., *ДЕНИСОВ Д.Г., *НАГОВИЦЫН В.В., *КРАСНОВА Е.В., *ДЖУМАМУРАТОВА А.А.

АО «Лыткаринский завод оптического стекла», Московская обл., г. Лыткарино

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: lastro@lzos.ru

Разрабатываемый технологический процесс изготовления внеосевого асферического сегмента E-ELT M1 уникален тем, что для асферизации поверхности был применен метод упругой деформации – шлифование детали в упруго-деформированном состоянии. Были рассмотрены основные технологические направления, применяющиеся для формообразования асферической поверхности и приведены достоинства выбранного метода. При выборе метода контроля статических параметров шероховатости поверхности была учтена классификация пространственных неоднородностей. Для их диагностики предлагается функциональная схема поляризационного фазосдвигающего интерферометра Линника и метод динамической интерферометрии.

Ключевые слова: внеосевой асферический сегмент, метод упругой деформации, пространственная неоднородность, динамический интерферометр.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА ESO

В 2004 году совет Европейской Южной Обсерватории (ESO, European Southern Observatory) поставил перед собой грандиозную задачу - «стабилизацию европейского астрономического лидерства и высокого уровня развития в эру экстремально больших телескопов». После этого началась работа над проектом E-ELT – Европейским экстремально большим телескопом (European Extremely Large Telescope). Спустя несколько лет астрономы ESO утвердили проект и приступили к его детальной разработке. Это стало отправной точкой для создания нового поколения телескопов в отличие от нынешнего поколения, в котором самый большой имеет зеркало диаметром 10 метров. Летом

2012 года совет ESO окончательно утвердил проект по созданию E-ELT.

Для строительства E-ELT ESO выбрал гору Армазонес, находящуюся по соседству с пиком Паранал, где расположен комплекс из четырех 8-метровых телескопов VLT (Very Large Telescope – очень большой телескоп). Это место выбрано неслучайно, так как пустыня Атакама, где находятся оба пика, является одним из самых сейсмоустойчивых и благоприятных мест с точки зрения астроклимата. Планируется, что скоро в Чили будет построен уникальный телескоп внушительных размеров. Внешний вид телескопа показан на рис. 1. Строительные работы начались в 2013 году и продолжаются в настоящее время. Самой главной частью

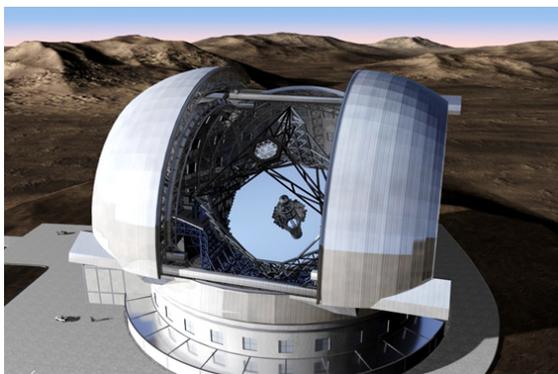


Рисунок 1.

Сверхбольшой телескоп E-ELT в Чили

E-ELT является его 39-метровое зеркало, которое состоит из 798 сегментов с диаметром каждого 1,4 метра. Зеркала будут изготовлены на предприятиях, расположенных в странах – членах ESO.

Общая стоимость E-ELT составит 1,083 миллиарда евро. E-ELT станет самым большим телескопом в мире, позволяющим вести наблюдения в видимом и в ближнем инфракрасном диапазонах. Ожидаемый срок службы E-ELT -30 лет. Ученые надеются, что с помощью сверхбольшого телескопа им удастся расширить границы исследований космоса, обнаружить новые планеты за пределами Солнечной системы, а также проверить истинность научных гипотез. Первая эксплуатация планируется в 2021-2022 гг. Начиная с октября 2022 года, на телескопе начнутся регулярные наблюдения.

Для обеспечения заданных характеристик E-ELT необходимо, чтобы качество изготовления всех составляющих оптических элементов данного телескопа было достаточно высоким. При изготовлении таких поверхностей необходимо обеспечить соответствую-

ющее качество однородности материала и требуемую точность формы поверхности каждого сегмента и всех сегментов вместе в составе зеркала [1,2].

**ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
СЕГМЕНТОВ ЗЕРКАЛ**

Пространственные параметры формы оптической поверхности описываются локальными отклонениями данной поверхности от требуемой, в частности, среднеквадратичным отклонением профиля поверхности, или обратной величиной - пространственной частотой. В зависимости от амплитуды на выделенной области различают несколько диапазонов пространственных отклонений на оптических поверхностях. На основании международных исследований введена классификация локальных отклонений оптических поверхностей в зависимости от величины их пространственного масштаба. Выделяют четыре пространственно-частотных диапазона отклонений или ошибок поверхности, как показано в таблице 1.

Параметры, указанные в таблице 1, характеризуют определенное фазовое искажение волнового фронта и рассеяние на объемных ошибках и шероховатостях поверхности. Ошибки формы в первом диапазоне характеризуют низкочастотную составляющую ошибок поверхности, в частности волнистость, расстояние от самой большой впадины на измеряемой поверхности до самого большого бугра (PV) и градиент поверхности (RMS), абсолютные значения которых приведены. Остальные три диапазона определяют среднюю структурную и высоко-

Таблица 1.

Классификация пространственных неоднородностей

	Диапазон 1		Диапазон 2		Диапазон 3		Диапазон 4
Пространственный масштаб, мм	400-33		33-2,5		2,5-0,12		0,12-0,01
Пространственная частота, мм ⁻¹	2,3x10 ⁻³ – 3x10 ⁻²		3x10 ⁻² – 0,4		0,4-8,3		8,3-100
Параметр	PV, длин волн излучения	rms градиент (нм/см)	Rq (rms) (нм)	A (нм ² x мм)	Rq (rms) (нм)	A (нм ² x мм)	Rq (rms) (нм)
Стекло	0,33	7	1,8	1,0	1,6	1,0	0,4

частотную составляющую ошибку профиля оптической поверхности. Особенности поверхностных показателей качества сегмента данного зеркала оцениваются по четвертому диапазону, суб-нанометровому диапазону шероховатости, и определяются статистическими характеристиками шероховатости поверхности.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВНЕОСЕВОГО АСФЕРИЧЕСКОГО СЕГМЕНТА

Основная задача при изготовлении прототипа сегмента E-ELT – определить наиболее эффективный и быстрый способ асферизации внеосевой асферической поверхности (АП) заготовки сегмента.

Асферическая оптика может быть грубой, средней и высокой точности. Назначение оптической детали (ОД) предопределяет выбор метода формообразования ее поверхностей. Для формообразования АП применяют различные технологические направления. Остановимся на тех из них, которые в последние десятилетия утвердились на практике.

Обработка внеосевой асферической поверхности оптической детали методом упругой деформации является наиболее производительной, поскольку:

- позволяет использовать полноразмерный инструмент, который обрабатывает сразу всю поверхность;
- поверхность в этом случае будет «гладкой», на ней практически будут отсутствовать мелкоструктурные ошибки от локальной управляемой обработки;
- заготовка должна быть круглой по периметру для использования данного метода и иметь толщину заготовки такой, чтобы можно было выполнить ее деформацию на соответствующую величину;
- приспособления для деформации детали не должны препятствовать процессу формообразования ОД (выступающие элементы, деформации и прогибы во время обработки и т.д.).

Прототип сегмента E-ELT M1 представлен на рис. 7.

Уравнение асферической поверхности опи-

сывается следующим выражением:

$$z(x, y) = \frac{\frac{1}{R} \cdot (x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) \cdot \left(\frac{1}{R}\right)^2 \cdot (x^2 + y^2)}}$$

где $R = 88000$ мм – вершинный радиус кривизны зеркала;

$k = -0,993295$ – коническая константа.

Так как $-1 < k < 0$, можем сделать вывод, что поверхность представляет из себя эллипсоид вращения вокруг главной оси (эллипсоид или вытянутый сфероид).

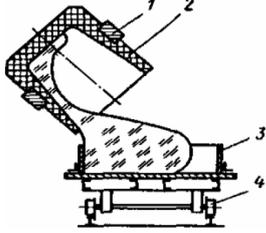
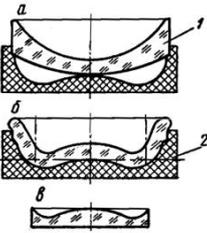
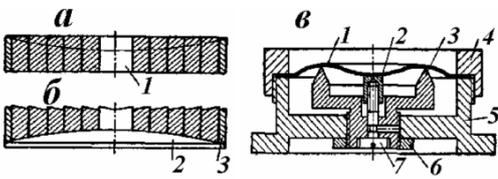
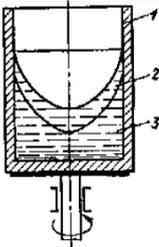
Метод обработки зеркала в упруго-деформированном состоянии используется со времен изготовления пластин Шмидта и описан в литературе. Но в настоящее время он применяется, например, при изготовлении сегментов зеркал телескопа Keck I и Keck II.

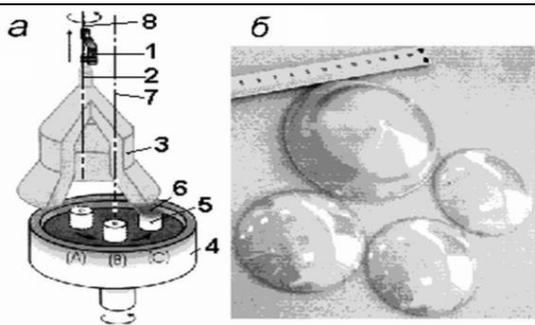
Для отработки технологии асферизации сегмента был асферизован и прополирован прототип внеосевого сегмента зеркала круглой формы диаметром 1520 мм и толщиной 50 мм из Астроситалла. Работа проводилась в рамках эксперимента по изготовлению прототипа, наиболее удаленного от центра 39-метрового зеркала телескопа E-ELT. Отклонение данной поверхности от ближайшей сферы составляет 203 мкм.

Предварительно была формообразована сферическая поверхность на круглой заготовке диаметром 1520 мм с ближайшим к асферической поверхности радиусом кривизны, с отклонением от сферы до 1 мкм. Далее сегмент был изогнут таким образом, чтобы он имел форму обратную к требуемой асферической. Затем поверхность шлифовалась полноразмерным инструментом, чтобы снова получить сферическую поверхность с тем же радиусом кривизны. После снятия деформаций была получена требуемая асферика, которую затем довели до требований спецификации программно-управляемым шлифованием малым инструментом с последующим полированием.

На рис. 8 приведена схематическая модель процесса деформации подложки прототипа сегмента и соответствующие механизмы для выполнения данной процедуры.

Таблица 2.
Технологические направления, применяющиеся для формообразования
асферической поверхности

<p align="center">Метод литья в форму</p>	 <p align="center">Рисунок 2. Отливка стекла в форму: 1 – клещи; 2 – горшок; 3 – форма; 4 – тележка</p>	<p>Удовлетворительная точность геометрии только для полимеров. Для стекол - только изготовление исходной заготовки (рис. 1). Литье под давлением позволяет улучшить качество поверхностей и повысить класс чистоты поверхностей</p>
<p align="center">Метод пластического деформирования исходной заготовки</p>	<p align="center">Моллирование</p>  <p align="center">Рисунок 3. Этапы процесса моллирования: а) – исходная заготовка 1 уложена в форму; б) – процесс моллирования завершен; в) – готовая деталь вырезана из моллированной заготовки по линиям 2</p>	<p>Показатель преломления материала заготовки изменяется на 0,002. Серийное изготовление неотчетливых, в основном, светотехнических ОД с АП невысокой точности</p>
<p align="center">Метод пластического деформирования исходной заготовки</p>	<p align="center">Прессование</p>  <p align="center">Рисунок 4. Пресс-формы для пластического формования оптических деталей: а) – исходный набор колец; б) – готовая пресс-форма для формования линз Френеля: 1 – заглушка; 2 – шаблон; 3 – центрирующее кольцо; в) – пресс-форма для формования пластин Шмидта: 1 – упругая пластинка; 2,6 – гайки; 3,4 – кольца; 5 – основание; 7 – винт</p>	<p>Материал для прессования - полимеры. Полученные ОД имеют низкую точность, малую твердость поверхностей, нестабильные геометрические размеры, микротрещины в толще материала («серебро»)</p>
<p align="center">Метод центробежного формования параболоидов</p>	 <p align="center">Рисунок 5. Устройство для изготовления параболоидов с использованием центробежных сил: 1 – цилиндрический сосуд; 2 – рабочая жидкость; 3 – вспомогательная жидкость</p>	<p>Невозможность полного устранения вибрации ⇒ шероховатости и макронеровности. Метод ограничен только получением параболоидов</p>

Метод нанесения материала на исходную заготовку	Вакуумное напыление	Высокая точность формообразования. Диапазон сферичности ограничен 15-30 мкм, что объясняется снижением прочности с ростом толщины наносимого материала.
	Наращивание вещества из раствора (расплава)	 <p>Рисунок 6. Выращивание полых заготовок из расплава лейкосапфира методом локального динамического формообразования: <i>а) – схема процесса: 1 – проводок; 2 – керн; 3 – оболочка; 4 – сосуд с расплавом; 5 – источники (А, В, С); 6 – струя расплава; 7 – ось вращающегося сосуда; 8 – ось выращиваемой оболочки;</i> <i>б) – вверху – заготовка, внизу – три отполированные ОД</i></p>
Методы съема материала с исходной заготовки	Химическое травление	При изготовлении киноформ.
	Гальванопластика	Гальванопластикой можно изготавливать зеркала и другие оптические элементы диаметром до 3 м и более. Точность изготовления зависит от точности матрицы — негативной копии будущего изделия, выполненной из металла или стекла. Гальванопластикой изготавливают формы для прессования линз Френеля и растров из полимеров, для чего применена технология производства грампластинок.
	Ионно-лучевая обработка	Применяется в вакуумных установках. Метод обеспечивает высокую точность формообразования, однако малопроизводителен, используется в основном для доводки АП, а также при изготовлении ДОЭ.
	Механическая обработка с применением абразивных материалов (наивысшее качество поверхностей по точности и чистоте)	Касание инструмента в точке (малом пятне)
		Притир по линии
Квасисвободный притир поверхностей (каблучный метод, метод с применением маски).		
Использование упругих свойств материалов инструмента, приспособления, заготовки для получения заданного асферического профиля.		

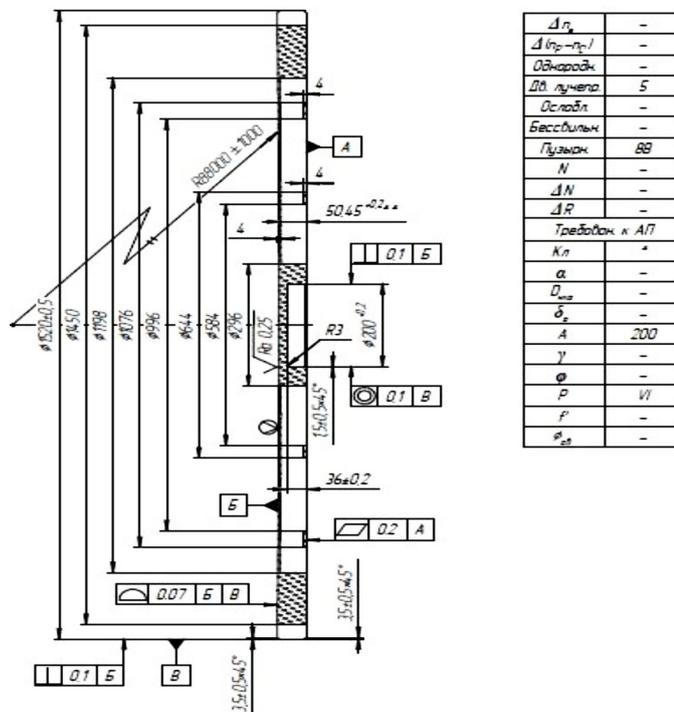


Рисунок 7.
Прототип сегмента E-ELT M1

На рис. 9 приведены величины разновысотности опор для обеспечения требуемых деформаций сегмента.

На рис. 10 приведены расчеты деформаций зеркала на подложке путем оптимизации опорных точек и минимизации отклонений от требуемой формы (рис. 11). На рис. 11 приведены значения напряжений в данном зеркале при соответствующих деформациях. Напряжения вполне допустимые для заготовок из Астроситалла с соответствующими геометрическими параметрами.

Толщина подложки выбиралась такой, чтобы ее собственные деформации были малы

по сравнению с деформацией рабочей детали. На рис. 12 представлен остаточный предполагаемый волновой фронт отклонений формы поверхности детали от теоретической, после снятия напряжений.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МЕТОДА И АППАРАТУРЫ КОНТРОЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ЗАДАННОГО ПРОФИЛЯ

Ранее была приведена классификация (таблица 1), в которой IV диапазон характеризует статистические параметры шероховатости поверхности. Для диагностики этих парамет-

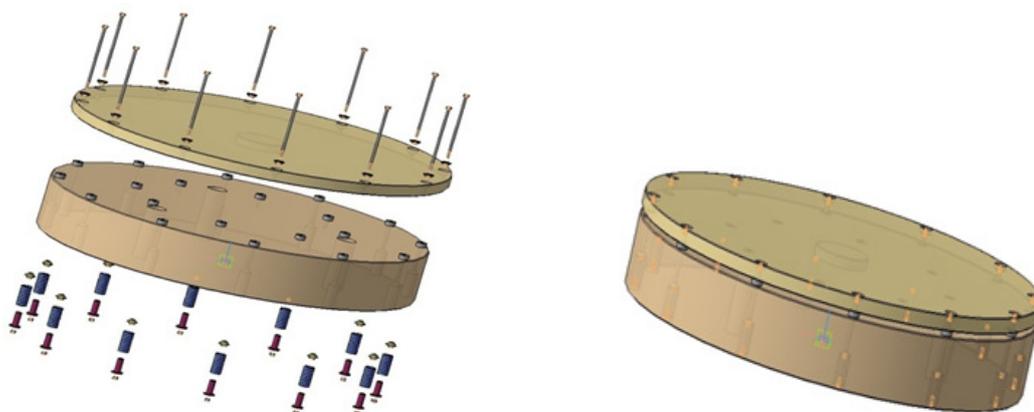


Рисунок 8.
Принципиальная модель выполнения деформаций заготовки ОД для асферизации методом упругой деформации

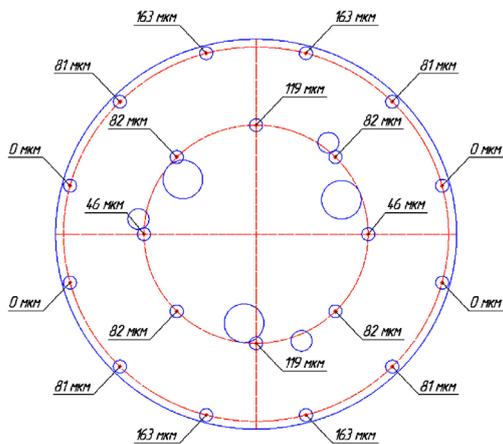


Рисунок 9.
Разновысотность опор

тров предлагается функциональная схема поляризационного фазосдвигового интерферометра Линника и метод динамической интерферометрии [3,4].

Рассмотрим кратко принцип работы и состав аппаратуры функциональной схемы прибора контроля, в качестве которого используется функциональная схема поляризационного фазосдвигового интерферометра Линника компании 4DTechnology.

Особенностью данного прибора является высокоскоростной съем «ансамбля» интерферограмм за один кадр, что позволяет минимизировать цеховые вибрации.

Источник излучения с перестраиваемой поляризацией на выходе, направляет излучение в микроинтерферометр. Излучение

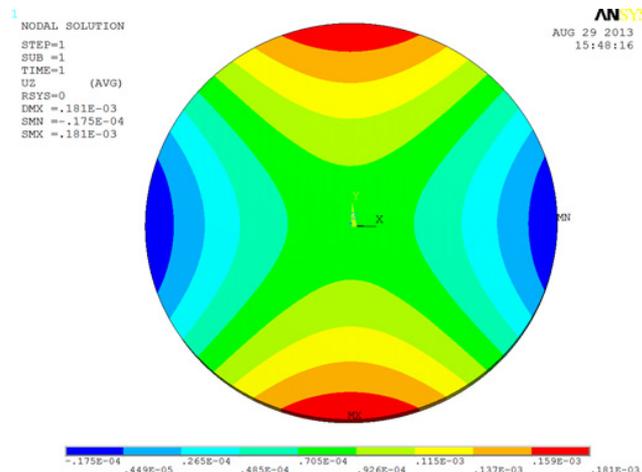


Рисунок 10.
Деформации зеркала

попадает в светоделитель с соотношением, $\rho/\tau = 50\%/50\%$ затем оно проходит через поляризационный светоделитель, который направляет в ветвь с исследуемым объектом s-поляризованное излучение, а в ветвь с опорной поверхностью – p-поляризованное. Опорное зеркало представляет собой высококачественную зеркальную поверхность с коэффициентом отражения $\rho = 25\%$. Излучение, отразившись от опорного и объектного зеркал, возвращается и пройдя поляризационный светоделитель выходят из микроинтерферометра Линника. Оба пучка отражаются от второго светоделителя и проходят проекционный объектив регистрирующей ветви. Перед приемником излучения располагается четвертьволновая пластинка,

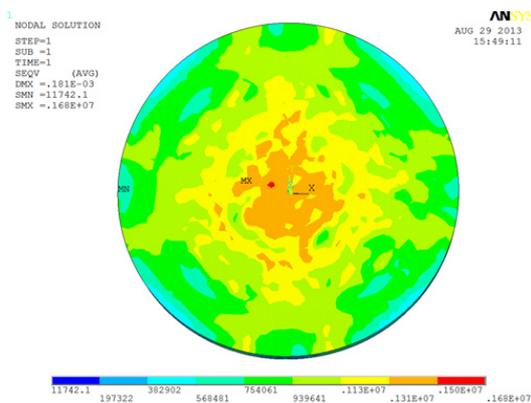


Рисунок 11.
Внутренние эквивалентные напряжения (до 1,68 МПа в центре)

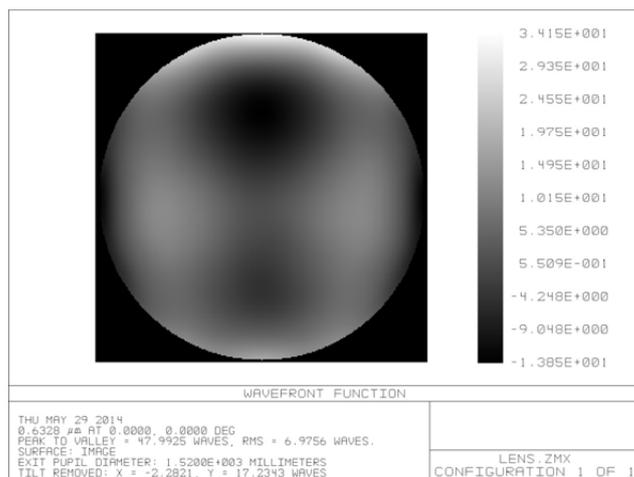


Рисунок 12.
Остаточный предполагаемый волновой фронт отклонений формы поверхности детали от теоретической после снятия напряжений

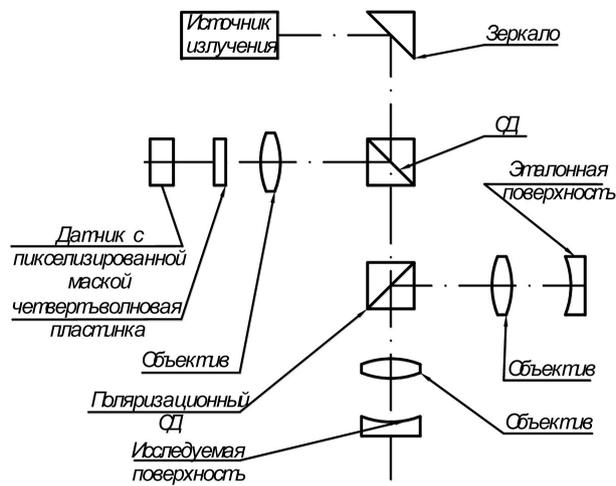


Рисунок 13.
Функциональная схема динамического интерферометра

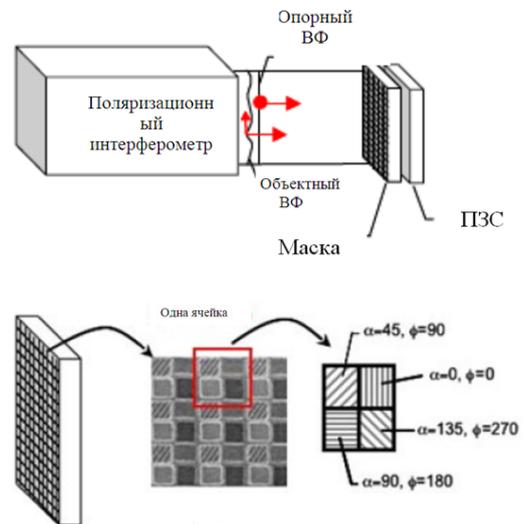


Рисунок 14.
Пикселизированная поляризационная маска

меняющая р-поляризованное излучение на излучение с правой круговой поляризацией, а s-поляризованное излучение – с левой круговой поляризацией. Затем оба пучка проходят через поляризационную маску, формирующую интерференционную картину на детекторе. Устройство поляризационной маски показано на рис. 14. Каждая ячейка маски состоит из 4 подъячеек с фазовыми сдвигами друг относительно друга на 90 градусов (возможны и другие комбинации, но ячейка с четырьмя фазовыми сдвигами более оптимальна). Для наилучшего разрешения, каждой подъячейке соответствует один пиксель ПЗС матрицы. Принцип регистрации фаз заключается в том, что поляризационный интерферометр генерирует опорный и объектный

волновые фронты с ортогональным типом поляризации по отношению друг к другу. Пикселизированная поляризационная маска производит сдвиг обоих волновых фронтов в каждом пикселе, получая, таким образом, 4 различных интерференционных картины за одно измерение.

Подобная поляризационная маска может быть спроектирована как двулучепреломляющая пластинка, но ее производство сложно, поэтому вместо нее можно использовать массив микрополяризаторов. Интенсивность пучков (рис. 15), которые проинтерферировали после поляризационной маски, можно записать как:

$$I(x, y) = \frac{1}{2} \cdot (I_r + I_s + 2 \cdot \sqrt{I_r \cdot I_s} \cdot \cos(\Delta\varphi(x, y) + 2 \cdot \alpha_p))$$

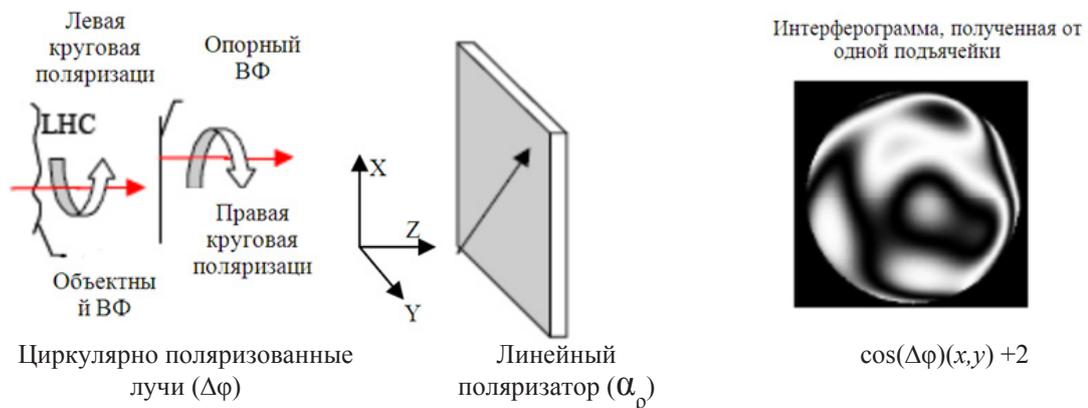


Рисунок 15.
Принцип работы пикселизированного фазосдвигающего интерферометра

где α_p - угол поляризации в плоскости ХОУ. Таким образом, из этого соотношения видно, что поляризатор ориентированный на сдвиг в 0 градусов делает возможным интерференцию синфазных (то есть 0°) опорного и объектного волновых фронтов. А поляризатор ориентированный на сдвиг в 45° дела-

ет возможным интерференцию синфазных (то есть 90°) опорного и объектного волновых фронтов и т.д.

Для вычисления фазы используется следующий алгоритм фазосдвигающей интерферометрии. Интенсивность каждой сдвинутой по фазе интерферограммы на активной части детектора:

$$A(x, y) = \frac{1}{2} \cdot [I_r + I_s + 2 \cdot \sqrt{I_r \cdot I_s} \cdot \cos(\Delta\varphi(x, y))]$$

$$B(x, y) = \frac{1}{2} \cdot [I_r + I_s + 2 \cdot \sqrt{I_r \cdot I_s} \cdot \cos(\Delta\varphi(x, y) + \frac{\pi}{2})]$$

$$C(x, y) = \frac{1}{2} \cdot [I_r + I_s + 2 \cdot \sqrt{I_r \cdot I_s} \cdot \cos(\Delta\varphi(x, y) + \pi)]$$

$$D(x, y) = \frac{1}{2} \cdot [I_r + I_s + 2 \cdot \sqrt{I_r \cdot I_s} \cdot \cos(\Delta\varphi(x, y) + \frac{3 \cdot \pi}{2})]$$

где I_r, I_s - интенсивности опорного и объектного волновых фронтов. Фаза может быть вычислена с помощью следующего выражения:

$$\Phi(x, y) = \arctg \left(\frac{I_3(x, y) - I_1(x, y)}{I_2(x, y) - I_0(x, y)} \right)$$

При помощи данного выражения фазы можно вычислить шероховатость исследуемой поверхности по формуле:

$$R(x, y) = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot tg^{-1} \left(\frac{X(x, y)}{Y(x, y)} \right)$$

Конструктивно динамический интерферометр представляет из себя базовый корпус, к которому крепится сменный модуль объектива (рис. 17). Внешний вид прибора представлен на рис. 17. Конструктивное исполнение и технический облик прибора представлен на рисунках 19, 20.

Базовый корпус сконструирован в соответствии с горизонтальной архитектурой компоновки (рис. 19) – приемно-передающий канал: камера с волновой пластинкой и блендой в сборе (2), призма-зеркало в сборе (3), светоделительный кубик в сборе (4), линза в

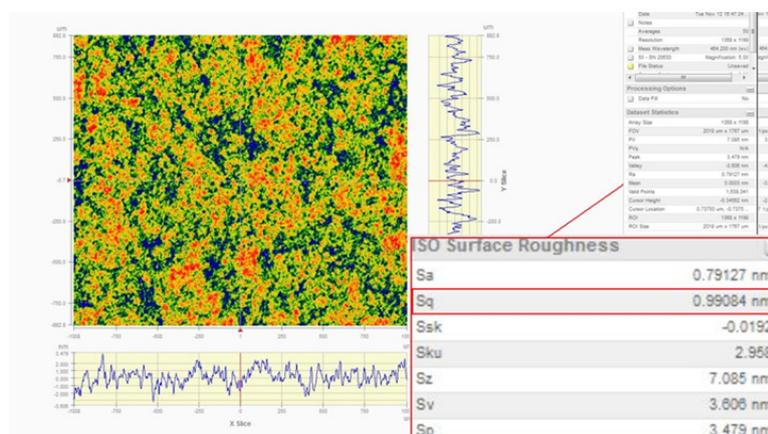


Рисунок 16.
Экспериментальные данные измерения с помощью динамического интерферометра NanoCamSq



Рисунок 17.
Фотография внешнего вида прибора NanoCamSq

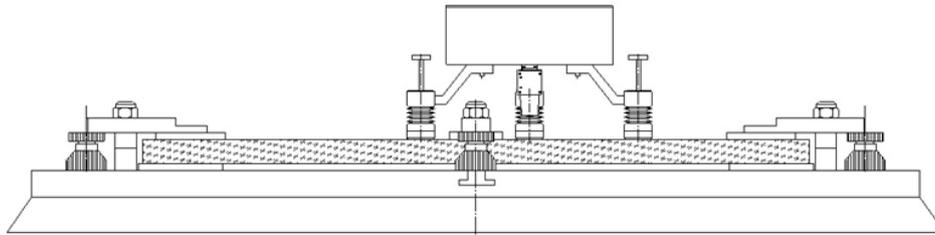


Рисунок 18.

Прибор NanoCamSq в процессе контроля локальных отклонений поверхности детали от заданного профиля

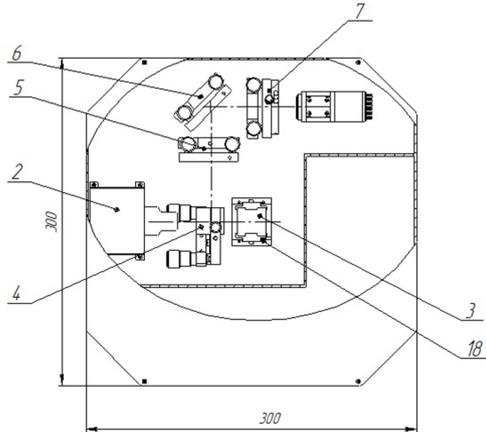


Рисунок 19.

Сборочный чертеж прибора NanoCamSq. Вид сверху

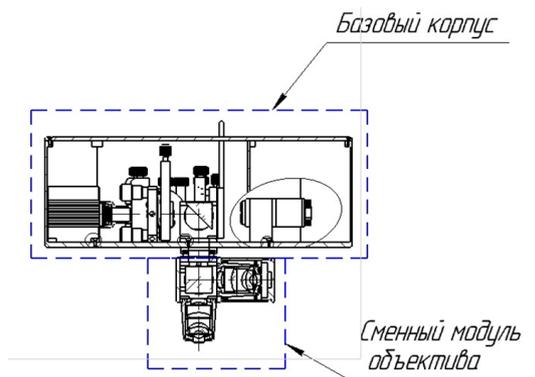


Рисунок 20.

Сборочный чертеж прибора NanoCamSq

сборе (5), зеркало в сборе (6), поляризатор в сборе, осветительный канал в сборе.

Список литературы:

1. 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// Proceeding of SPIE, 7018, pp. 125, 2008

2. Официальный сайт АО «ЛЗОС». Режим доступа: <http://lzos.ru/content/view/305/104/>

3. Brad Kimbrough, Neal Brock, James Miller. Dynamic surface roughness profiler. 4D Technology Corporation, 3280 E. Hemisphere Loop, Suite 146, Tucson, AZ 85706 (520) 294-5600, (520) 294-5601 Fax, brad.kimbrough@4dtechnology.com

4. Денисов Д.Г., Барышников Н.В., Гладышева Я.В., Карасик В.Е., Морозов А.Б., Патрикеев В.Е. Метод аттестационного контроля поверхностных неоднородностей оптических деталей на основе частотного анализа профиля поверхности. Измерительная техника. 2017. №2. С. 15-19

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА «DAG»

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., ПАТРИКЕЕВ В.Е., СЕМЕНОВ А.П., *ДЕНИСОВ Д.Г., *НАГОВИЦЫН В.В., *СУЛЕЙМАНОВ Г.М.

АО «Лыткаринский завод оптического стекла», Московская обл., г. Лыткарино

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

E-mail: lastro@lzos.ru

В работе рассмотрен технологический процесс изготовления вторичного зеркала, предназначенного для телескопа DAG Doğu Anadolu Gözlemevi – Eastern Anatolia Observatory – Обсерватория Восточной Анатолии). Телескоп для турецкой обсерватории создает бельгийская компания AMOS. В рамках данного сотрудничества ЛЗОС создаст для бельгийского разработчика вторичное выпуклое гиперболическое зеркало диаметром 764 мм и третичное зеркало эллиптической формы с плоской рабочей поверхностью размером 890x650 мм, а также осуществит формообразование заготовки главного вогнутого гиперболического зеркала телескопа диаметром 4 метра.

Ключевые слова: телескоп DAG ,технологический процесс изготовления крупногабаритных оптических деталей, астрономическое зеркало, контроль формы поверхности.

Создаваемый телескоп состоит из трех зеркал (рис. 1): главное вогнутое гиперболическое диаметром 4 м М1, вторичное выпуклое гиперболическое М2 — 764 мм и третичное М3 эллиптической формы с плоской рабочей поверхностью размером 890×650 мм.

Целью данной работы является разработка наиболее оптимального технологического процесса изготовления вторичного зеркала телескопа и разработка схемы измерительного стенда для контроля параметров оптической детали.

Сложность изготовления данного зеркала заключается в том, что профиль рабочей поверхности зеркала представляет собой особую поверхность – выпуклый гиперболоид с относительно высокой степенью асферичности. К данной поверхности предъявляются высокие требования по точности изготовления, в несколько нанометров. Соответственно, разработка схемы стенда контроля пред-

ставляет собой отдельную трудоемкую задачу.

Наиболее целесообразным материалом заготовки, с эксплуатационной и технологической точки зрения, является Астроситалл. Для изготовления астрономических зеркал применяется ситалл СО-115М. Данный ма-



Рисунок 1.
Функциональная схема телескопа

териал обладает крайне низким коэффициентом термического расширения, высокой изотропностью, высокой степенью сопротивляемости внешним воздействиям, в то же время ситалл СО-115М податлив при обработке, что особенно важно на стадии полирования. Основные свойства материала ситалл СО-115М [1] приведены в таблице 1.

К изготавливаемому вторичному зеркалу предъявляются следующие требования:

1. Полезная оптическая поверхность: 712 мм диаметр и 92 мм для световой апертуры внутреннего диаметра;
2. Вершина зеркала центрируется с точностью 5 мм. Поверхность зеркала должна измеряться при помощи координатно-измерительного комплекса (СММ) с точностью 3 мкм на сетке с шагом 5 мм;
3. Радиус кривизны оптической поверхности при вершине $R_c = 2725,760 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$;
4. Коническая константа:
 $K = -1,738819 \pm 0,001$;
5. Асферичность: $A = 55,94 \text{ мкм}$.

Финальное качество поверхности зеркала М2 разделяются на требования низкого и высокого порядка:

1. Требование низкого порядка: ошибки формы поверхности (SFE), описываемые первыми 78 членами полиномов Цернике, определенные на полной апертуре - должны быть ниже, чем значения указанные в таблице 2.

2. Требование высокого порядка: среднеквадратическое значение полной ошибки (RMS) для остаточной функции (после вычета полиномов Цернике до 78 порядка) должно быть лучше чем 8 нм RMS в диапазоне расстояния от 33 мм до 132 мм. Кроме того, RSF должна быть ниже, чем кривая, представленная на рис. 2.

RMS структурная функция карты SFE – это среднеквадратичная разница между значением колебания SFE и ее автокорреляционной функции, усредненная по всем направлениям.

Таким образом, RSF конкретной карты f можно рассчитать в два этапа, используя следующие формулы:

1. Классическая структурная функция (SF) определяется:

Таблица 1.
Свойства стекла Ситалл СО-115М

Свойство	Единица измерения	Величина
Коэффициент термического расширения от -60 до 60 °С	°С ⁻¹	$(0 \pm 1,5) \times 10^{-7}$
Удельная теплоемкость	°С ⁻¹	$\leq 0,2 \times 10^{-7}$
Термостойкость	°С	550
Плотность	г см ⁻³	2,46
Модуль упругости	ГПа	92
Твердость по сошлифованию относительно стекла К8	-	1,78
Показатель преломления n_e	-	1,538
Показатель преломления n_d	-	1,536
Средняя дисперсия $n_F - n_C$	-	0,0102

Таблица 1.
Требования к коэффициентам полиномов Цернике разных степеней (RMS) в нм

Порядок 2	Порядок 3	Порядок 4	Порядок 5	Порядок 6	Порядок 7-11
Цернике 5-6	Цернике 9-10	Цернике 11-15	Цернике 16-21	Цернике 22-28	Цернике 29-78
50 нм	7,9 нм	5,4 нм	4,0 нм	2,2 нм	4,5 нм

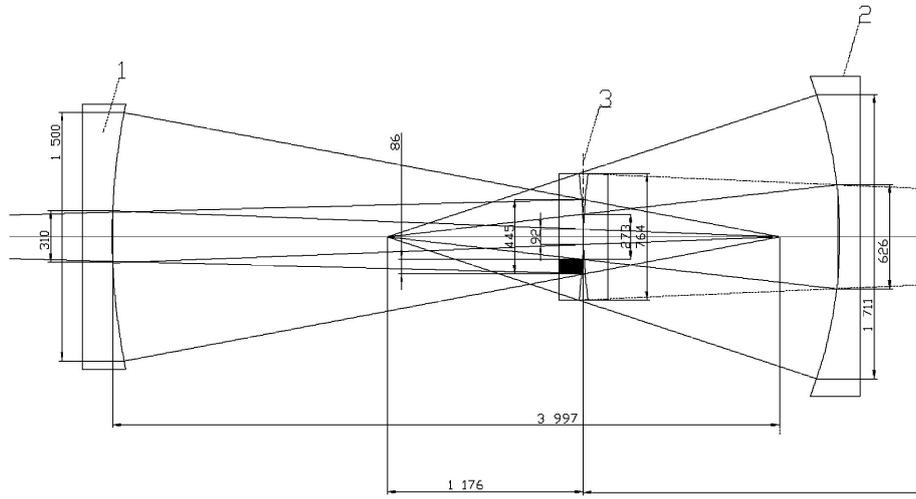


Рисунок 4.
Схема контроля асферической поверхности зеркала

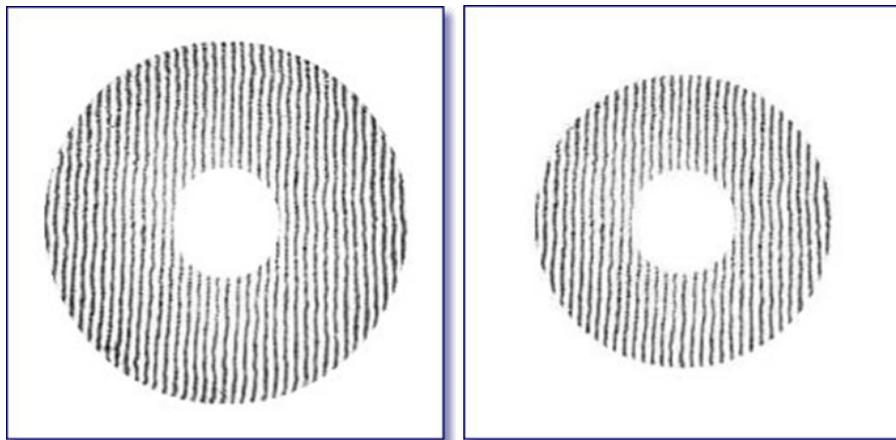


Рисунок 5.
Конечные интерферограммы дважды отраженного от вторичного зеркала волнового фронта при контроле с двумя сферами Хиндла

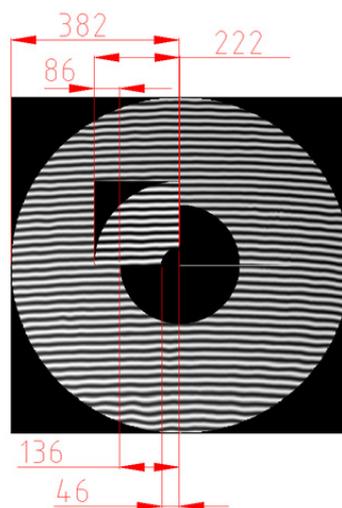


Рисунок 6.
Схема областей асферической поверхности зеркала, контролируемых со сферами Хиндла

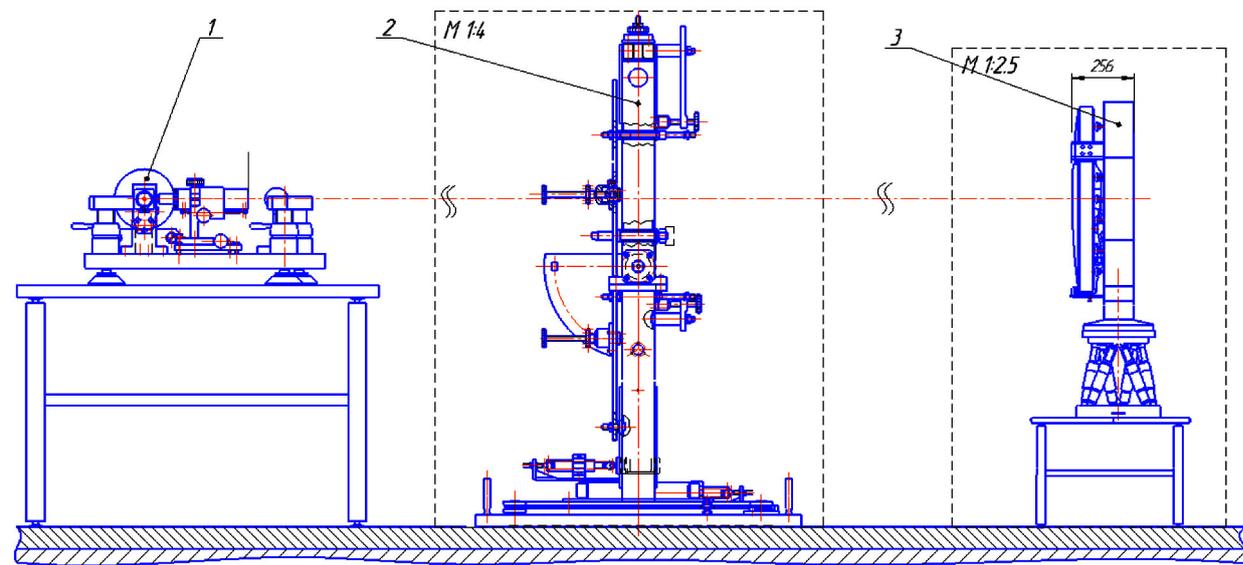


Рисунок 7.

Стенд для контроля поверхности:

**1 - интерферометр, 2 - зеркало Хиндла в ленточной оправе,
3 - вторичное зеркало в штатной оправе**

На рис. 7 показан вид спроектированного стенда для контроля одной из двух зон поверхности зеркала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был предложен наиболее оптимальный технологический процесс изготовления вторичного зеркала телескопа DAG. Он обеспечивает все показатели качества, предъявляемые заказчиком с минимальными расходами ресурсов. Разработана конструкция стенда контроля, состоящая из двух сфер Хиндла и интерферометра ИТ-172. Контроль осуществляется по методу переналожения волновых фронтов. Реализация данного метода существенно удешевляет процесс контроля и уменьшает сроки изготовления приведенного выше вторичного зеркала.

Список литературы:

1. Самуйлов А.В., Румянцев В.В., Молев В.И., Аннушкин С.И. Физико-химические свойства оптического ситалла СО-115М // *Контенант*. 2002. № 4. С. 24-31.
2. Малакара Д. Оптический производственный контроль: пер. с англ./ под ред. А.Н. Соснова. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
3. Г.Э. Романова, М.А. Парпин, Д.А. Серегин. Конспект лекций по курсу «Компьютерные методы контроля оптики». – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 188 с
4. Денисов Д.Г., Карасик В.Е. Анализ влияния спекл – структуры на качество изображения интерференционной картины при контроле крупногабаритных оптических поверхностей на стадиях шлифования. [Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение](#). 2011. № 2. С. 36-47.

МИНСКИЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД им. С.И. ВАВИЛОВА (ММЗ) - УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БЕЛОМО» ОТМЕЧАЕТ 60-летний ЮБИЛЕЙ



Минский механический завод имени Сергея Ивановича Вавилова – первое предприятие оптического приборостроения Республики Беларусь – перешагнул 60-летний рубеж.

Началом истории Минского механического завода им. С.И.Вавилова стал 1957 год, когда во временных мастерских строящегося флагмана белорусского оптического приборостроения были выпущены первые 20 тысяч фотоаппаратов «Смена».

Изначально на заводе планировался выпуск оптической продукции военного и гражданского назначения, что позволяло обеспечить потребность, как оборонного комплекса, так и других отраслей народного хозяйства СССР.

Успехи ММЗ имени С.И.Вавилова в освоении наукоемкой и высоко-технологичной продукции, интенсивное наращивание производственных мощностей и объемов выпускаемой продукции, а также наличие национальной Академии наук и развивающейся системы

среднего специального и высшего образования, что создало благоприятные условия для подготовки высококвалифицированных кадров, привели к принятию Министерством оборонной промышленности СССР решения о строительстве на территории республики ещё ряда оптических предприятий.

Таким образом, в 1971 году было создано Белорусское оптико-механическое объединение (БелОМО), головной организацией которого стал ММЗ им. С.И.Вавилова.

В состав БелОМО также вошли строящиеся в то время заводы «Зенит» (г. Вилейка), «Диaproектор» (г. Рогачёв), завод «Свет» (г. Жлобин), оптико-механический завод (г. Сморгонь), ЦКБ «Пеленг» (образовано в 1974 году на базе конструкторского отдела ММЗ имени С.И.Вавилова и выведено из состава БелОМО в 1995 году в связи с акционированием).

До 1990-х гг. объединение интенсивно развивалось и росло за счёт производства наукоемкой



продукции для нужд оборонного комплекса СССР, объём которой составлял не менее 80%. За это время на заводе было организовано производство аэрофотокамер, фотограмметрической техники, кинотеодолитной аппаратуры для траекторных измерений, прицелов для бронетанковой техники и лёгкого стрелкового вооружения.

Распад Советского Союза и последовавшая конверсия привели к резкому снижению оборонных заказов, изменению объемов и номенклатуры гражданской продукции и товаров народного потребления. Нарушились десятилетиями наработанные межкооперационные связи, требовались срочные меры для сохранения уникальных технологий и высококвалифицированных кадров.

В связи, с чем предприятия объединения наряду с выпуском оптической продукции освоили выпуск новых видов изделий производственно-технического назначения, в том числе аппаратов тормозного привода большегрузных автомобилей, бытовых приборов учёта газа, компрессоров для промышленных холодильных установок и др.

В тоже время БелОМО пережило серьёзные структурные изменения. Так, было создано УП «ЛЭМТ», специализирующееся на разработке сложных оптических приборов, оптико-электронных и лазерных систем различного назначения, что сыграло ключевую роль в сохра-



нении оптического профиля выпускаемой продукции предприятиями объединения. В составе инженерной службы завода образовано конструкторское подразделение, занимающееся разработкой новых видов неоптической продукции.

Практически заново сформированы службы маркетинга и продаж готовой продукции. Некоторые подразделения, в том числе завод «Сфера», выделены в обособленные производства.

В этот же период на ММЗ было создано несколько совместных предприятий с зарубежными компаниями, а белорусско-немецкое предприятие «Цейсс-БелОМО» успешно работает и сегодня.

В итоге завод сумел преодолеть сложный период конверсии, сохранить уникальные производства, необходимые для выпуска наукоёмкой оптической и оптико-электронной продукции, а также освоить новые направления техники, в т.ч. импортозамещающие.

В 2008 году проведено акционирование предприятий, входящих в объединение, в 2011 году БелОМО

преобразовано в холдинг, в настоящее время в состав которого входят ОАО «ММЗ имени С.И.Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО», Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», ОАО «Зенит – БелОМО», ОАО «Рогачёвский завод «Диaproектор», ОАО «Жлобинский завод «Свет», ОАО «Завод «Оптик» (г. Лида).

Основным разработчиком оптической и оптико-электронной продукции холдинга «БелОМО» является научно-технический центр «ЛЭМТ», который возглавляет доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН Беларуси Алексей Петрович Шкадаревич.

Кроме того продолжаются работы с ОАО «Пеленг» по совместному освоению сложных наукоёмких изделий специального назначения.

Процесс разработки и сопровождения производства новых изделий неоптического профиля осуществляет служба главного конструктора ОАО «ММЗ имени С.И.Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО».

Следует отметить, что аппараты пневматического тормозного

привода большегрузных автомобилей поставляются на все основные автомобильные конвейеры стран ЕАЭС: КамАЗ, УралАЗ, МАЗ, ГАЗ, ПАЗ и другие.

Предприятие участвует в совместных научно-технических программах с НАН Беларуси и ведущими вузами страны.

Освоение новой номенклатуры и постоянно повышающиеся требования к качеству серийных изделий требуют постоянной модернизации производственных мощностей предприятия, ежегодно инвестируются значительные средства в модернизацию и техническое перевооружение производства. Завершён проект по модернизации литейно-заготовительного производства, оснащённого современным оборудованием фирмы Buhler, позволяющим получать отливки с высокими требованиями к герметичности при минимальной толщине стенок, внедрено высокопроизводительное плавильное оборудование, что позволило снизить энергозатраты до 50% на тонну литья.

Проведена модернизация ряда участков механообработки, где за





счёт внедрения современных прецизионных обрабатывающих центров обеспечен рост производительности на высокоточных корпусных деталях от 2 до 6 раз.

В результате модернизации на оптическом производстве впервые созданы участки: участок по изготовлению сферических и асферических оптических компонентов, в том числе из германия, участок по изготовлению линз 1-го класса чистоты с автоматическим контролем технологических условий, механизированный участок промывки оптических компонентов, участок нанесения алмазоподобных покрытий на оптические компоненты из германия.

Сегодня, несмотря на универсальность и многопрофильность, БелОМО по-прежнему остаётся предприятием, известным благодаря своей специализации – производству оптических, оптико-электронных, лазерных приборов и комплексов. Продукция предприятий холдинга насчитывает десятки наименований: прицелы различных видов (оптические, коллиматорные, тепловизионные, цифровые и интеллектуальные с автоматическим введением баллистических и метеорологических поправок), оптико-электронные системы, лазерно-оптические изделия и системы, роботизированные комплексы, другие виды изделий общего и специального назначения.

Продукция холдинга поставляется более чем в 30 стран Африки, Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока.

Имеющийся потенциал предприятия и накопленный 60-летний опыт в производстве оптической и оптико-электронной продукции гарантирует дальнейшее успешное развитие и процветание.



Оптические прицелы



5-15x50WD



GS 4-12x50



12x50MSP

Коллиматорные и голографические прицелы



SCL 100-65



RS-H

Прицелы и приборы ночного видения, комбинированные приборы с ночным каналом



DNV-AS
(Антиснайпер)



DN3XS



TN-KS

Тепловизионные прицелы и приборы наблюдения



TV/D 25TCL, TV/D 50TCL
(TRL, TRM, TCM)



TV/D 40TSL

Тепловизионные прицелы и приборы наблюдения



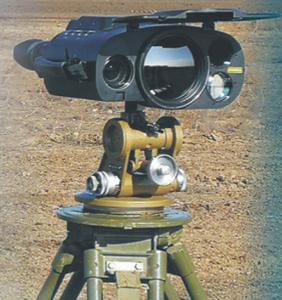
TVM-K



TVM-B



DT-3XS



TV/R 2



Капонир

▶ Лазерные дальномеры и дальномерные модули



ДЛ-3

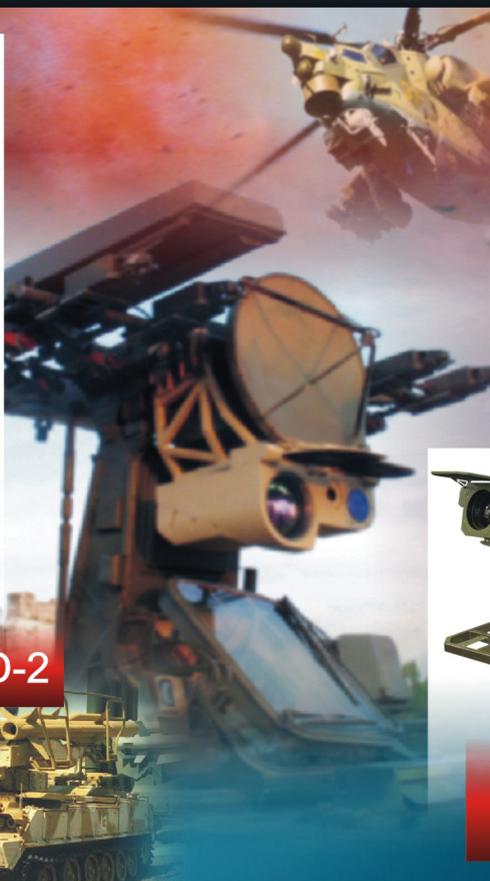


АРГОС-М

▶ Оптико-электронные системы



QUAD-B/QUAD-2



HVS «ZORKI»



Станция оптического наблюдения «СОН»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОСТИЖЕНИЕ ВЫСОКИХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

БАТОВА Г.В., КАЛЮГИН В.С., МИТРОФАНОВА Ю.С., СЕНИК Б.Н., ТАРАСОВ А.П.

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

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

В статье представлены результаты ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» по некоторым конструкторским и технологическим этапам работ, выполненных в процессе серийного освоения оптических наблюдательных и прицельных приборов с высокими светотехническими параметрами.

Ключевые слова: оптические приборы, светотехнические параметры, коэффициент отражения, коэффициент пропускания.

STUDY OF TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE ACHIEVEMENT OF HIGH PHOTOMETRIC PARAMETERS VALUES OF OPTICAL DEVICES

G.V. BATOVA, V.S. KALYUGIN, YU.S. MITROFANOVA, B.N. SENIK, A.P. TARASOV

The PJSC «Krasnogorsky Zavod»

E-mail: bogdan_senik@mail.ru

Abstract: *The paper presents results achieved at the PJSC «Krasnogorsky Zavod» in respect of some design and technological stages of works conducted in the course of launching the mass production of observation and sight devices having high lighting parameters values.*

Keywords: optical devices, lighting parameters, reflection coefficient, transmission coefficient.

Важными характеристиками наблюдательных и прицельных оптических приборов гражданского и специального назначения являются дальности видения и распознавания объектов, на которые непосредственное влияние оказывают светотехнические параметры оптических систем.

В настоящее время при разработке оптических систем все чаще используются асферические, киноформные, голографические элементы, что сокращает количество компонентов и улучшает габаритно-весовые и светотехнические характеристики изделий. Для более широкого применения указанных

элементов требуется приобретение специального дорогостоящего оборудования, обеспечивающего изготовление и контроль элементов с высокой точностью, а также разработка и освоение технологических процессов в опытном и серийном производствах. Поэтому на данном этапе развития оптического приборостроения в оптических системах, в основном, используются более технологичные традиционные оптические элементы с плоскими и сферическими поверхностями, и вопрос повышения светотехнических параметров указанных систем очень актуален.

Возможность достижения высоких светотехнических параметров прицельных оптических систем, в ряде случаев, определяет уровень конкурентоспособности изделий и зависит от успешного решения задач, включающих в частности:

1. Расчет оптических схем изделий с минимальным количеством оптических компонентов, обеспечивающих заданные технические и габаритно-весовые требования;

2. Изготовление отечественными предприятиями в серийном производстве различных марок стекол с предельно высокими коэффициентами внутреннего пропускания в соответствии с действующими в РФ ГОСТами;

3. Внедрение промышленных технологий обработки поверхностей оптических компонентов с атомногладкой степенью шероховатости, ($R_z \rightarrow 0$), и нулевыми классами чистоты;

4. Внедрение ультрасовременных технологий чистки оптических деталей после выполнения различных технологических операций изготовления оптических элементов, обеспечивающих требуемую чистоту оптических поверхностей;

5. Разработка и внедрение технологий нанесения просветляющих покрытий с предельно низкими коэффициентами отражения и поглощения для рабочих спектральных интервалов, не ухудшающих классы чистоты оптических поверхностей.

6. Поиск, приобретение и внедрение в про-

мышленное производство приборов для измерения коэффициентов отражения от просветленных плоских и сферических поверхностей, а также коэффициентов пропускания отдельных деталей, сборок и изделий в целом с погрешностью не более 0,03%.

Все вышеперечисленные аспекты являются обширным полем для научных и исследовательских изысканий, поэтому в данной статье мы рассмотрим задачи 1, 2, 5, 6.

Предприятием ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» в процессе разработки и промышленного освоения серии панкратических прицелов специального назначения с высоким пропусканием выполнен большой объем аналитических, исследовательских и экспериментальных работ по решению указанных задач.

Успешное выполнение обозначенных выше этапов работ в значительной степени повлияло на положительный результат в части обеспечения высоких коэффициентов пропускания панкратических прицелов в условиях серийного производства.

С целью разработки оптимальной конструкции оптических систем панкратических прицелов конструкторской службой предприятия была проведена большая работа по анализу лучших образцов панкратических прицелов, производимых ведущими зарубежными фирмами и выпускаемых в Российской Федерации. В процессе абберрационных расчетов оптических систем были использованы марки стекол отечественного производства, имеющие высокие коэффициенты внутреннего пропускания в соответствии с действующими в РФ ГОСТами, и не уступающие по указанным параметрам аналогам ведущих зарубежных фирм. Результаты сравнительного анализа коэффициентов внутреннего пропускания ряда марок стекол отечественного производства и аналогов ведущих зарубежных фирм приведены в таблице (приложение).

Важнейшей составляющей в решении задачи получения высоких светотехнических параметров изделий является обеспечение минимальных величин коэффициентов

отражения светового потока в рабочих спектральных интервалах от плоских и сферических поверхностей, с сохранением классов чистоты.

В настоящее время для нанесения высококачественных просветляющих покрытий используются вакуумные методы, обладающие высокой точностью и воспроизводимостью наносимых оптических слоев, надежным высокоточным контролем параметров покрытий в процессе их нанесения.

Для существенного повышения коэффициентов пропускания панкратических прицелов необходимо было обеспечить величину коэффициента отражения $\rho \leq 0,2-0,3\%$ в спектральном интервале $\Delta\lambda = 480-660$ нм от каждой сферической и плоской поверхности линз, а также сеток, имеющих нулевые классы чистоты. При этом дополнительные дефекты на сетках с нанесенным просветляющим покрытием не должны были наблюдаться в поле зрения прицелов.

Указанная выше задача была успешно решена использованием в качестве пленкообразующих материалов высокочистых окислов. Расчет и оптимизация формул оптических просветляющих покрытий с неравнотолщинными слоями были проведены по программе «OptiLayer».

Наконец, решающим фактором стало использование автоматизированных напылительных комплексов «SYRUSpro» (изготовитель фирма «Leybold Optics», Германия), несомненным преимуществом которых является обеспечение всех необходимых для данных типов покрытий светотехнических параметров, степени чистоты оптических поверхностей, а также высокий уровень надежности и воспроизводимости параметров.

Одним из условий успешного решения задачи получения высоких коэффициентов пропускания оптических систем является наличие измерительного оборудования, позволяющего проводить измерения предельно малых коэффициентов отражения от плоских и сферических поверхностей, а также больших коэффициентов пропускания, близких к 1, с погрешностью не более 0,03%.

Сотрудниками исследовательского отдела предприятия был проведен анализ измерительного оборудования отечественного производства и ведущих мировых изготовителей, таких как «OLYMPUS» (Япония), «PerkinElmer» (США), «CRAIC Technologies» (США), «VECOR» (США), «Nikon» (Япония) и др., в результате которого установлено, что по техническим характеристикам, объему выполняемых задач, из оборудования, поставляемого в РФ, наиболее оптимальным является прецизионный спектрофотометр «PerkinElmer LAMBDA 1050» фирмы «PerkinElmer» с дополнительными насадками.

Технические характеристики оборудования фирмы «PerkinElmer» были подтверждены измерениями коэффициентов отражения и пропускания ряда оптических деталей на спектрофотометре «PerkinElmer LAMBDA 950» (предыдущая модификация) в организации РОСТЕСТ, погрешность измерения коэффициентов составила величину не более 0,03%.

Измерительное оборудование отечественного производства с указанными выше техническими параметрами в настоящее время отсутствует.

На предприятии при отработке технологических процессов нанесения просветляющих покрытий измерения коэффициентов отражения от плоских поверхностей проводились на спектрофотометре UV-3600 (модернизированная установка фирмы «Shimadzu», Япония), от сферических поверхностей – на микроскоп-спектрофотометре МСФП-2, рекомендованном ОСТЗ-1901, с градуировкой перед каждым измерением по образцу сравнения с высоким показателем преломления и иммерсией.

Дальнейшее совершенствование технологии создания ахроматических просветляющих покрытий с коэффициентами отражения, близкими к нулю, невозможно без наличия универсального прецизионного измерительного оборудования и возможности его периодической аттестации по эталонным образцам, а также выполнения

Таблица 1.

Таблица значений коэффициентов внутреннего пропускания отечественных марок стекол и их зарубежных аналогов

Марка стекла (по ГОСТ 3514-94)	Российская Федерация		Фирма Schott		Фирма HOYA		Фирма OHARA		Примечание
	Коэффициент внутреннего пропускания в 1 см (наивысшая категория по ГОСТ 3514-94)	Коэффициент внутреннего пропускания в 1 см*	Марка стекла	Коэффициент внутреннего пропускания в 1 см*	Марка стекла	Коэффициент внутреннего пропускания в 1 см*	Марка стекла	Коэффициент внутреннего пропускания в 1 см* (480-660) нм	
K8	0.998	0.998	N-BK7	0.998	BSC7	0.999	S-BSL7	0.997	* Приведенные значения определены расчетом по исходным данным с официальных сайтов фирм на 2017г.
		0.999	N-BK7HT	0.999					
BK10	0.998	0.998	N-BAK4	0.998	BaC4	0.995	S-BAL14	0.997	
		0.998	N-BAK4HT	0.998					
TK14	0.998	0.997	N-SK14	0.997	BaCD14	0.996	S-BSM14	0.998	
TK16	0.998	0.997	N-SK4	0.997	BaCD4	0.998	BSM51Y	0.999	
Ф1	0.998	–	–	–	E-F3	0.994	S-TIM3	0.994	
Ф13	0.998	0.999	F2	0.999	E-F2	0.990	S-TIM2	0.996	
		0.999	F2HT	0.999			PBM2Y	0.999	
TФ2	0.996	0.993	N-SF5	0.993	E-FD5	0.995	S-TIM25	0.993	
TФ4	0.998	0.996	SF10	0.996	E-FD10	0.987	S-TIH3	0.991	
TФ10	0.996	0.983	N-SF6	0.983	FD60	0.982	S-TIH6	0.990	
		0.988	N-SF6HTultra	0.988					



Рисунок 1.

Вакуумная напылительная установка «SYRUSpro – 1110» («Leybold Optics», Германия)



Рисунок 2.

Спектрофотометр UV-3600 («Shimadzu», Япония)

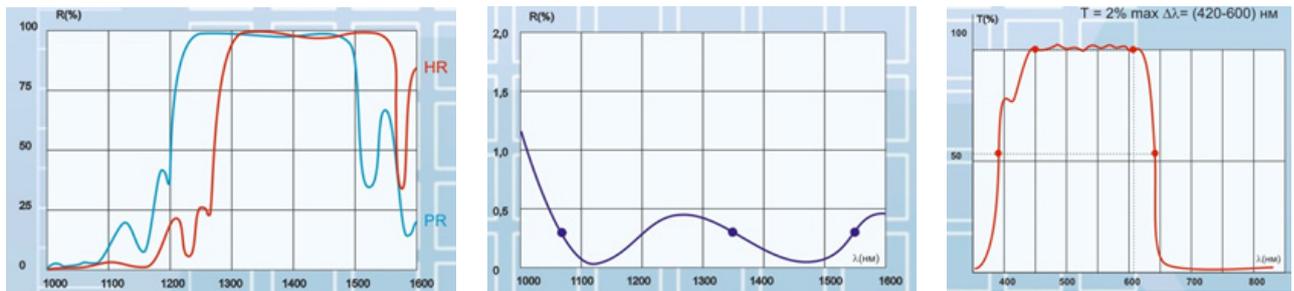
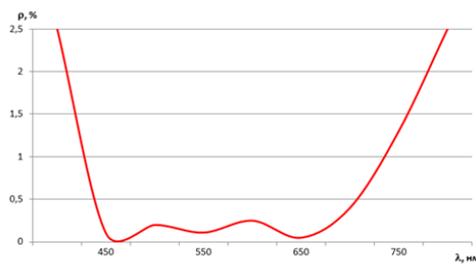


Рисунок 3.

Спектральные кривые покрытий

работ по внедрению технологий обработки оптических поверхностей с атомногладкой степенью шероховатости и ультрасовременных технологий чистки поверхностей оптических деталей без ухудшения классов чистоты рабочих поверхностей.

Примечание. На рис. 1, 2 приведены изображения установки SYRUSpro-1110 и спектрофотометра UV-3600.

На рис. 3 приведены спектральные кривые отражения и пропускания просветляющих покрытий.

Список литературы:

И.С. Гайнутдинов, Е.А. Несмелов, И.Б. Хайбуллин «Интерференционные покрытия для оптического приборостроения», 2002 год, Казань, издательство «Фэн»;

Т.Н. Крылова «Интерференционные покрытия», 1973 год, Ленинград, издательство «Машиностроение»;

В.Н. Чуриловский «Теория оптических приборов», 1966 год, Ленинград, издательство «Машиностроение».

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОКАТОДНОГО УЗЛА
ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
НА ОСНОВЕ МОЛЛИРОВАНИЯ В ВОДОРОДНОЙ СРЕДЕ**

ПАНИЧЕВ М. М., *АЛЬКОВ П. С., *МУРАТОВ А. Н.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

*ОАО «НПО Геофизика-НВ»

E-mail: michael.panitshev@gmail.com

В статье приводится перспективный технологический процесс изготовления входных окон для электронно-оптических преобразователей методом штамповки в водороде. Процесс осуществляется в атмосфере водорода и сочетает в себе формообразование входного окна и получение светопоглощающего покрытия на всей поверхности стекла. Данная технологическая операция позволяет значительно оптимизировать процесс производства входных окон и электронно-оптических преобразователей в целом.

Ключевые слова: моллирование в водородной среде, входное окно, электронно-оптический преобразователь.

**DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL PROCESS FOR
MANUFACTURING A PHOTOCATHODE UNIT OF AN IMAGE
INTENSIFIER BASED ON BENDING IN A HYDROGEN ENVIRONMENT**

PANICHEV M.M., ALKOV P.S., MURATOV A.N.

Moscow State Technical University n.e. Bauman

«SPU GEOPHIZIKA-NV» St. Comp.

E-mail: michael.panitshev@gmail.com

Abstract. *The article presents a promising technological process for manufacturing input windows for electron-optical converters by stamping in hydrogen. The process is carried out in an atmosphere of hydrogen and combines the shaping of the entrance window and obtaining a light-absorbing coating on the entire surface of the glass. This technological operation allows to significantly optimize the production process of input windows and electron-optical converters in general.*

Keywords: bending in a hydrogen environment, input window, image intensifier.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы являлось повышение технологичности процесса изготовления входных окон и фотокатодных узлов электронно-оптических преобразователей (ЭОП) путем разработки модернизированного технологического процесса изготовления входных окон на основе метода штамповки в водороде и внедрение его в производство.

В современных ЭОП III поколения фотокатодный узел (рис. 1) представляет собой слой фоточувствительного материала (гетероэпитаксиальной структуры) позиции 2, вплавленный в прозрачную подложку (входное стеклянное окно) позиции 1.

Для уменьшения влияния рассеяния падающего на фотокатод оптического излучения периферийная поверхность входного стеклянного окна имеет светопоглощающее покрытие толщиной порядка 100 мкм [1]. Это покрытие получается за счет восстановления свинца из его оксида, содержащегося в стекле, путем длительного отжига в водороде.

Поскольку изготовление входного окна

классическими методами обработки стекла требует значительных затрат по трудоемкости и финансам, на предприятии ОАО «НПО Геофизика-НВ» был разработан технологический процесс изготовления входного окна путем моллирования и отжига в водородной печи.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Главным фактором при выборе материала входного стеклянного окна являлось то, что коэффициенты температурного расширения (КТР) стекла и гетероэпитаксиальной структуры (ГЭС) должны быть подобраны максимально одинаковыми, так как если КТР будут разные, то, после термодиффузионной сварки, стекло и ГЭС начнут по-разному охлаждаться, и под действием термических напряжений произойдет пластическая деформация структуры, сопровождающаяся размножением дислокаций несоответствия на гетерограницах между ее слоями, и ухудшением рекомбинационных и, в конечном итоге, эмиссионных свойств фотокатода. Поэтому для решения этой проблемы, помимо

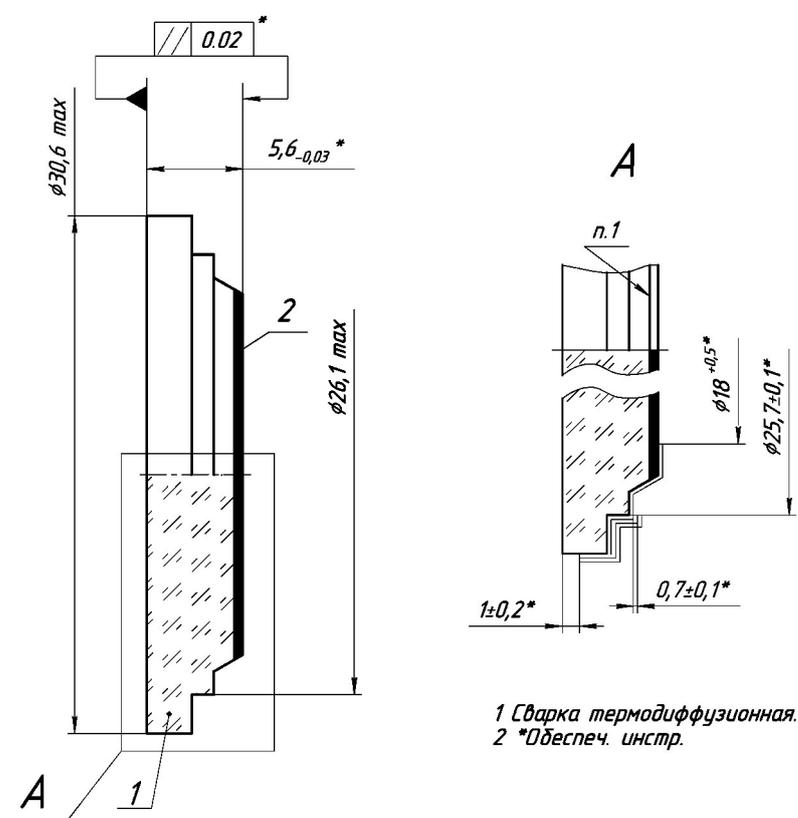


Рисунок 1.
Фотокатодный узел

Таблица 1.

Примерный химический состав стекла С-57

Химическая формула	Количество, %
SiO ₂	68,0
B ₂ O ₃	28,0
Na ₂ O ₃	4,0
K ₂ O	3,0
As ₂ O ₅	1,0
Al ₂ O ₃	2,0
PbO	0,1

выбора правильного материала стекла, был разработан режим ответственного охлаждения свариваемых деталей, чтобы в соединении ГЭС – стекло снизились остаточные напряжения за счет вязкостной релаксации напряжений в стекле.

В качестве материала с нужным КТР специально для изготовления ЭОП III поколения было создано стекло С-57. Примерный химический состав стекла С-57 приведен в таблице 1.

Рассмотрим технологический процесс изготовления фотокатодного узла в виде последовательности операций:

Моллирование заготовки, представляющей собой плоскопараллельную пластину из стекла С-57 (рис. 2 а).

Для получения требуемой формы входного окна была разработана специальная технологическая оснастка (рис. 3) из графита с наименьшим содержанием примесей и наименьшей пористостью, которая включает в себя: пуансон (поз. 1), матрицу (поз. 2), толкатель (поз. 3). Для проникновения водорода в матрице сделаны специальные технологические отверстия.

Процесс моллирования происходит совместно с отжигом детали в водородной печи СГВ-2.4.2/15 ИЗ. После выполнения процесса моллирования и отжига получается деталь, представленная на рисунке 2 б;

Также был отработан технологический режим, который продемонстрирован на рис. 4.



а)



б)

Рисунок 2.

а) – заготовка из стекла С-57,

б) – деталь после моллирования и отжига

Весь технологический цикл занимает не более 8 часов.

Структурная схема технологического процесса моллирования приведена на рисунке 5.

Весь технологический процесс происходит в водородной печи.

Перед началом нагрева необходимо подготовить камеру печи:

Вытеснение азота из камеры. Для этого в основании печи предусмотрен специальный клапан, через который подается азот, который вытесняет воздух наружу;

Вытеснение азота из камеры. Через клапан, расположенный сверху камеры происходит напуск водорода, который в свою очередь вытесняет азот.

Шлифование и полирование рабочих поверхностей до требуемого качества согласно чертежу детали, представленному на рисунке 6, по классической технологии обработки оптического стекла на станке ШП-100 [2]. В результате получается входное окно (рис. 7), готовое к операции термодиффузионного соединения с ГЭС, согласно работам [3; 4].

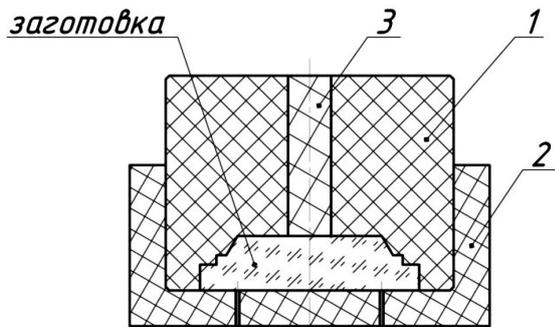


Рисунок 3.

Технологическая оснастка:

1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – толкатель

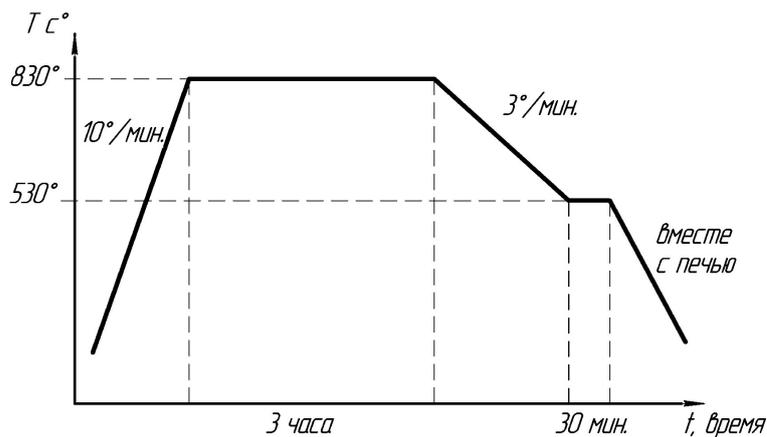


Рисунок 4.

Режим отжига в водородной печи

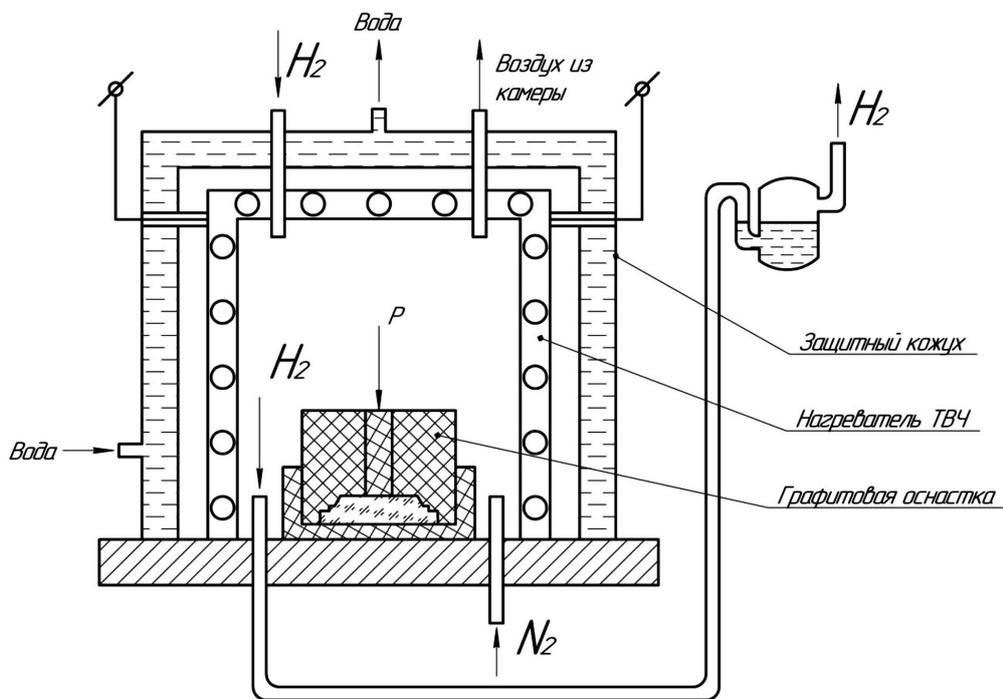


Рисунок 5.

Структурная схема технологического процесса моллирования в водородной среде

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА АО ЛЗОС: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

КРЕХОВА Е.Ю., КОШКОВ С.В., ХРАМОГИН Д.А.

АО «Лыткаринский завод оптического стекла», Московская обл., г. Лыткарино

E-mail: sitall-74@lzos.ru

Рассмотрены основные этапы создания СКМ марки СО-115М, история развития его производства на АО ЛЗОС. Показаны основные принципы создания промышленной технологии СКМ, а также современное состояние вопроса. Отмечена необходимость создания СКМ нового поколения и основные этапы работы выполненные в данном направлении.

Ключевые слова: стеклокристаллический материал, ситалл, ванная стекловаренная печь, эвкриптитовый/сподуменовый состав, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), отжиг-ситаллизация.

Стеклокристаллические материалы (СКМ) - широкий класс материалов, которые состоят из одной или нескольких кристаллических фаз, равномерно распределённых в стекловидной фазе. В основе их получения лежит метод направленной кристаллизации стекла, который в 50-60 гг. прошлого столетия произвел настоящую революцию в стеклоделии и материаловедении. Благодаря особенностям своего строения, СКМ обладают иными, более высокими физико-механическими свойствами по сравнению с исходными стеклами.

Другое название стеклокристаллических материалов «ситалл», первая буква взята от слова «стекло», остальные от слова «кристалл». Первые стеклокристаллические материалы (ситаллы), были получены в СССР в 1958 году. Ситаллы получили большое практическое применение. К настоящему моменту существует большое количество

ситаллов разного типа в зависимости от исходного состава и назначения. Все известные ситаллы можно условно подразделить на две группы: технические ситаллы и ситаллы на основе промышленных отходов и горных пород [1].

Среди технических ситаллов одной из наиболее практически востребованной является группа так называемых ситаллов эвкриптитового или сподуменового состава (названия основных кристаллических фаз представляющих собой алюмосиликаты лития). Эвкриптит, а точнее β -эвкриптит, характеризуется отрицательным коэффициентом теплового расширения, что сделало данную группу материалов незаменимой там, где недопустимы колебания линейных размеров деталей. Кроме этого, на основе стекол эвкриптитового/сподуменового состава впервые были получены прозрачные ситаллы. Размер кристаллов в подобных

ситаллах не должен превышать длины полуволны видимого света, а показатели преломления кристаллов и стекловидной фазы должны совпадать или быть близкими по величине, чтобы исключить светорассеяние на границах раздела фаз стекло-кристалл.

В 1960 году выдано первое авторское свидетельство № 131055 с приоритетом от 13.11.59 г. на первый литиевый ситалл сподуменового состава авторов Бужинского И.М.(ЛЗОС) Тыкачинского И.Д., Солинова Ф.Г., Бреховских С.М., Катаевой Г.В., Бондарева К.Г. (Государственный институт стекла). Состав, заявленный этим авторским свидетельством, был положен в основу разработок прозрачных эвкриптитовых ситаллов на ЛЗОСе. Потом были еще 5 авторских свидетельств, разработанных совместно с Государственным институтом стекла. Так началась история производства стеклокристаллического на АО ЛЗОС.

В течение 1959-1961 гг. на ЛЗОСе велись варки в горшках по составам близким к авторским свидетельствам, всего отработывалось порядка 20 составов. Каждая варка-состав получало свой шифр-марку. Наибольшее распространение получил астроситалл СО-156. Стекло для него варилось в горшках с отливом в блок при температурах 1560-1570°C. Это предельная температура варки для горшка, ее явно не хватало, поэтому показатели по пузырьрности были достаточно низкие. Стекло в виде блоков механически разделялось на диски и пластины, которые подвергались вторичной термообработке (ситаллизации), в результате которой получался СКМ. Максимальный размер дисков Ø 1 м h=160 мм.

Ситалл заинтересовал огромный круг потребителей, в числе которых создатели телескопов. Оказалось что ситалл идеальная подложка для зеркал телескопов, отсюда пошло распространенное название производимого материала – астроситалл. Но для этих применений были интересны заготовки Ø 1,0-1,2 м, которые невозможно получить из горшков.

Так начался новый этап в развитии производства СКМ – с использованием ваннных печей. Данный этап открывал возможность производить варку при более высокой температуре – 1600 °С. Это дало возможность совместно сГОИ подкорректировать состав с целью снижения склонности к кристаллизации. Именно эта версия состава известна сегодня под маркой СО-115М.

В 1964 г. была построена ванная печь периодического действия, рассчитанная на 6,5 тонны стекломассы, позволяющая отливать до 3 тонн за один раз. Периодичность – две варки в месяц. По сути, данная печь явилась прообразом современной технологии. Ее отличало наличие лотка, в котором стекломасса охлаждалась перед отливом. Но многое в освоении технологии не давалось легко: различные способы футеровки формы, разогрева лотка и формы и т.п. не позволяли получить заготовки Ø 1,5-2,0 м целыми.

Более удачно процесс развивался для блоков. До 1975 г. выпуск ситалла составлял 10-15 тонн в год. Однако, спрос на ситалл увеличивался, что заставляло АО ЛЗОС не только повышать выход годного на имеющейся печи, но и построить вторую ванную печь. Все это обеспечило суммарную годовую мощность по выпуску ситалла почти 100 тонн.

Основными изменениями в технологии ситалла того времени, которые легли в основу современной технологии были:

- организация отлива через платиновую трубу прямо в форму без копильника и лотка;
- разработка режима совместной ситаллизации и отжига.

Учитывая интерес к заготовкам ситалла больших размеров и успех по созданию 6 м зеркала для головного зеркала БТА из стекла 316 (алюмоборосиликатная система), в 1973 году начались работы по созданию заготовки ситалла Ø 6 м.

АО ЛЗОС начал работы по исследованию свойств составов типа СО-115М (в том числе зарубежных аналогов), изучению их взаимодействия с различными материалами.

Параллельно аналогичные работы велись в ГОИ. В итоге, по решению ГОИ и ЛЗОС ситалл СО-115М был выбран в качестве лучшего состава для создания крупногабаритных заготовок [2].

С 1974 по 1976 год шла работа по отработке технологии варки, отлива и отжига-ситаллизации крупногабаритных заготовок (Ø 3000 мм) на опытных установках. В результате были предложены и внедрены интересные технические решения. В частности, предложен оригинальный способ размешивания стекломассы с помощью нескольких рядов донных сопел, включающихся попеременно, образующих так называемую «бегущую волну», создана простая и надежная конструкция отжиговой печи. За 1976 год на опытной печи было отлито около 70 тонн стекла с выходом годных ситалловых заготовок 31%. Качество ситалла было высокое: коэффициент термического расширения в интервале температур от – 60 до + 60 составлял $1,1 \times 10^{-7}$ 1/град, пропускание 75-80 %/см, количество пузырей 20-70 шт./кг.

Также были проведены большие работы по исследованию температуропроводности, которые показали возможность охладить отливку Ø 6000 мм, h – 600÷800 мм.

В 1977 году начались работы по изготовлению, монтажу и запуску оборудования для отработки процессов получения заготовок из ситалла диаметром 6 м. Это был

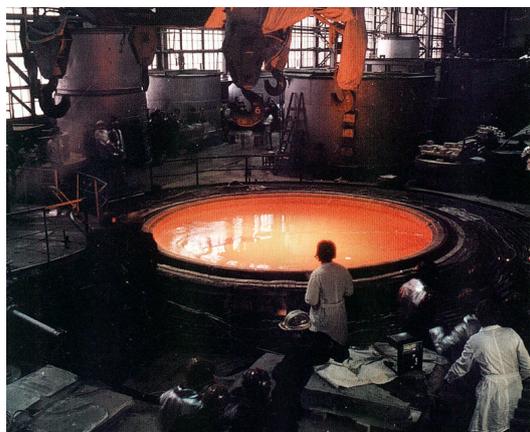


Рисунок 1.

Отлив 6-ти метровой заготовки ситалла

один из крупнейших проектов в СССР, к которому было привлечено 24 организации, главными являлись Лыткаринский завод оптического стекла (ЛЗОС) и Государственный оптический институт (ГОИ). Была построена 120 т ванная печь и специальные печи отжига и ситаллизации.

В 1978 были проведены первые отливы (рис. 1). Всего было получено 6 отливок, но ни одной целой получить не удалось. Работы в этом направлении продолжились, и только при уменьшении диаметра отливки до 4500 мм и толщины до 600 мм удалось получить целую заготовку.

Параллельно с этим АО ЛЗОС не прекращал работу по выпуску серийных заготовок ситалла меньшего размера.

В табл. 1 приведены периоды кампаний по организации варок ситалла СО-115 М и их продолжительность.

Учитывая высокую температуру варки, в качестве материала бассейна печей используется только плавленнолитые бадделеитокорундовые огнеупоры повышенной чистоты. В основе конструкции лежит – ванная регенеративная стекловаренная печь с поперечным направлением пламени. С 9 по 20 кампанию объем печи увеличился от 6 до 14 тонн.

Последняя 21 кампания стартовала в конце 2016 г., в ней задействованная печь объемом 16 тонн, оснащенная новейшей системой автоматического управления, что обеспечивает экономичное использование природного газа и стабильность основных параметров. Вновь созданная конструкция стекловаренной печи и отливного оборудования обеспечивает производство заготовок ситалла диаметром Ø от 2,5 м до 3,0 м.

Для отжига-ситаллизации на новом производстве организован участок отжига, включающий 16 единиц оборудования (печей отжига-ситаллизации). Все печи связаны в единую систему автоматического управления, позволяющую оперативно реагировать на отклонения от режима и поддерживать необходимую температуру с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Таблица 1.
Продолжительность навара ситалла марки СО-115 М в ванной печи

№ кампании	Длительность кампании	Срок эксплуатации печи, месяцы
9	с 01.11.75 по 19.08.77	21,6
10	с 13.10.77 по 21.05.79	19,5
11	с 28.06.79 по 06.03.81	20,6
12	с 17.04.81 по 01.06.83	26,9
13	с 10.08.83 по 17.06.85	22,5
14	с 13.08.85 по 05.05.87	21,0
15	с 30.08.87 по 05.03.90	30,5
16	с 25.05.90 по 15.06.92	25
17	с 16.08.00 по 29.06.01	10,5
18	с 19.09.01 по 21.06.04	33,0
19	с 22.11.04 по 22.04.05	5,0
20	с 16.02.06 по 18.02.09	36

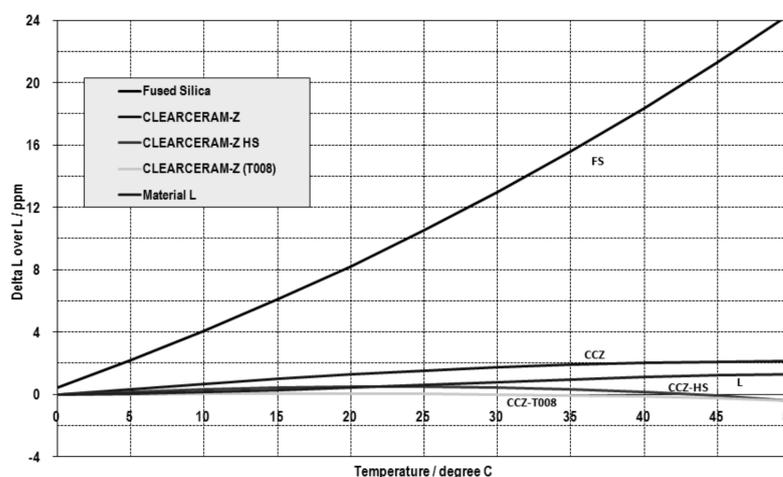


Рисунок 2.
Температурная зависимость коэффициента расширения ряда материалов серии Clearceram

Выполненный объем работ позволил в январе 2017 года осуществить отлив первых двух заготовок диаметром 2,5 м одновременно. Производительность нового производства ситалла достигает 20 тонн ежемесячно, что полностью обеспечивает российский рынок и исключает использование импортных аналогов.

Таким образом, новое производство ситалла сочетает в себе огромную производительность и точность поддержания температурных параметров на всех стадиях. В технологии использованы как старые разработки, так и вновь созданные.

Несмотря на устойчивый спрос на материал СО-115 М, в последние годы, появилась необходимость в разработке нового класса прозрачных литийалюмосиликатных стеклокристаллических материалов

со стабильной величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) при температурах от -100 до $+200^{\circ}\text{C}$. Определенных успехов в этом направлении добилась японская компания ОХАРА [3]. Материал из серии Clearceram сохраняет высокий уровень прозрачности, свойственный оптическим ситаллам, и аномальный ход кривой расширения в области низких температур. На рис. 2 представлены зависимости удлинения от температуры для серии материалов Clearceram, составы которых представлены в патентах фирмы ОХАРА. Такие материалы должны обеспечивать более стабильные термические характеристики в прецизионных лазерно-оптических измерительных устройствах.

Промышленный состав СО-115 М не обладает таким ходом зависимости ТКЛР от

температуры, а поэтому около пяти лет назад АО ЛЗОС начал работу по созданию состава прозрачного СКМ эвкриптитового/сподуменового состава нового поколения.

Работа последовательно прошла такие стадии, как синтез составов в лабораторных условиях с последующим исследованием свойств, прежде всего температурной зависимости ТКЛР, отбор наилучших с этой точки зрения составов, варка стекла в полупромышленных условиях для отработки технологических параметров процесса. Как и полвека назад, для первых промышленных варок использовалась горшковая/тигельная печь, однако и сама печь, и материал стекловаренного сосуда претерпели существенные преобразования. В процессе проведения данной работы испробованы различные технологические приемы, усовершенствовались оснастка. Некоторые из решений запатентованы, например, варка в двойном керамическом тигле, новые составы для стекловаренных сосудов на основе оксида алюминия и циркония.

Параллельно с работами на горшковой/тигельной печи ведутся работы по разработке нового комплекса оборудования для промышленного производства ситалла нового поколения.

Данный комплекс призван вобрать в себя все необходимые для получения качественного СКМ устройства и узлы. Это и электродный узел, и донный барботаж, и современные типы горелок, и многое другое. Помимо большого объема проведенных лабораторных исследований для выбранных материалов, предполагаемых к использованию, каждое из принимаемых решений новой конструкции будет отрабатываться на макетной установке. Сейчас АО ЛЗОС совместно с кооператорами находится в процессе новой работы, итогом которой, мы надеемся, станет новый СКМ, не уступающий зарубежным аналогам и полностью обеспечивающий потребности российского рынка.

Список литературы:

1. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. М: Стройиздат, 1970-351С.
2. Бужинский И.М. Сквозь призму стекла и времени. М: РНЦ «Курчатовский институт», 2004-211с.
3. Chris Ghioa, Kousuke Nakajima, Jessica DeGrootec Manufacturability study of CLEARCERAM®-Z (T008) compared to other low CTE materials - Режим доступа: http://www.oharacorp.com/pdf/ohara_optimax_ccz_study_of.pdf - Загл. с экрана.

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

ПОДОБРЯНСКИЙ А.В.¹, НЕФЕДОВ П.В.², МАЙДАШЕВА Д.А.³, АФАНАСОВ Д.С.³, ГРИГОРЬЕВА А.А.⁴

¹АО «НПО «Оптика»

²ООО «НПК «Электрокристалл»

³АО «Швабе»

⁴МИЭМ НИУ ВШЭ им. А.Н. Тихонова

E-mail: optica@nprooptica.ru, d.maydasheva@shvabe.com, stown98@yandex.ru

Рассмотрены вопросы тонкого алмазного шлифования оптических деталей (ОД) методом свободного притира и вопросы изготовления отечественного алмазного инструмента для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров.

Ключевые слова: алмазное шлифование, сферические шлифовальники, алмазные станки, алмазные элементы.

Тонкое алмазное шлифование плоских оптических деталей производится на станках типа ШП или ПД с осцилляцией верхнего звена на плоско-доводочных станках с автономной правкой инструмента, на двухсторонних плоско-доводочных станках с планетарным движением деталей в сепараторах. Как правило, шлифование производится в два перехода [1].

Тонкое алмазное шлифование сферических поверхностей методом свободного притира производится на станках типа ШП или специализированных станках с осцилляцией верхнего звена сферическими шлифовальниками (АСШ) сборными или цельнопресованными на металлических, металлополимерных или полимерных связках.

Алмазные элементы и сферические шлифовальники изготавливает для оптических предприятий АО «НПО «Оптика», для собственного потребления – АО «ЛЗОС», АО «ВОМЗ» и некоторые другие.

На рис. 1 и рис. 2 изображены алмазные элементы и алмазный инструмент для обработки на алмазных станках методом свободного притира.

За рубежом элементы и инструменты для тонкого шлифования изготавливают много фирм. Наиболее известными являются фирмы WINTER (Германия), Sanwa Seimitsu Kogyo Co.LTD (Япония). [1].

В последнее время создано новое поколение прецизионного автоматизированного оптического оборудования для обработки плоских, сферических, асферических поверхностей и поверхностей свободной формы.

Ведущие фирмы в области оптической

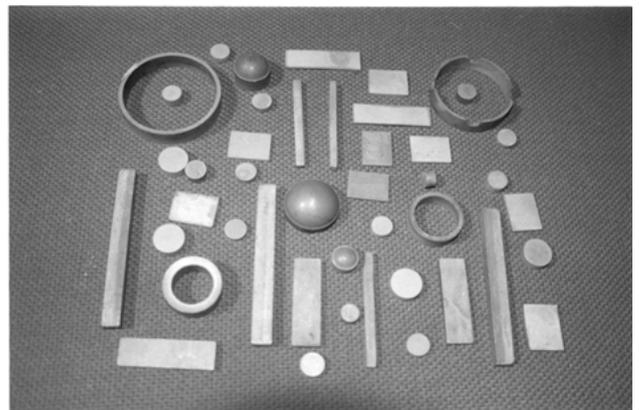


Рисунок 1.

Алмазный инструмент на металлической связке для обработки оптических деталей

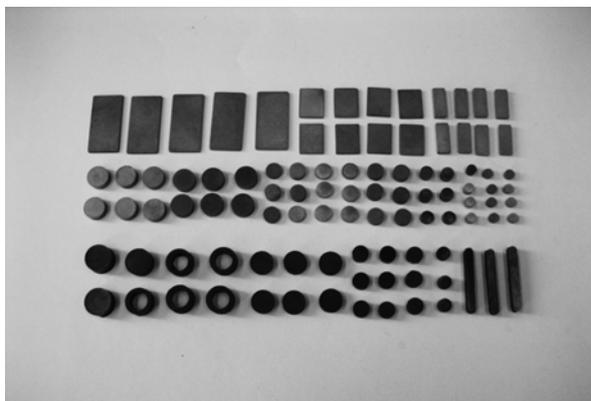


Рисунок 2.

Алмазные элементы (таблеточные и пластиночные) на металлической и органической связках

технологии и станочного оборудования Satis Loh, OptoTech, Schneider (Германия) разработали и поставляют на рынок специализированные оптические станки с ЧПУ и обрабатывающие центры, обеспечивающие операцию тонкого шлифования кольцевым алмазным инструментом и концентрацию нескольких переходов шлифования и операций полирования.

В Российской Федерации в настоящее время аналогичное прецизионное оборудование не производится. Рядом предприятий АО «Швабе» такое оборудование закуплено за рубежом и эксплуатируется. Инструмент для такого оборудования производится фирмами Германии и Японии. Зарубежные фирмы-производители поставляют алмазный инструмент для конкретной модели станка и конкретного типа-размера обрабатываемой детали полностью готовым к работе: в сборе с корпусом с правкой в размер и по биению, отбалансированным. В РФ аналогичный инструмент специализированными предприятиями ранее не выпускался.

Стоимость импортного инструмента впечатляет. Так, например, цена комплекта инструмента из 14 единиц для сферозероверования ОД диаметром от 20 до 100 мм, поставляемого фирмой Satis Loh составляет порядка 10 000 евро (в среднем 710 евро за штуку).

На совещании Совета главных оптиков, прошедшем 16.11.2016 г. в АО «Швабе» директором предприятия ООО НПК «Электрокристалл» П.В. Нефедовым было сделано

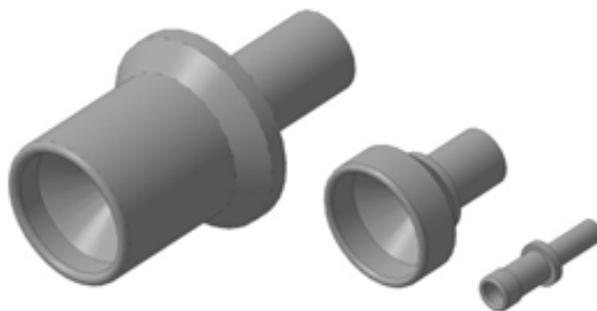


Рисунок 3.

Кольцевая фреза с оправкой HD6/HD12, HD12, HD40

сообщение о производстве инструмента различного типа-размера, в том числе: подрезные сферы, кольцевые сферы для грубой и тонкой шлифовки по норме DIN58741.

На рис. 3 представлены гальванические подрезные инструменты с оправкой HD6/HD12, HD12, HD40.

Решением Совета главных оптиков предприятия АО «Швабе» было поручено провести производственное апробирование конкретных видов данного инструмента в составе закупленных станков с ЧПУ и обрабатывающих центров фирм Satis Loh, OptoTech, Schneider (Германия) с целью дальнейшего широкого внедрения и отказа от приобретения импортного инструмента.

По информации сотрудников ООО «НН «Оптика» фрезы с зернистостью алмазного порошка 63/50 и 20/14 на металлической связке, используемые для обработки сферических поверхностей на обрабатывающих центрах фирмы Schneider, показали хорошие результаты. Отечественные фрезы не уступают фрезам, поставленным со станком фирмой Schneider, но имеют существенное ценовое конкурентное преимущество по сравнению с импортными аналогами.

Список литературы:

1. Глухов Ю.А., Подобранный А.В. Анализ рынка алмазного инструмента для обработки немаetalлических материалов с целью определения сегмента алмазного производства ГУП «НПО «Оптика» и централизованного обеспечения предприятий отрасли покупным инструментом// Контенант. 2013.Т.12.№ 2.С.

ОЦЕНКА СТЕКЛОУСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВАРКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

ИВАНОВ В.С.*, ХРАМОГИН Д.А., КОРАБЛЕВ Д.В.*, КОШКОВ С.В., ГЕМБИЦКАЯ И.М.*

АО «Лыткаринский завод оптического стекла», г. Лыткарино

*ООО «Хай теч техникал керамикс», г. Санкт-Петербург

E-mail: koshkov@lzos.ru, carbon@hitech-ceramics.com

В статье рассмотрены проблемы, связанные с варкой оптических стекол, особенно высокотемпературных в керамических тиглях. Рассмотрен ряд керамических материалов перспективных для изготовления тиглей для варки высокотемпературных оптических стекол. Проведена оценка устойчивости высокотемпературных материалов в условиях воздействия стекломассы оптических стекол при температурах, превышающих 1600°С.

Ключевые слова: стеклоустойчивость, керамические материалы, оптические высокотемпературные стекла, электронно-микроскопический снимок, изображение микроструктуры аншлифа.

Производство оптического стекла сопряжено с решением комплекса сложных технических задач, определяемых обширной номенклатурой выпускаемых марок оптических стекол и изделий, в которых они используются. К оптическим стеклам предъявляется множество разнообразных требований: по оптическим постоянным, однородности, коэффициенту ослабления, пузырности и ряду других [1].

Одним из важнейших переделов технологии стекла, определяющих свойства стекла, является варка. Сущность этого процесса состоит в превращении под воздействием высокой температуры смеси порошков исходных материалов (стекольной шихты) в однородную жидкую массу заданного состава, которая подвергается переработке в изделия.

Варку оптических стекол осуществляют, как правило, порциями в специальных сосудах (горшках, тиглях). Выбор материалов для изготовления сосудов определяется их температурой плавления или огнеупорности, устойчивостью к износу под воздействием расплавленной стекломассы в процессе вар-

ки, степени воздействия материала тигля на состав и свойства стекла, способностью сосуда выдерживать, не разрушаясь, действие термических напряжений.

Для варки оксидных стекол можно использовать тигли из платины. Этот пластичный металл практически не взаимодействует почти со всеми оксидами, входящими в состав оптических стекол. Однако для стекол, температура варки которых превышает 1600°С, температура плавления платины (1783°С) оказывается недостаточной. Кроме того, платина не является оптимальным материалом при большом объеме производства вследствие ее высокой стоимости.

Альтернативу платине представляют огнеупорные оксиды, их соединения и композиции, такие как используемые в настоящее время алюмосиликатные материалы и чистые оксиды SiO₂, Al₂O₃, MgO, ZrO₂ [2].

Однако, широкому использованию огнеупорных оксидных материалов для варки высококачественных оптических стекол, особенно высокотемпературных, препятствует, практическое отсутствие материалов требу-

емого качества. Существующие огнеупорные изделия (варочные и защитные сосуды, мешалки, крышки, устройства для бурления и другие входящие в комплект варки) не позволяют производить особо чистые марки стекол из-за недостаточной стеклоустойчивости и высокого содержания в них красящих примесей, высокой пористости, достигающей 15-20 %, недостаточной прочности. Перечисленные недостатки не позволяют достигать требуемой оптической однородности и других важных характеристик стекла.

С учетом многообразия рецептов оптических стекол, для создания стеклоустойчивого и прочного материала необходимо использовать материал, химический и фазовый состав которого обеспечит минимальное химическое и физическое взаимодействие с расплавом стекломассы заданного состава при данных условиях варки, отсутствие растворения материала тигля в расплаве. Структура материала должна сводить к минимуму проникновение расплава по порам в тигель и поверхность взаимодействия с расплавом, т. е. должна характеризоваться низкой открытой пористостью, обеспечивая при этом достаточную прочность и термостойкость.

Взаимодействие высокотемпературных расплавов с огнеупорными материалами - сложный процесс, включающий ряд стадий: смачивание, пропитку, растворение и коррозию, что приводит к износу, а иногда и к разрушению, огнеупорной конструкции. При взаимодействии происходит изменение состава и свойств не только огнеупора, но и расплава стекла.

Для оценки направления и степени взаимодействия материала огнеупорного тигля с реагентами применяют различные критерии [3]. К их числу относят термодинамический критерий, который характеризует возможность осуществления химической реакции между огнеупором и реагентом. Реакция возможна при таких условиях, когда изменение энергии Гиббса реакции (ΔG_T^0) становится меньше нуля.

Энергетический критерий ($U_{ат}$), представляет собой разницу между энергиями еди-

ничной связи катион – кислород у огнеупора и реагента (другими словами, энергиями атомизации реагирующих веществ). Коррозия огнеупора будет меньше, если энергия атомизации оксида огнеупора будет больше энергии атомизации оксида реагента.

Согласно электрохимическому критерию (φ_i^0) взаимодействие оксидов огнеупора и реагента зависит от положения их катионов в ряду напряжений. Элемент вытесняет из расплава все другие элементы, следующие за ним в ряду напряжений, а сам вытесняется ему предшествующим.

Критерий поверхностной энергии определяет смачивание материала расплавом реагента. В том случае, когда угол смачивания Θ принимает значения от 0 до 90 градусов, жидкость смачивает твердую поверхность, если же величина угла Θ находится в пределах от 90 до 180 градусов, смачивание не происходит, и, как следствие, материал (огнеупор) не взаимодействует с реагентом (стекломассой).

Огнеупорные изделия, получаемые методами керамической технологии, представляют собой капиллярно-пористые среды, которые способны впитывать смачивающий расплав под действием капиллярного давления. Одним из начальных этапов взаимодействия расплава с огнеупором является капиллярная пропитка. Кроме капиллярной пропитки, имеет место диффузионная пропитка, которая осуществляется за счет миграции ионов расплава в материале огнеупора. Скорость общей пропитки лимитируется, как правило, диффузионным механизмом.

Существенным механизмом, определяющим воздействие высокотемпературных расплавов на огнеупорные материалы, является растворение. Растворение твердых веществ в расплавах физико-химический процесс, складывающийся из подвода растворителя к поверхности твердого вещества, собственно реакции на контакте, отвода продуктов реакции от поверхности твердого вещества в расплав. На начальной стадии растворенным веществом обогащаются те слои расплава, которые находятся в непосредственном контак-

те с поверхностью твердого вещества. Постепенно концентрация растворенного вещества возрастает и приближается к концентрации насыщения, в результате чего контактные слои теряют способность к взаимодействию, и дальнейшее растворение зависит от отвода растворенного вещества от поверхности контакта в объем расплава [4].

В настоящее время для варки высокотемпературных стекол чаще всего используют тигли, изготавливаемые из корунда. Корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) характеризуется высокой температурой плавления (2050°C), достаточно высокой химической устойчивостью к кислотам и основным расплавам. Плотность корунда $3,96 \text{ г/см}^3$, коэффициент теплопроводности, приведенный к нулевой пористости, снижается от $30,3$ при 100°C до $5,48 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при 1400°C , средний ТКЛР в интервале температур от 20 до 1000°C составляет $(8 - 8,5) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ [5].

Одним из наиболее устойчивых материалов в условиях варки высокотемпературных стекол является диоксид циркония (ZrO_2). Он плавится при температуре 2715°C , химически инертен как по отношению к кислотам (кроме H_2SO_4 и HF), так и к щелочам, а также к различным расплавам, в том числе стекольным.

Одним из важнейших свойств диоксида циркония является его полиморфизм. При комнатной температуре диоксид циркония существует в моноклинной α -модификации, плотность которой составляет $5,56 \text{ г/см}^3$. При $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ моноклинная α -форма бездиффузионно превращается в тетрагональную (β) с плотностью $6,10 \text{ г/см}^3$, которая в свою очередь при 2300°C переходит в кубическую γ -форму с плотностью $6,27 \text{ г/см}^3$, сохраняющуюся до начала плавления. Модификации ZrO_2 обратимо превращаются одна в другую по схеме $\alpha \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \gamma$. Температурные области прямого $\alpha \rightarrow \beta$ и обратного $\beta \rightarrow \alpha$ перехода не совпадают. Примеси снижают температуры моноклинно-тетрагонального перехода [3,6].

Полиморфные превращения ZrO_2 сопровождаются значительными изменениями объема: при повышении температуры происходит уплотнение, а при охлаждении объем материала увеличивается, что приводит к растрески-

ванию изделий. Получение изделий из диоксида циркония возможно за счет расширения вплоть до температур ниже 1000°C области существования кубической фазы при образовании с некоторыми оксидами твердых растворов (стабилизации ZrO_2). В качестве стабилизаторов чаще всего используют CaO , MgO , Y_2O_3 , некоторые редкоземельные оксиды.

При комнатной температуре предел прочности при сжатии материала на основе диоксида циркония составляет около 2100 МПа и сохраняется на этом уровне вплоть до $1300\text{--}1500^\circ\text{C}$. Теплопроводность ZrO_2 мало зависит от температуры. Средняя величина коэффициента теплопроводности (при плотности $5,22\text{--}5,35 \text{ г/см}^3$) - $0,36 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Коэффициент линейного термического расширения стабилизированного ZrO_2 при 1500°C характеризуется величиной $(11\text{--}11,5) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ [6,7].

Благодаря своей уникальной устойчивости к воздействию кислотных расплавов, широкое распространение в стекловарении получили кремнеземистые огнеупоры. Кремнезем (SiO_2) существует при атмосферном давлении в семи кристаллических модификациях (β - и α -кварц γ -, β -, α -тридимит и β - и α -кристобалит) и двух аморфных (кварцевое стекло и силикагель). Переходы $\gamma \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \alpha$ обратимы и протекают быстро, переходы α -кварц $\rightarrow \alpha$ -тридимит $\rightarrow \alpha$ -кристобалит необратимы.

Высокотемпературные α -модификации плавятся при разных температурах, максимальную температуру плавления 1728°C имеет α -кристобалит. Плотность модификаций кремнезема уменьшается при переходе от низкотемпературных модификаций к высокотемпературным и от кварца к кристобалиту и кварцевому стеклу. Плотность β -кварца $2,65 \text{ г/см}^3$, α -кристобалита - $2,22 \text{ г/см}^3$, кварцевого стекла - $2,20 \text{ г/см}^3$.

Муллит - единственное соединение в системе $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Согласно [9] Торопову и Галахову муллит образует твердые растворы с корундом в диапазоне составов от $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ до $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ($71,8 \text{ масс.}\% - 77,2 \text{ масс.}\% \text{ Al}_2\text{O}_3$). Температура плавления в этой области снижается с 1910 до 1850°C , плотность увеличивается с $3,00$ до $3,15 \text{ г/см}^3$

[9]. Коэффициент линейного термического расширения равен $5,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [5]. Увеличение содержания муллита в огнеупорных материалах повышает их химическую устойчивость, особенно по отношению к кислым расплавам.

Среди высокотемпературных материалов привлекает внимание титанат алюминия Al_2TiO_5 , благодаря уникальному сочетанию низкого отрицательного в широком диапазоне температур температурного коэффициента линейного расширения ($- 0,44 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) с достаточно высокой температурой плавления (1860°C) и устойчивостью к кислым средам и силикатным расплавам. Наиболее перспективными являются композиции титаната алюминия с корундом, муллитом, частично стабилизированным диоксидом циркония и другими фазами [10].

Целью настоящей работы является оценка устойчивости высокотемпературных материалов в условиях воздействия стекломассы оптических стекол при температурах, превышающих 1600°C .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Определение кажущейся плотности, водопоглощения, общей и открытой пористости нормировано ГОСТ 2409 – 95. Насыщение образцов водой производили в установке «Союзавтоматстрома», обеспечивающей остаточное давление при вакуумировании образца менее $0,5 \text{ кПа}$.

Дисперсность порошков, прошедших через сетку № 009, определяли на микросайзере 201А, принцип действия которого заключается в регистрации степени рассеивания излучения He-Ne лазера, проходящего через суспензию исследуемого порошка в воде.

Для рентгенофазового анализа материал подвергали измельчению до размера частиц менее 60 мкм . Съёмку рентгенограмм проводили при комнатной температуре на установке ДРОН-6, управляемой компьютером. Интервал сканирования $10 - 80^\circ$, шаг сканирования – $0,02^\circ$, время съёмки в точке – 1 секунда .

Идентификацию фаз осуществляли путем

сопоставления измеренных межплоскостных расстояний d/n и соответствующей им относительной интенсивности I/I_0 дифракционных максимумов с соответствующими эталонными значениями из картотеки национальных стандартов JCPDS с помощью пакета прикладных программ Ident 4 на ПЭВМ.

Определение стеклоустойчивости в статических условиях проводили тигельным методом. Перед варкой стекла навеску шихты перетирали и помещали в тигель из испытуемого материала. Тигли с шихтой устанавливали в защитном корундовом стакане на подсыпку из крупнозернистого плавленного корунда. Защитный стакан накрывали корундовой крышкой.

Варку стекол осуществляли в камерной электрической печи NABERTHERM с нагревателями из дисилицида молибдена в воздушной атмосфере по режиму: нагрев до 1000°C со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин.}$, выдержка при 1000°C – 20 мин. , нагрев до 1650°C со скоростью $3^\circ\text{C}/\text{мин.}$, выдержка при 1650°C – 60 мин. Охлаждение стекла – в тигле вместе с печью до комнатной температуры.

Из тиглей с застывшим стеклом выпиливали алмазным инструментом образцы для изготовления шлифов с целью проведения элементного анализа объектов исследования.

Микроструктуру образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ JSM-35CF. Элементный анализ объектов проводили на электронном микроскопе JEOL 6380 LV в комплекте с приставкой для осуществления метода дифракции отраженных электронов (EBSD).

В качестве объектов определения стеклоустойчивости были выбраны: тигельный материал – корунд и оптическое фосфорсодержащее алюмосиликатное стекло.

Для изготовления тиглей использовали глинозем марки ГРТ по ТУ 14-194-280-07, содержащий Al_2O_3 не менее $99,5 \text{ масс.}\%$. Результаты определения дисперсности порошка глинозема представлены в таблице 1.

Образцы для исследования стеклоустойчивости статическим методом изготавливали в виде тиглей с наружным диаметром $20 - 23$

Таблица 1.

Интегральные массовые доли частиц (P, %), соответствующих заданным значениям размеров

D, мкм	0,20	0,40	0,70	1,0	3,0	7,0	10,0	20,0	30,0	50,0
Al ₂ O ₃	0	0,4	2,9	6,5	52,4	73,8	86,5	98,2	100	100

мм, высотой 25 мм и толщиной стенки 2 – 3 мм методом холодного гидростатического прессования под давлением 150 МПа, температура обжига 1720°C с выдержкой 1 час.

Водопоглощение спеченных тиглей составило 0,38%, открытая пористость – 1,5%, кажущаяся плотность 3,75 г/см³. В соответствии с ГОСТ 28874-2004 данные изделия классифицируются как особоплотные.

Контроль фазового состава материала тигля показал наличие единственной кристаллической фазы – корунда.

Изображение микроструктуры стенки корундового тигля во вторичных электронах показано на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлен общий вид распиленного тигля со сваренным стеклом.

С целью установления степени адекватности результатов настоящего исследования был произведен рентгеновский микроанализ участка пробы сваренного стекла, отобранной из промышленной партии (рис. 3, табл. 2), а также аншлифа стекла, сваренного из шихты в испытуемом тигле. Область анализа была выбрана в зоне, удаленной от стенок тигля (рис. 4, табл. 3).

Статистический анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, показал, что содержание основных элементов: алюминия, кремния, фосфора и титана в рассмотренных случаях, не различается при доверительной вероятности 95%. Это дает основания, принять состав стекла, приведенный в табл. 3, в качестве образца для сравнения.

На поверхности аншлифа (рис. 5), в зоне контакта стенки корундового тигля со стеклом, отчетливо виден зазор между стенкой тигля и застывшим стеклом. Однако также видно, что на самом деле этот зазор представляет собой трещину, которая на большем ее протяжении проходит по стеклу. Данный

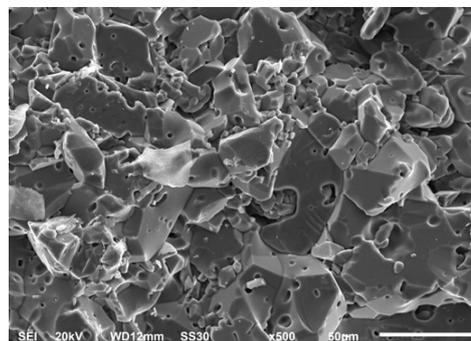


Рисунок 1.

Микроструктура стенки корундового тигля

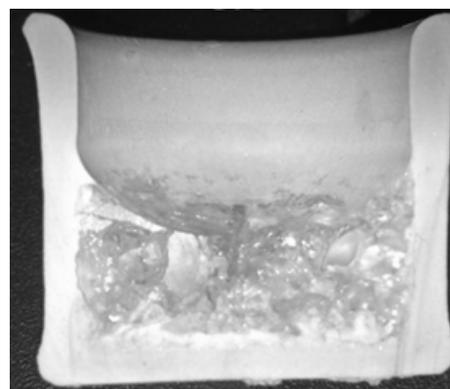


Рисунок 2.

Корундовый тигель со сваренным стеклом

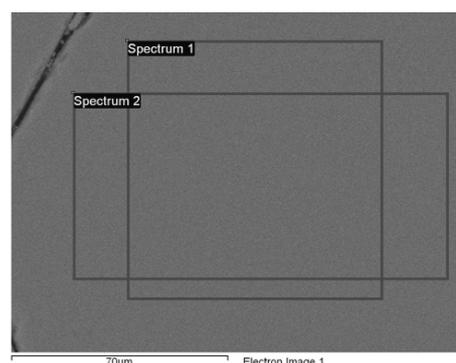


Рисунок 3.

Электронно-микроскопический снимок исходного стекла

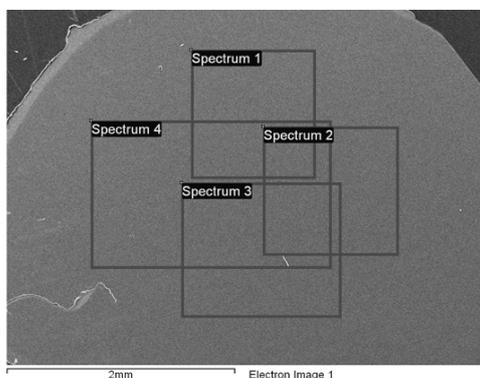


Рисунок 4.

Электронно-микроскопический снимок стекла, сваренного в корундовом тигле

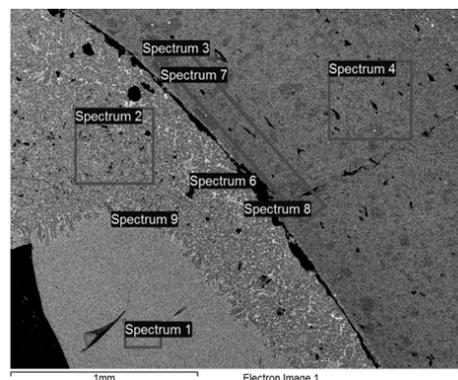


Рисунок 5.

Изображение микроструктуры анилифа зоны контакта стенки корундового тигля со стеклом

Таблица 2.

Результаты рентгеновского элементного микроанализа исходного стекла

Spectrum	In stats.	Na	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	O	Total
Spectrum 1	Yes	1.30	0.47	14.07	25.53	4.69		3.44	50.65	100.00
Spectrum 2	Yes	1.26	1.23	14.24	24.81	4.54	0.17	3.39	50.37	100.00
Mean		1.28	0.85	14.15	25.17	4.61	0.01	3.41	50.51	100.00
Std. deviation		0.03	0.53	0.12	0.51	0.11	0.23	0.04	0.20	
Max.		1.30	1.23	14.24	25.53	4.69	0.17	3.44	50.65	
Min.		1.26	0.47	14.07	24.81	4.54	-0.16	3.39	50.37	

Таблица 3.

Результаты рентгеновского элементного микроанализа стекла, сваренного в корундовом тигле

Spectrum	In stats.	Na	Mg	Al	Si	P	Ti	O	Total
Spectrum 1	Yes	-0.19	1.14	12.03	27.56	5.64	2.26	51.57	100.00
Spectrum 2	Yes	0.06	0.90	12.84	27.99	4.89	1.85	51.47	100.00
Spectrum 3	Yes	-0.22	0.73	12.91	27.70	5.29	1.99	51.60	100.00
Spectrum 4	Yes	0.09	0.74	13.72	27.21	4.72	2.22	51.30	100.00
Mean		-0.07	0.88	12.88	27.62	5.13	2.08	51.49	100.00
Std. deviation		0.16	0.19	0.69	0.32	0.41	0.19	0.14	
Max.		0.09	1.14	13.72	27.99	5.64	2.26	51.60	
Min.		-0.22	0.73	12.03	27.21	4.72	1.85	51.30	

Таблица 4.

Результаты рентгеновского элементного микроанализа зоны контакта стенки корундового тигля со стеклом

Spectrum	In stats.	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Zn	Sb	Ba	O	Total
Spectrum 1	Yes	0.68	15.45	23.87	5.43	0.21	1.55	0.34	0.79	1.72	49.96	100.00
Spectrum 2	Yes	0.63	15.62	24.70	4.63	0.29	1.18	0.58	0.94	1.59	49.84	100.00
Spectrum 3	Yes		52.53	0.35							47.12	100.00
Spectrum 4	Yes		52.48	0.39							47.13	100.00
Spectrum 5	Yes		21.03	16.68			14.74				47.55	100.00
Spectrum 6	Yes	1.05	16.28	23.79	4.36	1.40	1.12	0.58		1.87	49.57	100.00
Spectrum 7	Yes		52.52	0.36							47.12	100.00
Spectrum 8	Yes		11.46	16.15	2.73	1.33					36.38	100.00
Spectrum 9	Yes	0.37	16.88	24.87	5.08		1.25	0.44			51.10	100.00
Max.		1.05	52.53	24.87	5.43	1.40	14.74	0.58	0.94	1.87	51.10	
Min.		0.37	11.46	0.35	2.73	0.21	1.12	0.34	0.79	1.59	36.38	

факт свидетельствует о том, что стекольный расплав смачивает стенку тигля, а трещина образовалась при остывании стекла в тигле. Видны также радиальные трещины в стенке тигля, которые образовались, по-видимому, в результате действия тангенциальных напряжений на стадии охлаждения.

На изображении (рис. 5) отсутствуют признаки перерождения корундового огнеупора под воздействием стекольного расплава, образовалась лишь уплотненная зона мощностью 200 - 250 мкм. Об этом же свидетельствуют результаты элементного анализа. Элементный состав в областях 3 и 4 и в точке 7 (табл. 4), находящихся на разных расстояниях от поверхности контакта стенки тигля со стеклом, практически идентичен и соответствует содержанию Al_2O_3 более 99%.

В стекле визуально различаются, по крайней мере, две зоны: неизменная, в которой находится область 1, и зона толщиной от 0,5 до 1 мм, непосредственно примыкающая к стенке тигля, которую можно идентифицировать как закристаллизованную - с областью 2 и точками 6, 8, 9. При этом элементный состав стекла в областях 1 и 2, находящихся в разных зонах, одинаков и в целом соответствует образцу сравнения (рис. 5, табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате изучения литературных данных показано, что перспективными материалами, устойчивыми к воздействию расплавленной стекломассы при температурах, превышающих 1600°C, и в наименьшей степени влияющими на состав стекла, являются композиции на основе корунда, диоксида циркония, муллита и кварцевой керамики.

2. С использованием комплекса методов определения состава и свойств огнеупорных материалов, включая рентгеновский элементный микроанализ, установлено, что особоплотный корундовый огнеупор, содержащий не менее 99% Al_2O_3 , практически не перерождается под действием расплава оптического фосфорсодержащего алюмосиликатного стекла при температуре, превышающей 1600°C. Элементный состав стекла,

сваренного в корундовом тигле, в целом соответствует образцу сравнения. На контакте стекла со стенкой тигля образуется зона кристаллизации толщиной от 0,5 до 1 мм.

3. Рентгеновский элементный микроанализ позволяет получить качественные и количественные характеристики процесса взаимодействия высокотемпературных стекольных расплавов с огнеупорными материалами.

Список литературы:

1. Гулоян, Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий: пособие для высших и средних специальных учебных заведений / Ю.А. Гулоян – Владимир: Транзит-ИКС, 2015 – 712 с.
2. Химическая технология стекла и ситаллов: учебник / Под редакцией Н.М. Павлушкина – М.: Стройиздат.- 1983. - 432 с.
3. Стрелов К.К., Кащеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Металлургия. – 1996. – 608 с.
4. Суворов, С.А. Процессы разрушения, оптимизация свойств и выбор высокотемпературных наноструктурированных материалов: учебное пособие / С.А. Суворов, В.В. Козлов, Н.В. Арбузова – СПб: изд. СПбГТИ(ТУ). – 2013. - 133 с.
5. Кржижановский, Р.Е. Теплофизические свойства неметаллических материалов / Р.Е. Кржижановский, З.Ю. Штерн - Л.: Энергия, 1973. - 336 с.
6. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония / Д.С. Рутман, Ю.С. Торопов, С.Ю. Плинер и др. - М. - Металлургия, 1985. - 136 с.
7. Керамика для машиностроения / А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Г.П. Зайцев, С.С. Семенов. - М. - ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2003. - 384 с.
8. Пивинский, Ю.Е. Кварцевая керамика / Ю.Е. Пивинский, А.Г. Ромашин – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
9. Торопов, Н.А. / Н.А. Торопов, Ф.Я. Галахов
10. Суворов С.А., Фищев В.Н. Материалы на основе титаната алюминия с предельно низким термическим расширением. //«Актуальные проблемы технологии производства современных керамических материалов» Сб. трудов научно-технического семинара. С-Пб: Изд. Политехнического университета, 2015. – с. 57 - 70

МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПРОМЫВКИ МКП 1 ДЛЯ ФИНИШНОЙ ПРОМЫВКИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КРИСТАЛЛОВ

ВАЛЕЙСКИЙ Д.В., ДОРОШКЕВИЧ А.Г., КРАСОВСКИЙ С.Н., МЕЛЬНИКОВ А.А., НАКОНЕЧНЫЙ В.П.,
ПРОТЬКО А.С., ШУШКАНОВА Т.Г.

ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» (ОАО «ОС и ВТ») г. Минск, Беларусь

E-mail: os_vt@mail.belpak.by

В статье приведено описание механизированного комплекса промывки МКП-1 для финишной промывки крупногабаритных оптических деталей из водорастворимого кристалла марки KDP перед нанесением покрытия методом золь-гель технологии. В технологическом процессе промывки используется органический растворитель.

Ключевые слова: комплекс промывки, механизированный оператор, фильтромодуль, ламинарный поток, ультразвуковой генератор, система управления.

Открытое акционерное общество «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» на протяжении сорока лет занимается разработкой и изготовлением ультразвуковых установок для промывки оптических деталей, конструкционных деталей приборов, печатных валов для обойных фабрик, изделий медтехники и т. д. Промывочные установки типа КП-1; КП-2М, комплекс РТКП-1 нашли широкое применение практически во всех оптических цехах предприятий стран СНГ. Серийное производство такого оборудования было организовано на предприятиях в г.Великий Устюг (Россия) и в г.Сморгонь (Беларусь). Оборудование использовалось для промывки в водных растворах поверхностно-активных веществ оптических деталей диаметром до 100 мм после их механической обработки.

В последние пять лет в акционерном обществе начата разработка автоматизированных комплексов промывки серии АКП. Управление работой таких комплексов осуществляется программируемыми контроллерами. Перенос кассетоносителей с оптическими деталями из ванны в ванну осуществляется

автооператорами по заданным программам. Комплексы снабжены системами подготовки воды и моющих растворов, которые обеспечивают заданное качество воды и растворов и поддерживают его в процессе промывки деталей.

Конструкция ультразвуковых генераторов (УЗГ) позволяет менять мощность ультразвуковых колебаний от 10 до 100% их расчетной мощности.

В последние годы в конструкцию приборов специального назначения стали включать оптические детали из водорастворимых кристаллов.

При изготовлении оптических деталей из таких материалов возникают определенные трудности не только при механической обработке, но и при промывке их, как после механической обработки, так и перед нанесением защитных покрытий. Как правило, промывка таких деталей осуществляется в органических растворителях, имеющих высокий класс химической и пожарной опасности. В связи с этим выполнение этой операции вручную требует создания специальных условий с точки зрения техники безопасности,

что не всегда удается достигнуть. Процесс этот трудоемкий, особенно, если детали имеют большие габаритные размеры. Поэтому возникла необходимость разработки промышленных комплексов, исключая ручной труд и обеспечивающих безопасную и экологически чистую промывку водорастворимых кристаллов

Нашим акционерным обществом в 2016 г. в рамках договора разработан механизированный комплекс промывки МКП-1 для промывки в органическом растворителе оптических деталей размером 410x410x15 мм из водорастворимого кристалла марки KDP перед нанесением на них покрытий методом золь-гель технологии. Комплекс предназначен для применения в единичном производстве.

Конструкция МКП-1 состоит из следующих узлов:

- установка промывки;
- узел фильтрации воздуха;
- шлюз;
- установка регенерации растворителя;
- средства пожаротушения.

В состав установки промывки входят:

- три ванны;
- механизированный оператор;
- кассетоноситель;
- стол загрузки и стол выгрузки;
- защитное ограждение рабочей зоны установки;
- электрошкаф;
- шкаф ультразвуковых генераторов (УЗГ);
- переносной кнопочный пост для управления работой оператора и панели управления для ванн и стола выгрузки.

Для удобства обслуживания ванны установки, столы загрузки и выгрузки расположены в едином каркасе и смонтированы в линию. Шлюз, по которому промытая деталь транспортируется в соседнее помещение, расположен сзади стола выгрузки. Каркасы ванн, столов и шлюза изготовлены из анодированного алюминиевого профиля.

При подготовке установки к промывке используемый органический растворитель заливается в ванны. Промывка ОД осуществляется в направлении от первой ванны к



*Рисунок 1.
МКП-1 со стеклом*

третьей, а растворитель подается из установки регенерации в третью ванну, из третьей ванны во вторую, из второй ванны в первую, из первой ванны обратно в установку регенерации. Для безопасности работы оборудования и достижения качества промываемых деталей ванны установки снабжены:

- бортовыми отсосами для удаления паров растворителя.

Отсос паров растворителя из внутреннего объема установки осуществляется через пять стаканов с регулируемыми крышками. Рукава бортовых отсосов и стаканы подсоединены к общему воздухопроводу системы вентиляции, смонтированному внутри каркаса установки;

- системой специальных трубопроводов, обеспечивающих направление потока растворителя из ванны в ванну противоположно направлению движения кассетоносителя;

- взрывозащищенными датчиками контроля уровня растворителя в ваннах. Датчики предназначены для блокировки подачи напряжения на УЗГ, если уровень растворителя в ваннах ниже требуемого;

- ультразвуковыми излучателями с пьезо-керамическими преобразователями на двух внешних боковых стенках ванн. Излучатели смонтированы в коробах. Короба герметично закрыты съемными крышками. В целях по-

жарной безопасности, для предотвращения возникновения искрообразования, в короба подается газообразный азот из баллона через систему подачи азота. Подача азота осуществляется автоматически при включении вводного выключателя электрошкафа управления. Контроль давления азота при продувке системы, заполнении им коробов и в процессе работы УЗГ осуществляется манометрами и прецизионным датчиком давления.

Генераторы обеспечивают ультразвуковые колебания частотой 40 кГц.

Столы загрузки и выгрузки предназначены для загрузки в установку касетоносителя перед началом промывки и выгрузки его по окончании промывки. Столы имеют направляющие для надежной фиксации касетоносителя.

При промывке деталь закрепляется в касете, касета устанавливается в касетоноситель. Касетоноситель имеет ролики для плавного передвижения по направляющим столов загрузки, выгрузки и шлюза.

Механизированный оператор переносит касетоноситель со стола загрузки в ванны установки и на стол выгрузки. Перенос может осуществляться как в прямом, так и в обратном направлении. Управление оператором осуществляется от переносного взрывозащищенного кнопочного поста, состоящего из пяти кнопок («Вниз», «Вверх», «Право», «Влево», «Быстрый ход»). Механизированный оператор обеспечивает надежный захват касетоносителя, плавное поднятие, перемещение и опускание его в ванны и на стол выгрузки. Положения касетоносителя на каждой позиции фиксируются датчиками положения.

Механизированный оператор, кроме переноса касетоносителя, выполняет функции механизма качания и механизма медленного подъема касетоносителя из третьей ванны.

Механизм качания предназначен для создания плавного возвратно-поступательного движения касетоносителя в вертикальной плоскости в ваннах с целью эффективного удаления загрязнений с поверхности детали.

Механизм медленного подъема касетоно-

носителя обеспечивает удаление растворителя с поверхности детали без образования капель за счет медленного извлечения касетоносителя из растворителя.

Касетоноситель после промывки транспортируется со стола выгрузки по шлюзу на участок нанесения покрытия, расположенный в соседней комнате. Конструкция шлюза обеспечивает изоляцию его внутреннего пространства от окружающей среды. С целью пожаробезопасности на входе в шлюз установлен шибер. На выходе в соседнюю комнату шлюз снабжен защитной дверью. Касетоноситель в шлюзе перемещается с помощью пневмоцилиндра, выполненного во взрывозащищенном исполнении

Рабочая зона установки изолирована от окружающей среды защитным ограждением. В верхней части ограждения установлен фильтровентиляционный модуль, обеспечивающий избыточное давление внутри установки.

Забор воздуха в фильтромодуль осуществляется из помещения, где размещена установка. Воздух вентилятором высокого давления засасывается в воздуховод и, проходя через фильтр грубой очистки, подается в короб. На выходе из короба установлены НЕРА фильтры и ламинаризатор, который создает ламинарный воздушный поток над ваннами и столом выгрузки

Система управления комплекса построена по принципу релейно-контактной логики.

Управление технологическим процессом промывки осуществляется с помощью кнопок панелей управления для каждой ванны и стола выгрузки. Панели управления ванн содержат кнопки включения и отключения цикла промывки; панель для третьей ванны дополнительно имеет кнопки для включения – отключения механизма медленного подъема; панели управления стола выгрузки содержат кнопки, которые открывают-закрывают шибер и перемещают касетоноситель со стола выгрузки в шлюз.

С целью пожаробезопасной эксплуатации комплекса, ванны, столешницы и крышки ванн, бортовые отсосы, трубопроводы, воз-

духовод, канал воздушный и др. выполнены из нержавеющей стали.

В комплексе для промывки ОД используется органический растворитель, который в соответствии с ГОСТ 19433-88, относится к 3-му классу опасности, подклассу 2, категории 1, группе 2 (3212).

Помещение, где размещен комплекс промывки, относится к категории А - помещение с повышенной опасностью. Зона в помещении, где размещен комплекс промывки, относится к зоне класса 2 (зона, в которой вероятность образования взрывоопасной газовой среды в нормальных условиях эксплуатации маловероятна, а если она возникает, то существует непродолжительное время) по ГОСТ IEC 60079-10-1-2013

Электрооборудование, смонтированное внутри комплекса, серийно выпускается, выполнено во взрывобезопасном исполнении и имеет сертификаты соответствия.

На задней стенке каркаса закреплен взрывозащищенный светодиодный светильник.

В комплексе установлена автоматическая установка газового пожаротушения (АУГП), которая предназначена для обнаружения возгорания на ранней стадии, локализации и тушения пожара во внутреннем объеме ком-

плекса, выдачи сигналов пожарной тревоги в помещения с постоянным пребыванием дежурного персонала, а также выдачи звукового и светового оповещения. Способ тушения объёмный. Огнетушащее вещество – хладон 125ХП.

Внутри каркаса установки расположены инфракрасные извещатели пламени, которые предназначены для обнаружения возгораний. Подача огнетушащего вещества осуществляется через струйные насадки, которые расположены также внутри установки.

С целью пожаробезопасной эксплуатации комплекса, пневмо – и электрошкафы, баллоны с азотом и с хладоном размещены в отдельном помещении, не сообщающемся с помещением комплекса.

Применение схемы включения автоматической АУГП по совпадению двух независимых сигналов от двух пожарных извещателей позволяет исключить ложные срабатывания. Система пожаротушения реализована на использовании серийно выпускаемых и сертифицированных приборов, элементов и узлов.

В настоящее время проводятся работы по сертификации комплекса и подготовке его для сдачи заказчику.

СТАНОК С ЧПУ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК от 2 до 20 мм

ВАЛЕЙСКИЙ Д.В., ДОРОШКЕВИЧ А.Г., ДЕМИДОВИЧ Т.И., КРАСОВСКИЙ С.Н., КОТОВИЧ А.Н.

ОАО «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» (ОАО «ОС и ВТ») г. Минск, Беларусь

E-mail: os_vt@mail.belpak.by

В статье приведено описание станка с ЧПУ для предварительного шлифования оптических заготовок от 2 до 20 мм, позволяющего за одну установку выполнить пять заготовительных операций. Станок разработан Открытым акционерным обществом «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» Республики Беларусь. Изготовление опытного образца намечено на декабрь 2017 года.

Ключевые слова: станок, микрооптика, предварительное шлифование, сферошлифование, огабаривание, нанесение фасок, оптические заготовки.

Оптические детали диаметром от 2 до 20 мм широко используются в различных оптико-механических и оптико-электронных приборах, в системах для волоконно-оптических систем связи, в микроэлектронике, лазерной хирургии и терапии, микрообъективах эндоскопов, лазерных анализаторах и в других устройствах. Заготовительные участки оптических цехов для предварительной обработки такой оптики в настоящее время оснащены, в основном, морально и физически устаревшим оборудованием, например станками Алмаз-70, АШС-20, которые выполняет только одну операцию - сферошлифование. В условиях многономенклатурного мелкосерийного использования таких станков становится нерентабельно, т.к. переналадка станка с одного типа оптической заготовки на другой требует привлечения наладчика и занимает от 15 до 30 минут. Использование станка с ЧПУ позволит эту операцию выполнять оператором, обслуживающим станок и сократить время переналадки в 3-6 раз. Кро-

ме того экономически целесообразно иметь многофункциональный станок, который позволяет за одну установку выполнить не только сферошлифование, но и ряд других заготовительных операций.

Открытое акционерное общество «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» в 2017 году закончило разработку конструкторской документации на станок с ЧПУ для предварительного шлифования оптических заготовок от 2 до 20 мм, позволяющего за одну установку заготовки выполнить не только сферошлифование, но и ряд других заготовительных операций:

- огабаривание по высоте;
- огабаривание по диаметру;
- сферошлифование рабочей поверхности;
- нанесение конструкционных фасок;
- нанесение технологических фасок.

В состав станка входят следующие основные узлы и вспомогательные механизмы:

- станина;
- колонна;
- привод вращения шпинделя инструмента;

- привод вращения шпинделя изделия;
- привод вертикального перемещения бабки изделия;
- привод продольного перемещения бабки шлифовальной от соосного расположения шпинделей;
- привод разворота бабки шлифовальной на заданный угол относительно вертикали;
- вакуумный насос с ресивером;
- питатель СОЖ с системой подачи СОЖ в зону обработки;
- защитное ограждение рабочей зоны;
- пневмооборудование;
- система охлаждения электрошпинделя инструмента;
- электрошкаф с пультом управления.

Система управления станком построена на базе компьютерного оборудования и комплектации корпорации Siemens.

Конструкция станка обеспечивает:

- надёжное крепление инструмента в шпинделе инструмента;
- надёжное крепление заготовок в вакуумном или цанговом патроне;
- вращение шпинделя инструмента с бесступенчатым регулированием частоты вращения;
- вращение шпинделя изделия с бесступенчатым регулированием частоты вращения;
- настроечный наклон и позиционирование на заданный угол бабки шлифовальной;
- перемещение и позиционирование бабки шлифовальной с бесступенчатым регулированием скорости перемещения;
- перемещение и позиционирование бабки изделия в вертикальной плоскости с бесступенчатым регулированием скорости перемещения;
- защиту узлов станка и пространство перед станком от брызг СОЖ, а также других предметов (при аварийной ситуации);
- подачу СОЖ от питателя непрерывно на

режущую кромку алмазного инструмента с индивидуальным регулированием по расходу;

- отсос аэрозолей СОЖ из зоны обработки и очистка её от мелкодисперсных частиц стекла;

- охлаждение электрошпинделя инструмента до температуры не выше 600С.

Станок оснащён промышленным компьютером, современными сервоприводами, считывающими линейками, что позволяет все операции по переналадке станка выполнять без участия наладчика. Вместо квалифицированного наладчика и оптика станок может обслуживать оператор. Широкий диапазон частот вращения шпинделя инструмента и шпинделя изделия, а также линейных скоростей перемещения рабочих органов станка позволяют технологу задавать оптимальные режимы обработки для любой конструкции обрабатываемой детали из широкой номенклатуры оптических стекол и кристаллов.

Наличие защиты зоны обработки исключает попадание стекольного шлама на рабочие поверхности прецизионных деталей станка, обеспечивая сохранения точностных параметров оборудования в течение длительного времени.

Встроенная в конструкцию станка система отсоса и очистки аэрозоли от мелкодисперсных экологически опасных частиц, образующейся в процессе алмазной обработки стекла, обеспечивает экологическую защиту окружающей среды.

Переход с выполнения одной операции на другую осуществляется за счет автоматической переналадки станка и, в случае необходимости, замены одного алмазного инструмента на другой. Переналадка занимает не более 3-4 минут и выполняет её оператор, обслуживающий станок.

Показатели основных параметров станка представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Основные параметры станка

Наименование показателя	Величина показателя
1	2
1. Величина перемещения бабки изделия в вертикальной плоскости, мм	от 0 до 60
2. Величина перемещения бабки шлифовальной от соосного расположения шпинделей, мм	от +30 до -20
3. Угол установочного наклона бабки шлифовальной от вертикального положения (в сторону большего перемещения), угл. град.	от 0 до 47
4. Скорость ускоренного подвода бабки изделия и бабки шлифовальной, м/с (мм/мин), не более	0,03 (1800)
5. Скорость рабочей подачи бабки изделия и бабки шлифовальной, м/с (мм/мин)	от $33 \cdot 10^{-7}$ до $17 \cdot 10^{-5}$ (от 0,2 до 10)
6. Частота вращения шпинделя инструмента, с ⁻¹ (об/мин)	от 333 до 1200 (от 20000 до 72000)
7. Частота вращения шпинделя изделия, с ⁻¹ (об/мин)	от 1,67 до 16,6 (от 100 до 1000)
8. Радиальное перемещение шпинделей изделия и инструмента при нагружающей силе 30Н и давлении воздуха в пневмосети станка $5,5 \cdot 10^5$ Па, мм, не более	0,01
9. Осевое перемещение шпинделей изделия и инструмента при нагружающей силе 30Н и давлении воздуха в пневмосети станка $5,5 \cdot 10^5$ Па, мм, не более	0,03
10. Вместимость рабочего бака питателя СОЖ, л, не менее	60
11. Объёмный расход СОЖ, л/мин, не менее	4

ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА НА БелОМО

ЦЕХАНОВИЧ А.В., РУНГЕ В.Ф., ТИТОВ Е.И.

E-mail: djek-p@yandex.ru

В 60-е годы прошлого века экономика Советского Союза начала испытывать проблемы с поставками продукции на экспорт и, соответственно, с валютными поступлениями в казну. Промышленные изделия - товары культурно-бытового, социального, научного и прочего назначения разрабатывались в основном без учета требований дизайна и эргономики. Попытки копирования зарубежных образцов чаще всего заканчивались неудачно. Отсутствие современных передовых технологий на предприятиях существенно затрудняло производство высококачественной продукции. При общем дефиците в стране склады затоваривались продукцией, плохо пользующейся у потребителей спросом. Чтобы исправить ситуацию вышло Постановление Совета министров СССР № 394 от 28 апреля 1962 года «Об улучшении качества продукции машиностроения и товаров культурно-бытового назначения путем внедрения методов художественного конструирования». Его реализация заложила основы единой государственной системы художественного конструирования (дизайна). Был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт технической эстетики (ВНИИТЭ) с десятью его филиалами, в том числе и Белорусским филиалом в Минске (БФ ВНИИТЭ).

По приказу Министра оборонной промышленности на предприятиях оптико-механиче-

ской отрасли также стали создаваться службы художественного конструирования. Так на Красногорском механическом заводе, одном из крупнейших в стране производителей любительской фотокинотехники и оптики служба дизайна была создана в 1965 г.

В составе Белорусского оптико-механического объединения (БелОМО) было сформировано самостоятельное интеллектуальное образование - Центральное конструкторское бюро «Пеленг» (ЦКБ «Пеленг», БелОМО), в которое был преобразован Отдел главного конструктора Минского механического завода (ММЗ) им. С. И. Вавилова. В августе 1975 года в ЦКБ «Пеленг» начал функционировать сектор художественного конструирования, руководитель которого подчинялся непосредственно начальнику ЦКБ «Пеленг», чем подчеркивалось значение, которое отводилось роли дизайна.

Напомним, что слово «дизайн» в доперестроечное время официально практически не употреблялось, чаще использовалось словосочетание «художественное конструирование». К середине 1980-х годов творческий потенциал сектора художественного конструирования ЦКБ «Пеленг» находился на пике своего организационного и профессионального развития. Дизайнеры сектора к этому времени в полной мере владели секретами технологических возможностей предприятий БелОМО (ММЗ им. С. И. Вавилова,

г. Минск; завод «Диапроектор», г. Рогачев; завод «Зенит», г. Вилейка) и говорили на одном языке с конструкторами этих предприятий.

Структура сектора дизайна состояла из группы дизайнеров объемного проектирования (8 человек) и группы дизайнеров-графиков (4 человека). Обе группы были укомплектованы профессиональными дизайнерами - выпускниками Белорусской государственной академии искусств, Ленинградского высшего художественно-промышленного училища им. В. И. Мухомовой, Харьковского государственного художественно-промышленного института и Витебского государственного педагогического института (художественно-графический факультет). Такой «букет» представителей известных дизайнерских школ представлял собой креативный дизайнерский ансамбль с богатой творческой палитрой. Выпускники этих вузов внесли свой яркий индивидуальный стиль в развитие дизайна на БелОМО. В их числе были Борисов В.Д. (руководитель сектора в 1975-1980 гг.), Кизил Л.А., Кандалова В. Г., Кузюков Т.П., Ленсу Я.Ю. (канд. искусствоведения), Манин В.Н., Пастухов О.Е., Терещенко О.Е., Хандрас В.М. и Цеханович А. В. (руководитель сектора с 1981 г.).

Сектор дизайна располагал хорошо оборудованной производственной базой. Макетная мастерская была оснащена необходимыми станками, материалами и инструментами, оборудована местом для покраски с вытяжкой и сжатым воздухом. Над изготовлением поисковых и демонстрационных макетов трудились два опытных профессиональных макетчика. В секторе работал специалист по эргономике.

Дизайнеры БелОМО вели разработки фотоаппаратуры, кинопроекционной и диапроекционной техники, наблюдательных приборов, подзорных труб, биноклей, приборов ночного видения, приборов для контроля ценных бумаг, микроскопов, морских и космических комплексов, выполняли научно-исследовательские работы и т.д. Та-

кую обширную тематику и номенклатуру разрабатываемых изделий не всегда могли охватить дизайнеры БелОМО, поэтому часть работы отправлялась в БФ ВНИИТЭ, с которым поддерживался тесный контакт в плане методическо-консультативного сотрудничества.

Дизайнеры БелОМО с честью защищали свои разработки на всех уровнях. Это подтверждается дипломами международных выставок в Праге, Братиславе, Варшаве, Кракове, Загребе, Хельсинки и Бомбее. В 1986 году в Доме оптики (г. Москва) состоялась выставка дизайна оптико-механической отрасли, по результатам которой дизайнеры БелОМО были удостоены двух серебряных и трех бронзовых медалей ВДНХ СССР. Одна из разработок - полуформатный фотоаппарат «Агат-18» (дизайнер Манин В.Н.), имевшая оригинальное решение (вертикальная компоновка), получила высокую оценку потребителей и специалистов. Придирчивый зарубежный коллекционер-профессионал уважительно назвал фотоаппарат «маленькой пластмассовой конфеткой» (*Modern Photography*, 1986, № 12).

Приказом Министерства оборонной промышленности от 27 сентября 1985 года за № 535 на базе ПО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» был создан Художественно-экспертный совет отрасли (Совет по дизайну). Совет возглавил главный дизайнер базового предприятия Рунге В.Ф., его заместителями стали главный дизайнер ЛОМО Цепов В. А. и главный дизайнер ЦКБ «Пеленг» Цеханович А. В.

Совет рассматривал эскизные и технические дизайн-проекты, проводил экспертизу дизайн-разработок на соответствие изделий эстетическим и эргономическим требованиям. Без положительного экспертного заключения изделия не могли получить право на постановку на производство и на присвоение Знака качества. Несколько выездных заседаний Совета состоялись на БелОМО. Благодаря функционированию Совета получили развитие регулярные взаимные плодотворные контакты дизайнеров отрас-

ли, которые были очень своевременными и полезными, служили интенсивному обмену опытом.

Благодаря инициативе ВНИИТЭ в апреле 1987 года в Москве прошел Учредительный съезд, на котором был создан Союз дизайнеров СССР. Два дизайнера ЦКБ «Пеленг» были делегатами этого исторического съезда и вернулись из Москвы членами Союза дизайнеров. Была создана Всесоюзная творческая секция «Дизайн оптико-механических приборов» (председатель Цеханович А.В.). Секция занималась подготовкой отраслевых семинаров, а в декабре 1992 года выступила в роли одного из учредителей Международной ассоциации «Союз дизайнеров».

Уже через десяток дней после Учредительного съезда началась активная подготовка к проведению научно-практического семинара «Фотоаппарат будущего». Руководство ЦКБ «Пеленг» отнеслось с пониманием к идее проведения семинара и предоставило дизайнерам пару домиков охотничьего хозяйства «Маковза» в живописном «партизанском» лесу на берегу озера на Логойщине. В семинаре приняли участие дизайнеры отраслевых предприятий: ЦКБ «Пеленг», БелОМО г. Минск; КЗ им. С. А. Зверева, г. Красногорск; ЛОМО, г. Ленинград; завод «Арсенал», г. Киев.

Девственный лес, чистый воздух, неприрученная обстановка, нерегламентированный рабочий день, освобождение от бешеного ритма цивилизации стимулировали активность проектного мышления и его креативность. Обмен мнениями, споры и дискуссии порой велись с утра и за полночь. Так рождались новые проектные дизайнерские идеи, рассматривались различные концептуальные версии. Семинар явился эффективной школой коллективного творчества и повышения и квалификации дизайнеров. Ведущей темой дискуссий стало обсуждение проблем современного дизайна фотоаппаратуры, вопросов удовлетворения требований различных групп фотопользователей.

Участниками семинара был сделан и ряд

научных докладов. Я. Ю. Ленсу говорил о проблемах, связанных с качеством товаров народного потребления, П. И. Бояров – об оптимизации эксплуатационно-эргономической и функциональной структуры фотокамер и их оперативно-изобразительных возможностях. В. И. Шаблевич посвятил свое выступление стиливым особенностям формообразования современных зеркальных фотоаппаратов. А. В. Цеханович коснулся проблем создания патенточистой и конкурентоспособной фотоаппаратуры, а В. Н. Манин осветил основные тенденции формообразования незеркальной малоформатной фотоаппаратуры.

Главным же событием семинара стала разработка художественно-конструкторских предложений перспективного фотоаппарата будущего, которые нашли выражение в 30 графических планшетах и 10 поисковых макетах. Участники семинара разделились на несколько творческих групп, каждая из которых выдвинула свою концепцию фотоаппарата будущего. В том числе дизайнеры:

- от ПО «Красногорский завод» им. С. А. Зверева группа в составе А. И. Курочкина, М. О. Павлович, Е. Я. Рыбниковой и Е. А. Суровой (руководители группы В. Ф. Рунге и В. И. Шаблевич);

- от ЛОМО им. В. И. Ленина группа в составе В. Д. Миротина, В. Д. Смакеньюка и руководителя группы В. А. Цепова;

- от ГОИ им. С. И. Вавилова - П. И. Бояров;
- и другие.

Результаты этого и следующего («Дуб-



*Рисунок 1.
Любительский фотоаппарат «Агат-18»
с размером кадра 18x24. 1980-е гг.*

ки», ЛОМО) семинаров легли в основу дискуссии представительной встречи производителей и потребителей фототехники (конструкторов, дизайнеров, фотографов-профессионалов и любителей) с участием редакции журнала «Советское фото» в Центре технической эстетики ВНИИТЭ на Пушкинской площади в Москве. Мероприятие получило широкое освещение в печати и на телевидении (1989 г.).

Опыт, приобретаемый дизайнерами отрасли на семинарах «Маковза», был высоко оценен Союзом дизайнеров. По инициативе Рунге В.Ф., секретаря правления Союз дизайнеров, круг участников таких семинаров было предложено расширить. Следующий семинар прошел осенью 1987 года на базе ЛОМО в Дубках. Семинары проводились дважды в год. Количество участников росло, активное участие в работе семинаров принимали студенты и преподаватели дизайнерских вузов, представители ВНИИТЭ и других организаций, темы семинаров становились комплексными и актуальными, вышли за рамки отрасли. Например, с привлечением представителей Военно-морского флота разрабатывалась проектная кон-

цепция Комплексного реабилитационного центра для экипажей подводных лодок на базах флотов (1990 г.). Ряд семинарских тем был развит студентами в дипломных работах.

Развал Советского Союза поставил жирную точку в проведении научно-практических семинаров, которые не только внесли весомый вклад в развитие теории и практики современного промышленного дизайна, но и существенно повлияли на качество выпускаемой продукции, ее конкурентоспособность. Последний семинар (девятый по счету), как и первый, прошел на базе ЦКБ «Пеленг» уже после развала Советского Союза (1992 г.). В то непростое время студентам-дизайнерам Академии художеств Беларуси негде было проходить производственную практику, так как многие предприятия испытывали глубокие перестроечные потрясения. В этой ситуации белорусским студентам была предоставлена возможность пройти производственную практику в рамках семинара; профессионалы провели с ними несколько мастер-классов.

Еще во время семинара на базе ЛОМО в 1989 году на заседании Всесоюзной творче-



*Рисунок 2.
Дизайнеры предприятий оптико-механической промышленности
на семинаре «Маковза». Апрель-май 1987 г.*



Рисунок 3.

Микроскоп сравнения «Пеленг» МС-2 предназначен для идентификации объектов криминалистических исследований: ценных бумаг, документов, пуль и гильз. 2000 г.

ской секции «Дизайн оптико-механических приборов» была учреждена творческая дизайн-студия, имя ей дали «Маковза». Эта была первая студия в Беларуси. Так началась первая волна оттока дизайнерских кадров с производства на вольные хлеба. Дизайн-студия «Маковза» в 1989-1990 гг. совместно с дизайнерами ЦКБ «Пеленг» выполнила научно-исследовательскую работу «Исследование оптимального ассортимента, методов и способов реализации художественно-конструкторских решений и определение перспективного направления дизайн-проектирования техники, в том числе для фотоаппаратов «Минск-ЗУМ», «ЛОМО-ЗУМ», «ЛОМО-СУПЕРЗУМ» и «Киев-21АФ» (руководитель НИР Цехановин А.В.).

Дизайнерами студии Маниным В.Н., (руководитель, Ленсу Я.Ю.) и Яницким А.Н. были выполнены теоретические исследования и проектные работы, созданы образцы фотоаппаратов, отличающиеся новизной и совершенством формы, удачным эргономическим обеспечением. Для всех образцов критерии пользы, красоты и удобства стояли на первом месте. Этим оригинальным разработкам не суждено было попасть в серийное производство. Новые разработки и технологии на ММЗ им. С. И. Вавилова не внедрялись а цех фотоаппаратуры и вовсе был ликвидирован.

С развалом Советского Союза стали перестраиваться системы государственного управления, экономика и пр. На многих предприятиях, и не только Белоруссии, дизайнеры на производстве первыми попадали под сокращение или уходили сами, пополняя ряды книжных графиков или разработчиков интерьеров и т.п.

Лишь некоторым везло, так дизайнеры ПО «Красногорский завод» были одной из самых востребованных профессий на предприятии. При активной позиции генерального директора завода Гоева А.И. специалисты предприятия на основе интеллектуального и практического заделов, внедрения новых материалов, технологий проектирования и производства создали новую гамму конкурентоспособных оптико-электронных приборов. Благодаря этому завод длительное время сохранял свои позиции на мировом рынке оптико-электронной продукции.

С благословения МОА «Союз дизайнеров» Цеханович А. В. в 1995 году создал Отделение Международной общественной ассоциации «Союз дизайнеров» в Республике Беларусь. Учредителями Отделения стали дизайнеры ОАО «Пеленг» (ЦКБ «Пеленг» переименован в 1994 году) - члены всесоюзной творческой секции «Дизайн оптико-механических приборов». Отделение, по сути дела, стало правопреемником всесоюзной

секции. ОАО «Пеленг» было первым коллективным членом Отделения МОА «Союз дизайнеров» и предоставило ему юридический адрес.

Основополагающими принципами, положенными в основу деятельности ОМОА «Союз дизайнеров», являлись:

- сохранение и упрочение творческого потенциала дизайнеров, занятых непосредственно на производстве;
- тесная связь промышленного дизайна с производством, наукой, искусством и потребителем в поисках новых путей творческого и организационного развития дизайна;
- организация выставок, конференций и семинаров.

Коллективными членами ОМОА «Союз дизайнеров» стали предприятия: ПО «Горизонт», г. Минск; ПО «Витязь», г. Витебск; ГСКБ «Гомсельмаш» и НПО «Ротон», г. Гомель; ВПУ-ДПИ, г. Бобруйск.

Отделение успешно функционировало и развивалось, однако в результате изменения законодательства в конце XX века Отделение МОА «Союз дизайнеров» лишилось коллективных членов, спонсоров, льгот на НДС и льгот на оплату юридического адреса. На конец 2016 г. ОМОА «Союз дизайнеров» объединило в своих рядах около 50-ти человек - это промышленные дизайнеры и дизайн-графики, все деканы факультетов дизайна и заведующие кафедрами дизайна вузов Беларуси.

Накануне наступившего тысячелетия коллектив дизайнеров ОАО «Пеленг» (Цеханович А. В., Кузюкова Т. П. и Ленсу Я. Ю.) разработал дизайн микроскопа сравнения, который в 2004 году номинировался на Государственную премию Республики Беларусь в области литературы, искусства и архитектуры, номинация дизайн.

Служба дизайна, успешно выполнявшая свою профессиональную миссию на протяжении четверти века, в одночасье закончила свою деятельность при реорганизации БелОМО в первые годы второго тысячелетия.

К сожалению такие же тенденции постигли отделы дизайна многих других предприятий оптико-механической промышленности стран, возникших из бывшего Советского Союза. Одной из главных причин является резкое падение номенклатуры и объема выпускаемой ими продукции.

Сегодня, в 2017 году, по-прежнему остро стоит вопрос о значении и месте дизайнера в цикле разработки, производства и реализации оптико-электронной продукции. Все как то не вяжется. Частные студии никак не укрепятся. Производители топчутся на месте: годами выпуская морально устаревшие изделия (в связи с чем падает цена, сокращается их сбыт), при проектировании новых изделий чаще проигрывает дизайн и эргономика в угоду конструктива; внедрение новых материалов, покрытий, новых отделочных технологий идет со скрипом. А ведь каждая новинка на рынке должна быть новинкой в полном смысле этого слова, тогда покупатель непременно высоко оценит предлагаемый товар.

Современный промышленный дизайн в числе первых вошел в эпоху четвертой технологической революции. Понимание и владение этим состоянием должно прийти как можно быстрее ко всем участникам процесса создания и реализации новых изделий, товаров.

Пользуясь случаем мы поздравляем славный коллектив БелОМО с юбилеем и желаем ему успехов в создании оптико-электронной техники с высоким качеством и превосходным дизайном!

Список литературы:

1. Цеханович А.В. Становление дизайна на Белорусском оптикомеханическом объединении. Сборник статей. «IV Научный форум дизайнеров».
2. Рунге В.Ф., Цеханович А.В. Фотоаппарат будущего: поиски концепции. Журнал «Техническая эстетика» №12, 1987 г.

ЭВОЛЮЦИЯ ТАНКОВЫХ ПРИЦЕЛОВ –
ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИЦЕЛОВ К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ
(Аналитический обзор)

АБРАМОВ А.И.



*Главный конструктор различных
обзорно-прицельных систем,
лауреат Государственной премии
Российской Федерации
доктор технических наук
Абрамов Алексей Иванович*

ВВЕДЕНИЕ

В отечественной литературе популярных изданий, а также в специальных технических изданиях достаточно подробно отражена история отечественного танкостроения, начиная с выпущенного Сормовским заводом 31 августа 1920 г. первого отечественного танка типа М «борец за свободу тов. Ленин», прообразом которого был Французский танк Рено. В литературе, как правило, приводится описание и характеристики всех систем танка (защита, ходовая часть, двигатель, подвеска, вооружение и т.д.) и относительно мало уделяется места описанию приборов наблюдения и прицеливания, при том, что они решающим образом определяют эффективность боевого использования танков.

В настоящем аналитическом обзоре рассмотрена логика развития отечественного танкового приборостроения, приведены основные особенности этапных образцов приборов

и прицелов, разработанных и принятых на вооружение разных моделей отечественных танков в предвоенные, военные и послевоенные годы до конца второго тысячелетия.

В обзоре использованы материалы предприятий отрасли, но в наибольшей степени этот материал аккумулировался на Красногорском механическом заводе (КМЗ), который все годы был основным разработчиком и производителем танковых прицелов и приборов, что послужило основанием для назначения в 1974 г. ЦКБ КМЗ головной конструкторской организацией в отрасли по системам управления огнем (СУО) танков.

Отечественное танковое приборостроение, развиваясь вместе с танкостроением, накопило большой научный, технический, технологический, метрологический и производственный задел, что в большой степени определяло паритет отечественных и зарубежных танков в соответствующие периоды их производства.

К сожалению, в последние десятилетия произошли существенные изменения в организации разработки СУО и танков в целом. Сокращение количества танковых КБ и заводов, само по себе, фактор положительный, но наиболее квалифицированные танковые КБ (ХКБМ, СПЕЦМАШ) для отечественной промышленности были утрачены, что привело к негативным последствиям в Российском танкостроении и, соответственно, в прицелостроении.

Положение усугубилось тем, что Головной танковый институт (ВНИИТРАНСМАШ), практически, перестал заниматься танками; научные организации Минобороны (НИИ-3 ГРАУ, 38-й институт ГАБТУ), а также управления промышленности и Минобороны, Военно-промышленная комиссия отошли от

выполняемых ими ранее функций; за счет ротации кадров произошло падение квалификации специалистов в учреждениях промышленности и Минобороны; в результате вместо продуманной, обоснованной и согласованной программы развития танков и их составных частей имеют место стихийные декларативные планы по созданию новых моделей танков и по модернизации всего танкового парка России (например, на базе одной из моделей танка Т-72).

Недооценка влияния системы управления огнем на основные характеристики танка и, в том числе, на его компоновку в целом, имеет место и в настоящее время.

Сейчас много пишут о Российском танке нового поколения «Армата». Одним из основных отличий его от танков предыдущих поколений и, вообще, мировых аналогов называется высокий уровень защиты экипажа за счет размещения его не в башне, а в корпусе танка в специальной капсуле. Но никто не пишет каких трудов в начале 90-х годов стоило убедить Главных конструкторов танков, Головные институты Миноборонпрома и Минобороны принять новые технические решения по прицельным системам, позволившие перейти на новую компоновку танка. Они упорно отстаивали в качестве основного канала наблюдения оптический канал, что служило самым большим препятствием для перехода к танку нового поколения. Именно переход к каналам технического зрения, как основным позволил не только обеспечить защиту экипажа, но автоматизировать все процессы поиска, идентификации целей, производства выстрела. Совокупность этих особенностей и определяет новизну поколения танка.

К компоновке танка «Армата» тоже много вопросов, требующих обсуждения, в том числе по живучести танка в бою и его ремонтнопригодности.

В этой обстановке создание настоящего обзора представляется целесообразным и полезным для широкого круга специалистов и чиновников т.к. демонстрируется взаимосвя-

зисимость выходных характеристик танка и входящих в него составных частей, в том числе СУО, и напоминает, что каждый шаг в их развитии должен быть результатом дискуссии всех участников разработки.

В обзоре по имеющимся разрозненным источникам, архивным документам и воспоминаниям специалистов систематизированы в первом приближении в хронологическом порядке материалы по созданию конкретных конструкций этапных танковых прицелов и систем.

При этом, в наибольшей степени использованы воспоминания и записи автора, а также Белотелова Валентина Ивановича – одного из руководителей 936 представительства заказчика ГРАУ, Льва Анатольевича Шеко – одного из наиболее активных и продуктивных разработчиков и руководителей коллективов разработчиков обзорно-прицельных систем объектов наземной и воздушной техники и одного из ведущих специалистов серийного КБ Валеева Сергея Абдуллоевича.

НЕМНОГО ПРЕДИСТОРИИ

Первые танковые прицелы в начале 30-х годов прошлого века были разработаны в конструкторском бюро Ленинградского оптико-механического завода; их производство и дальнейшая разработка были переданы в г. Красногорск на завод № 19 (далее завод № 69, далее Красногорский механический завод).

К сожалению, не удалось установить имена создателей первых танковых прицелов, в связи с чем прицелы, разработанные в довоенное время остались безимянными.

В военные годы, после эвакуации завода № 69 в г. Новосибирск, на его освобожденных площадях были созданы мастерские по ремонту военной техники, в состав которых вошла группа конструкторов под руководством Н. Г. Пицгермана.

Первыми конструкторами были: В.М. Лялин, Д.П. Козлов, И.В. Титов и др.

Лялин В.М. вспоминает (« Оружие победы», Москва, « Машиностроение», 1985 г.):

«...уже в 1942 г. директор завода поставил перед конструкторами задачу: заменить в танковом телескопе призму на зеркало, т.к. не было стекла для изготовления призм... такие приборы были изготовлены и отправлены на испытания, но видимо, себя не оправдали. Работы были прекращены.»

В январе 1942 г. вышел приказ наркома вооружения Д.Ф. Устинова об организации на месте эвакуированного завода № 69 завода № 393 (в настоящее время Красногорский механический завод) по выпуску прицелов и приборов для танков и артиллерии. Директором завода был назначен В.А. Колычев, начальником отдела главного конструктора – Н.А. Кулибанов.

Работа завода в эти годы проходила в крайне тяжелых условиях. Фронт был рядом с Красногорском, не хватало квалифицированных специалистов, были большие трудности с металлом, стеклом и др. материалами, оборудованием, энергетикой и продовольствием.

В 1942 г. на заводе было освоено в производстве 9 наименований приборов для Красной Армии, среди них для танков: панорамный танковый прицел ПТ-1, водительский танковый прибор МК.

В ноябре 1944 г. на заводе было создано специальное конструкторское бюро СПКБ-2 (позже СКБ-2) по разработке прицелов для танков и артиллерии, начальником которого был назначен Сергей Михайлович Николаев, генерал- майор – инженер, кандидат технических наук.

Этим же приказом было поручено вернуть с завода № 69 (из Новосибирска) в Красногорск конструкторов—специалистов по разработке оптико- механических приборов в количестве 18 человек:

Агнцев В.А., Барановская Е.А., Бузыкина В.В., Гимейн Д.П., Головатый Н.Х., Жижина Н.И., Захаров П.А., Кречетов Д.В., Кулешова (Бодякина) П.В., Морева В.М., Нефедов С.Н., Орлов А.П., Петров П.Ф., Спивак И.О., Хоружева (Яковлева) Н.И., Хрусталев А.Н., Шуваев В.В., Шуваева А.Н.

Среди них были высококвалифицированные специалисты: Агнцев В.А.(разработчик танкового шарнирного прицела ТШ), Головатый Н.Х. Гимейн Д.П. и др.

Многие из них за разработку и освоение в производстве танковых и артиллерийских прицелов были награждены орденами и медалями СССР: Агнцев В.А., Гимейн Д.П., Головатый Н.Х., Кречетов Д.В., Орлов А.П., Шуваев В.В., Шуваева А.Н. и др. За разработку и освоение в производстве танкового шарнирного прицела ТШ Николаеву С.М., Агнцеву В.А., и, также, Скаржинскому Д.Ф., И.Л. Сакину была присуждена Сталинская премия.

В разработку и производство танковых прицелов на Красногорском механическом заводе в предвоенные, военные и первые послевоенные годы большой вклад был внесен первым Главным конструктором Николаевым Сергеем Михайловичем, Главными инженерами завода Мароном Ильей Ефимовичем, Скаржинским Дмитрием Францевичем, Менцем Александром Александровичем, начальником научно-исследовательского отдела Турыгиным Иваном Афанасьевичем, заместителем Главного конструктора Финкельштейном Ефимом Израилевичем, начальником ЦКБ Шевалдиным Павлом Васильевичем и др.

Особое место среди названных руководителей занимает Марон Илья Ефимович. Будучи главным инженером завода с целью изучения условий эксплуатации выпускаемых заводом танковых прицелов и приборов, он добивается разрешения участвовать в Финской военной кампании в качестве наводчика танка, где погибает в бою.

Сохранились воспоминания командира танкового батальона Героя Советского Союза капитана С. Николенко об этом печальном периоде жизни Марона И.Е. Это настолько добрые и душевные воспоминания, раскрывающие внутренний мир Ильи Ефимовича, что познакомиться с ними будет полезно продолжателям дела его, т.е. коллективу завода и отрасли.

Из воспоминаний командира танкового батальона Героя Советского Союза С. Николенко. Журнал «Красноармеец», 1941 г. май, № 9.

Марон Илья Ефимович

Год рождения: 1909

Адрес родственников: РСФСР, г. Москва

Звание: военинженер 2 ранга

Воинское соединение: 20 танковая бригада

Дата гибели: 11.03.1940

Место захоронения: Сгорел в танке на ст. Тали

Причина гибели: Погиб в бою

ДРУЖБА

Инженер Илья Ефимович Марон пришел в наш батальон как боец. Он был конструктором оптических прицелов для танков. Желая проверить их в действии и на ходу внести необходимые поправки, он приехал на фронт. Марон сумел внушить доверие и любовь к себе с первых же дней прихода в часть. Становилось веселее, когда морозными вечерами у костра или в тесной, но уже обжитой землянке появлялся высокий, всегда приветливый человек с бородкой, покрытой инеем. Даже оледеневший хлеб казался вкуснее за разговором с ним. Рассказы его всегда были увлекательны и остроумны. Он любил и умел шутить. Им дорожили, как большим специалистом, прекрасным конструктором. Но он не раз появлялся на самых опасных участках боя, несмотря на уговоры остаться при штабе. Как-то под несмолкающим обстрелом тяжелой артиллерии противника он выпрыгнул из танка и подобрал несколько раненых пехотинцев.

Бойцы называли его «инженером с бородкой» и «снайпером» за меткий артиллерийский огонь, который он вел из танка. Со второго, а иногда и с первого выстрела заставлял он замолкать противотанковые пушки.

Помню, в первый день марта при наступлении на высоту Пулийоки мой танк шел в голове колонны; за орудием сидел Марон. Противник, казалось, затаился, но внезапно по башне ударил снаряд. Марон заметил вспышку выстрела справа.

– Очередная хитрость противника, – проговорил он. – Задний ход!

Ему важно было не испортить следа в снегу.

Отъехав назад метров пятьдесят, водитель развернул машину и увел ее в безопасное место. Батальон не двинулся дальше. Искусно замаскированная пушка одна могла задержать движение целой колонны танков. Нужно было уничтожить ее, лишь тогда подступы к высоте были бы безопасны.

Инженер вышел из танка и внимательно осмотрел пробитую башню.

– Пушка была не более чем с двухсот метров, – определил он. – Водитель, вперед!

Марон выпрыгнул на танк. Двинулись по старому следу.

Инженер жадно прикинул к оптическому прибору. Машина остановилась в том месте, где по ней ударил снаряд, и Марон нажал на спусковую педаль. Танк вздрогнул от выстрела.

Инженер редко давал промахи. Дорога к высоте Пулийоки была свободна.

Ездившие с ним в одном танке рассказывали, что он всегда исполнял то, что входило в обязанности члена экипажа: очищал машину от снега, рыл ямы для установки отопительных приспособлений. Иногда становился «поваром» и особенно вкусно приготавливал из концентратов. Приглашенные к его «столу» считались у нас удачниками.

Одному из бойцов, потерявшему перчатки, Марон отдал свои.

Бои смутился, не хотел брать.

– Берите, – весело сказал инженер, – у меня есть еще одна запасная.

Когда у меня кончались папиросы, а достать их было негде, Марон всегда делился своим последним запасом.

Мы просто не заметили; кал этот человек стал нам дорог.

Это произошло за два дня до перемирия...

Выдалось хмурое мартовское утро. Туманная дымка окутывала густой сосновый лес. Южная часть неба была выхвачена из мрака красноватым заревом — горел Выборг.

Выйдя из танка, я освежил лицо обжигающим кожу сыпучим снегом.

Завтрак был по-походному короток.

В шесть тридцать командиры рот доложили о готовности материальной части и людей к бою.

Вернувшийся из разведки младший лейтенант Сандровский сообщил, что за ночь саперная рота навела переправу через реку.

– Не подвели саперы, – оказал инженер.

Задачей батальона было: пройдя восточнее своего боевого курса, соединиться с пехотой для совместного удара по противнику. Предстояли две переправы через разветвленную реку. Подступы к ней были затоплены водой.

Я отдал приказ о выступлении.

Один за другим из мрака леса выползали на поляну мощные танки. Чуть приподнятые стволы орудий молчаливо смотрели вперед. В одном из головных танков, как обычно, место артиллериста занимал инженер.

Колонна двигалась на малом газу. Мосты были узки, и нужно было обладать большим искусством, чтобы не свалить танк в глубоководную реку. Часто приходилось выходить из машины и ручной сигнализацией регулировать переправу.

Густой туман клубился над рекой. Он помог нам провести переправу скрытно от финнов.

Важно было перейти и второй мост, не подвергнув себя обстрелу противником. Мост прогибался, едва не касаясь воды. Водители следили за каждым моим движением. Последний танк плавно и неспешно переполз мост. Переправа была закончена.

Батальон двинулся по открытой местности. Из-за туч скупно пробивались лучи солнца. Я приказал усилить наблюдение. Тишина на войне обманчива.

Слева от дороги стоял ярко выкрашенный сарай. У сарая в снегу расположились наши разведчики.

Я решил подтянуть колонну и разведать местность и приказал головной машине остановиться.

Дорога шла по направлению к лесу. Разведчики сообщили, что вчера противник обстреливал из леса наши танки. Кто гарантировал нас от того, что в случае дальнейшего

продвижения мы не подвергнемся обстрелу ПТО?

Возвращаясь к машинам, мимоходом заглянул в сарай. В нем лежали сложенные в ровные штабеля трупы финских солдат. Противник, отступая, не успел их сжечь.

Для разведки местности был выслан танк с усиленной броней. Он не прошел и ста метров, как раздался выстрел: противник, нервничая, преждевременно открыл огонь.

Высунув голову из башни, Марон прищуренными глазами наблюдал за опушкой леса. Вспышка ПТО не ускользнула от него. Он вопросительно посмотрел на меня.

– Засекли? – спросил я.

– Разрешите действовать? – ответил снайпер.

– Пали!

Финны снова открыли огонь.

Почти одновременно раздался оглушительный выстрел. Это ответила пушка Марона. ПТО замолчало.

– Дайте еще пару выстрелов, чтоб оно не ожило!

Пушка немедленно дважды изрыгнула языки пламени. Гулко разнеслось эхо. Метрах в семистах от нас, на опушке леса, медленно повалилась сосна.

Танки двинулись вперед, и к девяти утра мы достигли района, занятого нашей пехотой.

Пехотинцы обрадовались появлению танков. Многие из них узнавали меня: вчера в пешем строю, с винтовкой в руках, я шел с ними в атаку. Тогда была занята высота, на которой сейчас и располагался пехотный полк.

Вызвав командира взвода Урисмана, приказал ему выдвинуться тремя танками на опушку леса перед селением Лейтилю и вести наблюдение.

– При обнаружении противника огонь вести с места, в атаку не идти!

Я направился на командный пункт доложить о прибытии танков командиру полка майору Рослому.

– А, танкист, — проговорил он. – Мы уж заскучали в ожидании вас. Наступление в де-

вать тридцать. Идите к батальону, не теряйте времени.

Спешу обратно. Подходя к батальону, встретил взволнованного лейтенанта Урисмана.

— Товарищ старший лейтенант, — доложил он, — машина младшего лейтенанта Гилевича, находящаяся в передовом охранении, двинулась вперед, преследуя финнов, удирающих на повозках.

В числе экипажа Гилевича был инженер Марон.

— Двигаясь по дороге, — докладывал Урисман, — танк Гилевича наехал на фугас, повреждена ходовая часть.

Я отдал приказ:

— В атаку!

Сел в машину с одной мыслью: только бы успеть.

Постепенно набирая скорость, танки устремились к опушке. За танками двинулась пехота.

Нервно застучал финский пулемет. Визгливо пролетали снаряды и с грохотом разрывались. На танки комьями сыпалась земля, перемешанная со снегом и камнями.

Впереди мы заметили двух человек в кожаных шлемах и комбинезонах. Они бежали нам навстречу. Это были танкисты.

Трудно было узнать в человеке с почерневшим лицом, опаленными бровями и ресницам

Степанова, водителя танка, которым командовал Младший лейтенант Гилевич.

— Что с инженером? — было моим первым вопросом.

Хотелось, чтобы Степанов молчал. Показывая на свое лицо, он ответил:

— Где командир машины и инженер, не знаю.

Мы увидели танк, объятый пламенем. Не могло быть никаких сомнений: инженера не стало.

У меня словно что-то оборвалось внутри. Учащенно билось сердце. Я испытывал такое чувство, словно потерял родного брата.

Не отдавая себе отчета в своих действиях, я устремился вперед по глубокому взрыхленному танками снегу. Проваливаясь по пояс в

ложбины и с трудом выбираясь из них, бежал к танку, едва переводя дыхание. Пули, казалось, избегали меня. Коротко взвизгнув, они зарывались в нескольких шагах.

В голове была одна мысль: спасти его. Но было уже поздно. На перекрестке дорог стоял дымящийся танк. В нем начали взрываться снаряды.

Тяжело дыша, я долго смотрел на машину, объятую пламенем. Танк пылал, как домна...

Мы отдали последний салют погибшему другу. И открыли уничтожающий ураганный огонь по отступающему противнику, засевшему в местечке Канкола. Радист едва успевал подавать снаряды.

— Смирнов! — приказал я ему. — Передайте по радию общее наступление.

Приняв сигнал, танки обошли минированный перекресток и бросились вслед отступающему врагу.

— Вперед! — кричал я, выпрыгнув из машины. — Вперед, товарищи, громите беспощадно врагов!

Впоследствии мы узнали подробности гибели Марона.

Еще не достигнув опушки леса, машина командира взвода Урисмана выбросила флажок: противник. По дороге пронеслись четыре финские повозки, везущие ПТО.

Дать противнику возможность ускользнуть — значило подставить под удар весь батальон. Лошади, подхлестываемые седоками, уносили вражеские повозки с пушками.

Гилевич приказал водителю догнать противника. На полном ходу первым же снарядом инженер превратил одну из повозок в щепы.

Три остальные внезапно остановились. Прислуга поспешно сняла с них ПТО и открыла огонь по приближающемуся к ним танку Гилевича.

Танк попал в заминированный участок перекрестка дороги. Послышался короткий взрыв. Танк рванулся назад и замер. Мотор заглох.

Из-за складок гор загрохотала тяжелая артиллерия. Раненый инженер продолжал отстреливаться. Одна из пушек вместе

с прислугой была уничтожена. На это потребовалось лишь два снаряда.

Еще два выстрела, и на воздух взлетела еще одна пушка вместе с прислугой.

Теряя силы, инженер вращал башню, посылая снаряд за снарядом.

Машина уже пылала. Из траншеи неподалеку подползли белофинны и забросали танк бутылками с бензином. Шестидюймовый снаряд угодил в танк. Пробив броню, он разорвался внутри башни... Наш батальон вместе с полком майора Рослого прошел опасные участки до местечка Канкола и занял его. В тот день бойцы батальона клялись драться так, как дрался инженер Марон.

Первыми непосредственными разработчиками танковых прицелов в послевоенный период являлись: Агнцев Валентин Александрович, Гимейн Давид Павлович, Берлин Игорь Борисович, Головатый Николай Харитонович, Печенов Сергей Сергеевич, Рыжов Сергей Васильевич, Розенберг Израиль Иосифович, Шуваев Владимир Васильевич, Циганер Хава Зейликовна, Шуваева Александра Николаевна, Федотов Александр Николаевич, Шеко Лев Анатольевич, Коконцев Анатолий Иванович, Абдурахманов Камилл Абдуллоевич, Погонин Виктор Ильич, Кречетов Дмитрий Васильевич и многие другие.

Успешному решению вопросов разработки и производства на Красногорском механическом заводе танковых прицелов содействовали специалисты центральных управлений Министерства Обороны: Малков М.А., Мошковский А.А., Конев С.А., Маргулис Г.М. Уткин В.И.; а также аппарата военного представительства Главного Артиллерийского управления: Розенбецкий О.В., Питик Д.В., Москалев В.В., Белотелов В.И. и др.

В 1945-1947 гг. группа специалистов КМЗ (Николаев С.М., Турыгин И.А., Агнцев В.А., Горшков А.Р., Шуваев В.В., Шуваева А.Н. и др.) были командированы в Германию на фирму «Карл Цейс» в Иену; в результате командировки на завод были доставлены техническая (в том числе патентная) документация и некоторое высокоточное оборудование.

Коллектив СКБ-2 в тот период составлял 70 человек.

С 1945 г. по 1946 г. коллективом СКБ-2 руководил Д.П. Гимейн, а затем П.А. Захаров. С 1947 г. продолжил руководить С.М. Николаев.

В 1948 г. при заводе 393 было образовано ЦКБ, в состав которого вошло и СКБ-2. Руководил СКБ-2 до 1956 г. Николаев С.М., далее до 1959 г. - Гимейн Д.П., далее до 1961 г. - Рыжов С.В.

В 50-е гг. в состав СКБ-2 входила группа разработчиков укладочной и укупорочной тары, в том числе: Чесноков А.Н. (долгое время руководил группой), Девяткин А.М., Баулина Н.С., Никитина Л.Я. и др. В последующие гг. с 1963 г. Девяткин А.М. руководил разработкой тары для всех изделий ЦКБ.

Расчеты механизмов, пружин, размерных цепей велись под руководством Локшиной М.М. (Мишина Л.Н., Новикова В.К., Жаринова М.В.).

Нормоконтроль документации производился, также, сотрудниками СКБ-2 Борисовым П.Ф., Казаковой С.П., Гореловой К.В., Зибровой Н.Я.

Рисунки к описаниям изделий выполняла группа Хмелевского Г.И. (Галкин И.Ф., Усачев В.Г.).

КЮ-приборы (НСИ) разрабатывал сотрудник СКБ-2 Колокольцев С.Ф., полностью обеспечивая потребность в них. Л.А. Шеко вспоминает: «С.Ф. Колокольцев многие годы преподавал в техникуме курс «детали машин», пользуясь заслуженным авторитетом у учащихся. Как конструктор, он отличался умением детализировать КЮ-приборы средней сложности без предварительного проектирования их. Работал быстро и качественно».

В СКБ-2 была группа копирования чертежей: Морева В.М., Трифонова Т.И., Лагункина М.Т., Терехина П.В., Иванова З.Ф., Хвостова В.Я., Кулешова П.В., Панова А.К., Панова П.В., Хромова Л.П.

Постоянным дежурным по бюро был Сухарев П.И.

Вспоминает Л.А. Шеко: «Несмотря на свой преклонный возраст (ему было за 70), Петр Иванович регулярно обходил помещения и

ежедневно делал производственную гимнастику, в те годы еще не практиковавшуюся. Он часто рассказывал о своей жизни, богатой разными событиями, в том числе о своей работе секретарем у В.И. Ленина».

Со специалистами СКБ-2 тесно работали оптики-расчетчики оптического отдела: Шуваева А.Н., Потемкина Л.Я., Бурзыкина В.В., Белова А.Н., Виноградова С.

Отработка документации велась в макетных мастерских, опытном и серийных цехах. На всех этапах отработки документации активное участие принимали опытные производственники, сборщики, юстировщики:

Капырин С.Н., Сокрутин И.Г., Кукушкин И.А., Николаев А.Д., Кузнецов А.А., Бурдаков И.А., Тоболев С.Г., Кацнельсон Н.В., Пышный Д.А., Графов В.К., Милютин К.М., Друзины Л.Д. и А.Д., Курбаков П.Е., Дъяков Н.И., Лебединский А.А., Кудрявцев Б.А., Гаврилов В.А., Грачев В.И., Головин А.И., Прибылов С.Е., Галочкин В.Г., Галочкина В., Спиридонов Д.М. и др.

В период 1945-1950-е гг. разработана документация, изготовлены, испытаны опытные образцы и освоены в производстве (из всей номенклатуры разработанных и освоенных коллективом изделий (здесь и далее упоминаются только танковые приборы и прицелы):

- танковый корректировочный перископ (ТПК, ТПК-1),
- танковый смотровой прибор водителя (ТПВ, ТПВ-1),
- танковый шарнирный прицел (ТШ-45, ТШ-46, ТШ-2),
- танковый командирский прибор со стереодальномером (ТДК),
- танковый командирский прибор (ТКП, ТКП-2),
- номограммы инструментального хода,
- трубка выверки пушки ТВ,
- трубка выверки Гимейна ТВГ,
- танковый водительский прибор ТКВ.

В Красногорске в те годы начала создаваться школа разработчиков танковых прицелов и приборов для других родов войск, что в дальнейшем создало предпосылки для существенного расширения тематики разрабаты-

ваемых изделий, в том числе, в части систем полуавтоматического наведения ПТУРС для противотанковых ракетных комплексов (ПТРК), систем наведения оптического излучения и обзорно-прицельных комплексов вертолетов и самолетов.

ПЕРВЫЕ ШАГИ. ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ И ПЕРИСКОПИЧЕСКИЕ ПРИЦЕЛЫ

Началом летоисчисления отечественного танкостроения считается 31 августа 1920 г., когда был выпущен Сормовским заводом первый отечественный танк, прообразом которого был французский танк Рено.

В первые два десятилетия отечественными предприятиями было разработано более 50-ти моделей танков; из них более 10 находились в серийном производстве. Среди этих моделей можно отметить: средние танки Т-24 (1931 г.), ТГ (1931 г.), Т-28 (1933 г.); легкие танки Т-26 (1933 г.), тяжелые танки Т-35 (1933 г.), колесно-гусеничный танк БТ-7М (1933 г.) и лучшие танки предвоенного и военного периода: средний танк Т-34 и тяжелый танк КВ.

Первые отечественные танки имели на вооружении лишь пулеметы и малокалиберные пушки, наведение их осуществлялось по вертикали плечевыми упорами, а по горизонтали (поворот башни) при помощи спинного упора, к которому подвешивался ремень - сидение командира танка. Прицеливание велось с помощью механических прицелов целик-мушка.

В декабре 1929 г. правительством принимается программа развития бронетанковых войск с целью достижения высоких характеристик защиты, вооружения и маневренности танков. Этой программой предусматривалось и развитие приборов управления стрельбой. Страна не имела специалистов оптико-электронного приборостроения, в связи с чем в 1929 г. были предприняты шаги по размещению заказов на разработку танковых прицелов в Германии, которые не привели к положительному результату.

Тогда в Казани было создано КБ из немецких специалистов, которые к 1933 г. разра-

ботали и изготовили 70 комплектов перископических прицелов наводчика и перископических панорам командира. При проведении войсковых испытаний были выявлены значительные ошибки и мертвые хода в передаче углов от пушки к визирной оси; приборы были возвращены для доработки; на этом все и закончилось. Необходимо отметить, что приборы конструктивно были сложными и трудоемкими и производить их в большом количестве было невозможно.

Началом летоисчисления отечественного танкового приборостроения следует считать 1933год, когда был разработан в конструкторском бюро ЛОМЗ, созданном на базе мастерских завода «Большевик», и поставлен на производство в г. Красногорске первый танковый телескопический прицел ТОП (рис. 1).

Прицел ТОП предназначен для прямой наводки танковой пушки и пулемета и наблюдения за местностью и целью. Для учета сноса снаряда от движения собственного танка, а также введения поправок на движение цели, в поле зрения имеется шкала боковых поправок, нанесенная на конденсоре; здесь же нанесена шкала дальностей для стрельбы из пулемета. Таким образом, установку значений боковых поправок и дальности при стрельбе из пулемета, наводчик производит не отрываясь от наблюдения за целью.

Для установки углов прицеливания при стрельбе из пушки имеются наружные шкалы, которые видны в окне корпуса прицела с левой стороны окуляра и их можно наблюдать левым глазом, не отрывая правый глаз от окуляра.

Конструктивно прицел представляет собой телескопическую трубу, устанавливаемую на пушке таким образом, что ее визирная ось при нулевых установках шкал параллельна оси канала ствола.

Оптические характеристики прицела: увеличение - 2,5^x, поле зрения- 15 гр.

При ручном наведении башни и пушки, что имело место во всех довоенных танках, наблюдение за целью и, тем более, стрельба при движении танка были, практически, невозможны. Стрельба производилась, как пра-

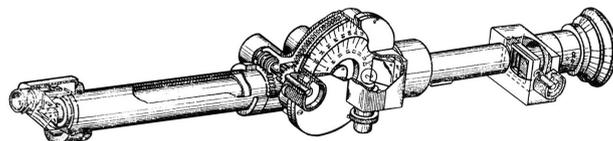


Рисунок 1.
Телескопический прицел ТОП

вило, из неподвижного танка или с коротких остановок; но при этом резко возрастала вероятность поражения танка противником.

Учитывая, что наблюдение за полем боя и поиск цели при движении танка не менее важная задача, чем стрельба сходу (т.к. время на сам процесс стрельбы существенно короче), в 1934-1935 гг. в конструкторском бюро ЛОМЗ на базе прицела ТОП было разработано (освоено в производстве на КМЗ) гироскопическое устройство, с помощью которого через ленточную связь осуществлялась стабилизация нижней призмы прицела и, тем самым, стабилизация поля зрения в вертикальной плоскости.

Прицелу был присвоен индекс ТОС. Недостатком прицела ТОС было «заваливание» гироскопа при колебаниях корпуса танка и, таким образом, потеря поля зрения. Для устранения этого недостатка и приведения гироскопического устройства в рабочее положение в состав прицела был введен пульт с тремя кнопками; одной кнопкой гироскоп выводился из правого завала, другой из левого, третьей по вертикали. При поступлении этих прицелов в войска выяснились большие трудности работы наводчика с ними, вследствие чего они были сняты с производства и вооружения.

Необходимо отметить, что в 1945 г. после окончания войны советские специалисты, работая на фирме Карл Цейс в Германии, обнаружили трофейный образец прицела ТОС, в котором немецкие специалисты ввели усовершенствование в конструкцию гироскопического узла за счет электрической коррекции гироскопа. Этот принцип коррекции был использован в последующих послевоенных разработках.

В эти же (30-е) годы был разработан и поставлен на серийное производство первый

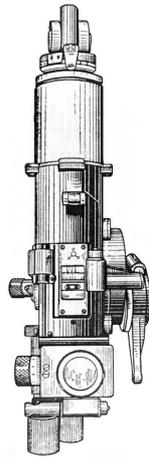


Рисунок 2.
Перископический прицел ПТ-1

отечественный перископический прицел ПТ-1 (рис. 2).

Прицел ПТ-1 предназначен для прямой наводки при стрельбе из танковой пушки и спаренного с ней пулемета, а также для кругового обзора и приема целеуказания от командира. Прицел применялся для различных типов пушек, при этом в прицелы устанавливались соответствующие шкалы.

ПТ-1 - это панорамный перископ, который позволяет наблюдать из-за укрытия и обеспечивает круговой обзор по горизонту вращением только головной части прибора при неподвижном корпусе и окуляре. С качающейся частью пушки кинематически с помощью параллелограмма связана Головная отражательная призма прицела. Основным преимуществом прицела ПТ-1 по сравнению с прицелом ТОП является то, что наводчик может работать с прицелом не изменяя положения своего корпуса (в прицеле ТОП изменялось положение окуляра при движении пушки в вертикальной плоскости и наводчик должен был отслеживать эти перемещения).

Шкала углов прицеливания для бронебойного снаряда и шкала боковых поправок расположены в поле зрения прицела. При пользовании этими шкалами наводчик не отрывается от окуляра и наблюдения за целью. Установка дальности производится по кольцевой шкале с помощью подвижного индекса. Оптические характеристики прицела: увеличение $2,5^x$, поле зрения 26 гр.

Одновременно с разработкой и постановкой на серийное производство прицела ПТ-1 была разработана и поставлена на серийное производство первая отечественная танковая командирская панорама ПТК, предназначенная для наблюдения за полем боя, целеуказания наводчику и корректирования огня. По характеристикам, устройству и внешнему виду панорама ПТК, практически, не отличалась от прицела ПТ-1.

Дистанционная шкала не устанавливалась, исключен механизм углов прицеливания и боковых поправок.

Прицелы ТОП, ПТ-1 и панорама ПТК шли в серийном производстве до 1943 г.

По мере совершенствования танковых пушек и боеприпасов к ним увеличивались начальные скорости снарядов и, таким образом, уменьшались величины углов прицеливания (до 4° вместо 12° ранее), что позволило разместить шкалы углов прицеливания непосредственно в поле зрения прицела и существенно упростить процесс прицеливания при стрельбе.

Первым таким прицелом был разработанный специалистами КМЗ в 1938 г. танковый телескопический прицел ТМФ (рис. 3) и пять его модификаций.

Для обеспечения взаимозаменяемости с прицелом ТОП в оптической схеме были сохранены верхняя и нижняя головные призмы, хотя конструктивно и функционально они не имели никакого значения. На линзе конденсора были нанесены дистанционные шкалы для бронебойного, осколочного снарядов и пулеметная; там же размещена шкала боковых упреждений.

Установка углов прицеливания и боковых поправок производится путем перемещения прицельных нитей (платиновых), образу-

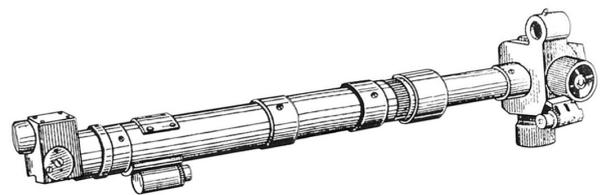


Рисунок 3.
Телескопический прицел ТМФ

ющих перекрестие в фокальной плоскости окуляра.

Угол прицеливания устанавливается по горизонтальной нити на соответствующее деление дистанционной шкалы, а боковые упреждения – по вертикальной нити на соответствующее деление шкалы.

Точка прицеливания – по перекрестию нитей.

Для стрельбы в ночное время шкала на конденсоре и перекрестие нитей подсвечивались.

Оптические характеристики прицела: увеличение $2,5^x$, поле зрения 20 град.

Принципиальным конструктивным недостатком прицела являлось размещение дистанционных шкал и нитей в разных фокальных плоскостях. В зависимости от перепада температур и крепления прицела в кронштейне корпус прицела деформировался, что приводило к смещению визирной линии и, следовательно, к ошибке прицеливания.

Наличие в Армии в 30-е гг. большого количества моделей танков потребовало разработки нескольких вариантов прицелов ТМФ под конкретные боевые отделения. На основе базового прицела ТМФ разработаны и освоены в производстве его модификации: ТМФП, ТМФП-1, ТМФД-7, Т-5, ТОД-6, ТОД-9, 10Т-15. Конструктивно они отличались длиной, геометрией посадочных мест, дистанционными шкалами. Все прицелы стояли на вооружении в предвоенные и первые годы войны.

Стоящие на вооружении танков телескопические и перископические прицелы имели принципиальные конструктивные недостатки, снижающие эффективность боевого применения:

- у *телескопических прицелов*:
- смещение окулярной части в зависимости от угла прицеливания,
- недостаточная кратность увеличения;
- у *перископических прицелов*:

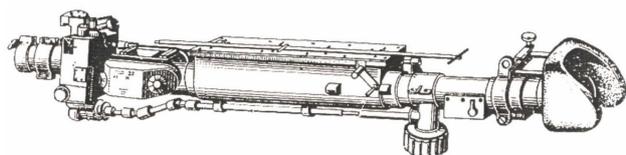


Рисунок 4.
Телескопический шарнирный прицел ТШ

– ошибки и мертвые хода в передаче углов от пушки к линии визирования,

- низкая эксплуатационная надежность,
- недостаточная кратность увеличения.

В 1943 г. был разработан и поставлен на производство телескопический шарнирный прицел ТШ (рис. 4), у которого отсутствовали указанные недостатки.

Головная часть прицела жестко связана с пушкой, что исключило ошибки в передаче углов от пушки к прицелу. Окуляр прицела зафиксирован относительно корпуса башни, углы прицеливания устанавливались по прицельным шкалам в поле зрения прицела; дистанционные шкалы и прицельные шкалы нанесены в одной фокальной плоскости.

Идея использования оптического шарнира была заимствована из немецкого прицела. Но в немецком прицеле конструкция ввода углов прицеливания разработана с использованием кулачковых механизмов. В отечественном прицеле углы прицеливания задавались по шкалам в поле зрения (как в ТМФ). Принципиальным отличием отечественного прицела явилось размещение дистанционной шкалы (сетки) и индекса (платиновой нити) в одной фокальной плоскости.

Прицел ТШ имеет увеличение 4^x , поле зрения 16 град.

Прицел состоит из подвижной вместе с пушкой головной части, закрепленной на башне окулярной части и шарнирного механизма, связывающего головную и окулярную части.

В прицеле имеется механизм очистки и электрообогреватель защитного стекла.

Основным участникам разработки прицела ТШ Агнцеву В.А., Николаеву С.М., Скаржинскому Д.Ф., Сакину Л.А. присуждена Сталинская премия.

ПРИЦЕЛЫ С ПЕРЕМЕННОЙ КРАТНОСТЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ

Дальнейшее повышение огневой мощи танков за счет установки пушки большего калибра и новых боеприпасов и увеличение дальности стрельбы из танка потребовали увеличения точностей прицеливания, прежде всего, за счет повышения кратности увеличения.

Но повышение кратности увеличения неизбежно ведет к уменьшению поля зрения прицела и ухудшению поисковых возможностей танка. Это привело к необходимости создания прицела с переменным увеличением.

В 1946 г. начинается разработка нового телескопического прицела ТШ-2. Прицел имеет две кратности увеличения: $3,5^{\times}$ и 7^{\times} и два поля зрения: 18 гр. и 9 гр. Конструкция прицела, в основном, заимствована из прицела ТШ.

Одной из особенностей прицела является оптическая схема и конструкция защитного стекла. Защитные стекла, выполненные в виде плоско-параллельной пластины и устанавливаемые перпендикулярно оптической оси прицела создают блики при подсветке и работе прибора в темное время суток. Установка защитного стекла под углом к оптической оси существенно усложняет очистку защитного стекла механическим очистителем.

Для исключения бликов и упрощения механической очистки защитного окна в прицеле ТШ-2 защитное стекло выполнено в виде вогнуто-выпуклой пластины.

ПРИЦЕЛЫ С ЗАВИСИМОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

Начиная с танка Т-54, и во всех последующих моделях танков устанавливаются стабилизаторы вооружения СТВ. В прицеле ТШ-2, жестко связанном с пушкой оснащенной стабилизатором вооружения, реализован принцип ЗАВИСИМОЙ от пушки стабилизации поля зрения.

Существенный недостаток прицела ТШ: достигая определенных угловых скоростей в вертикальной плоскости пушка автоматически встает на гидростопор и колеблется вместе с танком, а с ней и поле зрения прицела; то же самое происходит при стопорении пушки при зарядании.

Для сохранения стабилизированного наблюдения в этих условиях в прицел введена дополнительная перископическая приставка из двух зеркал, одно из которых может управляться по вертикали от сигнала с гироблока стабилизатора вооружения.

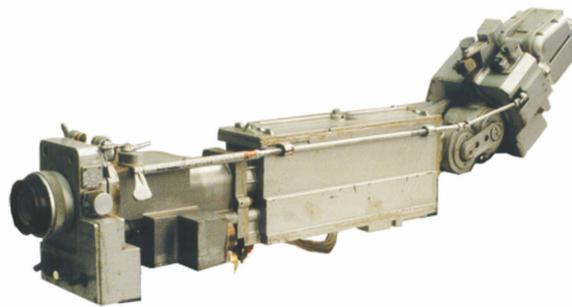


Рисунок 5.
Телескопический шарнирный прицел ТШС

Такой прицел с индексом ТШС (ТШС-14, ТШС 32ПВ) является примером прицела С ПОДСТАБИЛИЗАЦИЕЙ поля зрения (рис. 5). Основное время он работает в режиме зависимой от пушки стабилизации, а в случае стопорения пушки входит в режим подстабилизации по вертикали, что обеспечивает возможность наблюдения за местностью во всех условиях, в том числе в движении.

ПРИЦЕЛЫ С НЕЗАВИСИМОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

Прицелы с зависимой от вооружения стабилизацией поля зрения оказали существенное положительное влияние на эффективность боевого использования танков в части поиска целей, их распознавания и прицеливания.

Однако низкие точности стабилизации вооружения, длительное нахождение пушки на упоре (или «подбое») и в застопоренном состоянии при зарядании служили серьезным препятствием в дальнейшем повышении характеристик танков. Да и наведение прицельной марки на цель через привода вооружения приводило к усложнению процесса наведения и увеличению ошибок прицеливания.

Требовалось изменение структуры комплекса вооружения танков. Назревала задача систему стабилизации поля зрения ввести в прицел и, таким образом, реализовать управление пушкой через прицел.

В начале 50-х годов прошлого века в КМЗ была открыта новая страница в истории танковых прицелов – начались разработки оптико- гироскопических прицелов с НЕЗАВИСИМОЙ от пушки стабилизацией.

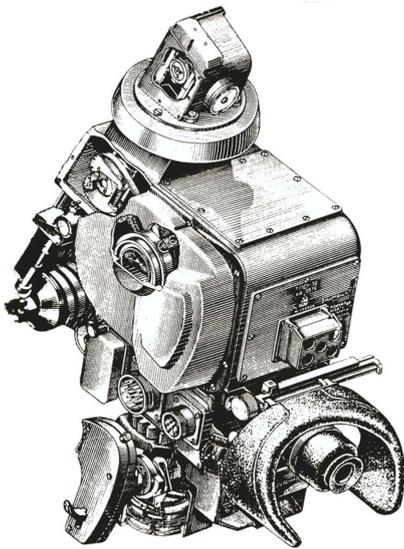


Рисунок 6.
Прицел с независимой по ГН стабилизацией
поля зрения ТПС-1

В 1955 г. завершена разработка и запущен в серийное производство первый прицел с независимой по вертикали стабилизацией поля зрения ТПС-1 (рис. 6) для тяжелого танка Т-10А. Основные разработчики прицела Агнцев А.В., Берлин И.Б., Головатый Н.Х., Циганер Х.З.

В прицеле установлены два гироскопа - один для стабилизации поля зрения, второй для выработки углов упреждения. Прицел может работать как в режиме независимой стабилизации (в этом режиме возможна стрельба только из пушки), так и в режиме зависимой по вертикали стабилизации, при этом прицельная марка кинематически связана с пушкой и возможна стрельба как из пушки, так и из пулемета.

Прицел ТПС-1 имеет две кратности увеличения: 3,1^x, 8^x и два поля зрения: 22 гр и 8,5 гр.

Прицел состоит из следующих составных частей:

- оптико-механическая часть,
- автомат стрельбы,
- параллелограммный механизм,
- пульт управления.

Принципиально новый узел здесь автомат стрельбы состоит из корпуса, трехстепенного гироскопа, стопорного устройства стабилизатора (аретира), двухстепенного гироскопа (упредителя), контактной группы.

Трехстепенной гироскоп служит для стабилизации поля зрения, а двухстепенной - для выработки угловой величины упреждения, пропорциональной абсолютной угловой скорости подхода пушки к положению выстрела. Для производства выстрела в определенном положении пушки в автомате стрельбы имеется контактная группа с контактами разрешения выстрела, подслеживания и подгона пушки.

Разработка стабилизатора прицела ТПС начиналась с использованием немецких гироскопов, но с 1959г. начали применять гироскоп отечественного производства ГА 7/30. Этот гироскоп, по существу, был скопирован с немецкого гироскопа, применяемого в ракете ФАУ-2 и освоен в производстве на заводе «Металлист» в г. Серпухов.

При разработке прицела ТПС-1 впервые был создан четырехзвенный параллелограмм с одним подвижным звеном, позволяющим исключать ошибки в передаче угла от пушки к линии визирования, возникающие от биения цапф пушки, рычага прицела и при перепаде температур. Точность передачи угла возросла в 10-12 раз. Эта конструкция используется во всех танковых рычажных приборах и в настоящее время. Прицел выпускался серийно в 1956-58 гг.

С этого времени начинается новый период танкового прицелостроения: разработка прицелов с независимой от пушки стабилизацией поля зрения.

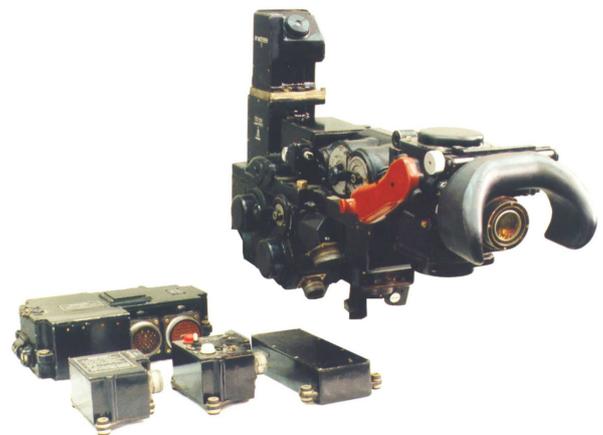


Рисунок 7.
Прицел с независимой стабилизацией
поля зрения Т2С

Для дублирования прицела ТПС-1 на случай выхода из строя последнего, танк комплектовался упрощенным прицелом ТУП для стрельбы прямой наводкой. Прицел ТУП является телескопическим прицелом; он устанавливается на пушке слева и качается вместе с ней.

Увеличение прицела 4 крата, поле зрения 12 гр. Прицел имеет механизмы выверки по высоте и направлению.

В 1957 г. принят на вооружение для тяжелых танков Т-10А прицел Т2С (рис. 7) с независимой стабилизацией в двух плоскостях и на его базе прибор управления стрельбой ПУОТ2С.

Основные разработчики прицела: Берлин И.Б., Агнцев В.А., Циганер Х.З., Головатый Н.Х., Коконцев А.И.

Это был очень важный очередной этап развития прицельных систем танков. ПУОТ2С решает широкий круг задач по управлению огнем танка и предназначен для установки на тяжелые и средние танки. В систему входят: прицел Т2С, параллелограмм, электроблок, компенсатор, блок сопротивлений, косинусный потенциометр, датчик скорости танка. Оптические характеристики визирного канала прицела:

- увеличение – 3.1^{\times} и 8^{\times} ;
- поле зрения – 22 гр и 8 гр 30 мин.

Прицел выпускался серийно до 1969 г.

Независимая стабилизация поля зрения прицела на зарубежных танках появилась только в 70-е годы (танки ХМ-1 и Леопард-2).

В этот период (1950–1960 гг.) была выполнена разработка нескольких вариантов танковых приборов и прицелов, которые не были приняты на вооружение, но позволили создать важный научно-технический задел для дальнейших разработок.

В 1958 г. был разработан для тяжелых танков прицел 9Ш19 с двухосным стабилизатором поля зрения на гироскопах ГМА-4 с одним стабилизированным зеркалом. Прицел в серийное производство не пошел, но на его базе в 1963 г. разработан модернизированный дневно-ночной панорамный танковый прицел 9Ш19 (Сапфир). В прицеле была



Рисунок 8.
Гироскопы с жидкостным демпфированием гиромоторов

применена головка со стабилизацией поля зрения в 2-х плоскостях одним зеркалом и введена 6-ти степенная система амортизации (на резиновых «лордах»). Для компенсации угловых колебаний прицела статоры датчиков углов связи с пушкой были кинематически связаны с башней двойными параллелограммными механизмами.

В 1969 г. опытные образцы прицела прошли АПИ и изготовлены образцы для ГИ. Работа была прекращена, но полученный научно-технический задел используется в последующих разработках. На базе этого прицела разработан в 1965 г. тренажерный вариант 9Ш120. Основные разработчики прицела: Гимейн Д.П., Розенберг И.И., Берлин И.Б., Циганер Х.З.

В 1957 г. по инициативе В.С. Чернова начинаются работы по демпфированию гироскопов. Наибольший вклад в решение этой задачи внес Л.Н. Абрадин. В 1960 г. совместно с конструктором Б.П. Красовским им была разработана и отработана конструкция гироскопа с жидкостным демпфированием гиромотора (поплавковый гироскоп) ГМА-4, которая до настоящего времени находится в серийном производстве на КМЗ, Вологодском заводе и на заводе «Фотоприбор» (г. Черкассы). Гироскопы разработаны и выпускаются в нескольких вариантах исполнения для различных конструктивных особенностей прицелов (рис. 8).

В 1962 г. разработан первый танковый прицел «Рубин» с двухосной стабилизацией поля зрения с использованием поплавковых гироскопов. В этом прицеле впервые была достигнуто средне-квадратическое значение ошибки стабилизации 0,05 тд. при движении по стандартной трассе.

Основные исполнители: Гудзенко Г.М., Берлин И.Б., Погонин В.И. Рыжов С.В., Абрадин Л.Н., Проценко В.В.

В 1964 г. разработан еще один вариант танкового прицела с 2-х осным стабилизатором на поплавковых гироскопах (Коконцев А.И., Абрадин Л.Н., Шишков Н.А.). Прицел прошел полный цикл испытаний, в том числе при обстреле танка.

В 1970 г. разработаны, изготовлены опытные образцы и проведены предварительные испытания танкового прицела-дальномера «Кадр-1». Основные разработчики: Погонин В.И., Абдурахманов К.А., Коконцев А.И., Шляк Ф.Д., Шахлевич В.М. Этот прицел, также как прицел «Кадр», разработанный ЦКБ «Точприбор», не были поставлены на производство из-за высокой трудоемкости производства.

В эти же годы разработан и прошел испытания прицел-дальномер «Кадр-2» с двухплоскостной стабилизацией, содержащий:

- визир с двумя полями зрения;
- лазерный дальномер;
- систему стабилизации и наведения в составе следящего привода по ГН с двумя парами оптических клиньев, связанных с гиродатчиком ГН привода вооружения танка, и по ВН двух следящих приводов, связанных с гиродатчиком ВН привода вооружения танка.

При этом, по ВН один привод включал головное зеркало, связываемое с пушкой параллелограммом, другой – две пары оптических клиньев.

Основные исполнители: Кривицкий Л.Е., Погонин В.И., Коконцев А.И., Федотов А.Н., Шеко Л.А.

По инициативе КБ Кировского завода в 1971-1973 гг. выполнена НИР «Спрут», целью которой было решение задачи размещения всех членов экипажа в корпусе танка для более эффективной защиты их во всех

условиях боевого применения, в том числе в условиях повышенной радиации. При этом, был разработан двухголовый прибор наблюдения-прицел с двухканальным оптическим шарниром, который передавал изображение поля зрения от головных частей прицелов, расположенных в башне, к окулярным частям командира и наводчика, которые располагаются в корпусе танка.

При этом, одна головка обеспечивала одновременный обзор с увеличением 0,8 крат верхней полусферы неба, другая – со сменным увеличением (3 и 5 крат) локальных зон ее.

Головные части приборов содержали, также, лазерный дальномер для наводчика и панорамную головку для командира. Двухканальный оптический шарнир обеспечивал свободу башенной и корпусной частей приборов для геометрических и амортизационных перемещений при вращении башни танка. Кроме передачи изображений, шарнир позволял переключение головных частей приборов, что обеспечивало возможность полного дублирования работы командира и наводчика.

Основные разработчики: Головатый Н.Х., Шеко Л.А. (ведущий конструктор), Мытарев Б.А., Циганер Х.З.

На этапе изготовления экспериментальных образцов работы были остановлены по причине прекращения разработки объекта.

ПРИЦЕЛЫ-ДАЛЬНОМЕРЫ (ТПД)

Дальнейшее совершенствование всех систем и комплексов вооружения танков привело к тому, что основным фактором, сдерживающим повышение точности стрельбы, стала точность учета дальности при вводе углов прицеливания. Оценка дальности по дальномерной шкале с базой на цели имела большую ошибку, появилась необходимость более точного измерения дальности.

В 60-е гг. прошлого столетия прорабатывалась задача установки на танк Т10А локационного дальномера (головной ЦНИИАГ, руководитель темы Висягин Д.А.). При этом, решались вопросы визуализации радиолока-

ционной картинке и введения результатов измерений в танковый прицел Т2С; эти вопросы были успешно решены, но работа радиолокационного дальномера по наземным целям оказалась не эффективной.

Необходимо было решать задачу измерения дальности с помощью оптических средств.

Это привело к появлению нового поколения прицелов для танков – ПРИЦЕЛОВ-ДАЛЬНОМЕРОВ. Учитывая состояние науки и техники того периода возможным было применение только базовых оптических дальномеров. Но для прицелов с оптическими базовыми дальномерами в башне танка должны быть предусмотрены два выходных окна, против которых активно выступали танковые конструктора.

В 50-е гг. в ЦКБ КМЗ были разработаны и изготовлены несколько вариантов танковых дальномеров и прицел-дальномеров:

- командирский стереоскопический дальномер,
- командирский монокулярный дальномер,
- монокулярный дальномер наводчика с поочередным открыванием и закрыванием входных окон дальномера («моргалка»),
- стереоскопический прицел-дальномер наводчика.

Все эти варианты дальномеров имели свои недостатки, что сдерживало их внедрение. К тому же разные «школы» при выборе принципиальных схем дальномеров со стороны Главного Артиллерийского управления (ГАУ), предпочитающего классические нерасстраиваемые стереоскопические схемы, и Главного Бронетанкового управления (ГБТУ), отстаивающего монокулярные схемы, работающие по принципу совмещения раздвоенного изображения, также, сдерживали внедрение дальномеров в танки.

Разработанная в ЦКБ КМЗ комбинированная оптическая схема дальномера с возможным способом измерения дальности как стереоскопическим, так и монокулярным (по совмещению) методом положила конец разногласиям.

В 1957 г. принят на вооружение первый танковый прицел-дальномер ТПД с базовым



Рисунок 9.
Прицел-дальномер ТПД-2-49
с базовым дальномером

дальномером с базой 1,2 м который позже был доработан в прицел-дальномер ТПД-2 с базой 1,5 м (рис. 9).

ТПД-2 сочетает свойства оптико-гироскопического прицела, имеющего стабилизацию поля зрения в вертикальной плоскости и монокулярного стереоскопического дальномера с диапазоном измеряемых дальностей 100-4000 м и обеспечивает:

- наведение пушки на цель,
- автоматическую выработку и установку углов прицеливания соответственно измеренной дальности для трех типов снарядов;
- автоматическое переключение баллистик;
- управление приводами по вертикали и горизонту стабилизированной пушки в режиме автоматического и полуавтоматического наведения;
- автоматическое введение поправки на изменение дальности и угла прицеливания при движении танка;
- ведение стрельбы из пушки и спаренного пулемета.

Измерение дальности методом совмещения состоит в том, что одна из половин изображения совмещается по линии раздела с другой.

Стереоскопический метод измерения сводится к тому, что одна из половин изображения подводится к другой по глубине (пространству).

Все механизмы, обеспечивающие измерение дальности, выработку угла прицеливания по измеренной дальности, стабилизацию

поля зрения, наведение прицельной марки на цель, введения поправок в измеренную дальность за счет собственного хода, размещены в корпусе прицела дальномера. Базовая труба конструктивно выполнена отдельно от прицела и связана с ним кинематически параллелограммом.

Основные разработчики: Головатый Н.Х., Берлин И.Б., Федотов А.Н., Циганер Х.З., Шуваев В.В., Креопалов В.И.

За разработку прицела Креопалову В.И. присуждена Ленинская премия, слесарю механосборочных работ Курбакову Ю.П. присвоено звание Героя Социалистического труда, ряду специалистов вручены Гос. награды.

Вторая половина 50-х гг. для СКБ-2 была характерна спадом заказов. Но в конце 50-х обстановка резко меняется после выхода Приказа министра Малышева В.А. о постановке новых работ (НИР и ОКР) по БТТ.

Принятый на вооружение в 1964 г. оптический базовый дальномер существенно повысил боевую эффективность танка, но точности измерения дальности и время, потребное на измерение уже не соответствовали постоянно растущим требованиям.

Развитие лазерной техники, ее элементной базы к этому времени позволило приступить к созданию лазерного дальномера.

В ходе дальнейшего развития танковых прицелов в части повышения точности стрельбы и сокращения времени на подготовку выстрела, в 1975 г. принят на вооружение трех танков (Т-64, Т-72 и Т-80) первый танковый прицел с лазерным дальномером ТПД-К1 (рис. 10).

Прицел разработан на базе прицела ТПД-2 с сохранением корпусных деталей и посадочных мест в танке с коэффициентом унификации до 78%, что позволило мобильно перестроить производство на выпуск этого прицела и устанавливать его в танках на те же посадочные места.

ТПД-К является оптико-гироскопическим прицелом-дальномером со стабилизацией поля зрения в вертикальной плоскости и встроенным лазерным дальномером.

Он совместно с приводами обеспечивает:

– режим стабилизированного наведения

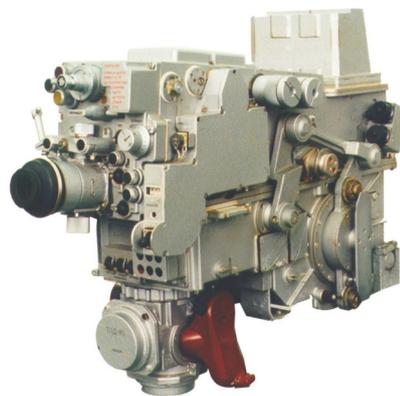


Рисунок 10.

Прицел-дальномер ТПД-К1

пушки в вертикальной и башни в горизонтальной плоскостях;

– режим ручного наведения пушки в вертикальной и полуавтоматического наведения башни в горизонтальной плоскостях;

– режим стабилизированного наблюдения за местностью в вертикальной и полуавтоматического наведения башни в горизонтальной плоскостях;

– режим ручного наведения пушки и башни.

Прицел обеспечивает измерение дальности до цели двумя способами:

– лазерным дальномером с автоматическим и ручным вводом измеренной дальности,

– с помощью дальномерной шкалы визирного канала методом «с базой на цели».

Основные характеристики прицела:

– увеличение 8 крат,

– поле зрения 9 гр.

– диапазон измеряемых дальностей 500–4000 м,

– ошибка измерения (средн. квадр.) 10 метров,

– интервал между измерениями 6 сек.

Прицел ТПД-К обеспечивает измерение дальности с выдачей информации об измеренной дальности в цифровом виде на цифровое табло блока измерения дальности и в виде напряжения, пропорционального дальности, подаваемого в блок ввода дальности.

Основные разработчики прицела: Абдурахманов К.А., Погонин В.И., Циганер Х.З., Шляк Ф.Д. за разработку прицела Циганер Х.З. и Шляк Ф.Д. награждены Гос. наградами.

В 1974-1976 годы для автоматизации ввода углов боковых упреждений и повышения

точности стабилизации поля зрения по ГН на базе прицела ТПД-К для танка Т-80 была выполнена разработка КД и изготовлен экспериментальный образец прицела ТПД-К2 («Торос») с введенным в него приводом с оптическими клиньями по ГН, что позволило:

- обеспечить более высокие вероятности обнаружения целей за счет введения двухпольного визира;
- сократить время подготовки выстрела за счет внедрения единой прицельной марки для измерения дальности и стрельбы (нет необходимости перенаведения прицельной марки на цель после измерения дальности);
- повысить точность стабилизации поля зрения по ГН и автоматизировать ввод боковых упреждений за счет введения следящего привода с оптическими клиньями.

Основные исполнители: Абдурахманов К.А., Циганер Х.З., Шеко Л.А., Леонова Л.А.

Работа была прекращена, т.к. было принято решение о создании для танка Т-80 комбинированного прицела-дальномера-прибора наведения («Обь»).

ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИСТРЕБИТЕЛЯ ТАНКОВ ИТ-1

В 1964 г. в ЦКБ КМЗ были разработаны дневной прицел 1-ОП2 и ночной прицел 1-ПН12 для наведения танковых реактивных снарядов ЗМ7 истребителя танков ИТ-1. Система наведения снаряда «Дракон» на цель полуавтоматическая с оптико-электронным пеленгатором снаряда и передачей команд на борт снаряда по радиолинии.

После схода снаряда с пусковой установки он попадает в поле зрения прицела. Световой сигнал от трассера оптической системой проецируется на фотокатод передающей телевизионной трубки типа дессектор, являющейся элементом станции управления 1С7. Координаты снаряда относительно линии визирования передаются по радиолинии на борт снаряда, как команды для отработки этих координат, что обеспечивает постоянную привязку снаряда к линии визирования цели.

Дальность стрельбы днем: 300 – 3300 м;
Ночью: 400 – 600 м.

При вероятности попадания в цель 0,8.

Существенным недостатком комплекса вооружения является низкая скорость полета снаряда (180 м/сек.)

В комплект системы наведения входят:

- прицел 1-ОП2;
- блок питания;
- горизонтальный параллелограмм;
- вертикальный параллелограмм;
- механизм выверки;
- соединительные кабели.

Прицел 1-ОП2 – дневной, монокулярный, перископический оптико-гироскопический прибор со стабилизацией поля зрения в двух плоскостях. Прицел обеспечивает:

- поиск и распознавание целей;
- определение дальности до цели с помощью оптического базового дальномера;
- прицеливание и наведение ТУРС с места и с хода на неподвижные и движущиеся цели;
- прицеливание и ведение огня из пулемета с места и с хода.

Основные оптические характеристики прицела:

Визирный канал:

- увеличение – 8 крат;
- поле зрения – 9 гр.;

Поле зрения каналов пеленгатора:

- канал захвата – 9,5 град.
- канал сопровождения – 1 град.

Прицел 1ПН12 – ночной, подсветочный, монокулярный, перископический, электронно-оптический со стабилизацией поля зрения в вертикальной плоскости. Прицел устанавливается в башне справа от прицела 1-ОП2.

Прицел обеспечивает:

- наблюдение за местностью и поиск целей;
- измерение дальности до цели базовым дальномером;
- прицеливания и наведения ТУРС ночью по неподвижным и подвижным целям.
- прицеливания и ведения огня из пулемета ночью.

Прицел 1-ПН12 по принципу действия аналогичен танковым ночным подсветочным приборам.

Работами руководил К.А. Абдурахманов, основные разработчики прибора 1ОП2: Шуваев В.В., Мытарев Б.А., Циганер Х.З.,

Фесенко А.Н.; прибора 1ПН12: Гимейн Д.П., Розенберг И.И., Егоров В.М., Иконников В.М.

Прицельный комплекс находился в серийном производстве в 1966—1970 гг.

За создание комплекта приборов для истребителя танков ИТ-1 А.Н. Фельдту присуждена Государственная премия СССР и группа сотрудников награждена Государственными наградами.

ПРИЦЕЛЫ ДАЛЬНОМЕРЫ ПРИБОРЫ НАВЕДЕНИЯ (ПДПН)

В 60-е г.г. прошлого века в рамках ОКР «Гроза» выполнена разработка прицела-прибора наведения (ППН) 9Ш110 (Лотос) для среднего ракетно-пушечного танка по ТТЗ Челябинского тракторного завода. Кроме прицеливания и обеспечения стрельбы из пушки ППН 9Ш110 решал задачу наведения ПТУРС, с телеориентированием в оптическом луче. Работы по танку были прекращены, но научно-технический задел используется в дальнейших разработках.

В 70-х годах ведутся интенсивные работы по оснащению отечественных танков комплексами управляемого вооружения с различными системами наведения ПТУРС. В прицел наводчика встраиваются каналы наведения ПТУРС, появляется класс ПРИЦЕЛОВ –ДАЛЬНОМЕРОВ-ПРИБОРОВ НАВЕДЕНИЯ (ПДПН).

В этот период специалистами ЦКБ КМЗ и

ЦКБ «ПЕЛЕНГ» проводится уникальная работа по созданию на базе ночного прицела наводчика ТПН-3 (Кристалл-ПА), принятого на вооружение 3-х танков Т-64, Т-72, Т-80, единого для трех танков Т-55, Т-62, Т-72 прицела-прибора наведения (ППН) с системой наведения ПТУРС по лучу лазера 1К13 (рис. 11).

Это позволило оперативно установить комплексы управляемого вооружения на танки Т-55 («Бастион»), Т-62 («Шексна»), Т-72 («Свирь»). Такая модернизация позволила танкам Т-55, Т-62, Т-72 достаточно успешно противостоять лучшим на тот период зарубежным танкам за счет высокой вероятности попадания ПТУРС на дальностях более 1000 метров.

НОЧНЫЕ ПРИЦЕЛЫ

В предвоенные и военные годы боевое применение танков в ночное время могло вестись только при применении осветительных средств на поле боя, что существенно ограничивало тактические возможности использования танков.

С развитием элементной базы оптико-электронного приборостроения как в мире, так и в нашей стране в части электронно-оптических преобразователей света (ЭОП). появилась возможность существенно расширить область боевого применения танков за счет использования их в ночных условиях.

В основу создания первых прицелов ночного видения положен принцип подсветки

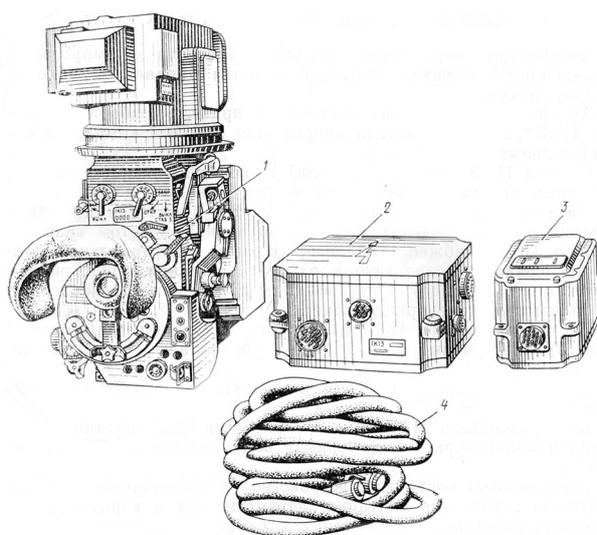


Рисунок 11.
Прицел-прибор наведения 1К13



Рисунок 12.
Ночной прицел наводчика ТПН-1

целей невидимым для человеческого глаза ИК-излучением; отраженное от цели ИК-излучение преобразуется в видимое на экране ЭОП изображение.

В 1954-1956 гг. создается первый танковый ночной прицел ТПН-1 (рис. 12), который более двух десятилетий стоял на производстве и которым оснащались практически все виды БТТ.

ТПН-1 - монокулярный перископический электронно-оптический прицел, обеспечивающий наблюдение целей в ночных условиях при подсвете осветителем типа Л2Г. Основные технические характеристики прицела:

- увеличение 5,5 крат;
- поле зрения 6 град.;
- перископичность 260 мм.;
- дальность видения 600 м.

Основные составные части прицела:

- головка, в которой смонтировано верхнее зеркало и рычаг качания зеркала;
- корпус, в котором находятся объектив, механизм привода верхнего зеркала, нижнее зеркало и ЭОП;
- механизм привода качания верхнего зеркала;
- механизм выверки с пушкой.

Головка прицела съемная и при повреждении может быть в нормированное время заменена на новую из комплекта ЗИП.

Прицельная сетка нанесена на внутренней поверхности фотокатода ЭОП и состоит из прицельной марки и вертикальных штрихов, необходимых для прицеливания при стрельбе из пушки и пулемета.

На корпусе прицела устанавливаются таблички, поясняющие какой штрих определяет конкретную дальность стрельбы для различных боеприпасов.

Прицел устанавливается в башне танка на специальном кронштейне левее основного прицела наводчика, а осветитель снаружи на башне танка. Синхронность поворота линии прицеливания и оси излучателя обеспечивается параллелограммными тягами.

Обеспечение возможности боевого применения танков в ночных условиях за счет приборов активного типа (с ИК-подсветкой) имело и свою отрицательную сторону - танк демаскировался и легко обнаруживался. Это обстоятельство поставило задачу разработки пассивных приборов ночного видения.

В 1962 г. разработан танковый ночной

бесподсветочный прибор ТНБ (1ПН23). Основные разработчики: Гимейн Д.П., Егоров В.М., Кузнецов Л.В., Ландышев В.А.

В 1962-1965 гг. разработана КД и изготовлены опытные образцы ночного прицела «Ключ». Основные исполнители: Гимейн Д.П., Шуваев В.В.

В 1967-1968 гг. разработан танковый прицел ночной «Кристалл», а к 1971 г. «Кристалл-1» (активные). Основные исполнители: Гимейн Д.П., Шуваев В.В., Кузнецов Л.В.

Все эти работы не были завершены т.к. на тот период еще не были созданы электронно-оптические преобразователи с необходимой чувствительностью в видимой и ближней ИК-области спектра.

Электронно-оптические преобразователи могут только усилить отраженный остаточный световой поток от местности и не могут работать при освещенности ниже определенного уровня.

Следствием этого стало сохранение активного режима (с ИК-подсветкой) для работы при очень низких освещенностях - появился ряд ночных приборов и прицелов пассивно-активного типа.

В 1975 г. на вооружение танков Т-64, Т-72 и Т-80 принимается первый танковый ночной прицел пассивно-активного типа ТПН-3 («Кристалл ПА») (рис. 13) с дальностью в пассивном режиме 550 м и в активном режиме 1300 м.

Основные исполнители: Шуваев В.В., Гимейн Д.П., Кузнецов Л.В., Ландышев В.А., Шеко Л.А.

Серийное производство прицелов было передано в БелОМО.



*Рисунок 13.
Ночной прицел наводчика ТПН-3*

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ПРИЦЕЛЫ

Ночные прицелы, обеспечивая круглосуточность боевого применения танков, не обеспечивали всепогодность. Существенно расширить всепогодность танков можно было за счет создания тепловизионных прицелов, работающих в среднем (3-5 мкм) и (или) дальнем (8-14 мкм) спектральных диапазонах длин волн оптического излучения.

Принцип действия тепловизионных приборов основан на измерении собственного излучения наблюдаемого объекта.

В 1982 г. создается первый отечественный танковый тепловизионный прицел «Агава» (рис. 14) с дальностью опознавания 1800 м. Разработка прицела начиналась на базе фотоприемного устройства (ФПУ) «Лена-ФП» с чувствительностью в спектральном диапазоне 3-5 мкм, а на этапе Технического проекта переориентировались на 50-элементную линейку на материале КРТ со спектральным диапазоном 8-12 мкм.

Прицел успешно прошел испытания; изготовлено более 50-ти комплектов, но на вооружение он не был принят. Причина этого не была озвучена, хотя в обсуждениях назывался, как недостаток прицела, малый угол поля зрения по вертикали, но истинная причина, скорее всего, заключается в неготовности инженерно-технических служб ГАБТУ к обслуживанию этой техники в войсках в части гелиевой службы.

Основные исполнители: Шахлевич В.М. (Гл. Конструктор), Журавлев В.М., Феофилов В.Ю., Курников В.В., Пятков В.С.

В 1990 г. завершаются работы по постановке на производство усовершенствованного тепловизионного прицела Агава-2 на базе ФПУ 128 элементной линейки КРТ с дальностью опознавания целей 2300-2600 м. Прицел прошел приемочные испытания, началось серийное производство, была изготовлена первая партия, но работы были прекращены из-за неотработанности ФПУ.

В 2000 г. завершается разработка новой модели тепловизионного прицела «Ноктюрн» (рис. 15) с дальностью до 3000 м. Прицел не был поставлен на серийное производство, с одной стороны из-за неотработанности ФПУ,

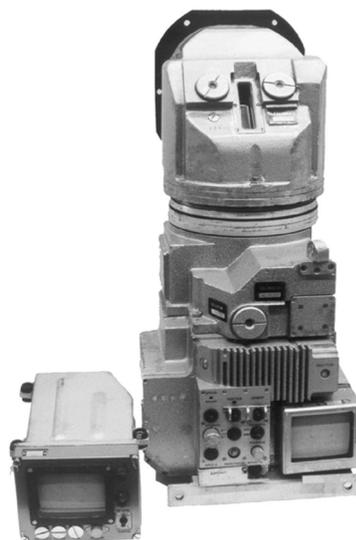


Рисунок 14.
Тепловизионный прицел наводчика «Агава»

с другой стороны из-за агрессивной доступности ФПУ иностранных производителей, прежде всего Французских.

В 2010 г. завершена разработка первой модели тепловизионного прицела «Ирбис» (рис.16), основной особенностью которого среди ведущихся в настоящее время разработок, является применение отечественной компонентной базы. Прицел имеет выходные характеристики не ниже достигнутых при использовании импортной элементной базы, но с трудом пробивается на танки; правда, необходимо отметить, что предстоит еще трудоемкий период отработки ФПУ.



Рисунок 15.
Тепловизионный прицел наводчика «Ноктюрн»



Рисунок 16.
Тепловизионный прицел наводчика «Ирбис»

Разработанные тепловизионные прицелы, существенно расширяя условия применения танков, не решают полностью задачи всепогодности и работы в условиях естественных и организованных помех. В связи с этим, в 2000-е годы разворачиваются работы по созданию многоспектральных систем управления огнем.

ПРИБОРЫ НАБЛЮДЕНИЯ КОМАНДИРА

Одновременно с развитием танковых прицелов наводчика совершенствовались приборы командира. На смену командирской панораме пришел в 50-е годы дневной прибор наблюдения ТПКУ-2Б (рис. 17) - перископический бинокулярный с кратностью 5^x , предназначенный для наблюдения за местностью, поиска цели, определения дальности до цели, целеуказания и корректировки стрельбы.

Для работы в ночное время прибор ТПКУ-2Б заменяется на ночной прибор командира ТКН-1 (ТКН-1С) (рис.18) - электронно-оптический перископ монокулярного типа, с дальностью видения с прожектором 0У-3Г до 400 м. Наведение приборов по горизонту осуществлялось вручную разворотом башенки, а по вертикали вручную поворотом корпуса прибора. Приборами оснащались танки Т-54, Т-55, Т-62. Основные разработчики: Гимейн Д.П., Розенберг И.И.

Серийное производство прибора было передано Изюмскому приборостроительному заводу.

В 1954-56 гг. создается комбинированный дневно-ночной прибор наблюдения командира, размещаемый в командирской башенке, ТКН-3 (рис. 19). Ночной канал работает только в режиме подсвета на дальность до 400 м, наведение по горизонту осуществлялось вручную разворотом командирской башенки, а по горизонту также вручную наклоном корпуса прибора относительно башенки. Прибором ТКН-3 оснащались танки Т-72, Т-64, Т-80.

В 80-е гг. ЦКБ Точприбор выполняет модернизацию прибора за счет установки современного электронно-оптического преобразователя 3-го поколения. Основной особенностью модернизированного прибора ТКН-3М (рис. 20) является обеспечение пассивного и активного режимов работы в ночных условиях.

В 70 гг. выполнена разработка ряда приборов наблюдения командира пассивно-активного типа для различных типов БТТ (Агат-Т, АГАТ-ТП, Агат-У). Основные исполнители этих работ: Рогов А.Н., Иконников В.М., Кузнецов Л.В., Баршев В.А., Перепелкин М.Я., Гаевая К.П.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ НАВОДЧИКА

В 70-е годы разработка танковых приборов и прицелов переходит в другую качественную фазу - от разработок отдельных прицелов и приборов начался переход к разработке систем управления огнем танков; при которой прицелы и приборы наводчика и командира и все входящие в них составные части взаимовызываются и оптимизируются для решения задач, стоящих перед танком в целом.

Особенностью всех ранних моделей отечественных танков, включая танки Т-80Б, является оснащённость командира танка только наблюдательными приборами и невозможность ведения им стрельбы из основного вооружения.

Поэтому на первом этапе переход осуществился в дневных прицельных системах наводчика: в состав прицельных систем кроме самих прицелов включены вычислительные средства и датчики отклонения условий стрельбы от нормальных.

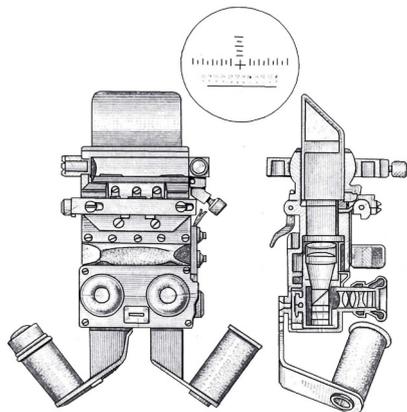


Рисунок 17.

Прибор наблюдения командира ТПКУ-2Б

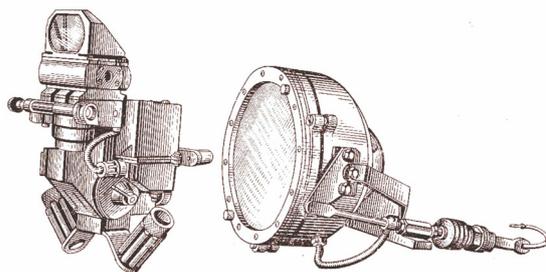


Рисунок 18.

Ночной прицел наблюдения командира ТKN-1



Рисунок 19.

Дневно-ночной прицел наблюдения командира ТKN-3



Рисунок 20.

Дневно-ночной прицел наблюдения командира ТKN-3М

В 1975 г. началась разработка системы управления огнем наводчика 1А33 («Обь») для танка Т-64А, которая объединила в своем составе:

- прицел-дальномер - прибор слежения (ПДПС) 1Г42 (рис. 21) предназначен для ведения прицельной стрельбы из пушки, наведения управляемых ракет и стрельбы из пулемета.

Основные характеристики ПДПС:

- увеличение визирного канала панкратическое 3,9 – 9 крат;

- поле зрения визирного канала $8^{\circ}24' - 20^{\circ}$;

- поле зрения канала захвата пеленгатора 2° ;

- поле зрения канала сопровождения $3'40''$;

- длина волны приемного канала 1,06 мкм,

- измеряемые дальности 500-4000 м.

- стабилизация поля зрения по ВН и ГН.

- танковый баллистический вычислитель ТБВ 1В517;

- предназначен для выработки углов прицеливания и бокового упреждения пушки в зависимости от:

- дальности, измеренной дальномером;

- изменения дальности из-за собственного движения танка;

- крена оси цапф пушки;

- боковой составляющей скорости ветра;

- относительного перемещения цели за время полета снаряда;

- отклонения условий стрельбы от нормированных при стрельбе артиллерийскими снарядами.

Вычислитель, также, обеспечивает выработку параметров, требуемых при стрельбе управляемыми снарядами:

- угла возвышения пушки;

- угла упреждения;

- времени полета снаряда на измеренную дальность в зависимости от температуры заряда;

- стабилизатор вооружения 2Э26М;

предназначен для:

- стабилизации и стабилизированного наведения в двух плоскостях пушки 2А46-2 и спаренного с ней пулемета совместно с прицелом;

- приведения пушки к углу заряжения в

плоскости вертикального наведения на время автоматизированного цикла заряжания;

– приведения пушки к линии визирования после окончания заряжания;

– аварийного разворота башни механиком-водителем от тумблера АВАР ПОВОРОТ;

– гидростопорения пушки при отскоке от верхнего или нижнего упора при абсолютной скорости, превышающей $7-8,5^\circ$ в сек и при приведении ее к углу заряжания;

– аппаратуру выработки упрежденных координат.

В системе используются следующие датчики:

- датчик ветра;
- датчик крена;
- датчик скорости танка;
- датчик курсового угла.

Сигналы с датчиков поступают в вычислитель и обеспечивают автоматическое введение поправок в угол прицеливания и упреждения.

Поправки на изменение температуры заряда, изменение температуры воздуха, изменение атмосферного давления, износ канала ствола вводятся вручную перед стрельбой.

Блок разрешения выстрела (БРВ) предназначен для выработки сигнала «-27В разрешение» на прохождение команды «ПУСК» при согласованном положении оси канала ствола и линии визирования цели.

Система включает в себя танковую бортовую аппаратуру комплекса управляемого вооружения «Кобра».

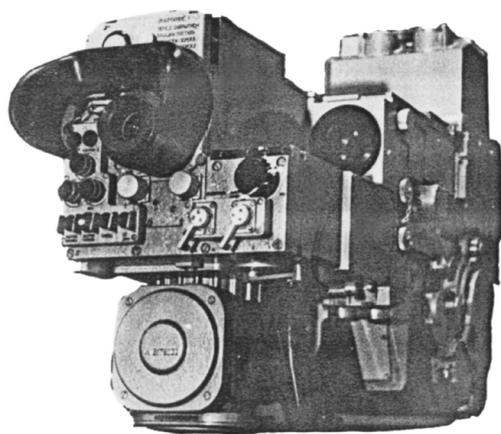


Рисунок 21.
Прицел 1Г-42 СУО «Обь»

Главным конструктором СУО «ОБЬ» был назначен В.И. Погонин.

После завершения АПИ в составе танка, ведение работ по СУО «Обь» по решению Миноборонпрома было передано ЦКБ «Точприбор», Главным конструктором СУО был назначен Г.Я. Княжев, его заместителем А.А. Майоров. ЦКБ КМЗ передало всю техническую документацию в ЦКБ «Точприбор» и совместно вело работы по всем дальнейшим этапам: Государственные приемочные испытания, освоение в серийном производстве

Ведение серийного производства было поручено Вологодскому оптико-механическому заводу (ВОМЗ), который в то время входил в состав Ленинградского оптико-механического объединения (ЛОМО)). Ни ЦКБ «Точприбор», ни ЛОМО, ни ВОМЗ не имели опыта в освоении таких систем; тесное сотрудничество ЦКБ КМЗ и этих предприятий позволило в сжатые сроки начать серийное производство СУО и комплектацию ими танков Т-80Б, выпускаемых Харьковским заводом транспортного машиностроения им. Малышева.

Основные исполнители работ по СУО «ОБЬ» от ЦКБ КМЗ на этапе завершения работ и постановки на серийное производство: Абрамов А.И., Кривицкий Л.Е., Драгунов В.С., Розет Е.Б., Филиппов С.П.

В этот же период завершается разработка модернизированных систем управления огнем наводчика для танков Т-72Б (1А40) и для танков Т-55А (Волна).

СУО наводчика 1А40

В 1976-1980 гг. проводились работы по модернизации дневного прицела наводчика ТПД-К1. На основе прицела-дальномера ТПД-К1 создана прицельная система наводчика 1А40 (рис. 22) в состав которой, кроме прицела, разработано и введено устройство выработки боковых упреждений и «слепой» левый окуляр, на который выводится информация о величине и направлении углов боковых упреждений. Сам прицел доработан в части введения в его состав оцифрованной шкалы боковых упреждений. Система 1А40, также, включает датчик поперечной составляющей скорости ветра и оптическое устрой-

ство встроенной выверки прицельной марки с пушкой, обеспечивающее эту операцию без выхода экипажа из танка.

Система 1А40 обеспечивает выработку и индикацию величину углов боковых упреждений при стрельбе с ходу по подвижным целям.

Главным конструктором системы 1А40 был Фильчев В.М. При разработке и освоении системы основной объем работ в части разработки и внедрения в танк устройства выработки боковых упреждений (УВБУ) был выполнен Ростовским оптико-механическим заводом (РОМЗ) и, прежде всего, его Главным конструктором А.В. Медведевым.

Внедрение системы 1А40 обеспечило танку Т-72Б увеличение частоты попаданий с ходу по подвижной цели в 1,33 раза, что подтверждено на всех видах войсковых испытаний танков.

Фильчеву В.М. и Медведеву А.В. за разработку и внедрение системы 1А40 присуждена Государственная премия СССР. Основные исполнители: Захаров М.Е., Борискин В.В., Харитонов Л.С., Яночкин В.Н.

СУО наводчика «ВОЛНА»

В 60-е годы основной парк танков Т-55, Т-60, Т-62 оснащался прицелами наводчика типа ТШ, разработанными ЦКБ КМЗ и ЦКБ ТОЧПРИБОР.

В 1978-1980 гг. завершена разработка системы управления огнем наводчика «Волна» для танков Т-55, Т-62. Система «Волна» предназначена для повышения эффективности стрельбы с места и с ходу по подвижным и неподвижным целям всеми типами боеприпасов, кроме ПТУРС 9М117. Система разработана на основе прицела наводчика ТШСМ, который доработан в части введения привода смещения прицельной марки в вертикальной плоскости, и включает в себя электронный баллистический вычислитель ТБВ-1 (для танков Т55АМ) или ТБВ-2 (для танков Т-62) и лазерный дальномер КДТ-2 (КДТ-1-1), размещаемый на маске пушки, с диапазоном измеряемых дальностей 400-4000 м и точностью измерения ± 20 м, а также стабилизатор вооружения «Циклон-М1».

СУО «Волна» обеспечивает:

- автоматическое измерение дальности от 400 до 4000 м;
- стабилизацию и наведение пушки с головной частью прицела в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- автоматизированную выработку углов прицеливания и бокового упреждения с учетом отклонения условий стрельбы от нормальных;
- автоматическое перемещение прицельной марки во всем диапазоне углов прицеливания, вырабатываемых баллистическим вычислителем.

Величина угла бокового упреждения высвечивается в виде цифр в поле зрения прицела. Необходимо отметить, что при выполнении разработки СУО в 1975 г. ЦКБ КМЗ разработало первые отечественные танковые электро-механические вычислители ТБВ-1 и ТБВ-2.

В дальнейшем разработка танковых баллистических вычислителей была передана в Отраслевую лабораторию Минобороны, созданную при Московском институте электронной техники (МИЭТ), которая взамен вычислителей ТБВ-1 и ТБВ-2 выполнила разработку электронных баллистических вычислителей БВ-55 и БВ-62.

СУО «Волна» разработана по инициативе и силами специалистов ВНИИТРАНСМАШа во главе с Г.Г. Голубом; в работе принимали участие ЦКБ ПЕЛЕНГ (Беломо) в части разработки лазерного дальномера КДТ, МИЭТ в части разработки вычислителя БВ-55, и ВНИИ «Сигнал» в части стабилизатора вооружения «Циклон-М1».

Внедрение системы «Волна» позволило

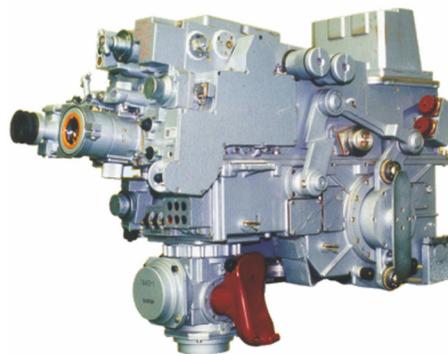


Рисунок 22.
Прицел ТПД-К СУО 1А40

резко сократить время подготовки выстрела, существенно повысить точность измерения дальности, автоматизировать процесс выработки и ввода углов прицеливания и выработки углов боковых упреждения с индикацией величины упреждений во вновь введенном левом «слепом» окуляре.

Введено перед объективом прицела перископическое устройство с головным зеркалом, со следящим приводом, связанным с гиросенсором привода вооружения по ВН, что обеспечило наводчику видимость цели при подбое пушки и при зарядании.

В итоге увеличена дальность действительной стрельбы, что, обеспечило танкам Т-55АМ и Т-62 увеличение боевой эффективности в 1,3 раза при работе с места и сходо по подвижной и неподвижной целям.

Во внедрении на танки электронных баллистических вычислителей основной объем работ выполнен Розетом Е.Б., Абдурахмановым К.А., Кривицким Л.Е., Гриненко А.М., Филипповым С.П.

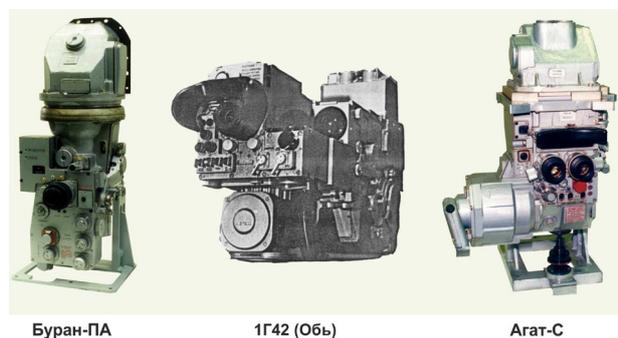


Рисунок 23.
Комплект прицелов СУО танка 1А38

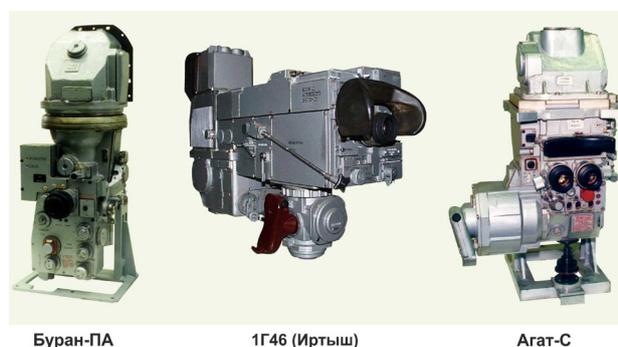


Рисунок 24.
Комплект прицелов СУО танка 1А45

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ ТАНКА (СУОТ)

Переход от разработки отдельных прицелов и приборов для танков к разработке систем управления огнем наводчика (СУО наводчика) явился значительным событием в отечественном танковом прицелостроении, но он явился лишь ступенью к периоду разработки систем управления огнем танков (СУОТ).

При разработке СУОТ на всех этапах, начиная с формирования тактико-технических заданий, техпроектов, конструкторской документации, отработки, испытаний и освоения в серийном производстве характеристики всех составных частей СУОТ взаимосвязываются функционально, электрически, компоновочно для решения задачи достижения максимальных возможностей командира и наводчику при решении боевой задачи с оптимизацией потребных для этого ресурсов.

СУОТ 1А38, 1А45

Впервые комплексный подход к системе управления огнем танка (СУОТ) в полной мере реализован при создании комплексов управления огнем 1А38 (1983 г.) и 1А45 (1984 г.) для танков Т-80У.

В состав СУОТ 1А38 (рис. 23) входят:

- система управления огнем наводчика 1А33 на основе прицела наводчика 1Г42 (СУО наводчика «Обь»);
- ночной прицельно-наблюдательный комплекс ТПН-4 (Бурган-ПА);
- стабилизированный дневно-ночной прицельно-наблюдательный комплекс командира ТКН-4С («Агат-С»).

В состав СУОТ 1А45 (рис. 24) входят:

- система управления огнем наводчика 1А42 на основе прицела наводчика 1Г46;
- ночной прицельно-наблюдательный комплекс ТПН-4 (Бурган-ПА);
- стабилизированный дневно-ночной прицельно-наблюдательный комплекс командира ТКН-4С («Агат-С»).

Основные сведения о СУО наводчика 1А33 приведены выше.

СУО наводчика 1А42, кроме прицела 1Г46, включает танковый баллистический вычис-

литель 1В 528; все остальное заимствуется из СУО 1А33.

ПДПН 1Г46 отличается от прицела 1Г42 блочной конструкцией всех входящих составных частей прицела и новой системой наведения ПТУРС «Рефлекс» по лучу лазера вместо двух канальной системы наведения ПТУРС «Кобра».

В состав СУОТ 1А38 и 1А45 входит ночной прицельно-наблюдательный комплекс наводчика ТПН-4 (рис. 25). Создание этого комплекса явилось дальнейшим развитием разработанного в 1975 г. прицельного комплекса ТПН-3. Применение в этом комплексе трехкамерного электронно-оптического преобразователя ЭП-6 («Лиана») вместо двух однокамерных позволило больше, чем в 2 раза увеличить дальность видения цели ночью в пассивном (без подсветки) режиме до 1200 м в нормированных условиях. Дальность видения в активном режиме с прожектором Л4А получена 1500 м.

Основные разработчики комплекса: Розенберг И.И., Гимейн Д.П., Волобуев Н.Д., Ландышев В.А., Кузнецов Л.В.

В 2000-х гг. завершается разработка нового прицельно-наблюдательного комплекса наводчика Буран-М (рис. 26) для танков типа Т-80У, Т-90 на базе ЭОП 3-го поколения. При этом, обеспечивается дальность видения в пассивном режиме в нормированных условиях 1800м. с сохранением активного режима до 1500м. с прожектором Л4А.

Комплекс размещается в танке без переконфигурации боевого отделения.

В состав СУОТ 1А38 и 1А45 входит, также, прицельно-наблюдательный комплекс командира танка ТKN-4С («Агат-С»), разработанный к 1983 г. (рис. 27).

Это первый, не имеющий аналогов, стабилизированный дневно-ночной пассивно-активный прицельно-наблюдательный комплекс, размещаемый, в командирской башенке танка Т-80У, а затем танка Т-90. Впервые командир получил возможность вести прицельную стрельбу из основного вооружения днем, ночью (с дальностью в пассивном режиме 700 м, в активном до 1000 м) с места и сходу.



Рисунок 25.

Прицел наводчика ТПН-4



Рисунок 26.

Прицел наводчика «Буран-М»



Рисунок 27.

Прицел командира танка «Агат-С»

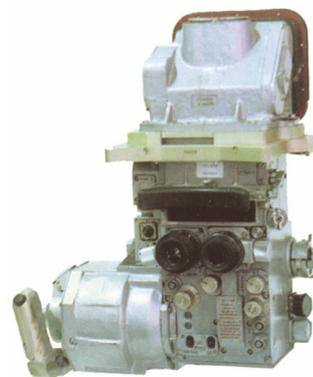


Рисунок 28.

Прицел командира танка «Агат-М»

Одним из важнейших достоинств прицела является то, что наряду со стабилизацией в вертикальной плоскости прицельных дневного и ночного каналов в него встроен стабилизированный однократный канал наблюдения, что существенно расширило возможности командира в наблюдении за местностью, боевыми порядками, управлении танком и целеуказании наводчику в движении.

В 2000-е годы завершается разработка нового прицельно-наблюдательного комплекса командира танка Агат-М (рис. 28) для танков Т-80У и Т-90 на базе ЭОП 3-го поколения. При этом, обеспечивается дальность видения и стрельбы в пассивном режиме в нормированных условиях до 1000 м с сохранением дальности видения в активном режиме с прожектором Л4А до 1000 м.

В системах управления огнем танков 1А38 и 1А45 на рациональном уровне аппаратурно взаимно увязаны функции командира и наводчика. Наводчику обеспечена возможность поиска цели, прицеливания и высокоточной стрельбы с ходу как артиллерийскими боеприпасами, так и ПТУРС; а командиру возможность, независимо от наводчика, стабилизированного наблюдения за полем боя, поиска целей, целеуказания и, в режиме дубль, прицельной стрельбы из основного вооружения днем и ночью, с места и с ходу. Главным конструктором обоих комплексов (1А38 и 1А45) был назначен А.И. Абрамов. Основные исполнители: Абдурахманов К.А., Волобуев Н.Д., Драгунов В.С., Розет Е.Б., Тишин В.А., Драгунов В.С., Розет Е.Б., Тишин В.А., Новикова (Захарова) П.И., Минакова М.В.

В начале 90-х годов начата разработка усовершенствованного комплекса управления огнем 1А45М (рис. 29) для танков Т-80У. В основу разработки положена модернизация СУО наводчика 1А34, в основном, за счет разработки и введения в состав СУО принципиально новой информационно-управляющей системы (ИУС). ИУС обеспечивает работу экипажа и СУО в диалоговом режиме, что повышает оперативность, точность, гибкость при подготовке и ведении стрельбы.

Одновременно, в основном прицеле наводчика 1Г46М, разработанном на базе прицела 1Г46, реализован комплекс мероприятий по повышению точности стрельбы, в том числе встроенная автоматическая выверка оптоэлектронных каналов и новая схема электропитания датчиковой аппаратуры и ИУС.

Все это позволило значительно увеличить дальность действительной стрельбы и сократить время подготовки выстрела.

Комплекс 1А45М предусматривался в двух вариантах по составу:

Вариант 1 в составе:

– СУО наводчика 1А34М;

– ночной прицельный комплекс наводчика Буран-М;

– прицельно-наблюдательный комплекс командира Агат-М.

Вариант 2 в составе:

– СУО наводчика 1А34М;

– тепловизионный прицел Агава-2 разработки Красногорского завода или прицел тепловизионный «Прогресс» разработки ГОИ.

– прицельно-наблюдательный комплекс командира Агат-М.

Был разработан технический проект, изготовлен опытный образец СУО 1А34М, совместно с СКБ СПЕЦМАШ проведены с положительными результатами предварительные испытания.

Ожидалось, что комплекс 1А45М позволит вывести комплекс вооружения танка Т-80У в рамках ОКР «Совершенствование-2» на новый технический уровень.

Но работа была прекращена из-за прекращения финансирования.



Буран-М

1Г46М (Иртыш)

Агат-М

Рисунок 29.
Комплект прицелов СУО танка 45М

СУОТ 1А39 («Судья»)

В 1978-83 гг. в рамках ОКР «Судья» разработана СУО 1А39 для легкого плавающего танка (объект 934); головной по танку Волгоградский тракторный завод.

В СУО вошли:

– прицельная система наводчика 1Г44 на базе прицела ТПД-К3, являющегося модификацией прицела ТПД-К.

– дневно-ночной прицельный комплекс командира «Агат-ТП», с дублирной приставкой;

– ночной прицел наводчика ТПН-3.

Главным конструктором комплекса 1А39 был назначен Г.А. Круглов.

Опытные образцы СУО 1А39 прошли АПИ в составе 2-х объектов 934 в 1982г. Разработка танка была прекращена, но полученный научно-технический задел по СУОТ используется в последующих разработках.

СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Широкое использование лазерной дальнометрии в системах управления огнем танков и развитие высокоточного противотанкового оружия на основе лазерных систем дальнометрирования, подсвета и наведения по лазерному лучу привело к созданию для танков систем противодействия и защиты от поражения, в основу которых положено обнаружение лазерного облучения при излучении в автоматическом режиме и реализация защитных мероприятий, таких как задымление с помощью специальных средств, световое с помощью мощных прожекторов противодействие оптико-электронным средствам, отклонение подлетающих снарядов от траектории с помощью взрывов специальных гранат.



Рисунок 30.
Датчики лазерного излучения ТШУ

Эти задачи решает поставленный на серийное производство в 80-х годах автоматизированный комплекс «Штора», приборной частью которого являются датчики лазерного излучения в составе двух головок ТШУ1-1, имеющих сектор обзора в горизонтальной плоскости 138° , и двух головок ТШУ1-11, имеющих сектор обзора в горизонтальной плоскости 45° с дискретом $3,75^\circ$.

В начале 90-х годов на базе автоматизированного комплекса «Штора» разработан упрощенный комплекс предупреждения о лазерном облучении (рис. 30) в составе двух головок ТШУ1-11 и индикатора лазерного излучения (ИЛИ), который вырабатывает звуковую и световую информацию о лазерном облучении и выдает координаты источника излучения. Решение о мерах противодействия в этом случае принимает командир. Работа по упрощенному варианту была прекращена на этапе АПИ.

Низкие силуэты Российских танков, малые объемы боевых отделений создают серьезные трудности при проектировании прицельных систем; но и в этих условиях приборы управления стрельбой и системы управления огнем отечественных танков не только не уступают, но и зачастую опережают технический уровень зарубежных танков, сопоставимых по годам выпуска. За эти годы сформировалась Российская школа танкового приборостроения, которая аккумулировала весь опыт боевого использования танков как во второй мировой войне, так и при локальных конфликтах в различных регионах земного шара; определились критерии оценки прицельных систем.

Среди критериев, наряду с основополагающими критериями, определяющими боевую эффективность танков имеется ряд критериев, определяющих живучесть и ремонтпригодность танков. Минимизация входных окон прицелов и защитных стекол оказывает существенное влияние на живучесть танков на поле боя, а требования оперативной смены головок прицелов в случае их повреждения определяет, в большой степени, ремонтпригодность танков.

Представляется целесообразным вернуться к дискуссии по широкому кругу вопросов, относящиеся к танкам, включая основные задачи, цели, дальности их боевого использо-

вания, живучести на поле боя и ремонтпригодности. Результатом дискуссии должно быть определение места танков в современном бою (остаются ли танки главной ударной силой Армии, сохраняется ли за ними стрельба с хода, как основной режим боевого применения и т.д.), уточнение технических требований к ним и их составным частям.

НА ПУТИ К РОБОТИЗАЦИИ

Боевая эффективность комплексов вооружения танков определяется двумя основными характеристиками: точностью стрельбы и временем на подготовку и производство первого выстрела. Многие десятилетия отечественные и зарубежные разработчики основное внимание уделяли точности стрельбы, поддерживая паритет отечественных и зарубежных танков в этом вопросе.

В итоге на конец 80-х гг. были достигнуты близкие характеристики по точности стрельбы для отечественных и зарубежных танков; при этом был, практически, исчерпан, научно-технический задел для существенного повышения точностей.

Это, с одной стороны, и появление новой оптико-электронной компонентной базы, с другой стороны, привели к возможности переключить основное внимание разработчиков на оптимизацию времени подготовки выстрела. При этом, изменилось понятие времени на подготовку: в него вошло, также, время на поиск, обнаружение, опознавание, идентификацию целей, определение степени их опасности и ранжирование на поражение. При близкой точности стрельбы победит тот, кто раньше во всех условиях боевого применения обнаружит цель и выстрелит.

Решение этих задач возможно только по пути автоматизации всех перечисленных процессов, что возможно только за счет развития каналов технического зрения. При этом оптические визирные каналы становятся дублирующими, что снимает требование непосредственной связи экипажа с оружием и, тем самым, позволяет разместить экипаж в любом месте боевого отделения с высоким уровнем защиты.

После автоматического ранжирования целей на поражение происходит автоматически наведение марки на первую цель, измерение дальности, выбор типа боеприпаса, вычисле-

ние и ввод в стабилизатор вооружения углов прицеливания и стрельба.

Предстоит большая работа по созданию банков признаков по идентификации целей во всех возможных условиях работы, по определению и ранжированию целей по степени опасности.

Но это важнейший этап на пути создания безэкипажного роботизированного танка.

Исключение экипажа из всех этих процессов и применение каналов технического зрения приводит к ухудшению поисковых возможностей танка из-за малых полей зрения этих каналов по сравнению с оптическими визирными каналами. Решить задачу минимизации временных параметров можно разными путями, но наиболее предпочтительным представляется вариант введения в состав СУО танка обзорного радиоканала, как это было проработано в рамках ОКР «Совершенствование-88»

Конечно, введение радиолокационного канала в состав системы управления огнем приводит к увеличению вероятности обнаружения танка противником, но кратковременность его включения (включение для однократного «прохода» локатором зоны возможного нахождения противника) снижает эту вероятность; при этом, бортовая вычислительная машина запоминает координаты целеподобных объектов и, затем, в автоматическом режиме каналы технического зрения производят идентификацию и все последующие операции по подготовке и производству выстрела. Конкретное исполнение СУО и радиолокатора даст возможность просчитать или промоделировать эти процессы для принятия решения.

За годы существования коллектив ЦКБ (НТЦ), и завода в целом, накопил огромный научно-технический, технологический, метрологический, производственный и организаторский опыт разработки СУО танков с использованием всего потенциала отрасли. В какой-то мере сохранил кадровый потенциал и кооперацию; участвует в настоящее время в создании новых моделей СУОТ, передавая свой опыт предприятиям, участвующим в разработке. Все это является залогом дальнейшего непрерывного развития СУОТ и сохранения паритета относительно современных зарубежных систем.