

Т е м а № 2. «Зенитная управляемая ракета 9М39»

**Занятие № 7. «Оптические
системы оптико-электронных
устройств».**

Вопросы занятия:

1-ый вопрос: Назначение, структура и особенности оптических систем ОЭУ.

2-ой вопрос: Конструктивные схемы оптических систем ОЭУ типовых образцов специальной техники.

3-ий вопрос: Анализаторы изображения ОЭУ типовых образцов специальной техники.

1-ый вопрос: **Назначение, структура и особенности оптических систем ОЭУ.**

Работа оптико-электронных устройств (ОЭУ) самонаведения зенитных управляемых ракет (ЗУР) основана на использовании электромагнитной энергии оптического диапазона. Важнейшей частью таких приборов являются оптические системы.

Излучение инфракрасных источников является ненаправленным, поэтому приемник лучистой энергии улавливает только ничтожную его часть. Наличие в составе ОЭУ оптической системы, улавливающей и концентрирующей излучение, позволяет его использовать более эффективно.

Активные ОЭУ обладают как передающей, так и приемной оптической системами. Пассивные и полуактивные бортовые ОЭУ самонаведения ЗУР имеют только приемную оптическую систему.

Приемной оптической системой называется комплекс оптических элементов, установленных на входе лучистого потока от цели и преобразующих параллельный лучистый поток в модулированные управляющие оптические сигналы, несущие информацию о координатах цели. Эта система заканчивается оптически чувствительным слоем приемника лучистой энергии (ПЛЭ), который преобразует оптическую энергию от цели в электрическую, и конструктивно входит в состав системы первичной обработки информации.

Главной задачей, решаемой оптической системой ОЭУ, является улавливание излучения цели и его фокусировка на чувствительном элементе фотоприемника.

В состав оптической системы (см. рис. 1.) входят следующие функционально необходимые элементы.



Рис. 1. Структурная схема оптической системы

Объектив фокусирует параллельный лучистый поток в фокальной плоскости, в которой находится растр **анализатора изображения и приемник лучистой энергии.**

С помощью анализатора изображения выделяется полезный сигнал от цели в общем потоке лучистой энергии, проходящем через оптическую систему прибора, что обеспечивает определение координат цели.

Для уменьшения влияния излучения фонов и искусственных помех в приемные оптические системы включают **фильтры**, ограничивающие ширину рабочего диапазона длин волн в канале связи.

Для изменения направления оси оптической системы при осуществлении поиска цели и слежения за нею, в оптическую систему прибора самонаведения включают отклоняющее устройство.

Оптические приборы ГСН ЗУР, устанавливаемые в головной части, подвержены воздействию встречного потока воздуха, поэтому они снабжены защитным элементом (**обтекателем**) в виде колпака или пластины. Защитный элемент должен быть прозрачным для излучения рабочего диапазона длин волн, поэтому он также входит в состав приемной оптической системы прибора.

Точность самонаведения ЗУР на цель в значительной степени определяется размерами точечного изображения цели в фокальной плоскости оптической системы, так как именно этот размер определяет разрешающую способность ГСН. Чем меньше размер изображения точечной цели, тем точнее определяются ее угловые координаты. Следовательно, в первую очередь, **оптическая система должна обеспечивать минимальные размеры изображения цели.**

Поиск и захват цели должен осуществляться на максимально возможных дальностях и цель при этом часто оказывается под значительным углом к оси оптической системы, поэтому угол обзора пространства должен быть достаточно большим. Следовательно, в оптико-электронных устройствах, решающих задачи обзора пространства, нужно иметь **оптические системы с полем зрения 60...120°.**

При уменьшении мгновенного поля зрения чувствительность и помехоустойчивость ОЭУ возрастают, так как отношение полезного лучистого потока к потоку от помех на чувствительной площадке приемника увеличивается. Поэтому при работе приборов самонаведения в режиме слежения за целью мгновенное поле зрения оптической системы должно быть достаточно узким. При этом нужно отметить, что уменьшение мгновенного поля зрения вызывает необходимость использования приемника меньших размеров, а так же увеличения фокусного расстояния оптической системы.

Для обеспечения необходимой точности определения угловых координат цели в процессе поиска, захвата и слежения за целью, особенно на конечном участке траектории, оптические системы приборов самонаведения должны обладать высокой угловой разрешающей способностью. Это обеспечивается выбором минимальной величины элементарного поля зрения оптической системы. Обычно элементарное поле зрения определяется размерами прозрачных элементов на модулирующем растре, которые выбираются исходя из размеров абберационного пятна рассеяния оптической системы.

Оптическая система должна концентрировать в точечном изображении цели максимально возможную энергию излучения цели, так как в этом случае прибор самонаведения, при прочих равных условиях, обеспечит большую дальность действия.

Следовательно, в целях повышения коэффициента оптического усиления, оптическая система должна обладать максимально возможным полезным входным отверстием в заданных габаритах, иметь минимальное количество преломляющих и отражающих поверхностей и наименьшую толщину оптических деталей, сильно поглощающих излучение рабочего диапазона длин волн.

Оптические и оптико-электронные системы бортовых приборов должны обладать также высокой стабильностью параметров в условиях неблагоприятного воздействия ускорений, тряски, вибраций, а также различных излучений лучистой энергии и тепловых полей.

2 – ой вопрос: Конструктивные схемы оптических систем ОЭУ типовых образцов специальной техники.

1. Линзовые системы

Линзовые оптические системы состоят из нескольких линз или их комбинаций, каждую из которых можно рассматривать как отдельную оптическую систему. Простейшая линзовая схема содержит только объектив (рис. 2), в этом случае приемник излучения и анализатор изображения нужно расположить в одной и той же фокальной плоскости, что конструктивно затруднено.

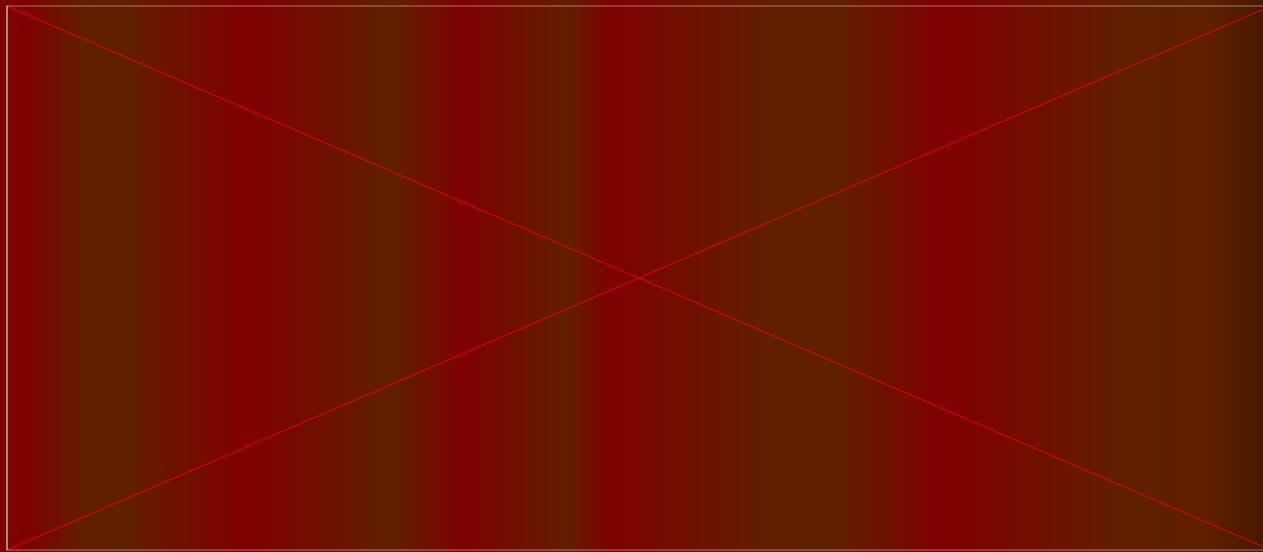


Рис. 2. Схема линзовой оптической системы

При отклонении цели от оси оптической системы ее изображение перемещается в фокальной плоскости объектива и искажается. Если приемник установлен в этой плоскости и имеет одну чувствительную площадку малых размеров, то его необходимо непрерывно перемещать в мгновенную точку падения лучей на значительные расстояния в пределах поля зрения объектива, что усложняет конструкцию оптической системы.

Необходимость перемещения приемника отпадает, если его площадь увеличить до размеров линейного поля зрения объектива. Однако при одноэлементном приемнике это приведет к недопустимому снижению дальности действия и точности определения координат цели. Это связано с падением чувствительности ПЛЭ, вызванного увеличением шумов от фонов.

Для устранения этих недостатков в состав линзовой схемы кроме объектива включают дополнительную собирающую линзу, называемую **конденсором**. В таких ОС растр анализатора изображения устанавливается в фокальной плоскости объектива, а приемник лучистой энергии — в фокальной плоскости конденсора.

Конденсор собирает энергию, прошедшую через растр анализатора изображения, и концентрирует ее на чувствительной площадке приемника, которая может быть значительно меньших размеров, чем в оптической системе без конденсора. При этом лучистый поток засвечивает всю чувствительную площадку приемника, снижая шумы, вызванные неравномерностью чувствительности ее слоя, повысив при этом пороговую чувствительность.

Основными недостатками линзовых оптических систем, затрудняющих их использование в ГСН ЗУР, являются большие линейные размеры, а также то, что крупные линзы имеют большую массу и создают значительные потери лучистой энергии за счет поглощения. ОС линзового типа нашли применение в некоторых ОЭУ обзора и слежения, а также в ОЭУ наблюдения, например, в ТОВ 9ШЗ8 и ПНВ-57Е.

2. Зеркальные системы

Основное преимущество зеркальных оптических элементов состоит в том, что лучистый поток не проходит сквозь тело оптической детали, чем устраняются потери лучистой энергии на поглощение.

Подложки непрозрачных зеркал с наружным отражением при любых длинах волн рабочего диапазона излучения изготавливаются, как правило, из широко распространенных в оптическом приборостроении относительно дешевых, прочных, хорошо обрабатываемых и стабильных в эксплуатации кроновых сортов оптического стекла, применяют также металлы и пластмассы, но они значительно уступают кроновым стеклам в отношении качества поверхности и стабильности свойств в условиях эксплуатации.

Для повышения коэффициента полезного действия оптической системы зеркальный слой должен обладать максимальной спектральной отражательной способностью в рабочем интервале длин волн.

Схема простейшей зеркальной системы состоит из зеркального отражателя, предназначенного для собирания и фокусировки лучистой энергии на чувствительную площадку фотоприемника, и представлена на рис. 3.

Рис. 3. Схема однозеркальной оптической системы

Простейшие конструктивные схемы зеркальных оптических систем применяются в приборах самонаведения с защитными элементами из плоскопараллельных пластинок. При переднем расположении приемника лучистой энергии оптическую систему можно выполнять в виде одного зеркала, установленного отражающей поверхностью в сторону источника излучения.

Вогнутое зеркало характеризуется в основном диаметром действующего отверстия D , фокусным расстоянием f от вершины отражателя O до главного фокуса F , в котором сходятся лучи, падающие на зеркало параллельно его оптической оси, а также телесным углом охвата $\Omega_{\text{охв}}$ с вершиной в главном фокусе, опирающимся на площадь круга действующего отверстия. Величина телесного угла охвата вогнутого зеркала определяется формулой

$$\Omega_{\text{охв}} = 2\pi[1 - \cos(\varphi_{\text{охв}}/2)],$$

где $\varphi_{\text{охв}}$ - плоский угол охвата с вершиной в главном фокусе, опирающийся на диаметр действующего отверстия.

Приемник лучистой энергии устанавливают, как правило, в главном фокусе отражателя, так как цель находится в практической бесконечности и идущие от нее лучи параллельны оптической оси. При конечных размерах чувствительной площадки приемник лучистой энергии воспринимает и часть лучей, падающих непараллельно оптической оси в пределах угла $2\omega_{\text{мгн}} = Dn/f$, равного отношению диаметра чувствительной площадки приемника лучистой энергии к фокусному расстоянию зеркала. В приборах самонаведения и наведения с оптической осью, отклоняющейся при поиске цели или в процессе слежения за ней, угол $2\omega_{\text{мгн}}$ называется углом мгновенного поля зрения.

Более удобной является двухзеркальная оптическая система. В простейшем виде его схема состоит из основного вогнутого зеркала с отверстием в центральной зоне и второго зеркала, называемого контррефлектором (рис.4.)

Важным конструктивным преимуществом такой схемы являются малые габариты вдоль оси, что позволяет значительно сократить габариты всего прибора, позволяют получить значительно большее поле зрения, чем однозеркальные схемы.

a

б

Рис.4. Схемы двухзеркальной оптической системы

На рис. 4, а используются следующие обозначения: 1 - контррефлектор; 2 - основное зеркало; 3 - плоскость анализатора изображения; 4 - приемник лучистой энергии.

Недостаток данной схемы: необходимость совмещения в одной плоскости диска с модулирующим растром и приемника лучистой энергии, что вызывает конструктивные трудности.

Такой недостаток отсутствует в оптической системе, устройство которой показано на рис 4, б. Она состоит из выпуклого первого зеркала 1, второго вогнутого зеркала 2 с отверстием 3 и конического зеркального конденсора 4, названного «световой ловушкой». Конический зеркальный конденсор установлен в расходящемся лучистом потоке за эквивалентным фокусом системы и предназначен для собирания лучей на приемник излучения 5. Система имеет две плоскости изображения, в которых конструктивно независимо устанавливают диск модулирующего растра 6 и приемник излучения.

Недостатками зеркальных оптических систем являются: вынужденное экранирование центральной части падающего лучистого потока и необходимость их герметизации дополнительным прозрачным защитным элементом.

3. Зеркально-линзовые системы

Зеркально-линзовые системы в сравнении с зеркальными обладают большим количеством коррекционных параметров, такими, как показатель преломления и дисперсия прозрачного материала линз.

Прозрачные материалы линз можно использовать в качестве фильтров, ограничивающих рабочую полосу длин волн лучистой энергии. В некоторых случаях в зеркально-линзовых системах применяют зеркала с внутренним отражающим слоем, которые одновременно выполняют роль и коррекционной линзы. Для узкопольных несканирующих ОЭУ самонаведения и тепlopеленгаторов с зеркально-линзовыми системами наиболее приемлемыми являются схемы, в которых в качестве первичной линзы включается прозрачный защитный элемент в виде сферического обтекателя, представляющий собой мениск.

Оптимальные значения показателя преломления составляют $n = 1,58 \dots 1,83$.

Простейшая менисковая зеркально-линзовая оптическая система (рис. 5, а) состоит из менискового сферического защитного колпака и вогнутого сферического зеркала с внешним отражающим покрытием. Менисковый обтекатель представляет собой систему с осевой толщиной d_0 , превышающей разность величин радиусов $\Delta R = R_1 - R_2$ примерно в 1,4...1,7 раза. По условиям технологии изготовления и прочности принимают осевую толщину обтекателя, равной $d_0 \approx 0,1D$.

а

б

Рис. 5. Схемы зеркально-линзовой оптической системы

На рис. 5, а обозначены: 1 - менисковый сферический обтекатель; 2 - вогнутое сферическое зеркало; 3 - приемник лучистой энергии; 4 - плоскость раstra анализатора изображения.

На рис 5, б изображена схема зеркально-линзовой оптической системы с контррефлектором: 1 - менисковый сферический обтекатель; 2 - сферическое зеркало; 3 - контррефлектор; 4 - плоскость раstra анализатора изображения; 5 - приемник лучистой энергии; 6 - входное отверстие.

Самая простая менисковая зеркально-линзовая оптическая система значительно превосходит подобные по сложности линзовые и зеркальные схемы.

Использование в качестве коррекционного мениска сферического обтекателя создает ряд дополнительных конструктивных, экономических и эксплуатационных преимуществ, что выражается в уменьшении габаритов, количества оптических деталей и потерь на прохождение лучистого потока в оптической системе.

3 – ий вопрос: Анализаторы изображения ОЭУ типовых образцов специальной техники.

Анализатор изображения является одним из основных элементов ОС любого тепlopеленгационного прибора. Он **выполняет следующие задачи:**

- преобразует непрерывный лучистый поток в импульсный;
- осуществляет последовательный просмотр поля зрения ОЭУ в фокальной плоскости;
- производит анализ излучающих предметов, попадающих в поле зрения ОС и фильтрует их от фонов (ИК излучения земли, облаков).

Анализатор представляет собой плоский тонкий диск в виде круга или квадрата. Материалом диска может служить металл, пластмасса или стекло. Если материал диска не прозрачен для инфракрасного излучения, то в нем делают вырезы специальной формы (рис. 6, а, е), а на прозрачном для инфракрасных лучей материале наносят полосы, не пропускающие тепловое излучение (см. рис. 6, б, в, г, д). **Чередование прозрачных и непрозрачных участков диска называется растром.** Форма раstra может быть самой разнообразной. Наиболее часто применяют спиральные, радиальные, концентрические, в виде шахматной доски и смешанные. Периодически перекрывая изображение предмета в процессе вращения, растр модулирует оптическое излучение. Отсюда и произошло название «модулирующий диск».

Рис. 6. Формы растров

Рис. 6. Формы растров

Растр в виде спиральной щели (см. рис. 6, а). Ширина щели спирали равна половине диаметра изображения источника излучения в плоскости диска. В центре диска имеется вырез, по диаметру равный изображению. Когда изображение источника находится в центре, вся его энергия попадает на приёмник, с выхода которого снимаются импульсы фототока (напряжения) одинаковой амплитуды. Независимо от угла поворота диска величина этих импульсов не меняется. При таком растре осуществляется непрерывная модуляция.

При смещении изображения к центру диска частота следования импульсов не меняется, а изменяется только их амплитуда, т. е. глубина модуляции (кривая 2). При совпадении изображения с центром диска модуляции не происходит, и сигнал отсутствует. Эта часть диска называется мертвой зоной. Таким образом, изменение глубины модуляции в зависимости от положения изображения может использоваться для определения координат объекта.

Концентрический растр (см. рис. 6, в). Растр образован чередующимися прозрачными и непрозрачными концентрическими кольцами. Ширина колец равна половине диаметра изображения.

В этом случае при вращении диска облученность приемника будет постоянной и равной половине максимальной. Этот эффект используется для исключения модуляции потоков излучения от крупных объектов типа облаков, равномерного фона и т. д.

Полукруговой растр. Для увеличения коэффициента использования излучаемой энергии применяют модуляторы, изображенные на рис. 6, е. При вращении такого модулятора в течение полуоборота энергия излучения попадает на приемник полностью, затем изображение перекрывается и сигнал исчезает. Фаза сигнала определяет положение изображения.

Концентрический растр применяется в сочетании с другими типами растров (см. рис. 6, г) для исключения влияния фона при определении координат объектов. Радиально-концентрический растр (см. рис. 6, г). Когда изображение пересекается концентрической частью растра, модуляция потока отсутствует. При повороте диска на угол $\varphi_{\text{фаз}} = 90^\circ$ изображение пересекается радиальной частью растра, происходит модуляция потока и появляется сигнал.

По амплитуде этого сигнала можно судить о радиальном смещении изображения. Угловое перемещение относительно одной из осей можно определить по фазе начала модуляции $\varphi_{\text{фаз}}$. Отсюда следует, что **модулирующий диск наряду с модуляцией излучения служит и для получения информации о направлении и величине отклонения объекта от оси диска.**

Если в поле зрения попадает объект с большой площадью (облако, нагретый фон земли, воды и т. д.), то в фокальной плоскости он будет изображен в виде размытого пятна, диаметр которого в несколько раз превысит ширину прозрачных секторов радиального растра. Тепловое излучение таких объектов растром модулироваться не будет. Объясняется это тем, что верхняя и нижняя половины диска имеют одинаковое соотношение прозрачных и непрозрачных полос. Изображение объектов большой протяженности, одновременно проектируясь через обе половины диска, создает постоянное (немодулированное) облучение приемника.

Растр в виде «шахматной доски» (см. рис. 6, д) состоит из прозрачных и непрозрачных квадратов, расположенных в шахматном порядке. Размер каждого квадрата соизмерим с величиной кружка рассеяния оптической системы, т. е. с размером изображения точечного предмета.

Если в процессе просмотра поля зрения по растру проходит изображение точечного объекта, приемник вырабатывает серию импульсов частотой f . Начальная фаза серии импульсов частотой f зависит от положения изображения в фокальной плоскости оптической системы. Перемещение изображения в фокальной плоскости изменяет время его нахождения в пределах раstra. Фиксируя изменения длительности серии импульсов, можно определить координаты изображения. Недостатком рассмотренных типов растров является потеря 50% энергии излучения при модуляции вследствие наличия непрозрачных секторов.

Анализ достоинств и недостатков рассмотренных анализаторов показывает, что **в типовых образцах ГСН наибольшее применение получили амплитудно-фазовые, частотные и широтно-импульсные анализаторы.**