МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева

Кафедра систем автоматического управления

Утверждено на заседании кафедры
«Системы автоматического управления»
«13» января 2021 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой

_____О.В.Горячев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
**по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)**

«Оптико-электронные системы управления»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы специалитета

по специальности
24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

со специализацией
Системы управления беспилотными летательными аппаратами

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 240506-01-21

Тула 2021 год

Разработчик(и) методических указаний

Воробьев В.В., профессор, к.т.н., доцент _____
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) (подпись)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТУРНОГО СОСТАВА И КОНСТРУКЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Оптико-электронная система (ОЭС) в составе автоматического управляемого комплекса (УК) должна обеспечивать следующие режимы работы:

- наведение оптико-электронных приборов в режимах отработки целеуказания по данным от вычислительной системы УК;
- автоматический поиск и захват до двух воздушных целей в заданном от вычислительной системы секторе в ТВ и ТПВ диапазонах длин волн и их автосопровождения;
- определение угловых координат сопровождаемых целей;
- пеленгация и определение угловых координат до двух собственных ЛА в канале ОЭД;
- измерение дальности до объектов в диапазоне длин волн (1,064 ± 0,010) мкм;
- инерционное сопровождение цели, при потере с ней оптической связи, по измеренным ранее и по полученным от вычислительной системы комплекса координатам;
- оперативная юстировка по собственному ЛА для определения и компенсации не параллельностей оптических осей каналов (ТВ, ТПВ, ОЭД) (автоюстировка);
- расчёт разностных координат пары «Цель - ЗУР» по данным, измеренным по ТВ (ТПВ) каналу и ОЭД соответственно;
- выдача в вычислительную систему комплекса результатов измерений, а также управление режимами работы ОЭС по командам от вычислительной системы комплекса.

ОЭС комплекса также дополнительно должна обеспечивать:

- управление положением линии визирования в режиме полуавтоматического наведения для поиска и последующего захвата на автосопровождение надводных, наземных, а также малоподвижных воздушных целей;
- обработка и отображение на экране автоматизированного рабочего места оператора изображения текущей фоноцелевой обстановки для обеспечения возможности оценки результатов автоматической работы комплекса и индикации текущих режимов.

В основу оптико-электронной системы (ОЭС) заложена моноблочная конструкция в которой все составные части ОЭС размещены на устройстве поворотном в его подвижной и неподвижной частях.

В состав ОЭС входят следующие блоки и системы:

- двух координатная стабилизированная платформа с интегрированными двигателями, датчиками стабилизации и вращающимися контактными устройствами;
- блок управления приводом;
- блок питания оптических приборов;
- блок оптико-механический.

Внешний вид ОЭС представлен на рисунке 1.

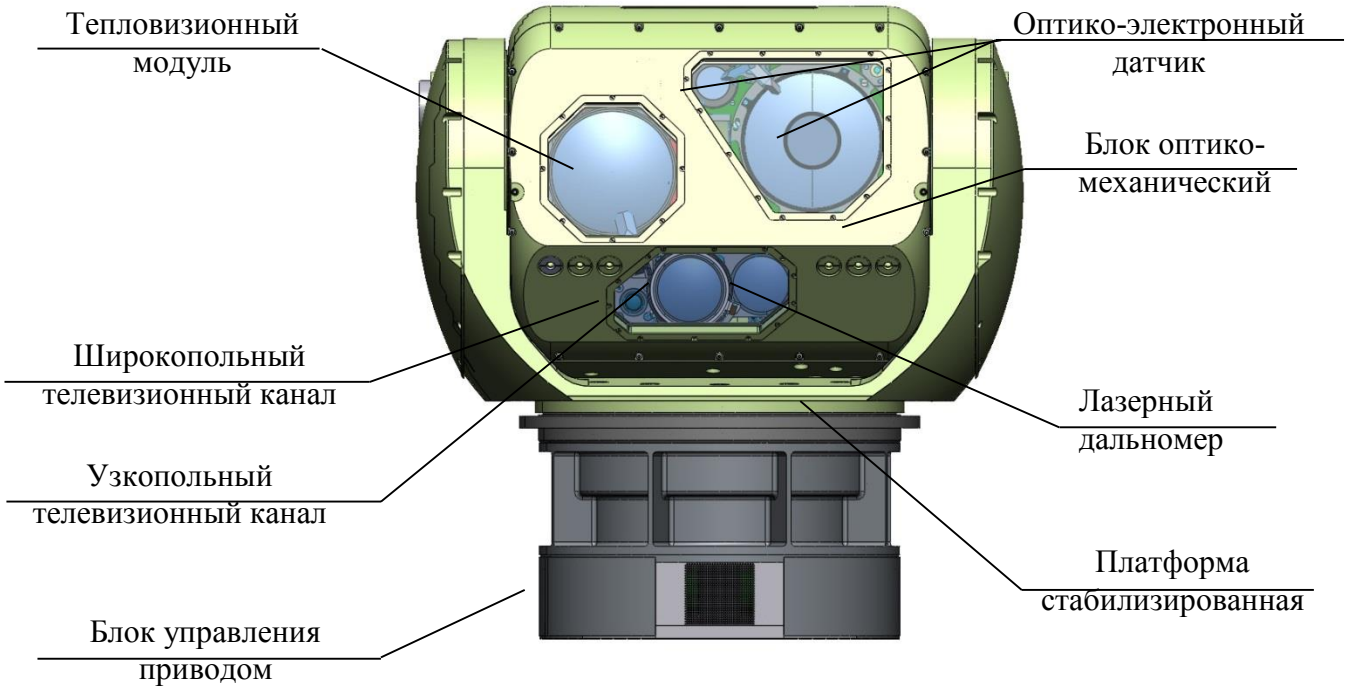


Рисунок 1 - Внешний вид ОЭС

Конструктивно ОЭС представляет собой сборочную единицу, основой которой является платформа стабилизированная с несущей частью вертикального канала наведения, выполненной в виде вилки. На погоне горизонтального канала наведения и левом фланце вертикального канала наведения установлены моментные двигатели, уменьшенной высоты и более высоким напряжением питания, обеспечивающие вращение полезной нагрузки. Датчики стабилизации расположены в блоке оптико-механическом.

Обеспечение минимального значения моментов неуравновешенности по каналам ВН и ГН в значительной мере достигается рациональной компоновкой отдельных составных частей блока оптико-механического. Остаточная неуравновешенность компенсируется балансировочными грузами, при этом обеспечивается статическая и динамическая балансировка нагрузки.

С целью повышения точности измерения параметров движения по каналам ВН и ГН используются датчики угловой скорости в комплекте с необходимой электроникой конструктивно объединённые в блок измерения угловой скорости. БИУС вертикального канала размещается в блоке оптико-механическом, БИУС горизонтального канала – на подвижной части погона ГН платформы стабилизированной.

Гироскопический датчик угла размещен в оптико-механическом блоке рядом с ТПВ и УТВ каналами для обеспечения более точной стабилизации линий визирования при работе комплекса.

Схема размещения датчиков стабилизации в ОЭС представлена на рисунке 2.

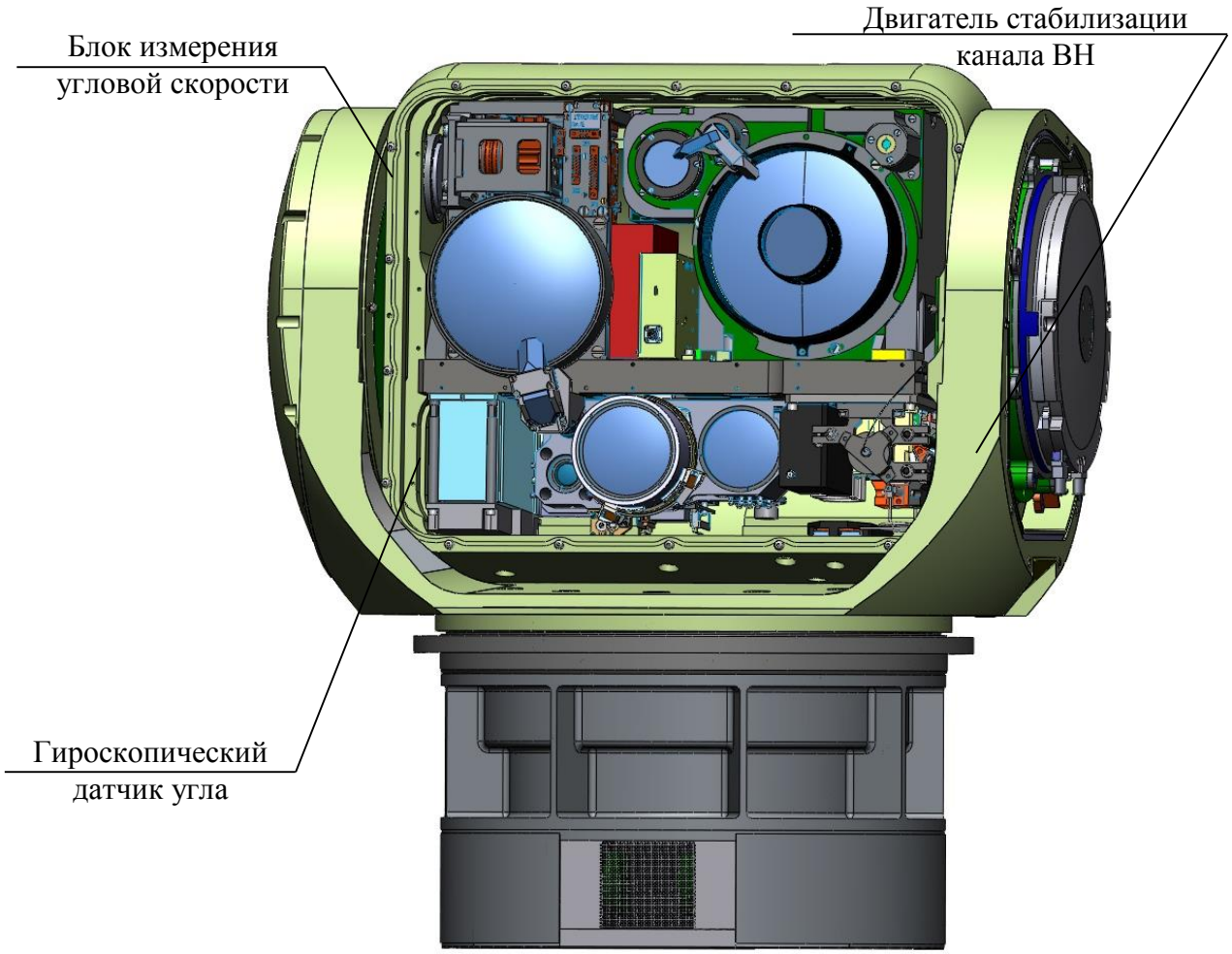


Рисунок 2 – Схема размещения датчиков стабилизации в ОЭС

Функционально ОЭС содержит в себе:

- оптико-электронную систему сопровождения цели (ОЭСС);
- оптические элементы систем управляемого вооружения (ОЭД и ЛД).

ОЭСС обеспечивает наведение оптических приборов на цель и удержание цели в пределах поля зрения оптико-электронных элементов управляемого вооружения. При этом для управления используются измеренные в видеосигнале от датчиков ФЦО (телевизионной и тепловизионной камер) координаты цели и параметры движения основания (измеренные гироскопическим датчиком угла).

На основании суммы этих сигналов формируется сигнал на силовой привод платформы стабилизированной, которая компенсирует качки и наводит оптические приборы на цель.

Наведение управляемого вооружения на цель осуществляется по разностной координате для систем теленаведения.

Конструктивная компоновка оптических элементов блока оптико-механического представлена на рисунке 3.

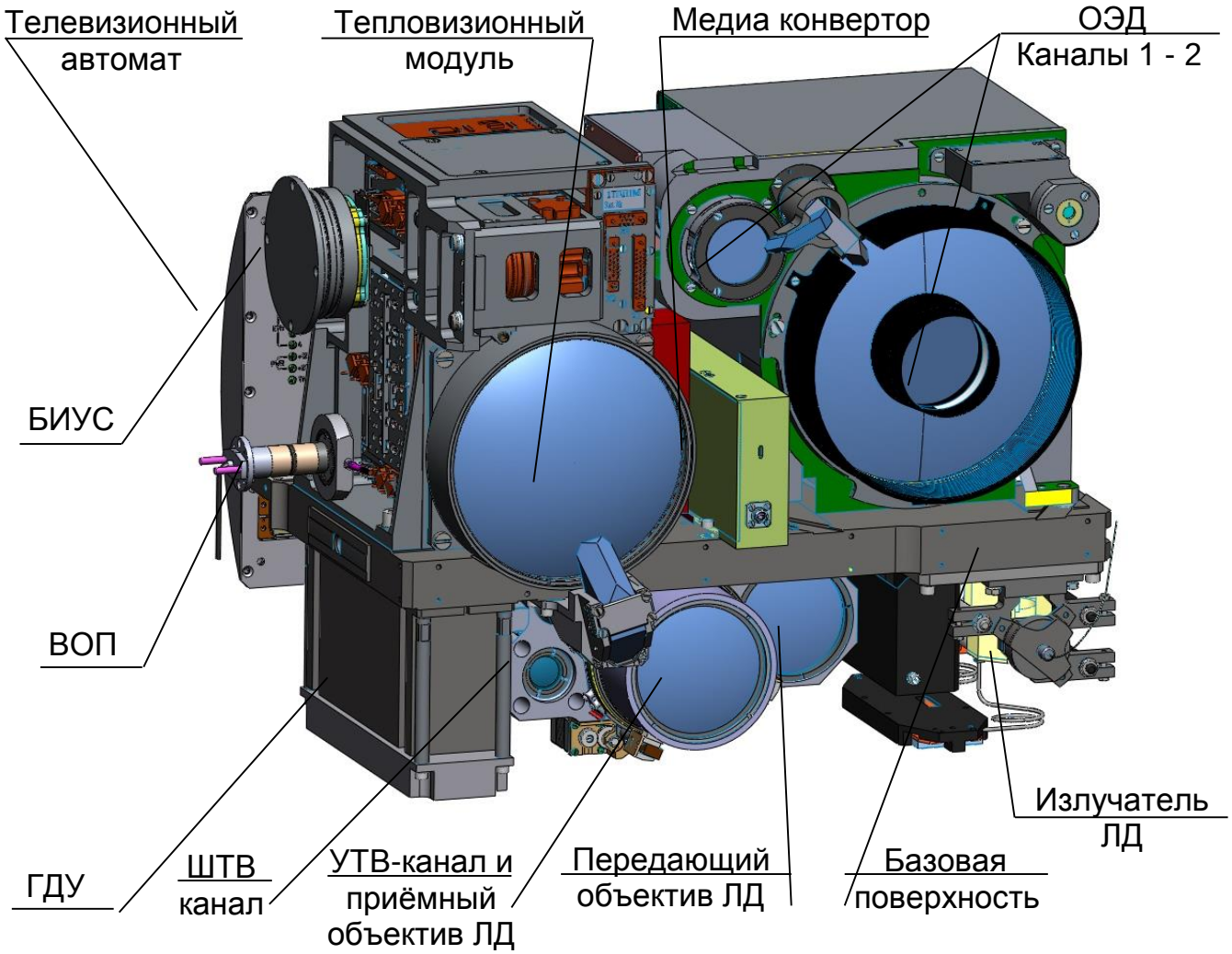


Рисунок 3 – Компоновка блока оптико-механического

Прицельный комплекс по своим характеристикам должен быть максимально согласован с возможностями оружия. Избыточность характеристик приводит к неоправданному увеличению габаритов и массы прицелов, недостаточность же характеристик не позволяет в полной мере использовать потенциальные возможности вооружения.

Системы наведения и стабилизации прицелов (СНС) можно разделить на три типа:

- СНС, в которых производится стабилизация и наведение непосредственно самих прицельных каналов;
- СНС, в которых прицельные каналы неподвижны относительно носителя и отклоняются только их оптические оси;
- СНС смешанного типа, в которых производятся операции первых двух типов (обычно операции первого типа грубые, а второго типа – точные).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННОГО КАНАЛА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Блок каналов представляет собой конструктивно объединённые узкопольный телевизионный канал, широкопольный телевизионный канал, ЛД с системой достабилизации и коллиматор выверки.

Внешний вид блока каналов приведен на рисунке 1.

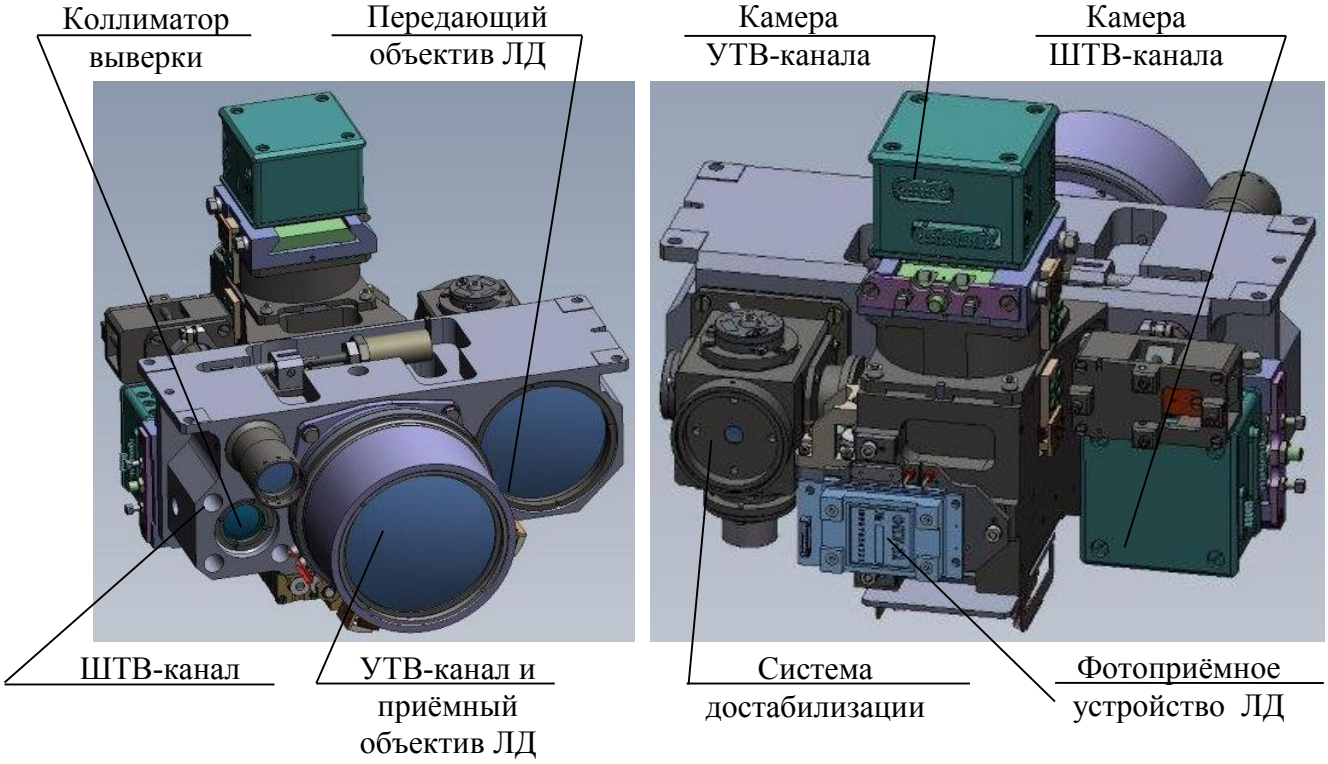


Рисунок 1 - Внешний вид блока каналов

Телевизионные каналы предназначены для повышения дальности действия в дневное и сумеречное время при хорошей МДВ. Для обнаружения применён широкопольный ТВ-канал, а для сопровождения использован узкопольный ТВ-канал.

УТВ – канал обеспечивает большую дальность обнаружения цели, формирование высококачественного изображения, возможность приёма излучения ЛД и ЛО СО для точной юстировки с ними.

По результатам анализа характеристик приёмных матриц для узкопольного ТВ-канала в качестве фотоприемного устройства выбрана матрица разработки фирмы “ ”. Эта матрица имеет широкий спектральный диапазон с высокой чувствительностью в видимом диапазоне спектра. Характеристики узкопольного ТВ-канала приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технические данные узкопольного ТВ-канала

Наименование параметра	Значение
Спектральный диапазон, мкм	
Угловой размер элемента матрицы (вертикаль×горизонт), мкрад	
Число активных элементов матрицы	
Размер элемента матрицы, мкм	
Размер поля зрения (вертикаль×горизонт),…°	
Размер матрицы, мм	
Разрешающая способность канала,…″	
Диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива (D/F), мм	

Широкопольный канал блока оптико-механического реализован на основе матрицы CMV4000. Характеристики канала приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные технические данные широкопольного ТВ-канала

Наименование параметра	Значение
Спектральный диапазон, мкм	
Угловой размер элемента матрицы (вертикаль×горизонт), мкрад	
Число активных элементов матрицы	
Размер элемента матрицы, мкм	
Размер поля зрения (вертикаль×горизонт), °	
Размер матрицы, мм	
Разрешающая способность канала,…″	
Диаметр входного зрачка и фокусное расстояние объектива (D/F), мм	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Задача дальнометрирование зенитных целей в современных системах ЗРК решается радиолокационными средствами. При работе по воздушным целям они обеспечивают точность достаточную для решения задачи сопровождения цели и наведения на неё ЛА. Однако к современным высокоточным УК предъявляются требования по работе по наземным целям и низколетящим мало скоростным, а иногда и неподвижным целям. Для их дальнометрирование наиболее целесообразно использовать оптические дальномерные средства.

В настоящее время наибольшее распространения приобрели лазерные импульсные дальномеры. Основной принцип работы их заключается в измерении временного интервала от момента излучения зондирующего импульса до приема фотоприемным устройством отражённого от цели сигнала. Дальномеры работают в оптическом диапазоне длин волн. В настоящее время в средствах ВТО распространены дальномеры длин волн 1,06 и 1,54 мкм.

Диапазон мкм широко представлен в современных лазерных системах комплексов ВТО. В настоящее время разработано большое количество различных дальномеров в малых размерах. Они имеют энергию импульса излучения до 100 мДж при воздушном охлаждении. ГСН современных комплексов также работают в этом диапазоне.

Диапазон мкм представлен широко в дальномерных системах перспективных комплексов. Основное его отличие - низкая вероятность повреждения глаз обслуживающего персонала и операторов систем. Разработанные в настоящее время излучатели обеспечивают энергию импульса до 30 мДж при воздушном охлаждении. Недостатком таких дальномеров является снижение дальности работы в условиях повышенной влажности.

Для разрабатываемой ОЭС выбран лазерный дальномер диапазона 1,06 мкм, построенный по схеме раздельных приёмного и передающего каналов.

Внешний вид излучателя лазерного дальномера представлен на рисунке 1. Характеристики лазерного дальномера представлены в таблице 1.

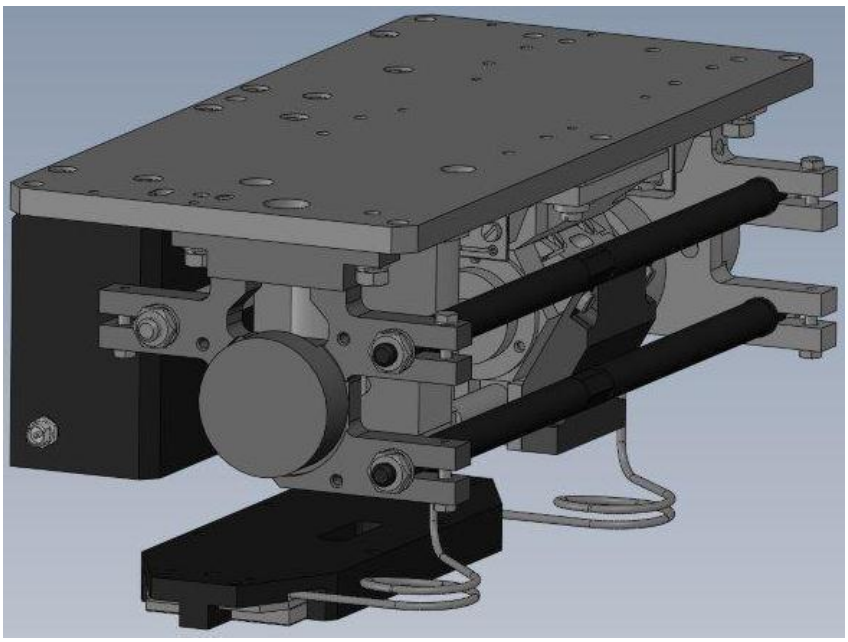


Рисунок 1 - Внешний вид излучателя

Таблица 1

Характеристики лазерного дальномера

Наименование параметра	Значение
Длина волны излучения, мкм	
Энергия импульса излучения, мДж	
Длительность импульса по уровню 0,5, нс	
Расходимость пучка излучения (по уровню $1/e^2 = 0{,}135$), мрад	
Пороговая чувствительность фотоприёмника, нВт	
Диаметр приёмной площадки фотоприёмника, мкм	
Диаметр зрачка приёмного канала, мм	
Расчётное пропускание приёмного канала, %	

Для определения характеристик дальномера используем следующие характеристики целей:

площадь цели $s_1 = 0{,}15 м^2$ (цель типа ДПЛА)

площадь цели $s_2 = 2{,}5 м^2$ (цель типа АВТОМОБИЛЬ)

коэффициент отражения: $R = 0{,}3$.

Дальность до цели может быть измерена, если принимаемая мощность излучения, отраженного от объекта, выше пороговой чувствительности фотоприемника. Принимаемая мощность излучения лазера определена по формуле

$$p = P_0 \cdot T_a^2 \cdot K \cdot R \cdot \tau \cdot G;$$

где:

P_0 - пиковая мощность импульса излучения лазера;

T_a – общее ослабление лазерного излучения при прохождении через атмосферу;

K – коэффициент использования пучка излучения;

R – коэффициент отражения от объекта;

τ - коэффициент пропускания передающего и приемного каналов;

G – геометрическое ослабление излучения.

Общее ослабление лазерного излучения при прохождении через атмосферу от дальномера до объекта вычислено по формуле

$$T_a = \exp\left(-k_\lambda \cdot L\right);$$

где:

L – расстояние от объекта до входного зрачка объектива приемного канала дальномера;

k_λ – коэффициент ослабления излучения в атмосфере.

Коэффициент ослабления излучения в атмосфере для длины волны 1,06 мкм определен соотношением

$$k_\lambda = \frac{3{,}91}{МДВ}\left(\frac{\lambda}{0{,}55}\right)^{-0{,}585 МДВ^{1/3}};$$

где:

λ – длина волны излучения;

МДВ – метеорологическая дальность видимости.

Излучение, попавшее на цель, отражается в сторону дальномера и, проходя через атмосферу, еще раз ослабляется в Та раз.

Если размер пучка излучения больше цели, то часть излучения не попадает на объект, и коэффициент использования пучка определен соотношением

$$K = \frac{s}{\pi\left(\frac{\Omega \cdot L}{2}\right)^2};$$

где:

s – площадь цели;

Ω – угол расходимости пучка лазерного излучения;

L – расстояние от объекта до входного зрачка объектива приемного канала дальномера.

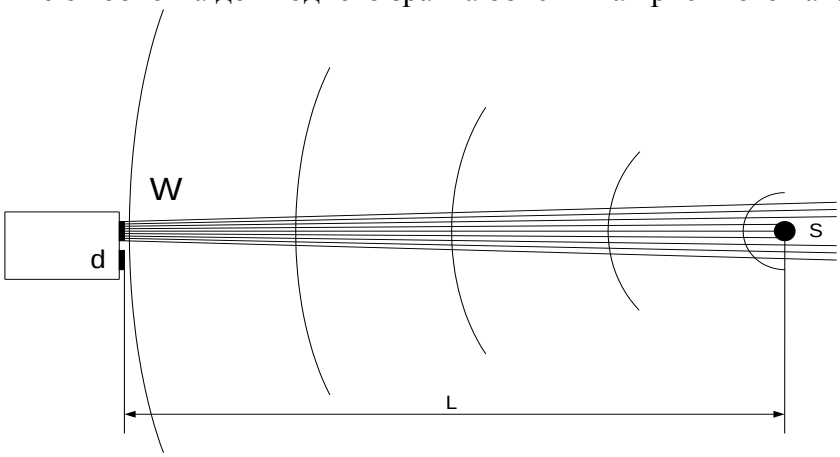


Рисунок 2 – Схема прохождения лазерного пучка при дальнометрировании

На фотоприемник дальномера попадает только ограниченная приемным зрачком дальномера часть рассеянной в заднюю полусферу мощности. Если рассеяние ламбертовское, то в максимуме диаграммы направленности эта часть составляет:

$$G = \left(\frac{d/2}{L}\right)^2;$$

где:

d – диаметр приемного зрачка дальномера;

L – расстояние от объекта до приемного зрачка дальномера.

Так как в данной оптической схеме дальномера нет системы достабилизации приемного канала и необходимо измерять дальность до целей, находящихся в пределах угловых ошибок системы стабилизации, то угол поля зрения приемного канала дальномера будет составлять не менее 2ω = 2 мрад. Соответственно, эквивалентное фокусное расстояние объектива определено формулой

$$f_{экв} = \frac{d_{эф}}{tg\,2\omega};$$

где:

$d_{эф}$ – эффективный диаметр площадки ФПУ;

2ω – угол поля зрения.

Пиковая мощность определена следующей формулой

$$P_0 = \frac{W_{имп}}{t_{имп}};$$

где:

$W_{имп}$ – энергия импульса излучения лазера;

$t_{имп}$ – длительность импульса излучения.

Исходные данные и результаты:

Энергия импульса излучения лазера: $W_{имп} = 90$ мДж;

Длительность импульса: $t_{имп} = 15$ нс;

МДВ = 12000 м;

Поле зрения, в котором необходимо измерять дальность: 2ω = 2 мрад;

Коэффициент пропускания передающего и приемного каналов: $\tau = 0{,}85$

Расходимость излучения лазера: $\Omega = 0{,}1 \ldots 0{,}3$ мрад;

Длина волны излучения лазера: $\lambda = 1{,}06$ мкм;

Пороговая чувствительность фотоприемника: $p_{пор} = 5 \cdot 10^{-9}$ *Вт*;

Эффективный диаметр площадки фотоприемника: $d_{эф}$ = *400 мкм.*

В качестве фотоприемника используется ФПУ-23.

Зависимость измеряемой дальности от угла расходимости пучка лазерного излучения для объекта площадью 0,15 м^2 при пороговой мощности приемника 10 нВт показана на рисунке 3.

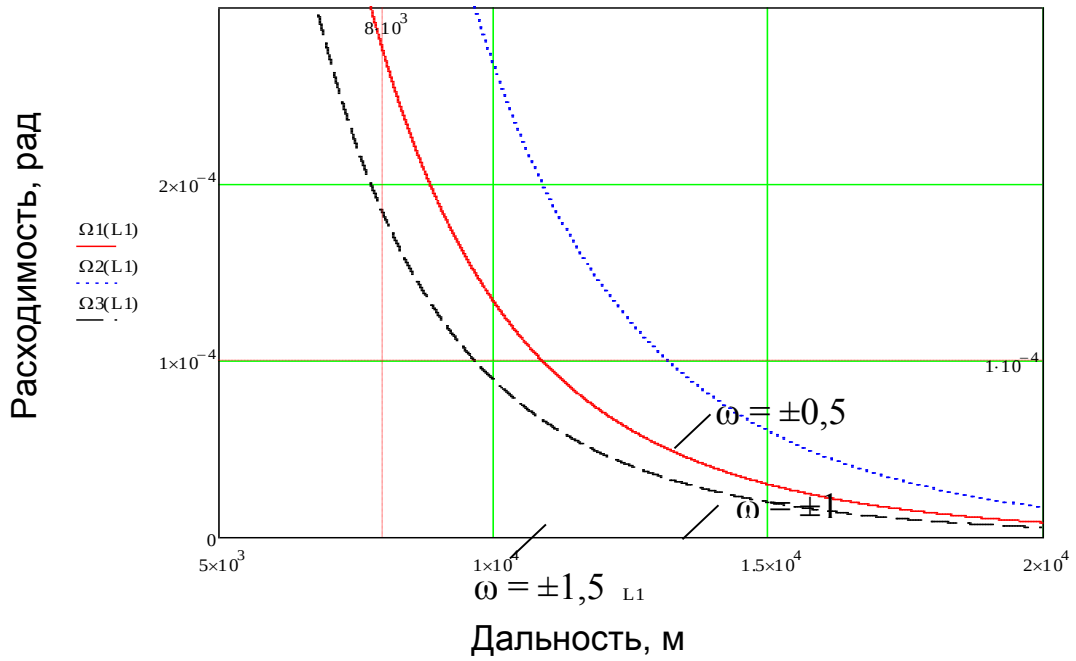


Рисунок 3 – Необходимая расходимость излучения лазера для дальнометрирования цели площадью 0,15 м^2

Зависимость измеряемой дальности от угла расходимости пучка лазерного излучения для объекта площадью 2,5 м^2 при принимаемой мощности излучения 10 нВт показана на рисунке 9.

В результате расчетов получено, что при расходимости излучения 0,1 мрад и поля зрения приемного канала не более 1 мрад (относительное отверстие 1:1) лазерный дальномер с приведенными выше характеристиками обеспечит дальнометрирование заявленных размеров целей.

Исходя из параметров матрицы и требуемого поля зрения получаем фокусное расстояние принимающего объектива 60 мм, учитывая относительное отверстие получаем диаметр входного люка – 60 мм.

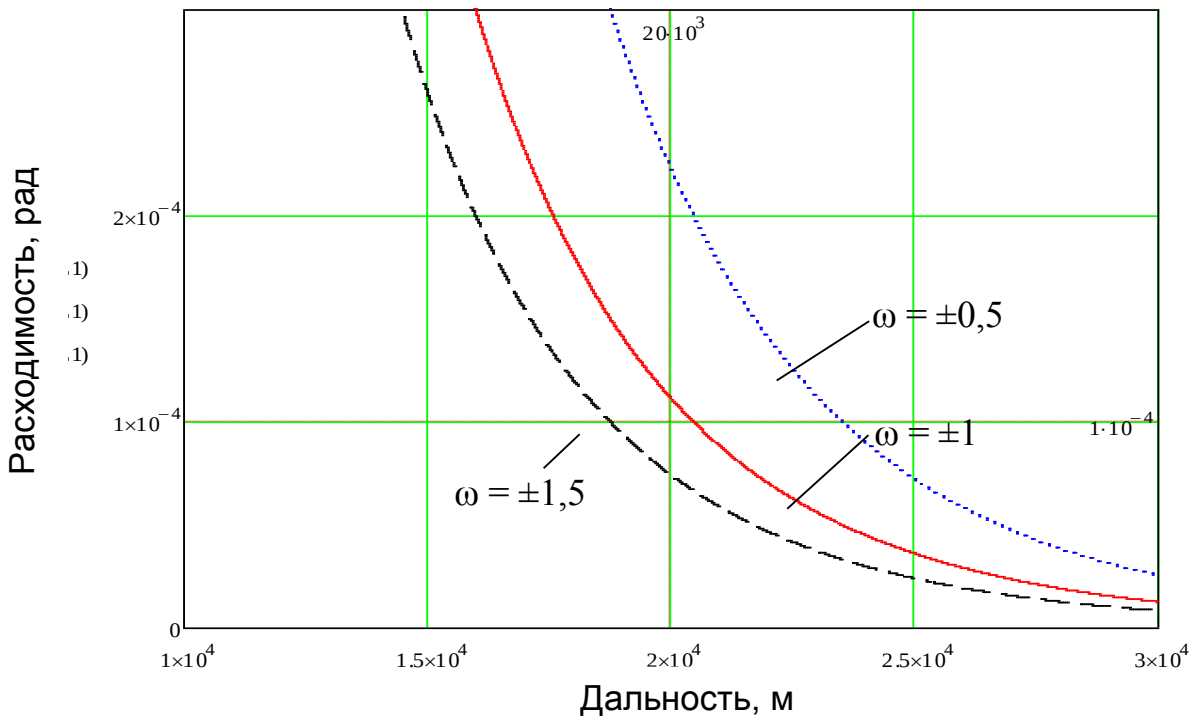


Рисунок 4 – Потребная расходимость излучения лазера для дальнометрирования цели площадью 2,5 м^2

Приведены результаты расчета энергетических характеристик лазерного дальномера с указанными выше параметрами.

Результаты энергетической оценки дальномера приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристики лазерного дальномера

L, м	T_a	K	R	G	p, Вт	$p_{пор}$, Вт
8000						
20000						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КАНАЛА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Тепловизионный модуль должен обеспечивать формирование и выдачу видеосигнала, содержащего тепловизионное изображение фоноцелевой обстановки, находящейся в поле зрения. Спектральный диапазон чувствительности ТПВ модуля должен находиться в области от 3 до 5 мкм, тип канала вывода видеосигнала – CAMERA LINK.

Внешний вид тепловизионного модуля представлен на рисунке 1.

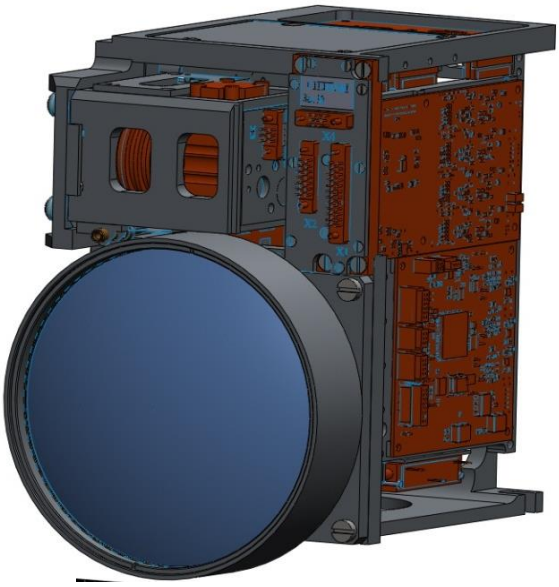


Рисунок 1 - Внешний вид тепловизионного модуля

В таблице 1 приведены основные характеристики МФП диапазона 3 - 5 мкм, которые могут быть использованы при разработке ТПВ модуля.

Таблица 1

Основные характеристики МФП диапазона 3 - 5 мкм

Наименование параметра	Mars MW	Scorpio MW	Hawk MW
Разработчик	SOFRADIR		SELEX
Спектральный диапазон (охлаждаемый фильтр), мкм			
Формат матрицы, пк			
Материал ФЧЭ			
Размер ФЧЭ (шаг), мкм			
Апертура (охлаждаемая диафрагма)			
Рабочая температура ФЧЭ, К			
NETD, мК			
Рабочая температура, °С			

Основным критерием оценки являлась дальность действия ТПВ модуля, т.е. дальность, на которой величина отношения сигнала к шуму в выходном видеосигнале ТПВ модуля обеспечивает захват цели телевизионным автоматом.

Подводя итоги по тепловизионному модулю, можно сказать, что:

- разработка ТПВ модуля с объективом с апертурой $\approx F/3$ и МФП формата пк, аналогичного , позволяет увеличить дальность действия до значений, удовлетворяющих предъявленным требованиям.

- размещение тепловизионной камеры в едином корпусе оптических приборов позволит отказаться от корпуса ТПВ модуля и сократить его массу до кг.

- использование для передачи видеосигнала высокоскоростного канала CAMERA LINK, вместо аналогового видеовхода по ГОСТ 7845-92, позволит:

- обеспечить время передачи потока видеоинформации пк за мс;

- исключить промежуточные преобразования цифра-аналог и аналог-цифра.

ОЭД предназначен для работы в составе ОЭС комплексов управляемого вооружения и должен обеспечивать пеленгацию двух ЛО по импульсам излучения, смещённым на мс. ОЭД должен обеспечивать пеленгацию ЛО изделий на дальности до км. Для повышения надёжности ОЭД целесообразен циклический режим его работы.

Внешний вид ОЭД представлен на рисунке 2.

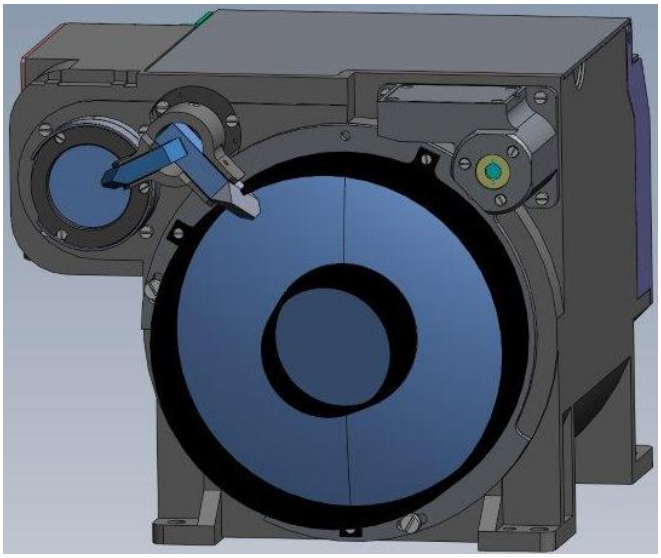


Рисунок 2 - Внешний вид ОЭД

Исходя из практических результатов работы инфракрасных пеленгаторов комплексов управляемого вооружения, для обеспечения надёжной пеленгации ЛО на различных дальностях ОЭД должен иметь два канала:

- широкопольный с дальностью от до км;

- узкопольный с дальностью от км до максимальной дальности.

При определённых условиях на дальности до 30000 м, и достижения необходимых габаритно-массовых характеристик, оптическая часть пеленгационных каналов ОЭД должна иметь следующие параметры:

- канал 1: линзовый объектив с фокусным расстоянием $f_1' \approx$ мм, диаметр входного зрачка $D_1 =$ мм;

- канал 2: зеркальный объектив с фокусным расстоянием $f_2' \approx$ мм, диаметр входного зрачка $D_2 =$ мм;

В настоящее время продолжается быстрое развитие информационных технологий. В технической области, связанной с получением и обработкой изображений, полученных в различных спектральных областях, происходит дальнейшее развитие многоэлементных матричных ФПУ. Это развитие происходит как в направлении совершенствования и улучшения

характеристик классических структур (CCD матрицы со строчно-кадровым считыванием), так и относительно новых (CMOS матриц со считыванием видеоинформации с произвольной области светочувствительной поверхности матрицы в оконном режиме).

Основные характеристики современных матриц приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики матриц

Тип матрицы	Sony ICX429ALL	Kodak KAI-1020	Cypress Lupa-300 CYIL1SMO300AA
Формат матрицы, пк			
Размер элемента, мкм			
Кадровая частота, Гц			
Тип считывания видеоинформации			
Выходной сигнал			

Скорость считывания кадра видеоинформации ФПЗС , применяемой в изделии , за счёт нестандартного управления: сброса неинформативных строк и укрупнения (слияния 4×4 пк) элементов доведена до максимально возможного значения $t_{ло}$=5 мс, что превышает необходимое время $t_{ло}$≤1 мс. ФПЗС имеет сравнимые скоростные характеристики с матрицей .

В ОЭД для обеспечения необходимой скорости считывания видеоинформации целесообразно исследовать применение CMOS матриц.

Для выполнения задачи обнаружения и вычисления координат ЛО1, ЛО2 целесообразно использовать более производительные DSP-процессоры , имеющие следующие характеристики:

- TMS320C6678 (многоядерный DSP с фиксированной и плавающей точкой):

-

Подводя итоги по инфракрасному пеленгатору, можно сказать, что:

- использование в ОЭД ФПУ на основе скоростных CMOS матриц и современных DSP процессоров позволяет обеспечить пеленгацию двух ЛО по импульсам излучения, смещённым на мс;

- энергетическая чувствительность ОЭД с выбранными оптическими параметрами и ФПУ на основе CMOS матриц, позволяет осуществлять пеленгацию ЛО на дальности до 40 км при МДВ 15 км в следующих условиях:

  - углах пеленгации более 1° и использовании блока излучателя собственного изделия с длительностью импульса , энергетической силой излучения кВт/ср;

  - углах пеленгации более 1° и использовании блока излучателя собственного изделия с длительностью импульса , энергетической силой излучения кВт/ср;

  - углах пеленгации более 2° и использовании блока излучателя собственного изделия с длительностью импульса , энергетической силой излучения кВт/ср;

- при существенном увеличении функциональности и возрастании сложности решаемых задач, габаритно-массовые характеристики ОЭД не превышают допустимых характеристик и обеспечивают его размещение в составе БОМ ОЭС;

- применение CMOS матриц обеспечивает дальнейшее повышение помехоустойчивости ОЭД за счёт уменьшения времени считывания кадра поля анализа с 5 до мс, соответствующей эквивалентной кадровой частоте Гц.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИЯ И НАВЕДЕНИЕ ПРИЦЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Прицельный комплекс по своим характеристикам должен быть максимально согласован с возможностями оружия. Избыточность характеристик приводит к неоправданному увеличению габаритов и массы прицелов, недостаточность же характеристик не позволяет в полной мере использовать потенциальные возможности вооружения.

Системы наведения и стабилизации прицелов (СНС) можно разделить на три типа:

- СНС, в которых производится стабилизация и наведение непосредственно самих прицельных каналов;
- СНС, в которых прицельные каналы неподвижны относительно носителя и отклоняются только их оптические оси;
- СНС смешанного типа, в которых производятся операции первых двух типов (обычно операции первого типа грубые, а второго типа – точные).

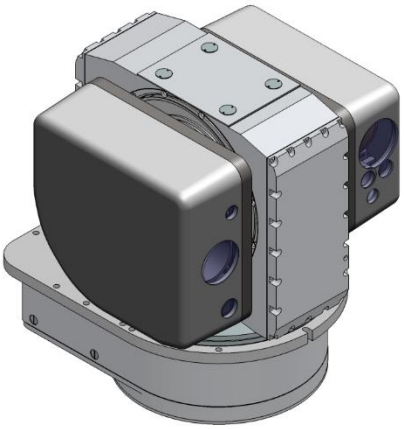


Рис. 1 Вариант «центральная стойка»

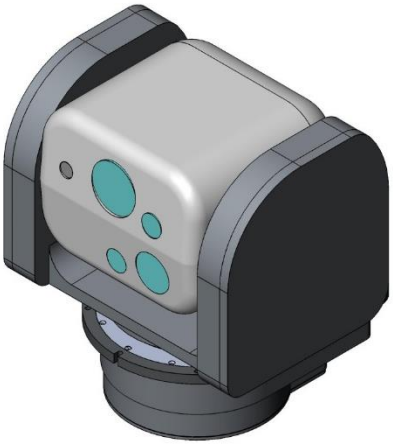


Рис. 2 Вариант «вилка»

В первом варианте исполнения в нижнем корпусе, снабженном фланцем для крепления на носителе, размещается погон, на котором устанавливается верхний корпус. В нижнем корпусе устанавливается вращающееся контактное устройство (ВКУ), вращающийся оптический переход и моментный двигатель, обеспечивающий наведение поворотной части в горизонтальной плоскости.

Верхний корпус в виде вертикальной стойки установлен на поворотной части погона.

В верхней части вертикальной стойки установлен моментный двигатель вертикального наведения и подшипники, герметизируемые уплотнениями.

К валу моментного двигателя с левой и правой стороны крепятся два ОЭ модуля.

В варианте конструкции «Центральная стойка» имеем маленькую опорную базу для вала канала ВН и консольное закрепление оптико-электронных модулей; значительная масса в виде вертикальной стойки с моментным двигателем, подшипниками и двумя оптико-электронными блоками находится на большом плече относительно опорной поверхности горизонтального канала. Это определяет значительный возмущающий момент от линейных ускорений в продольной и поперечной плоскости.

Маленькая опорная база вала вертикального канала обуславливает достаточно низкое значение собственных частот колебаний:

- расчетные значения (~) Гц;
- экспериментально определенные значения (~) Гц.

Эти частоты практически невозможно вырезать в контуре регулирования привода, поскольку их значения будут меняться от образца к образцу, а широкополосные режекторные фильтры имеют неприемлемое фазовое запаздывание в рабочей полосе привода.

Таким образом, невозможно реализовать требуемый коэффициент передачи в контуре привода, что в свою очередь приводит к невыполнению требований ТЗ по ошибке стабилизации

Другим фактором, существенно влияющим на величину ошибки стабилизации, является суммарный момент сопротивления подшипников и герметизирующих манжет уплотнения.

Требование обеспечения герметичности не позволяет иметь суммарный момент сопротивления менее Н·м, что также приводит к невыполнению требований ТЗ по ошибке стабилизации.

Полученная величина ошибки стабилизации ЛВ оптических приборов
$\Delta \leq$ мрад. не соответствует требованиям ТЗ $\Delta \leq$ 5 мрад.

Так как оптико-электронные приборы размещены в двух модулях, которые установлены по бокам вертикальной стойки и не имеют общей привалочной поверхности, высока вероятность разъюстировки каналов, недостаточная стабильность выверки каналов, а оперативная юстировка каналов оптических приборов затруднена.

Второй вариант СНС выполнен по схеме двухосного карданова подвеса.

В боковых стойках поворотной части располагаются моментные двигатели со встроенным датчиком угла, вращающееся контактное устройство и вращающийся оптический переход.

Все оптико-электронные блоки размещаются в едином корпусе и представляют собой единый оптико-механический модуль.

Выходные валы моментных двигателей левой и правой стойки соединяются непосредственно с корпусом оптико-механического модуля, чем обеспечивается высокая жесткость кинематической цепи нагрузка- двигатель.

К достоинствам конструкции можно отнести:

- незначительную разъюстировку каналов благодаря расположению оптических приборов на одном основании;
- возможность создания оптимальной компоновки обтекаемой формы;
- реализация защиты выходных стекол каналов оптико-механического блока от механических и климатических воздействий путем приведения оптико-механического модуля на отрицательные углы °.

К недостаткам конструкции по второму варианту можно отнести:

- увеличение габаритов и веса из-за появления дополнительных стенок и корпусов (например на двигателях ВН);

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗУЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Предварительные замечания

Лабораторные стенды, расположенные в боксах учебного модуля кафедры, представляют собой комбинированные (физико-математические, полунатурные) модели оптикоэлектронных систем управления (ОЭСУ). Включение натурных блоков и физических моделей элементов ОЭСУ в состав стенда позволяет повысить адекватность моделирования испытаний ОЭСУ, для которых отсутствует полное математическое описание из-за большой сложности и/или недостаточной изученности физических процессов, а также неопределенности ряда параметров.

Работа студентов непосредственно на стендах связана с рядом трудностей:

1) настройки (юстировки) и регулировки оборудования стенда требуют высокой квалификации;

2) значительная стоимость каждого эксперимента из-за амортизации дорогостоящих блоков стенда и опытного образца ОЭСУ;

3) высокие требования к технике безопасности при работе с излучателями (лазерами, светодиодами, импульсными лампами и др.).

В связи с этим целесообразно изучение студентами стендов проводить в ознакомительном порядке. Закрепление знаний осуществляется путем изучения материальной части стендов, видеороликов, компьютерных альбомов осциллограмм, схем и чертежей стендов, а также работой на виртуальных моделирующих стендах, подобных реальным стендам, в компьютерном классе кафедры.

Видеоматериалы предназначены для иллюстрации особенностей постановки задачи проектирования ОЭСУ и путей ее решения. Они демонстрируют режимы работы ОЭСУ в полигонных условиях. Текст поясняет, какие координаты системы необходимо оценивать и какие критерии проектирования целесообразно использовать. Иллюстрируются рабочие и нештатные (промах ракеты, срыв сопровождения цели) варианты работы управляемых комплексов.

Идентификация параметров, анализ и синтез ОЭСУ выполняются студентом самостоятельно путем моделирования системы на виртуальном (компьютерном) стенде и использования пакетов расширения системы MATLAB, таких как System Identification Toolbox, Signal Processing Toolbox, Control System ToolBox, Optimization Toolbox.

Таким образом, предложена структура лабораторного практикума по профилирующей дисциплине, которая основана на рациональном сочетании в процессе обучения возможностей лабораторного модуля кафедры, альбомов конструкций, фотографий и осциллограмм стендовых испытаний, просмотра видеоматериалов и работы с системой MATLAB.

В сравнении с традиционным подходом к лабораторным занятиям в компьютерном классе, ориентированным на машинное моделирование, предложен эффективный комплексный подход. Он в большей степени соответствует инженерной практике проектирования современных управляемых комплексов (УК).

Данный практикум позволяет студенту:

- повысить качество обучения за счет выполнения большого объема работ по идентификации, анализу и оптимизации ОЭСУ в сочетании с изучением конструкций блоков и осциллограмм стендовых испытаний систем;
- получить представление о полигонных и лабораторно-стендовых испытаниях высокоточных помехозащищенных ОЭСУ, входящих в состав современных высокоточных УК;
- глубже осмыслить содержательную и математическую постановки задач разработки и испытаний высокоточных УК;
- научиться планировать динамические испытания ОЭСУ, испытания на помехоустойчивость и помехозащищенность;

- выработать практические навыки работы с системой MATLAB по современным технологиям проектирования.

1.2 Классификация испытаний ОЭСУ

Рассмотрим классификацию испытаний ОЭСУ (рис.1)

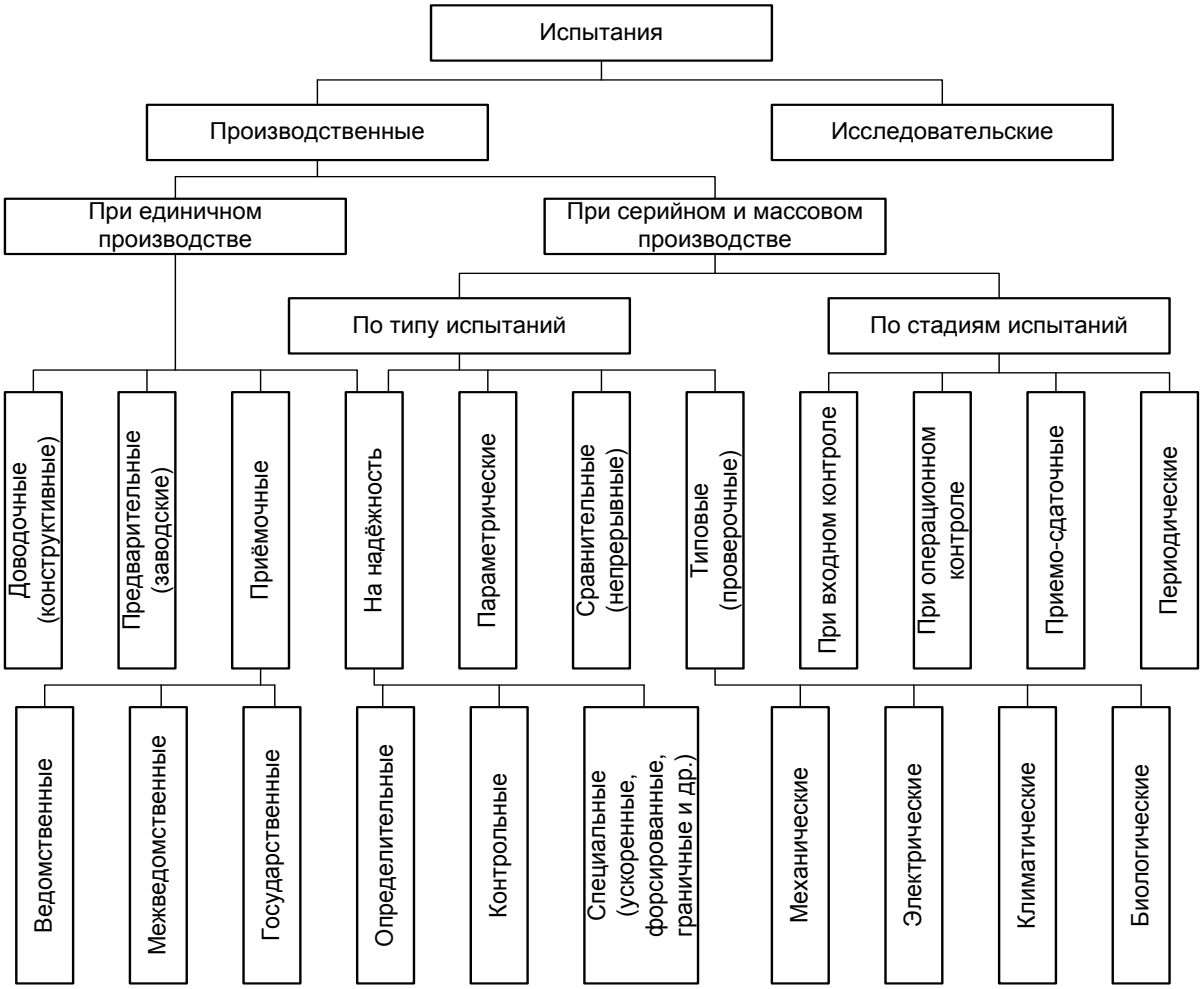


Рис. 1 Классификация испытаний ОЭСУ

1.3 Постановка задачи разработки стенда для испытаний ОЭСУ

Рассмотрим задачу разработки стенда для динамических испытаний и испытаний на помехозащищённость ОЭСУ.

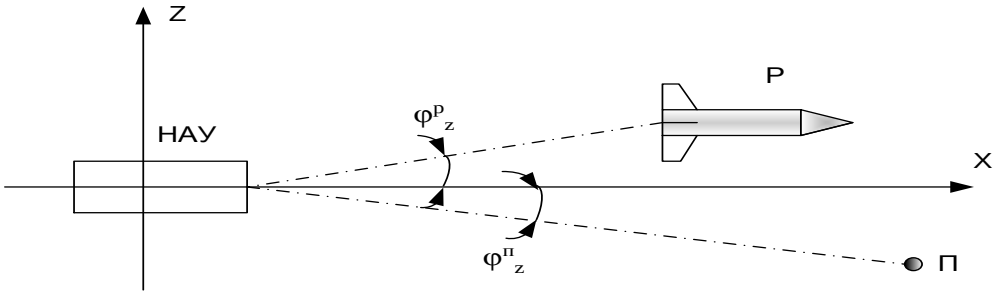


Рис. 2. Принципиальная схема ОЭСУ в проекции на плоскость ZOX: НАУ – наземная аппаратура управления; Р – ракета; П – помеха (световая)

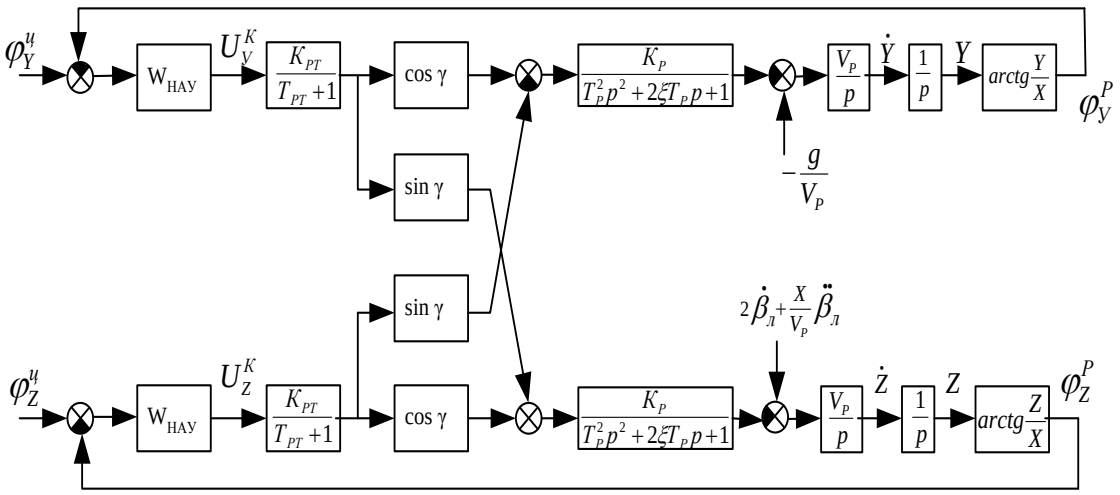


Рис. 3. Структурная схема двумерной ОЭСУ в измерительной системе координат: $\varphi_y^Ц$, $\varphi_z^Ц$ – ошибка оператора в сопровождении цели в вертикальном и горизонтальном каналах, соответственно; φ_y^P, φ_z^P – угловые отклонения ракеты от линии прицеливания; y, z – линейные отклонения ракеты от линии прицеливания; $\beta_л$ – угловая скорость разворота линии прицеливания

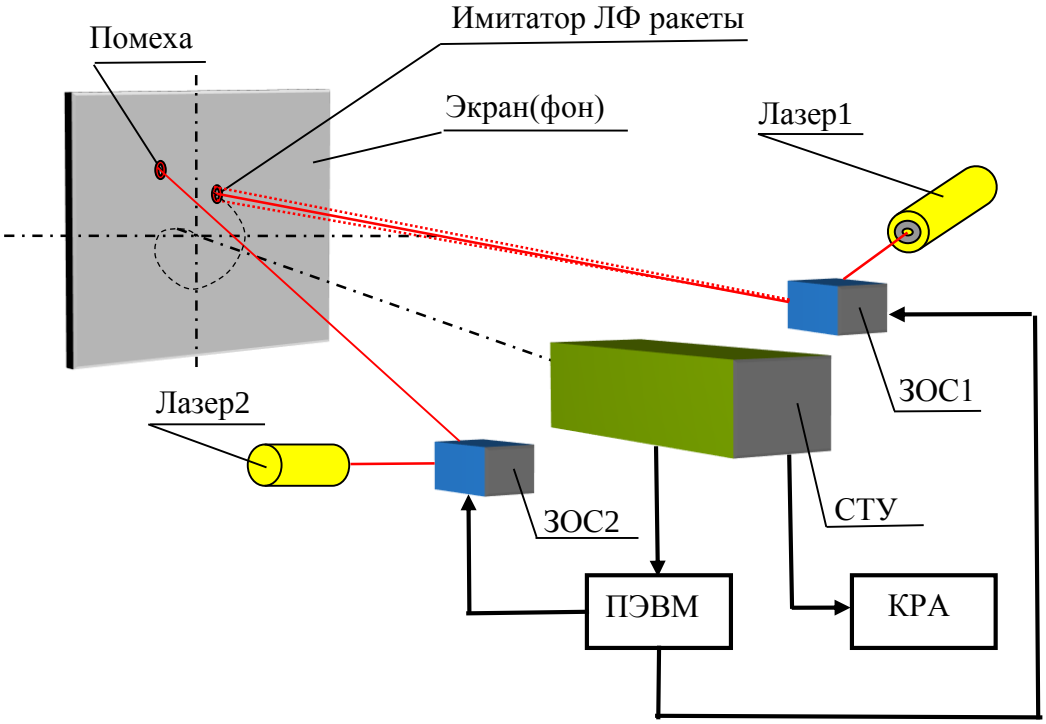


Рис. 4. Принципиальная схема стенда для испытаний ОЭСУ: КРА – контрольно-регистрирующая аппаратура; ЗОС – зеркально-отклоняющая система;

1.4 Конструкция стенда для испытаний ОЭСУ на динамику, точность и помехозащищенность

Стенд реализован на базе серийно выпускаемой оптической скамьи ОСК-2ЦЛ (рис. 21).

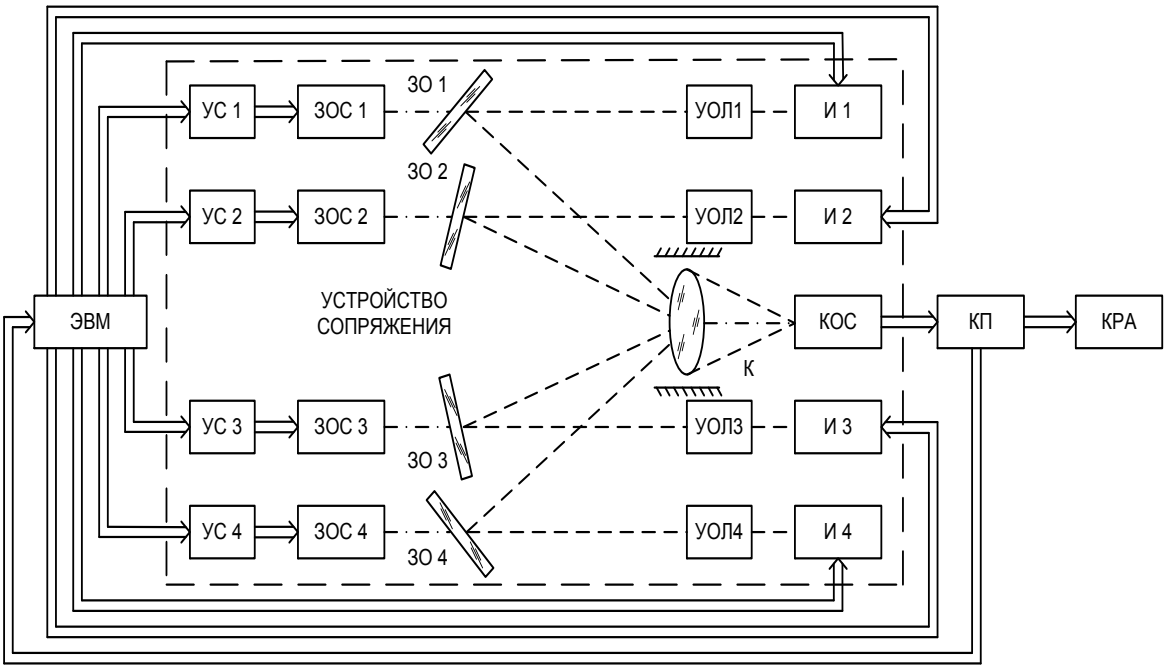


Рис. 5. Функциональная схема стенда: КП – командный пункт (наземная аппаратура управления); КОС – коллиматорно-оптическая система; К – конденсорный объектив; УОЛ– устройство обработки луча; И – излучатель; ЗО – зеркальный отражатель; УС – устройство сопряжения.

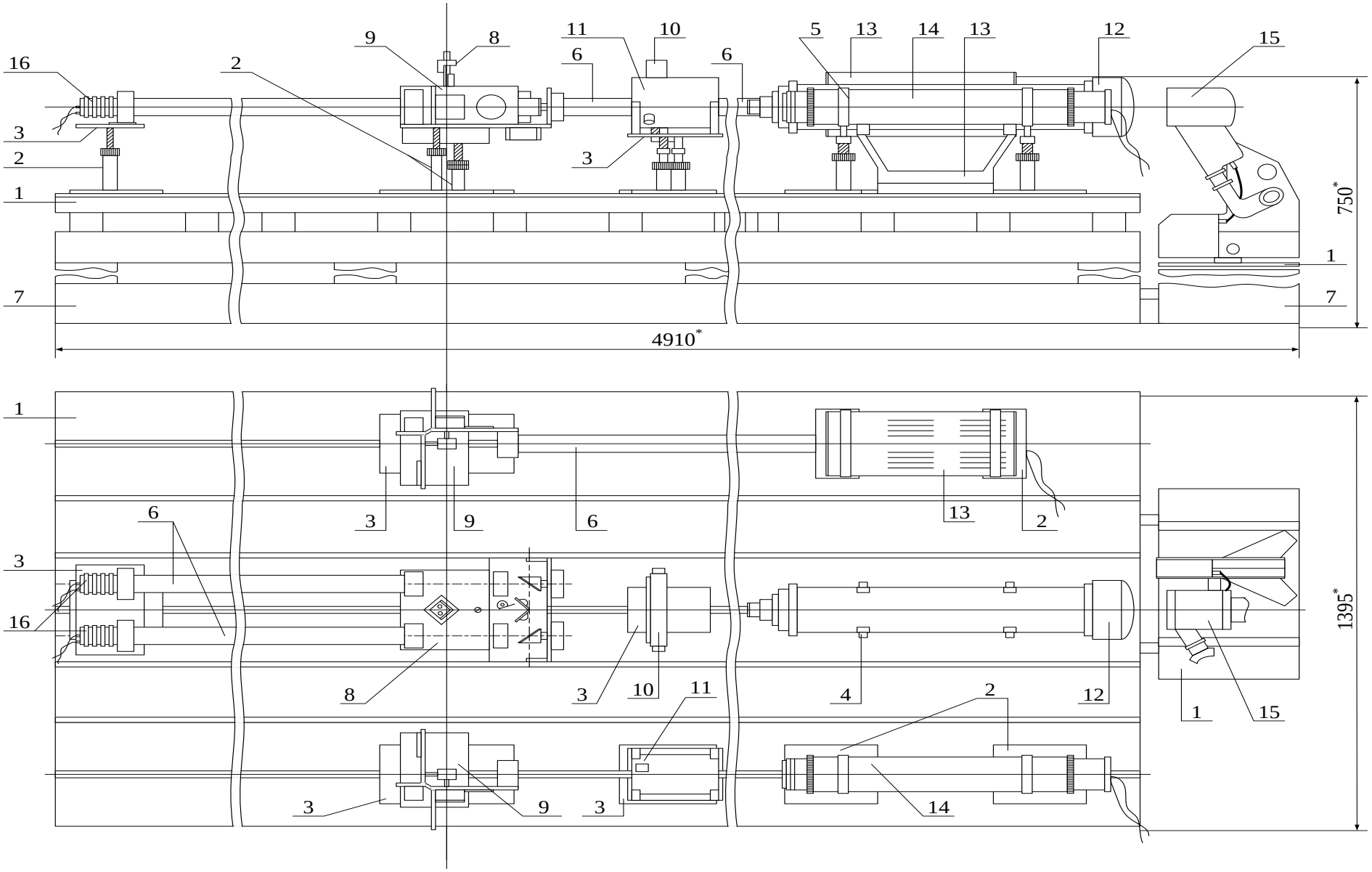


Рис. 6. Сборочный чертеж стенда: 1 - скамья; 2 - рейтер; 3 - платформа; 4 - стойка (с крепежом);5 - хомут; 6 - труба; 7 - стол; 8,9 - ЗОС; 10 - конденсор; 11 - модулятор; 12 - КОС; 13 - лазер (ЛГ-79); 14 - лазер (ЛГ-126); 15 - НАУ; 16 - светодиод.

1.4 Конструкции элементов стенда для испытаний ОЭСУ

1.4.1 Блок зеркально-отклоняющих систем

Зеркально-отклоняющая система (ЗОС) выполняет роль устройства сопряжения математической и физической частей стенда. Блок ЗОС предназначен для преобразования электрических сигналов с выхода ЭВМ по каналам “*Y*” и “*Z*” в изменяющуюся во времени оптическую обстановку на экране.

ЗОС проецирует изображение натурного излучателя (штатной лампы-фары) или его физической модели (лазера, светодиода) на светорассеивающий экран (см. рис. 4, 5).

В совокупности с ЭВМ, на которой рассчитываются текущие угловые координаты излучателя ракеты, эта система в режиме слежения воспроизводит на экране перемещение имитатора ракеты в поле зрения объективов АВК натурной наземной аппаратуры управления.

ЗОС реализована на базе двух серийных пропорциональных электромеханических преобразователей (ЭМП) типа МП-120А в совокупности с электронными усилителями У (рис. 6). На валу каждого ЭМП закреплен зеркальный отражатель. ЭМП обеспечивают развертку изображения излучателя на экране по вертикали и по горизонтали.

ЗОС оборудована оптико-электронными датчиками обратной связи (ДОС) по углу поворота зеркала, которые реализованы на базе пары светодиод 3Л-107 Б – фотодиод ФД-7К. При развороте зеркала лучистый поток от светодиода к фотодиоду перекрывается шторкой, закреплённой на оси ЭМП, и на выходе фотодиода вырабатывается электрический сигнал обратной связи. Применение электронных дифференцирующих устройств, позволяет формировать сигналы обратной связи по производным угла поворота зеркала.

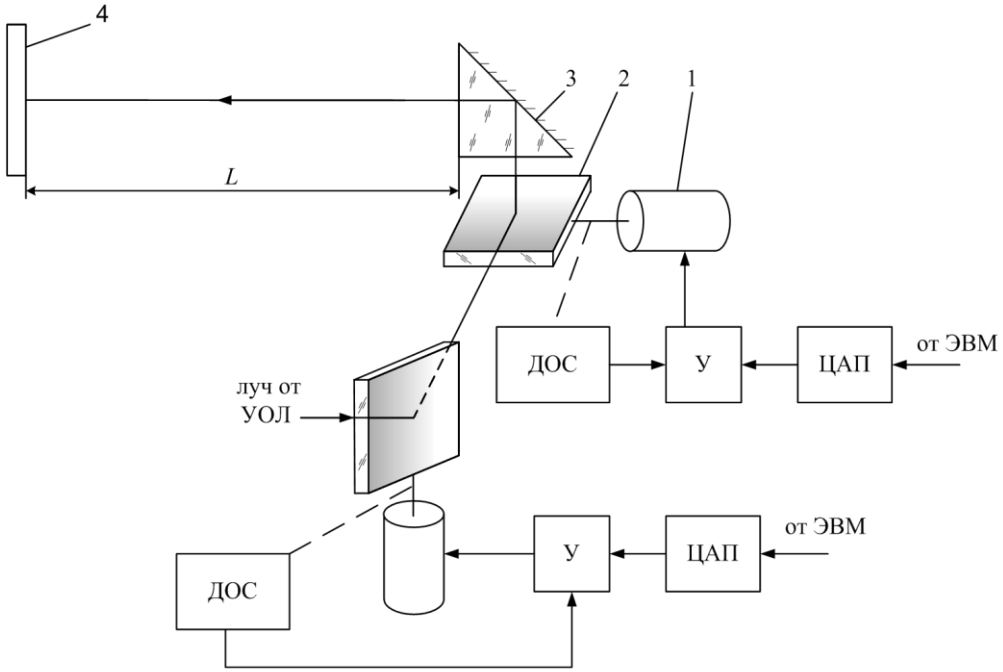


Рис. 7. Принципиальная схема ЗОС: 1 - электромеханический преобразователь; 2 - зеркальный отражатель; 3 – призма; 4 - экран.

Электронные усилители (У) предназначены для суммирования входных сигналов и сигналов обратных связей, усиления сигнала ошибки по мощности, который далее поступает на управляющие обмотки ЭМП, а также питания свето- и фотодиодов ДОС.

Принципиальная электрическая схема ЭМП с ДОС приведена на рис. 8.

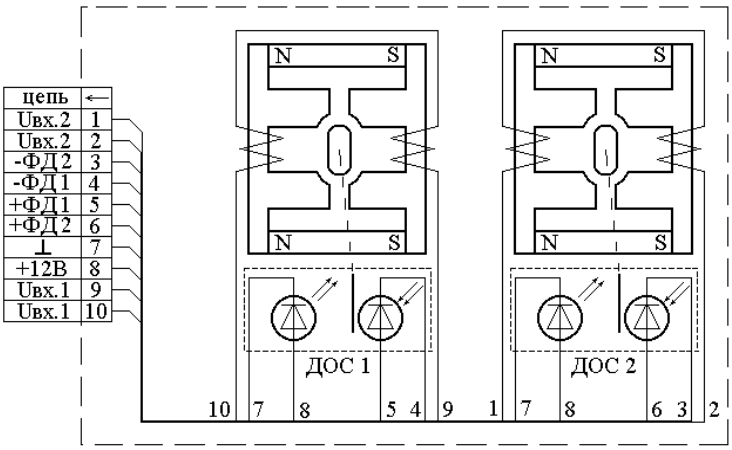


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема ЭМП с датчиками угла

Таким образом, как в горизонтальном, так и в вертикальном каналах стенда объектом управления разрабатываемой следящей системы (СС) является ЭМП, который работает на инерционную нагрузку. Входной задающей величиной для системы является электрический сигнал с выхода ЭВМ стенда, который пропорционален текущей угловой координате излучателя ракеты (с учетом коэффициента передачи по углу оптической линии связи «ЗОС – Э – КОС».

Выходной регулируемой величиной *y* является угловая координата имитатора излучателя ракеты, воспринимаемая АВК в стенде. Учитывая линейность статической характеристики оптической линии связи «ЗОС – Э – КОС» в области малых углов, в процессе расчета СС за ее выходную координату можно считать угол поворота зеркала.

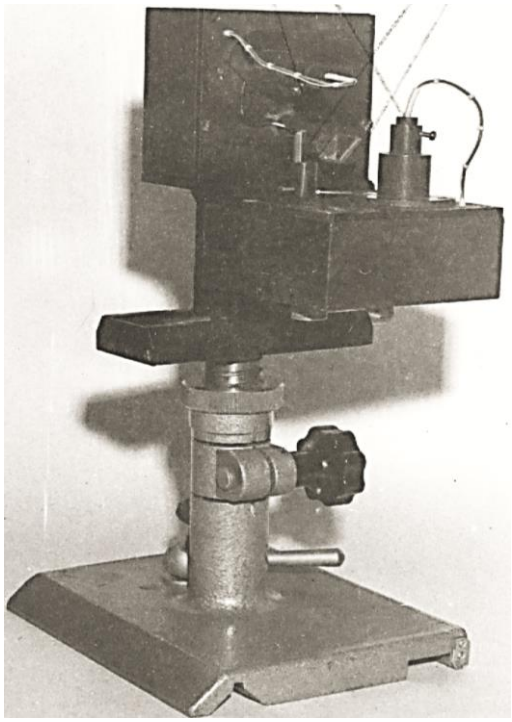
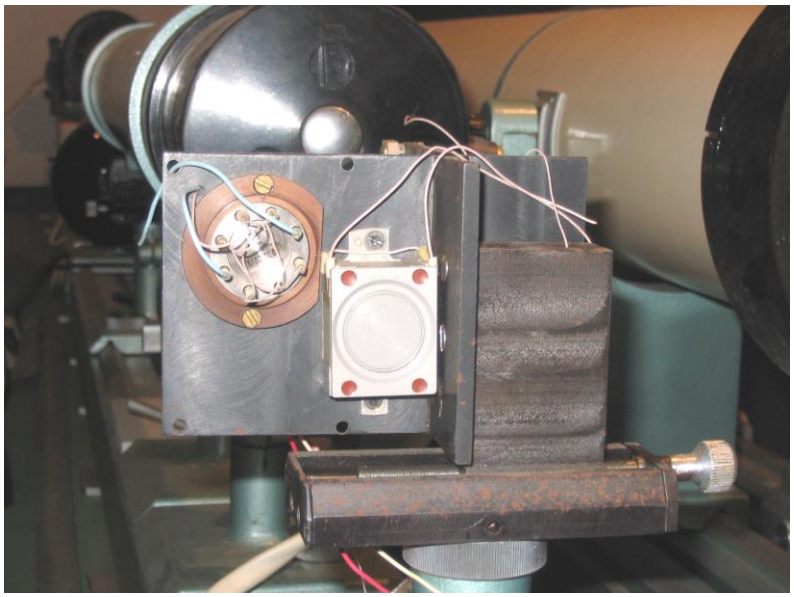


Рис. 9. Вид блока зеркально-отклоняющих систем, установленного на рейтере скамьи



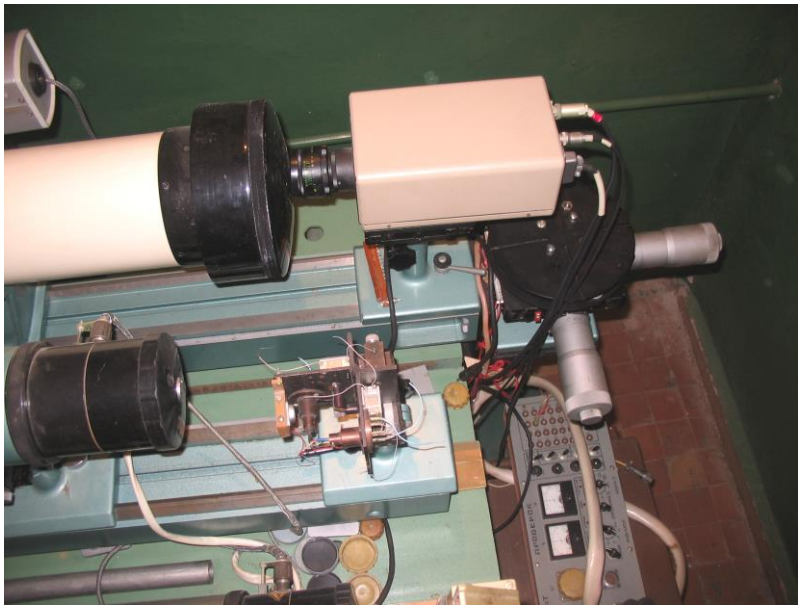


Рис. 10. Виды блока зеркально-отклоняющих систем со снятой крышкой

1.4.2 Устройство обработки луча

Устройство обработки луча (УОЛ) выполняет роль устройства сопряжения по каналу “*X*”. Оно предназначено для автоматического регулирования светового потока, поступающего от излучателя (И) постоянной мощности, например, натурной лампы-фары.

В совокупности с ЭВМ это устройство в режиме слежения воспроизводит процесс удаления излучателя ракеты от пусковой установки. При этом на ЭВМ в реальном времени рассчитываются текущие значения светового потока, приходящего от лампы-фары ракеты на входной зрачок объектива АВК.

В процессе расчета могут учитываться также случайные факторы: затухание излучения в атмосфере, флуктуации ее прозрачности, разрывы оптической линии связи при задымлении и др.

Рассмотрим конструкцию УОЛ, предназначенного для моделирования изменения светового потока на входном зрачке объектива натурного АВК. Оно реализовано на базе трансфокатора серийной промышленной телевизионной установки. УОЛ содержит объектив «Юпитер-8М» с регулируемой ирисовой диафрагмой, кольцо которой вращается

через редуктор с помощью электродвигателя постоянного тока. Принципиальная схема УОЛ дана на рис. 11.

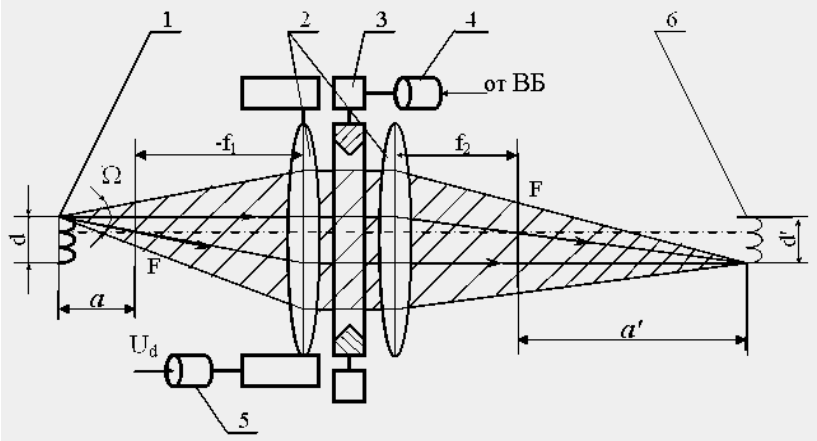


Рис. 11. Принципиальная схема УОЛ: 1 - источник излучения; 2 – объектив; 3 – ирисовая диафрагма; 4, 5 - электроприводы; 6 – изображение источника излучения.

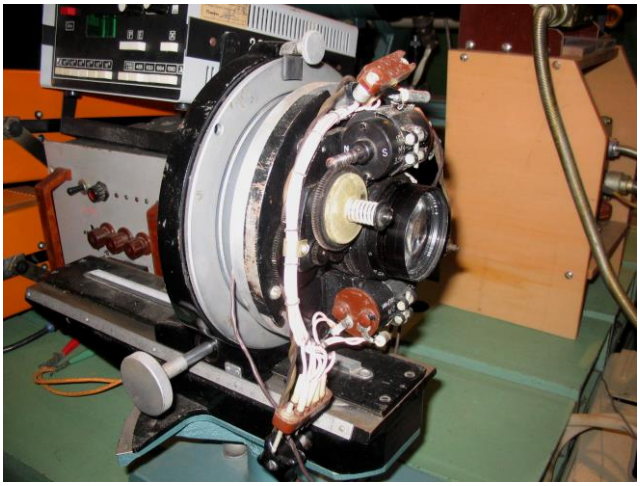


Рис. 12. Общий вид УОЛ, реализованного на базе серийного трансфокатора

Электропривод 5, показанный на рисунке, предназначен для управления размером пятна на экране. При моделировании в стенде точечных источников излучения он не используется.

1.4.3. Коллиматорно-оптическая система

Коллиматорно-оптическая система (КОС) служит для масштабирования в сторону уменьшения угловых координат и размеров изображения излучателя.

Необходимость в использовании КОС обусловлена тем, что объективы натурного АВК являются длиннофокусными, имеют узкие поля зрения и предназначены для определения координат “точечного” источника излучения. Причем располагаемое расстояние между АВК и экраном в стенде составляет несколько метров.

Входным объективом КОС является короткофокусный объектив, а выходным – длиннофокусный объектив (коллиматор). Соотношение их фокусных расстояний определяет масштаб моделирования угловых координат.

Рис. 13. Общий вид конденсорного объектива (на рейтере слева) и КОС

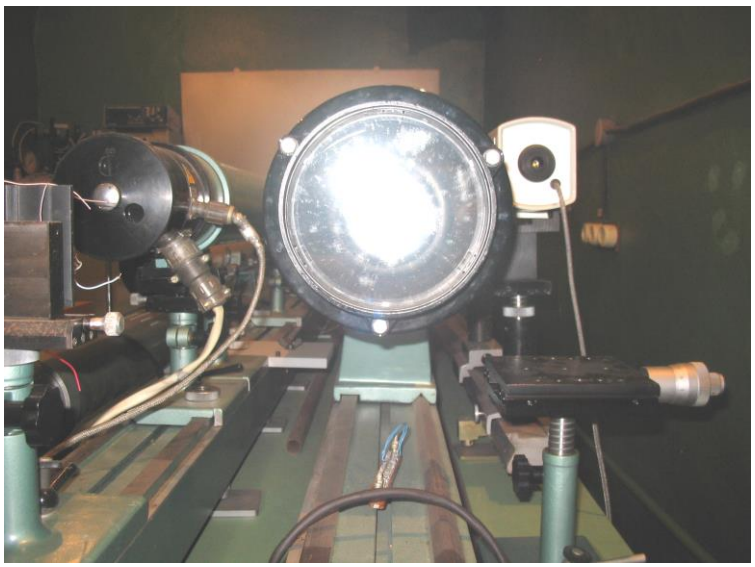


Рис. 14. Вид КОС (коллиматорный объектив с фокусным расстоянием F = 1.2 м)

Рис. 15. Общий вид стенда

Для оценки с помощью стенда помехозащищенности СТУ в условиях воздействия подвижных “точечных” световых помех аналогично рассмотренному выше способу на экране воспроизводится движение N световых помех. При этом соответственно используются N ЗОС со своими источниками излучения и УОЛ. На ПК стенда рассчитываются законы движения каждой из помех в картинной плоскости.

В данной конструкции стенда плоский экран заменен конденсорным объективом. Такое техническое решение позволяет избежать фильтрации спектра излучения экраном и потерь энергии на нем при отражении (светорассеивании). Последнее является весьма важным при использовании в качестве физических моделей излучателей ракеты и/или световых помех маломощных источников излучения (лазеров, светодиодов).

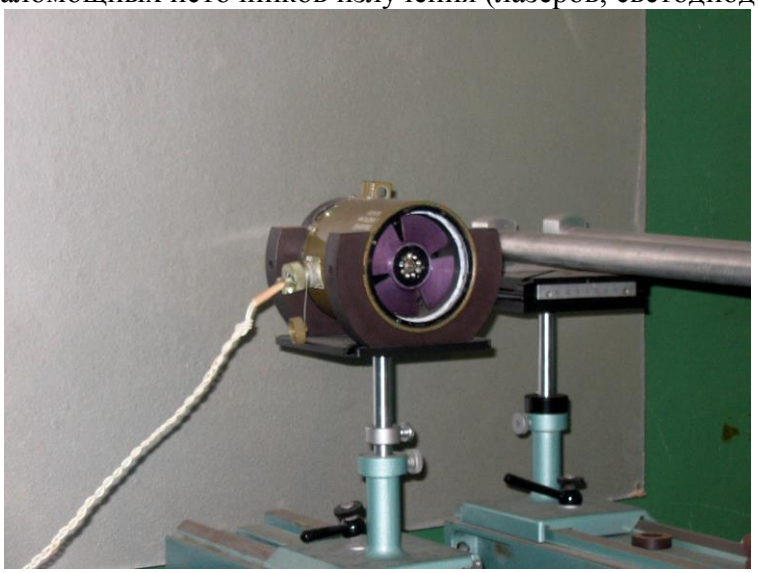


Рис. 16. Общий вид электромеханического модулятора светового потока (на рейтере слева) и имитатора двух световых помех на базе двух светодиодов (на рейтере справа)

Ниже на рис. 17 – 18 представлены фотографии проекций на картинную плоскость (на плоскость экрана) траектории вывода ракеты на линию прицеливания в условиях воздействия движущейся оптической помехи.

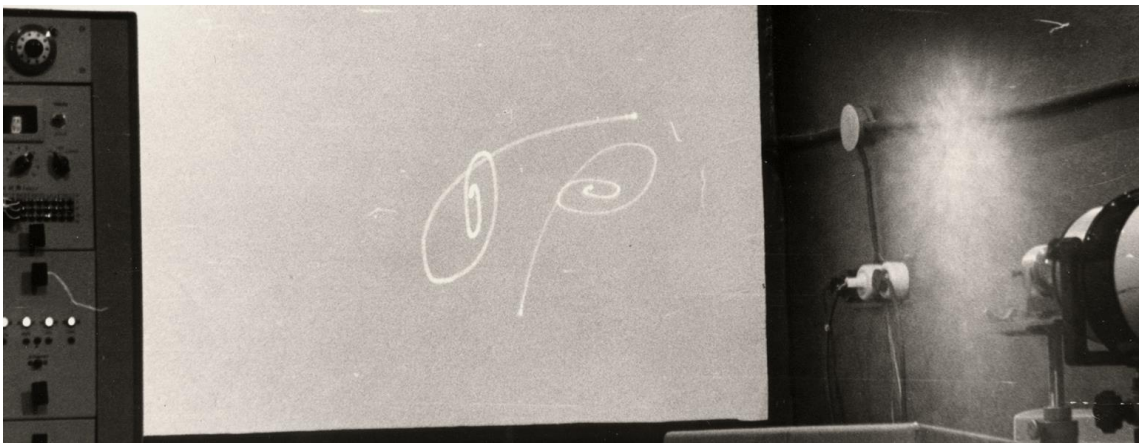


Рис. 17. Траектория вывода ЛА на линию прицеливания в условиях действия движущейся по аналогичному закону оптической помехи

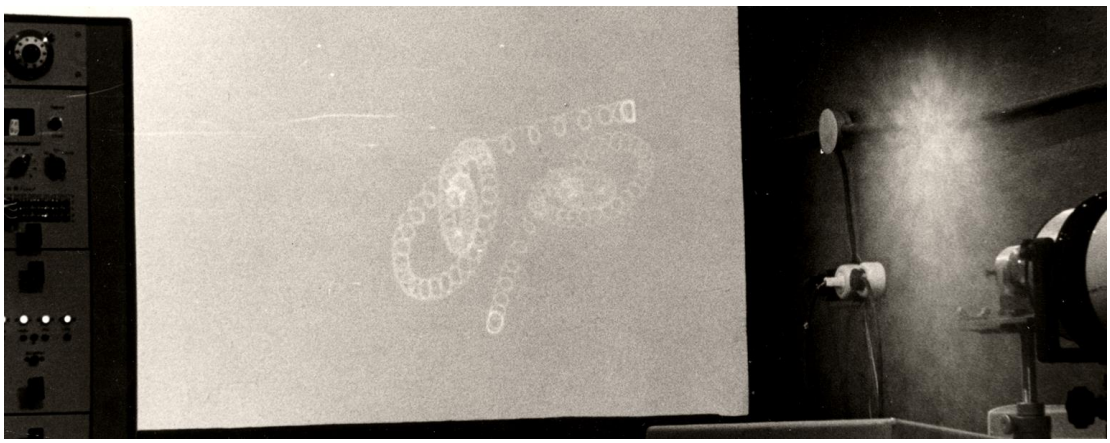


Рис. 18. Траектория вывода ЛА со сканирующим излучателем (вращающегося ЛА с трассером на консоли крыла) на линию прицеливания в условиях действия движущейся по сложному закону оптической помехи.

1.5 Изучение стенда для испытаний ОЭС сопровождения цели

Рассмотрим стенд для динамических испытаний и испытаний на помехозащищённость ОЭС сопровождения цели (ОЭССЦ). Стенд реализован на базе серийной оптической скамьи ОСК-2ЦЛ (рис. 21).

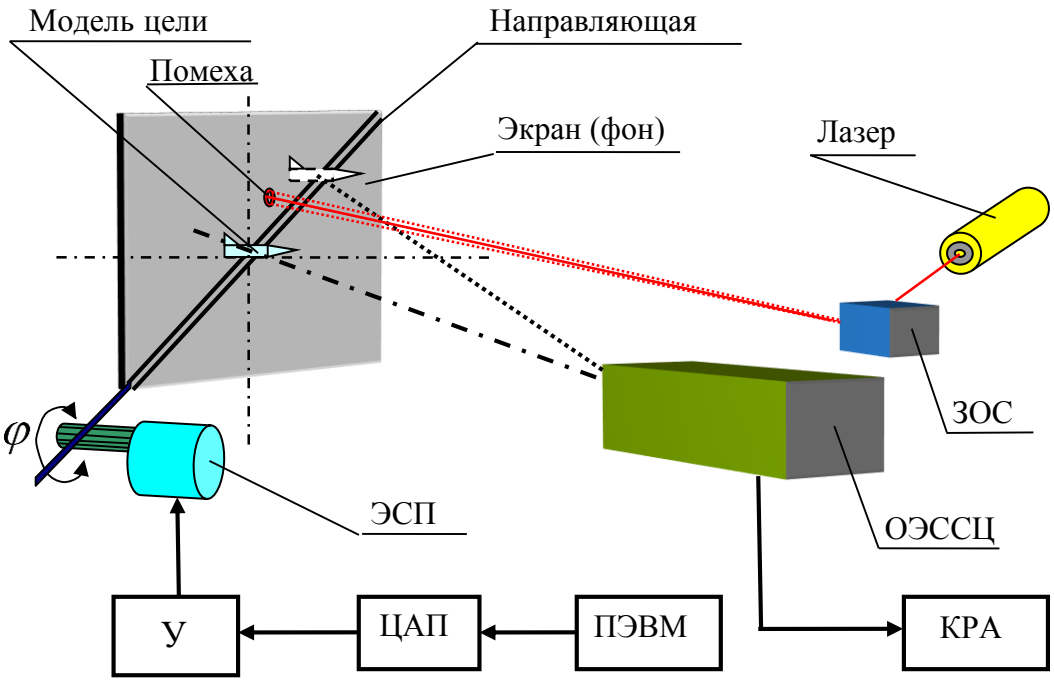


Рис. 19. Принципиальная схема стенда: КРА – контрольно-регистрирующая аппаратура; ЗОС – зеркально-отклоняющая система; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; У – усилитель; ЭСП – электрический следящий привод.

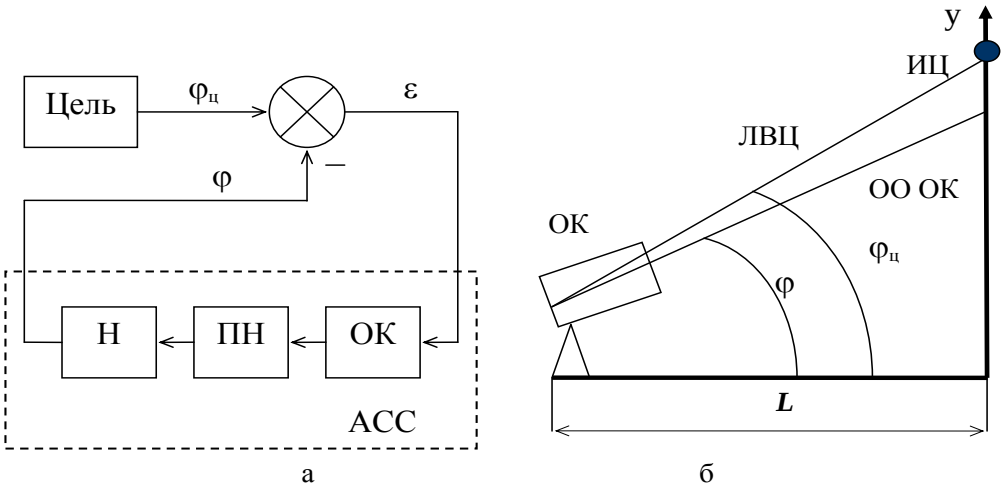


Рис. 20. Функциональная (а) и расчетная (б) схемы ОЭССЦ: АСС – автоматическая система сопровождения; ОК – оптический координатор; ПН – привод наведения; Н – нагрузка; ЛВЦ – линия визирования цели; ОО – оптическая ось; ИЦ – имитатор цели; $\varphi_ц$ – угловая координата цели; φ – угол поворота ОО ОК.

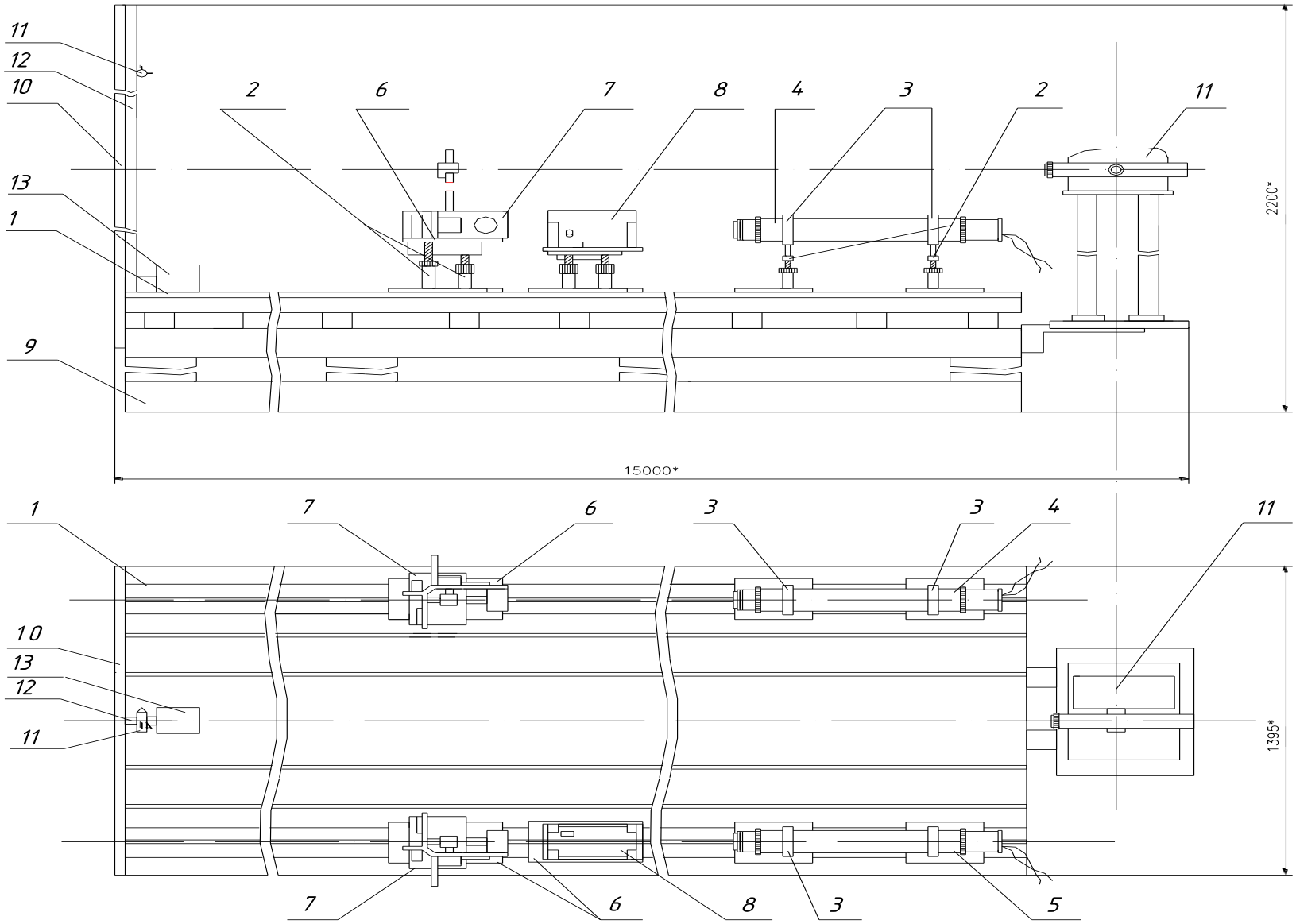


Рис. 21. Стенд для испытаний ОССЦ: 1 - скамья; 2 - рейтер; 3 - хомут крепёжный; 4,5 - лазер; 6 - Крепёжная платформа; 7 - ЗОС; 8 - модулятор; 9 - стол; 10 - экран; 11 - направляющая; 12 - имитатор цели; 13 – ЭСП

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗУЧЕНИЕ СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТИВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОЭС СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- ознакомление с назначением ОЭС сопровождения цели (ОЭССЦ).
- изучение конструкции, принципа действия и методик применения измерительного устройства Image Master®Universal, предназначенного для контроля качества изображения и характеристик объективов, применяемых в современных ОЭССЦ.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Общие сведения об оптических системах сопровождения цели

Для современных УК актуальной является задача полной автоматизации цикла работы – от получения целеуказания до поражения цели. При этом надо обеспечить всепогодность и всесуточность использования комплекса.

Особая роль в решении этой задачи отводится ОЭССЦ, обеспечивающим автоматическое визирование воздушных (ракеты, самолеты, вертолеты, авиабомбы и т.п.), наземных и надводных (объекты бронетанковой техники, инженерные сооружения, корабли различных типов) целей.

В зависимости от физического принципа, заложенного в проектирование ОЭССЦ, различают:

- оптико-механические;
- оптико-электронные телевизионные;
- оптико-электронные тепловизионные.

Излучение фиксируется первичным преобразователем в оптическом (видимом, длина волны $\lambda = 0,38 - 0,76 мкм$) и инфракрасном ($\lambda = 0,76 - 100 мкм$) диапазонах. Первичными преобразователями излучения цели могут служить:

- телевизионная камера;
- тепловизионный прибор;

Оптико-механические системы, размещенные на неподвижном носителе.

Эти системы обеспечивают полуавтоматический режим работы: оператор с помощью прибора наведения осуществляет поиск, обнаружение и сопровождение цели. Датчик команд преобразует угловые перемещения органа управления («колонки», «карандаша», или кнюппеля) в пропорциональные сигналы управления исполнительными приводами вертикального и горизонтального наведения. Как правило, следящие приводы таких систем замкнуты по угловой скорости (тахометрическая обратная связь).

Оптико-механические системы, работающие на подвижном носителе. В этих системах для замера угловых колебаний основания используют гироскопические приборы и системы. Если углы наведения малы (10-15^0) и моменты инерции стабилизируемой нагрузки незначительны, используется режим силовой стабилизации. В этом режиме стабилизация осуществляется за счет гироскопического момента свободного гироскопа.

Угловые колебания основания создают возмущающий момент, действующий по оси наружной рамки и вызывающий прецессию гироскопа. Для компенсации возмущающего момента служит стабилизирующий двигатель, момент которого пропорционален углу прецессии. Двигатель сцеплен с наружной рамкой через редуктор. При равенстве момента прикладываемого к рамке исполнительным двигателем и внешнего момента прецессия прекратится.

В установившемся режиме постоянному возмущающему моменту соответствует постоянный угол прецессии. Чем больше кинетический момент силового гиростабилизатора, тем меньше ошибка стабилизации. Наведения осуществляется

оператором с пульта управления путем подачи сигнала на магнит наведения, создающий управляющий момент на внутренней рамке. При этом возникает прецессия вокруг оси стабилизации. С датчика угла на наружной рамке гироскопа снимается угол наведения, отрабатываемый маломощным электроприводом постоянного тока.

Точность сопровождения цели в оптико-механических системах существенно зависит от основных показателей оптики визира – кратности и разрешающей способности.

Значительное улучшение точности наблюдается при кратности $6-10^{x}$. Разрешающая способность оптики, т.е. способность раздельно видеть две соседние точки, выбирается таким образом, чтобы максимально использовать возможности глаза оператора. Т.к. разрешающая способность глаза составляет примерно $1'$, с учетом увеличения визира 8^{x} принимаем разрешающую способность оптики $8''$.

Однако, разрешающая способность системы «глаз-прибор» в большинстве случаев оказывается хуже разрешающей способности оптики из-за колебаний и вибрации поля зрения, обусловленных нелинейностями приводов наведения, упругими деформациями, циклическими погрешностями механических передач.

Разрешающая способность выбирается исходя из условий уверенного обнаружения цели на фоне местности при максимальной дальности. При выборе разрешающей способности необходимо учитывать возможные колебания поля зрения, вызванные движением носителя и не плавностью слежения за целью.

Телевизионные системы.

В телевизионной системе (ТВ-системе) основным принципом передачи изображения является поэлементная передача значений яркости отдельных элементов изображения, осуществляемая путем анализа пространственно-временного поля объекта на передающей стороне и синтеза изображения на приемной стороне.

Телевизионный автомат – особый тип ТВ-системы в которой видеосигнал, полученный в результате преобразования оптического изображения, подвергается специальной обработке с целью выделения из него только той части информации, которая необходима для решения определенной задачи (о конфигурации, площади и числе отдельных элементов оптического изображения, их цвете, взаимном расположении, линейных размеров, координатах этих элементов в некоторой измерительной системе координат). Телевизионная камера и электронное исполнительное устройство образуют подсистему автоматической телевизионной системы сопровождения.

Для осуществления стабилизированного наведения гироскопическая система измерения углов и качек производит измерения угловых колебаний носителя по трем пространственным осям, а преобразователь координат по тригонометрическим зависимостями осуществляет их пересчет к двум плоскостям наведения.

Реализацию закона управления и коррекцию контура автосопровождения осуществляет центральная вычислительная система, выходной сигнал которой поступает на исполнительный привод, замкнутый по углу поворота цифровым датчиком «вал-код». Телекамера разворачивается таким образом, чтобы свести ошибку слежения к нулю.

Телевизионные системы обеспечивают обнаружение и сопровождение подвижных и неподвижных целей, а также малоразмерных низколетящих целей, слежение за которыми с помощью других средств, например, радиолокационных, затруднено.

Практически все телевизионные системы работают только в дневных условиях, имеют сравнительно небольшую дальность обнаружения и сильную зависимость от характеристик распространения сигнала, не обеспечивают режимов всесуточности и всепогодности применения. Устойчивое сопровождения обеспечивается при соотношении «сигнал/шум» не менее 4-5.

Тепловизионные системы.

Тепловизионные системы автоматического сопровождения целей обнаруживают и сопровождают подвижные и неподвижные цели, имеющие тепловой контраст с фоном.

Инфракрасное излучение ослабляется в результате рассеяния в аэрозолях (туман, дымка, дождь, снег) и поглощения, обусловленного, главным образом, присутствием в атмосфере паров воды и углекислого газа. Свойства и состояние среды существенным образом влияют на дальность обнаружения и сопровождения цели.

2.2. Контроль качества изображения в ОССЦ. Измерение оптических характеристик объективов.

ImageMaster®Universal – это универсальное устройство для исследования характеристик объективов ОССЦ. Прибор работает в широких диапазонах спектра и для различных световых диаметров, и обеспечивает высокоточное измерение оптических характеристик и аберраций объектива, к которым относятся:

- частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), причем как осевое, так и внеосевое измерение;
- фазочастотная контрастная характеристика;
- задний отрезок;
- действительное фокусное расстояние;
- дисторсия;
- астигматизм;
- кривизна изображения;
- хроматические аберрации;
- диафрагменное число;
- половина углового поля и др.

Погрешность измерения ЧКХ на устройстве Image Master®Universal составляет 2%. Измерения могут производиться в инфракрасном, видимом, ультрафиолетовом диапазонах (в зависимости от рабочего диапазона длин волн образца).

В общем случае устройство Image Master®Universal обеспечивает возможность исследования образца из широкого класса оптических систем – от фотографического объектива до телескопа высокого разрешения.

Измерительное устройство Image Master®Universal имеет следующие основные оптико-механические компоненты:

– имитатор объекта;
– зеркальный коллиматор;
– объективо-держатель;
– поворотно-консольная плита;
– анализатор изображения (приёмник излучения)

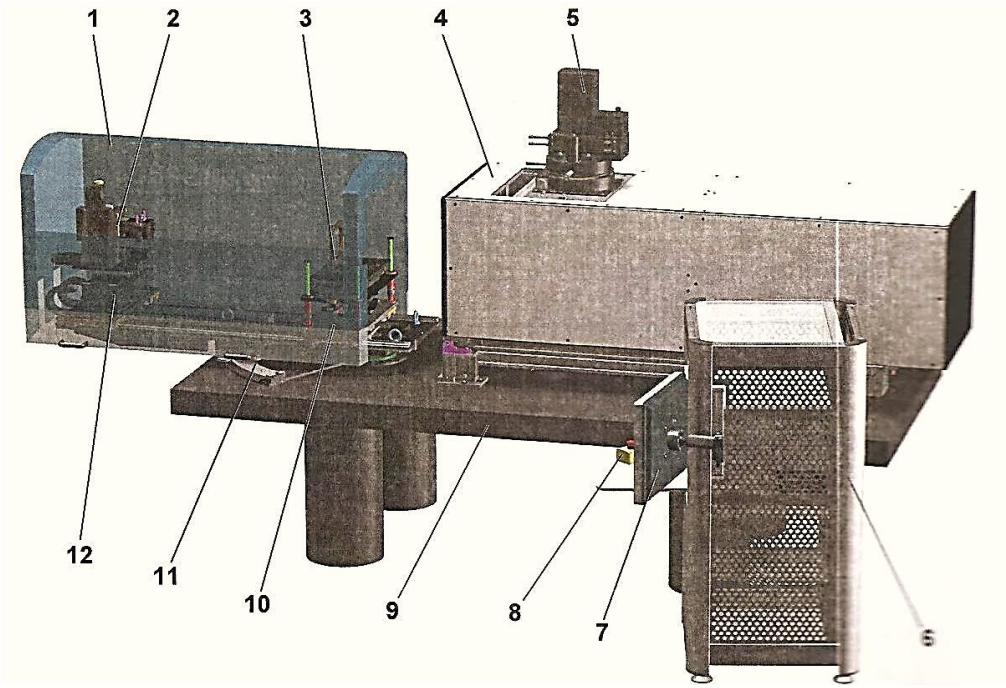


Рисунок 1 – Внешний вид измерительного устройства Image Master®Universal

Основные конструктивные устройства прибора Image Master®Universal обозначены на рис. 1, их названия и функции приведены в таблице 1.

Табл. 1.

Конструктивные устройства прибора *Image Master®Universal* и их функции

11	**Панель блока приемника излучения и образца** Панель защищает от влияния паразитного излучения
22	Анализатор изображения Анализатор может быть оснащен ПЗС-матрицей для измерений в видимой области спектра; матричным приемником на базе тройных соединений КРТ (кадмий-ртуть-теллур), чувствительного в коротковолновом ИК-диапазоне, или на базе антимонида индия, работающего в длинноволновом ИК-диапазоне. Матрица размещается в плоскости изображения короткофокусного объектива, что в совокупности представляет собой анализатор изображения. При необходимости измерения ЧКХ в ультрафиолетовой или инфракрасной областях спектра, используется съемное сканирующее устройство. Измерения в сагиттальной и меридиональной плоскостях могут проводиться как одновременно, так и отдельно в каждой плоскости. Результаты измерения поступают на компьютер, где они обрабатываются. Современная измерительная электроника, оснащенная оптическим модулятором, а также предусилителем и синхронным усилителем с низким уровнем шумов, позволяет получить оптимальное отношение сигнал/шум и ЧКХ высокой точности.
33	Объективо-держатель Имеет вращающуюся часть, которая управляется программным обеспечением. Устройство прочно, изготовлено из стали. Имеет незначительное радиальное и осевое биения, базовые поверхности детали изготовлены с высокой точностью. Является сверх устойчивым.
44	Блок зеркального коллиматора

55	Имитатор объекта
66	Стойка для вспомогательного оборудования
77	Монитор
88	Кнопка экстренной остановки
99	Оптический стол
110	Скользящая часть объектив держателя
111	Блок поворотно-консольной плиты
112	Скользящая часть приемника излучения Позволяет осуществлять перемещение приемника по направляющим вручную

Рассмотрим состав и принцип действия измерительного устройства *Image Master®Universal*

Оптическая система устройства состоит из следующих частей (рис.2):

- источник света;
- тест-объекта, в качестве которого применяется сетка;
- внеосевого параболического зеркала;
- длиннофокусного объектива;
- приёмника излучения.

Источник света **6** освещает тест-объект **3**, который помещен в фокальной плоскости объектива. Испытуемый образец **2** расположен между объективом коллиматора **4** и приёмником излучения (анализатором изображения) **1** так, что фокальная плоскость образца совпадает с плоскостью установки приёмника излучения. Лучи света, проходящие через тест-объект (сетку), попадают на внеосевое параболическое зеркало **5** и, отражаясь, падают на объектив коллиматора, после которого выходят параллельным пучком. Далее параллельный пучок попадает на испытуемый образец, который формирует изображение освещаемой сетки на приёмнике излучения, которым служит ПЗС-матрица.

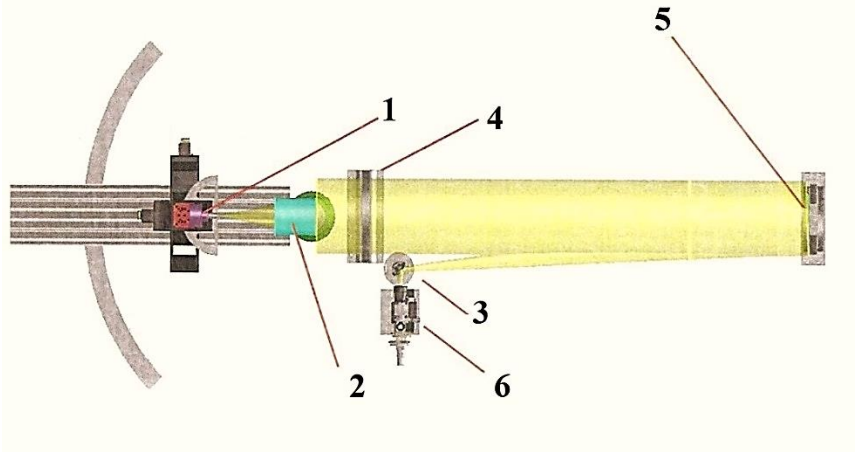


Рисунок 2 – Принцип действия оптической системы устройства Image Master®Universal

Изображение, формируемое на приёмнике излучения, оцифровывается и обрабатывается персональным компьютером (ПК), с помощью специальной программы для измерения оптических характеристик.

На сетке обычно нанесено изображение одиночной длинной щели, поэтому получаемое распределение освещенности изображения сетки представляется через преобразование Фурье в виде функции рассеяния линии (ФРЛ), зная которую, можно непосредственно получить функцию передачи модуляции (ФПМ) или, иными словами, частотно-контрастную характеристику (ЧКХ) испытуемого образца.

Программное обеспечение (ПО), которое дополнительно встроено в операционную систему *Windows*, осуществляет анализ полученного изображения. С помощью преобразования Фурье вычисляются ФРЛ и ФПМ.

Диапазон вычисления ФПМ предопределяется в измерительной программе. Перемещение измерительной системы, а также подфокусировка по полю осуществляется автоматически.

Рассчитанные значения ФПМ выводятся на экране дисплея в виде графика и табличных значений.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о качестве испытуемого образца.

Также, с помощью ПК осуществляется управление движением подвижных узлов измерительной системы по направляющим через блок управления, связанного с ПК посредством последовательных портов.

Все измерения выполняются абсолютно автоматически, таким образом, минимизируется влияние оператора на результаты измерения.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Ознакомиться с конструкцией и принципом действия измерительного устройства *Image Master®Universal*.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить теоретическую часть.

Ответить на контрольные вопросы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собою представляет измерительное устройство *Image Master®Universal* и для чего оно необходимо?
2. Опишите принцип действия оптической системы устройства *Image Master®Universal*.
3. Для чего нужно внеосевое параболическое зеркало?
4. Что может служить приемником излучения устройства *Image Master®Universal*.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТИВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОЭС СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

- изучить интерфейс программного обеспечения измерительного устройства Image Master®Universal;
- ознакомиться с последовательностью действий по юстировке объектива на измерительном устройстве Image Master®Universal.
- ознакомиться с последовательностью действий по проведению измерений дисторсии на устройстве Image Master®Universal.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) MTF Lab служит для управления функционированием измерительного устройства Image Master®Universal. При запуске ПО открывается программное окно, структура которого меняется в зависимости от выбираемой программы.

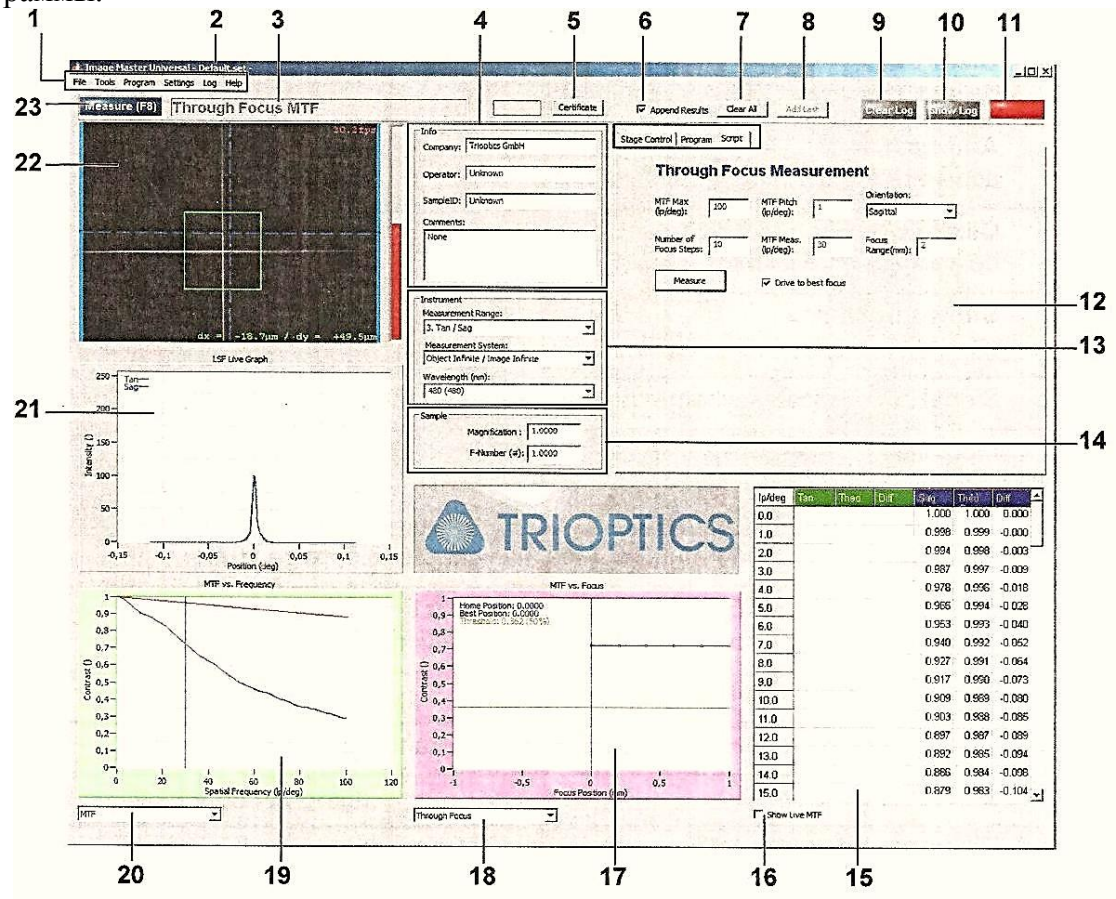


Рисунок 1 – Программное окно

Программное окно содержит следующие элементы (представлены в таблице 1).

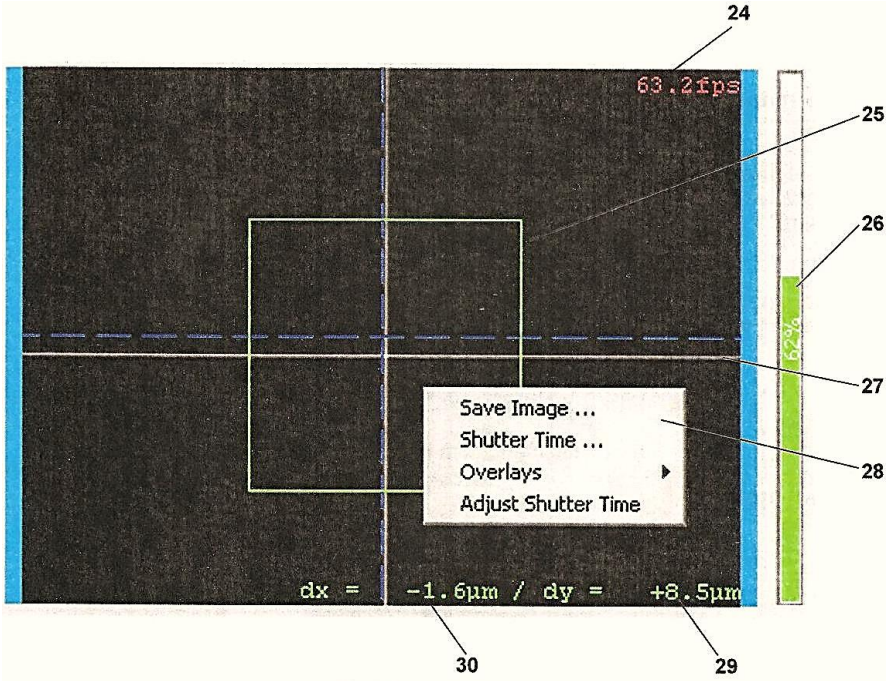


Рисунок 2 – Увеличенный вид области изображения программного окна

Таблица 1.

Элементы программного окна

11	Строка меню
22	Главное окно
33	Строка отображения выбранной программы измерения
44	Панель справочной информации (для сертификата)
55	Кнопка ‘Certificate’ Открытие сертификата (формат МНТ)
66	Кнопка-флажок ‘Append Results’ Для добавления результатов измерения в сертификат поставить метку выбора внутри кнопки-флажка
77	Кнопка ‘Clear All’ Удаление из сертификата результатов измерения
88	Кнопка ‘Add Last’ Добавление в сертификат отдельных измерений
99	Кнопка ‘Clear Log’ Удаление записей из системного журнала
110	Кнопка ‘Show Log’ Открытие записей системного журнала
111	Сигнальное поле: указывает на возникшую ошибку
112	Область ввода параметров программы измерения
113	Окно выбора номера сетки и фильтра
114	Область ввода значений фокусного расстояния и диафрагменного числа
115	Область табличного представления заданной и измеренной ЧКХ для меридиональной и сагиттальной плоскостей в режиме реального времени
116	Кнопка-флажок ‘Show Live MTF’ Для отображения ЧКХ в режиме реального времени поставить метку выбора внутри кнопки-флажка
117	Область графического представления результатов измерения (в зависимости от выбранной программы)
118	Строка выбора программ

119	Область графического представления результатов измерения (в зависимости от выбранной программы)
220	Строка выбора программ
221	Область графического представления ФРТ (ЧКХ) и ФРЛ в режиме реального времени
222	Область изображения, получаемого с камеры в режиме реального времени
223	Кнопка ‘Measure F8’. Запуск измерения
224	Значение текущей скорости регенерации изображения
225	Область интереса
226	Столбчатый индикатор величины насыщения ПЗС-матрицы (%) при экспозиции
227	Изображение сетки (режим реального времени)
228	Вызвано меню (щелкнуть правой кнопкой мыши)
229	Расстояние (мкм) от центра изображения перекрестия (сетки) до центра неподвижного перекрестия по оси ординат. Центр неподвижного перекрестия определяет положение оптической оси анализатора изображения, по оси ординат
330	Расстояние (мкм) от центра изображения перекрестия (сетки) до центра неподвижного перекрестия по оси абсцисс.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Ознакомиться с интерфейсом программного обеспечения измерительного устройства Image Master®Universal.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить теоретическую часть.

Ответить на контрольные вопросы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое разрешающая способность оптической системы?
2. Что такое ФПМ и ФРЛ?
3. Что собою представляет программное окно?
4. Назовите несколько элементов программного окна и их функции.

2.2. Методика юстировки объектива

1. Включить сетевой удлинитель. При включении удлинителя активизируются следующие устройства:

– блок управления шаговым двигателем;
– блок питания;
– энкодер.

2. Включить ПК и монитор.
3. Включить устройство аварийного отключения.
4. Включить лабораторный блок электропитания.
5. На рабочем столе компьютера найти значок ‘Start MTF Lab’ (рисунок 1 (слева)) и нажать на него два раза. Появится окно, изображенное на рисунке 1 (справа). Нажать кнопку ‘OK’.
6. В появившемся окне нажать кнопку ‘Initialize’, после чего произойдет инициализация установки.

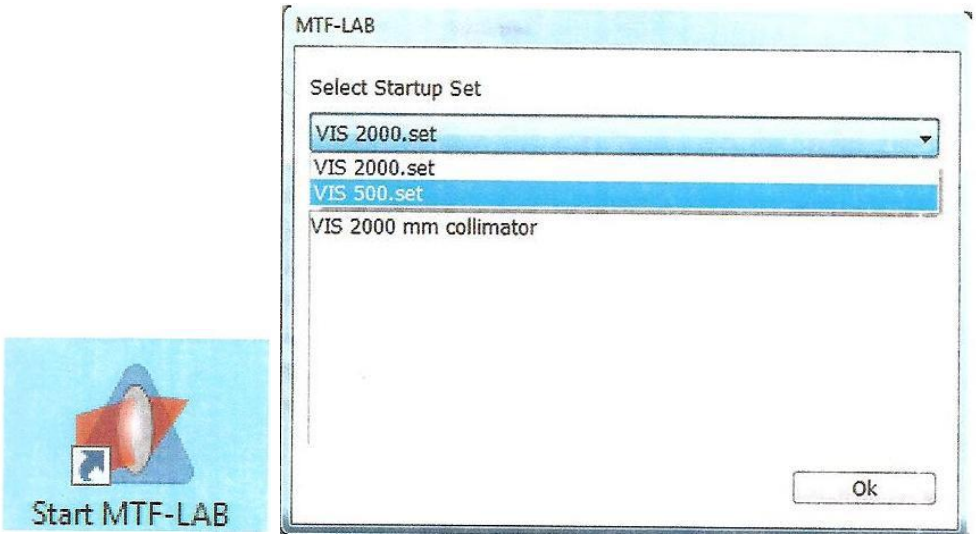


Рисунок 1 – Значок запуска программы ‘Start MTF Lab’ (слева), окно запроса MTF-LAB (справа)

7. В отобразившемся окне запроса ‘Reticle’ выбрать нужную сетку нажатием кнопки ‘Yes’ или ‘No’. Нажав кнопку ‘Yes’, Вы принимаете указанную в идентификаторе номер держателя, то есть соответствующую ему сетку (рисунок 2 (снизу)). При нажатии кнопки ‘No’, в поле ‘Instrument’ главного окна выбрать нужную сетку из списка (рисунок 2 (сверху)).

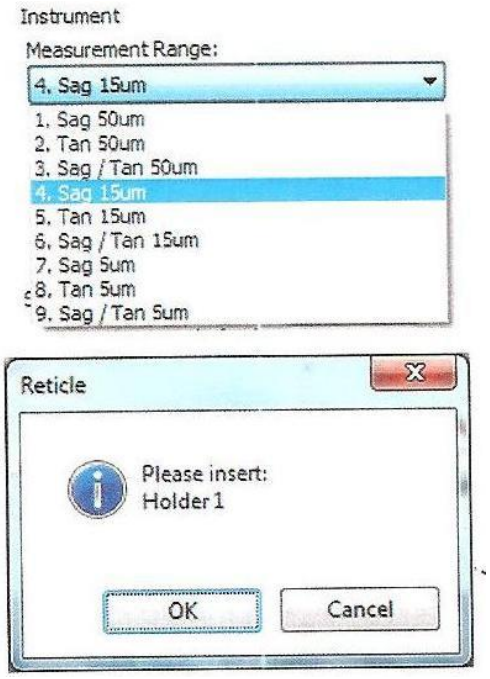


Рисунок 2 – Выпадающий список поля ‘Instrument’ (сверху), окно запроса (снизу)

Номер сетки выбирается исходя из формулы:

$$\textit{ширина щели} < \frac{f_{кол}}{f_{обр}} \cdot \frac{1}{1{,}5 \cdot f_{част}},$$

где $f_{кол}$ – фокусное расстояние коллиматора; $f_{обр}$ – фокусное расстояние испытуемого образца; $f_{част}$ – принимаемая средняя пространственная частота.

Пример.

Фокусное расстояние коллиматора $f_{кол}$ =2500 мм, фокусное расстояние образца $f_{обр}$ =100 мм, для пространственной частоты $f_{част}$=50 мм$^{-1}$, ширина щели равна 0,33, поэтому выбираем сетку из 1 – 3 номеров с размером щели 50 мкм. Номер сетки выбирается в зависимости от того, в какой плоскости будут проводиться измерения (сагиттальной, меридиональной или в обеих плоскостях).

8. В окне запроса ‘Filter’ выбрать нужный фильтр. Последовательность действий аналогична пункту 7. Длина волны максимума пропускания фильтра должна быть близкой к основной длине волны образца.

9. Ввести расчетный фокус испытуемого образца в ячейку ‘EFF Sample (mm)’ в миллиметрах и диафрагменное число в ячейку ‘F-Number (#)’ поля ‘Sample’.

10. Открыть крышку кожуха блока приемника излучения и образца.

11. Вставить испытуемый образец в объективо-держатель.

12. Отодвинуть анализатор изображения от образца.

12. Во вкладке ‘Stage control’ выделить строку ‘Focus’. Для регулировки скорости перемещения анализатора изображения установить движок в положение 100%.

13. Нажать на кнопку с двойной стрелкой и держать до тех пор, пока анализатор изображения не прекратит движения вперёд.

Процедура поиска изображения.

1. Извлечь сетку, кликнуть правой кнопкой мыши в области изображения, получаемого с камеры. Появиться контекстное меню, из которого выбрать строку ‘Shutter Time…’. В открывшемся окне ‘Set Shutter Time’ установить движок в положение максимальной освещенности.

2. Аккуратно пододвигать анализатор изображения к фокальной плоскости образца до тех пор, пока на мониторе не появится пятно, формируемое самим образцом.

Чтобы пятно было в центре анализатора (на экране монитора это соответствует совмещению центра пятна и перекрестия, определяющего центр камеры) необходимо использовать кнопки с изображением стрелок, общих для команд вкладки ‘Stage Control’. Для поперечного перемещения анализатора используется строка ‘ImgHeight’, для продольного – ‘Focus’, чтобы устанавливать по высоте следует крутить винт **2** (рисунок 3).

3. Установить сетку. При проверке объектива сразу в двух плоскостях – сагиттальной и меридиональной – устанавливают сетку с перекрестием.

4. Используя строку ‘Focus’ найти наилучшее положение изображаемого перекрестия, и выставить по центру, используя строку ‘ImgHeight’. Центрирование по высоте осуществляется с помощью винта **2**.

5. Чтобы обеспечить соосность образца и анализатора, необходимо выполнить следующее. Во вкладке ‘Tools’ окна ‘MTF-LAB-Visible.set’ выбрать команду ‘Rotate Sample’, которая обеспечивает вращение объектива вокруг своей оси. В поле изображения, получаемого с камеры, появиться небольшой крест. С помощью винтов объективодержателя **1** (рисунок 3) совместить крест с изображением сетки, после чего, вновь подъюстировать образец с помощью винта **2**, а также команд ‘ImgHeight’ и ‘Focus’.

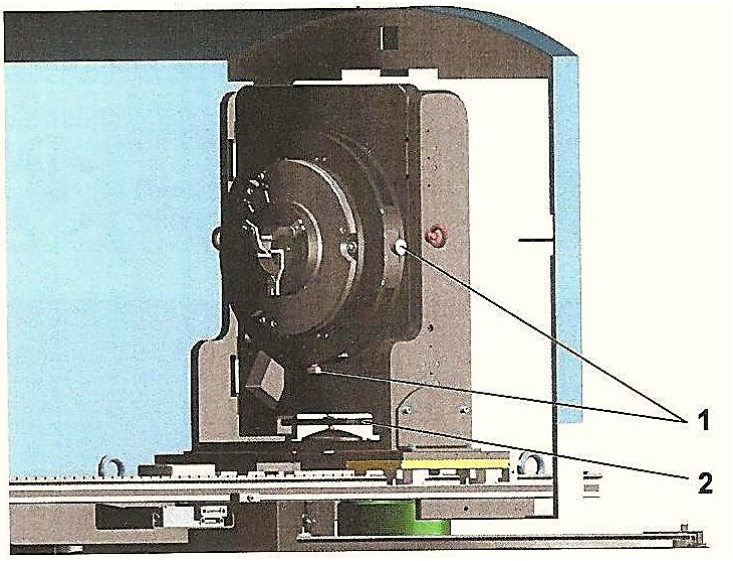


Рисунок 3 – Внешний вид объектив держателя

Последовательность действий в данном пункте желательно повторить несколько раз.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить теоретическую часть.

Ответить на контрольные вопросы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выбрать фильтр?
2. Как выбрать тест-объект (сетку)?
3. Какие действия необходимо выполнить, чтобы на мониторе появилось пятно, формируемое исследуемым образцом?
4. Как совместить оси анализатора изображения и образца?

2.3 Проведение измерения дисторсии на устройстве Image Master®Universal

Методика измерения дисторсии следующая.

1. Провести юстировку испытуемого образца. Последовательность действий приведена в лабораторной работе №3.

2. Открыть вкладку ‘Program’. В поле программы нажать правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню выбрать ‘EFL’. Эта программа позволяет определить действительное фокусное расстояние образца. Провести измерение.

В областях графического и табличного представлений результатов измерения появятся графики ЧКХ.

Для измерения дисторсии, выбрать из контекстного меню ‘Distortion’. В ячейке ‘Num. of LSF Steps’ ввести число 500; в ячейке ‘Range LSF (mm)’ – 0,5; в ячейке ‘Num. of Dist. Steps’ – количество принимаемых значений дисторсии, ввести, например число 10, в ячейке ‘Dist. Range (mm)’ – диапазон изменения дисторсии – 10. В списке ‘Reference’(ссылка на поле, относительно которого проводится измерение) выбрать, например, угловое поле в пространстве предметов ‘Object angle’. Графики полученных результатов измерений представлены на рисунке 4 и рисунке 5.

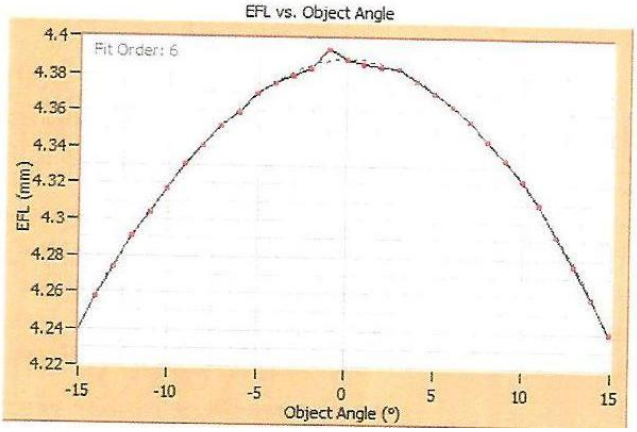


Рисунок 4 – Зависимость фокусного расстояния образца от углового поля в пространстве предметов

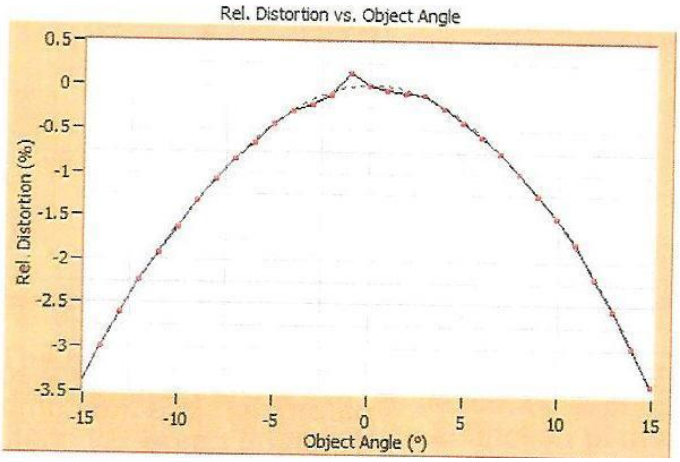


Рисунок 5 – Зависимость дисторсии от углового поля в пространстве предметов

Нажать кнопку ‘Certificate’ и после открытия сертификата сохранить его в формате MHT.

Для афокальных систем принцип измерения дисторсии схож с выше описанным. Единственное отличие состоит в том, что измерения относительно линейного поля в пространстве изображений не проводятся – линейное поле заменяется угловым.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретическую часть, ответить на контрольные вопросы.
2. Создать отчет (сертификат), в котором должны присутствовать все полученные графики и табличные значения.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать титульный лист, цели и задачи работы и результаты измерений.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое аберрации?
2. Что такое дисторсия?
3. Как можно оценить качество изображения?
4. Какими иными способами можно измерить ЧКХ?
5. Почему для афокальных систем не применимы измерения относительно линейных полей?

Библиографический список

1. Погорельский С.Л. Прикладная оптика. Курс лекций: учеб. пособие для вузов; Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 235 с.
2. Панова В.И. Приборы и системы управления подвижными объектами/ В.И. Панова, В.А. Смирнов. Пособие для вузов; Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – 148 с.
3. Можаров Г.А. Основы геометрической оптики: Учеб. Пособие. – М.: Университетская книга. Логос, 2006. – 280 с.
4. Якушенков Ю.Г. Проектирование оптико-электронных приборов. – М.: Университетская книга. Логос, 2000. – 488 с.
5. Парвулюсов Ю.Б. [и др.] Проектирование оптико-электронных приборов; М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.
6. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения: Учебник для вузов; М.: Машиностроение, 1989. – 412 с.
7. Дубиновский А.М., Панков Э.Д. Стендовые испытания и регулировка оптико-электронных приборов. М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
8. Воробьев В.В. и др. Комбинированное моделирование систем автоматического управления. Учебное пособие. – Тула: ТулПИ. 1991. – 96с.
9. Воробьев В.В. и др. Моделирование динамических испытаний оптико-электронных систем управления. //Моделирование и оптимизация систем автоматического управления и их элементов. – Тула. ТулПИ, 1989. С.137 – 145.