

Лазерные и телевизионные системы траекторных измерений

Лекция 6. Оптические системы

2016 г.

9 семестр, кафедра РТПиАС, лектор:

доцент, к.т.н. Бугаев Юрий Николаевич

Оптические системы

- * Оптические объективы (телескопы) выполняют в оптике роль антенных систем в радиодиапазоне

Оптические телескопы

- * Конструктивно телескоп представляет собой трубу (сплошную, каркасную, ферму), установленную на монтажке, снабжённой осями для наведения на объект наблюдения и слежения за ним. Визуальный телескоп имеет объектив и окуляр

Виды телескопов

- * По своей оптической схеме телескопы делятся на:
- * Линзовые (рефракторы) — в качестве объектива используется линза или система линз.
- * Зеркальные (рефлекторы) — в качестве объектива используется зеркало.
- * Зеркально-линзовые телескопы (катадиоптрические) — в качестве объектива используется сферическое зеркало, а линза или система линз служит для компенсации аббераций
- * Телескопы в первую очередь характеризуются двумя параметрами: диаметром объектива (апертурой) и фокусным расстоянием объектива, которые определяют другие характеристики телескопа.

Разрешающая способность и Оптическое увеличение

- * Разрешающая способность зависит от апертуры. Приблизительно определяется по формуле:

$$r = \frac{140}{D}$$

где r — угловое разрешение в секундах, а D — диаметр объектива в миллиметрах.

- * Оптическое увеличение определяется отношением

$$\Gamma = \frac{F}{f}$$

где F и f — фокусные расстояния объектива и окуляра.

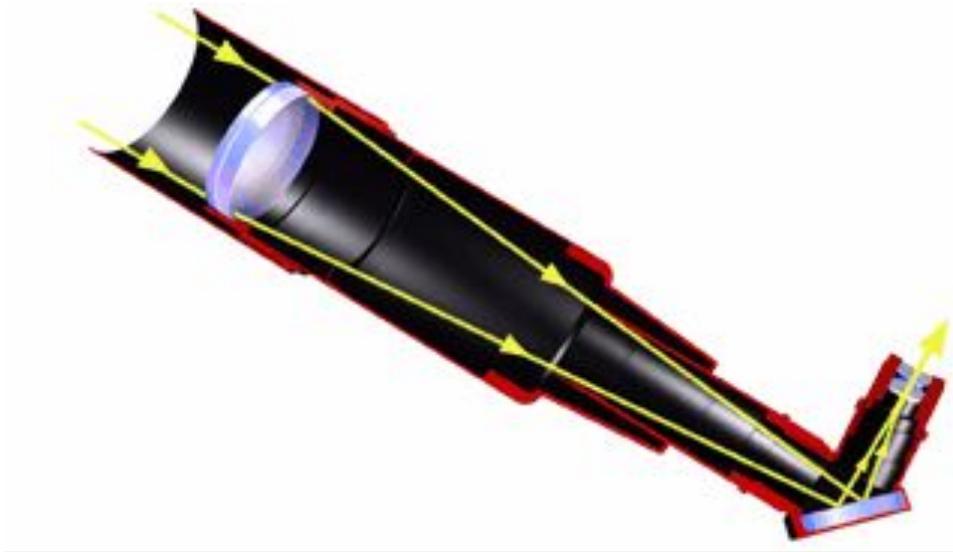
Проницающая сила

- * Проницающая сила m — звёздная величина наиболее слабых звёзд, видимых с помощью телескопа при наблюдении в зените. Для визуального телескопа может быть оценена по формуле Боуэна

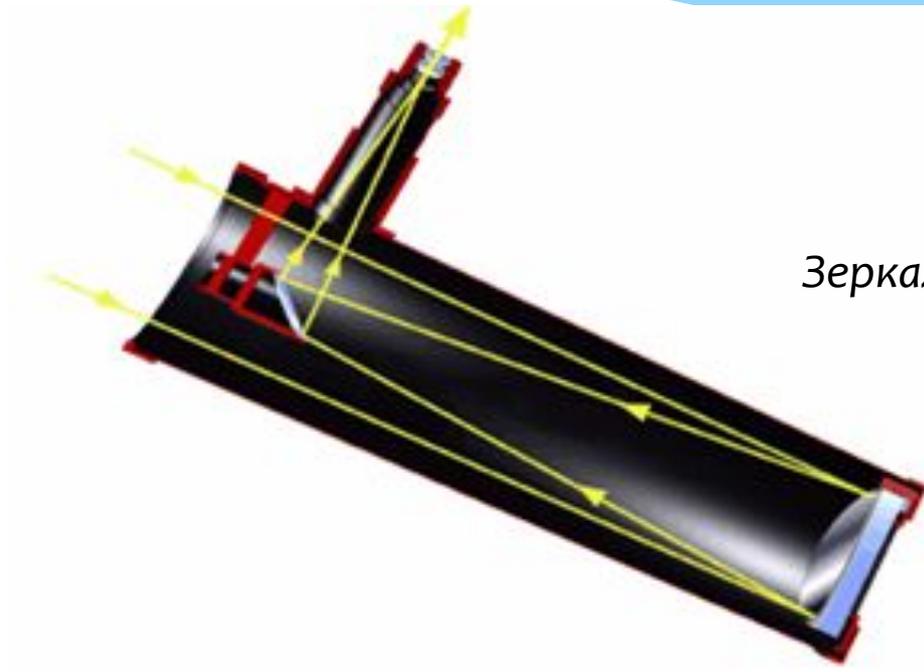
$$m = 3,0 + 2,5 \lg D + 2,5 \lg \Gamma$$

- * Проницающая сила телескопа сильно зависит от качества оптики, яркости неба, прозрачности атмосферы и её спокойствия. Уровень и тип оптических искажений (аббераций) зависит от конструкции телескопа.

Линзовый телескоп



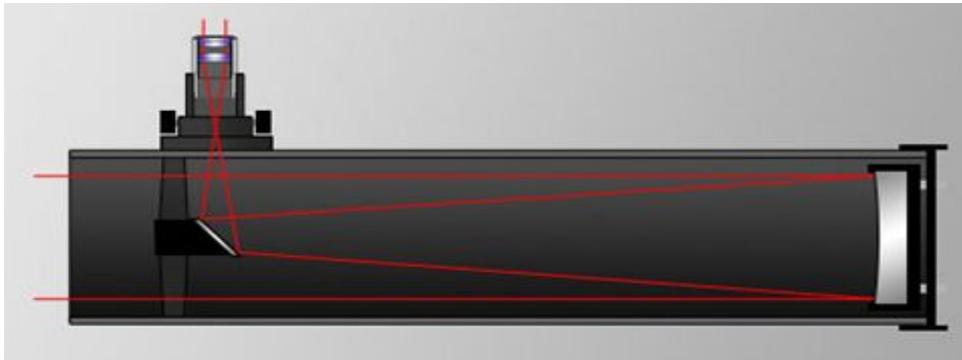
Зеркальный телескоп



Зеркальный телескоп (рефлектор)

Зеркально-линзовые (катадиоптрические) телескопы

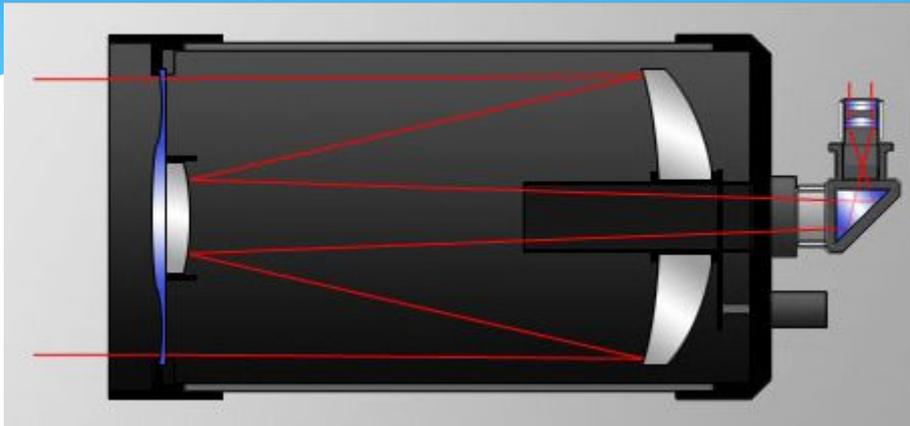
- * Это телескопы системы Ньютона, телескопы Шмидта-Кассегрена и Максутова-Кассегрена.



*Зеркально-линзовый
телескоп
системы Ньютона*

Оличаются от классических представителей своего класса наличием на пути светового потока к точке фокуса корректирующей линзы, которая, при сохранении компактных размеров телескопа, позволяет добиваться большего увеличения.

Телескоп Шмидта-Кассегрена

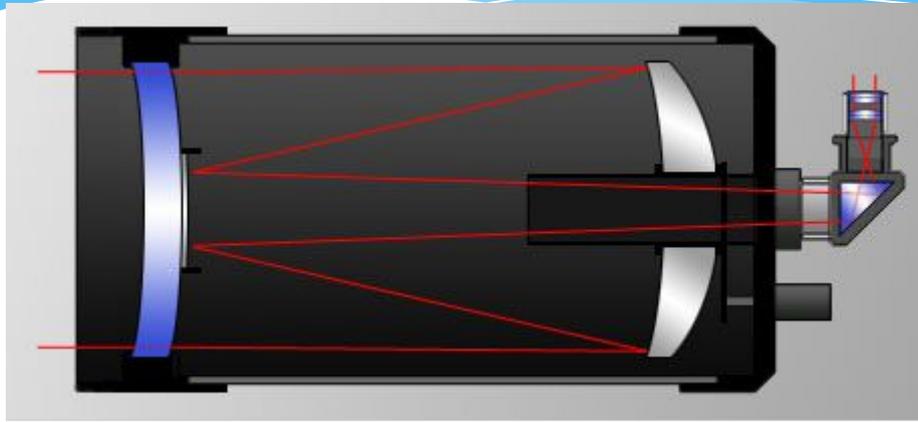


Телескоп Шмидта-Кассегрена

1672 г

Оптические схемы **телескопов Шмидта-Кассегрена** включают тонкие асферические коррекционные пластинки, которые направляют свет на первичное вогнутое зеркало, обеспечивая исправление сферической аберрации. После этого световые лучи попадают на вторичное зеркало, которое, в свою очередь, отражает их вниз, направляя через отверстие в центре первичного зеркала. Непосредственно за первичным зеркалом находится окуляр или диагональное зеркало. Фокусировка производится посредством перемещения первичного зеркала или окуляра. Главным достоинством телескопов подобной конструкции является сочетание портативности и большого фокусного расстояния. Основным минусом телескопов Шмидта-Кассегрена – сравнительно большое вторичное зеркало, которое сокращает количество света и может вызывать некоторую потерю контрастности.

Телескопы системы Максутова-Кассегрена



Телескопы системы Максутова-Кассегрена имеют схожую конструкцию. Так же, как системы Шмидта-Кассегрена, эти модели исправляют сферическую aberrацию при помощи корректора, в качестве которого, вместо пластинки Шмидта, используется толстая выпукло-вогнутая линза (мениск). Проходя через вогнутую сторону мениска, свет попадает на первичное зеркало, которое отражает его вверх на вторичное зеркало (как правило, покрытую зеркальным слоем область на выпуклой стороне мениска). Дальше, так же, как и в конструкции Шмидта-Кассегрена, лучи света проходят через отверстие в первичном зеркале и попадают в окуляр. Телескопы системы Максутова-Кассегрена менее сложны в производстве, чем модели Шмидта-Кассегрена, однако использование в оптической схеме толстого мениска увеличивает их вес.

Передающая (коллимирующая) оптика

- *
 - * Передающая или ещё как её ещё называют коллимирующая оптика служит прежде всего для уменьшения расходимости лазерного передатчика с целью увеличения энергетического потенциала системы.

Оптические системы для ЛТЛС ближнего действия.

- * Для определенности рассмотрим Мобильную лазерно-телевизионную систему МЛТС (ОКА), разработанную в ОКБ МЭИ в середине 90-х гг.
- * Эта станция предназначена для очень динамичных целей типа реактивный истребитель или крылатая ракета или ракета «земля – воздух». В качестве лазерного передатчика использовалась матрица полупроводниковых лазерных диодов размером примерно 10 X 10 мм. Расходимость излучения такой матрицы 40 x 40 угл. град. Для работы ЛТЛС необходимо уменьшить расходимость луча до 10 угл. мин.

Объектив передающего канала станция ОКА

- * Объектив передающего канала предназначен для формирования диаграммы луча лазерного передатчика. В оптической схеме передающего канала используется одно-линзовый объектив из асферической линзы с фокусным расстоянием 295,1 мм и относительным отверстием 1: 1,44. Оптическая апертура объектива - 200 мм. Рабочая длина волны объектива передающего канала - 910 нм. Расходимость луча лазерного передатчика на выходе объектива передающего канала не превышает 10 угл. мин (при входной в объектив расходимости луча -40° град.). Для уменьшения потерь отражения от поверхностей, линза передающего канала имеет просветляющее на рабочей длине волны. Коэффициент отражения на поверхностях линзы не превышает 0,005.

Малогобаритная лазерно-телевизионная станция «ОКА»



Оптическая система приемного канала предназначена для сбора отраженного лазерного излучения и формирования его на чувствительной площадке фотоприемного устройства. Оптическая схема приемного канала включает в себя:

- объектив;
- интерференционный (узкополосный) светофильтр;
- нейтральные светофильтры.

В качестве объектива приемного канала используется асферическая линза и корректирующая двухлинзовая сборка. Фокусное расстояние объектива составляет 458,6 мм. Относительное отверстие 1: 2,29. Угловое поле в пространстве предметов - 30 угл. мин. Рабочая длина волны объектива 910 нм. Оптическая аппаратура объектива приемного канала - 200 мм. Интерференционный узкополосный светофильтр на длину волны 910 нм имеет полосу пропускания $\pm 3,5$ нм. Коэффициент пропускания этого светофильтра составляет не менее 0,6. Светофильтры нейтральные, переменные - с коэффициентами ослабления

0^x , 10^x , 100^x , 1000^x .

Для уменьшения потерь на отражение от поверхностей оптических элементов все оптические элементы оптической схемы имеют просветляющее покрытие на рабочей длине волны. Коэффициент отражения на поверхностях оптических элементов не превышает 0,005.

Объектив телевизионного канала

- * Объектив телевизионного (TV) канала предназначен для формирования изображения объекта на приемной матрице телевизионной камеры. Объектив TV-канала имеет высокую разрешающую способность. Заднее фокусное расстояние объектива TV-канала изменяется дискретно от 46,3 мм до 257,8 мм. Относительное отверстие объектива составляет 1: 4,5 и 1: 4,8 для каждого фокусного расстояния соответственно.
- * Угловое поле в пространстве предметов изменяется от 20° до $3,5^\circ$. Входная апертура объектива составляет 58 мм, апертурная диафрагма - 23,8 мм. Светопропускание объектива - не менее 45%. Все поверхности оптических элементов объектива имеют просветляющее покрытие.

Оптические системы для ЛТЛС среднего действия

- * Система средней дальности типа «Вектор» и «Шерна» имеют много унифицированных узлов и отличаются только диаметром приемной оптики 300 и 200 мм соответственно и энергией передатчика 50 и 70 мДж.
- * Устройство изменения расходимости (УИР) передающего канала предназначено для формирования диаграммы луча лазерного передатчика.
- * Оптическая система для изменения расходимости лазерного пучка является двухкомпонентная. Первый компонент этой системы -отрицательный. Применение отрицательного компонента позволяет получить более компактную систему и вынести плоскость перетяжки за ее пределы. Диаметр первого компонента составляет 5 мм, фокусное расстояние – 15 мм Второй компонент - положительный.. Диаметр второго компонента – 30 мм , фокусное расстояние – 75 мм

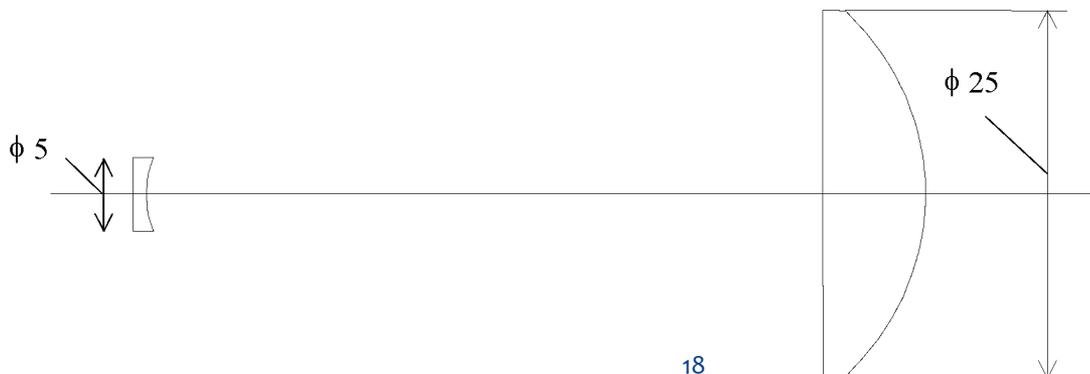
Лазерно-телевизионная система «АТОК», «Вектор», «Шерна»



Система средней дальности типа «Вектор» и «Шерна» имеют много унифицированных узлов и отличаются только диаметром приемной оптики 300 и 200 мм соответственно и энергией передатчика 50 и 70 мДж.

Устройство изменения расходимости (УИР)

- * Устройство изменения расходимости (УИР) передающего канала предназначено для формирования диаграммы луча лазерного передатчика.
- * Оптическая система для изменения расходимости лазерного пучка является двухкомпонентная. Первый компонент этой системы - отрицательный. Применение отрицательного компонента позволяет получить более компактную систему и вынести плоскость перетяжки за ее пределы.

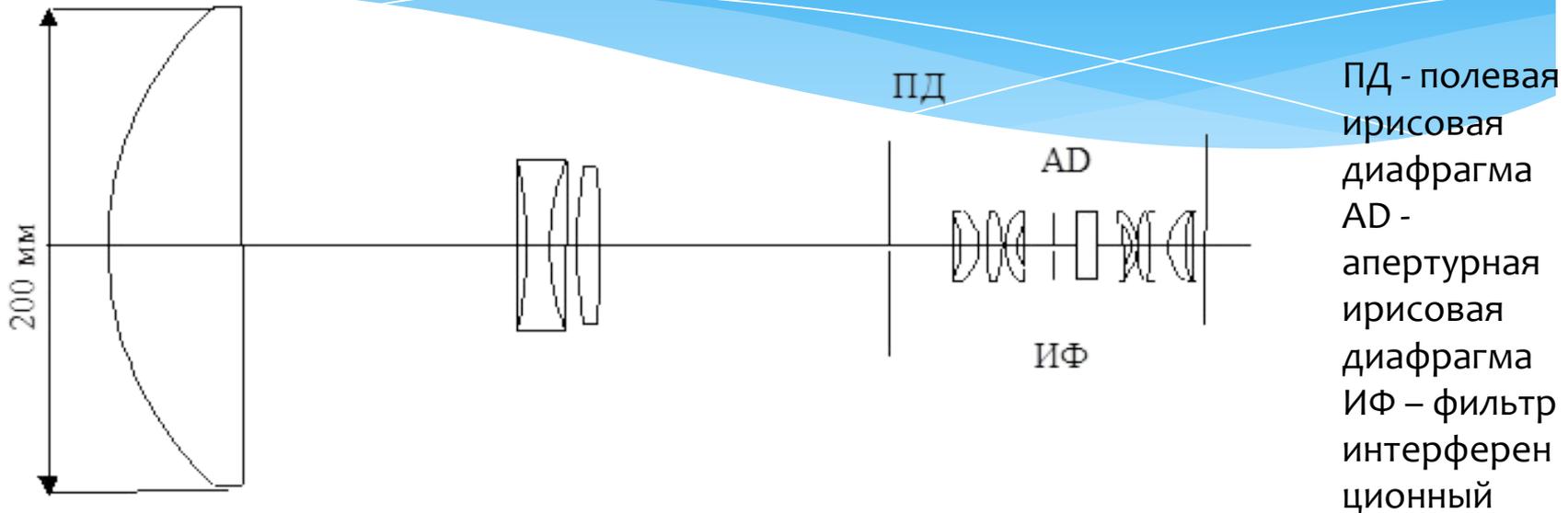


УИР ЛП имеет два значения расходимости лазерного излучения: 15 угл. мин. и 3 угл. мин. Изменение расходимости осуществляется перемещением первого компонента.

Оптическая система приемного канала

- * Оптическая система фотоприемного канала предназначена для сбора отраженного лазерного излучения и формирования его на чувствительной площадке фотоприемного устройства. Оптическая схема приемного канала включает в себя:
 - * - объектив;
 - * - интерференционный (узкополосный) светофильтр;
 - * - диафрагмы ирисовые.
- * В качестве объектива приемного канала используется асферическая линза и корректирующая двухлинзовая сборка. Фокусное расстояние объектива составляет 458 мм. Относительное отверстие 1: 2,3. Рабочая длина волны объектива 1064 нм. Оптическая аппаратура объектива приемного канала - 200 мм.

Оптическая схема объектива фотоприёмника



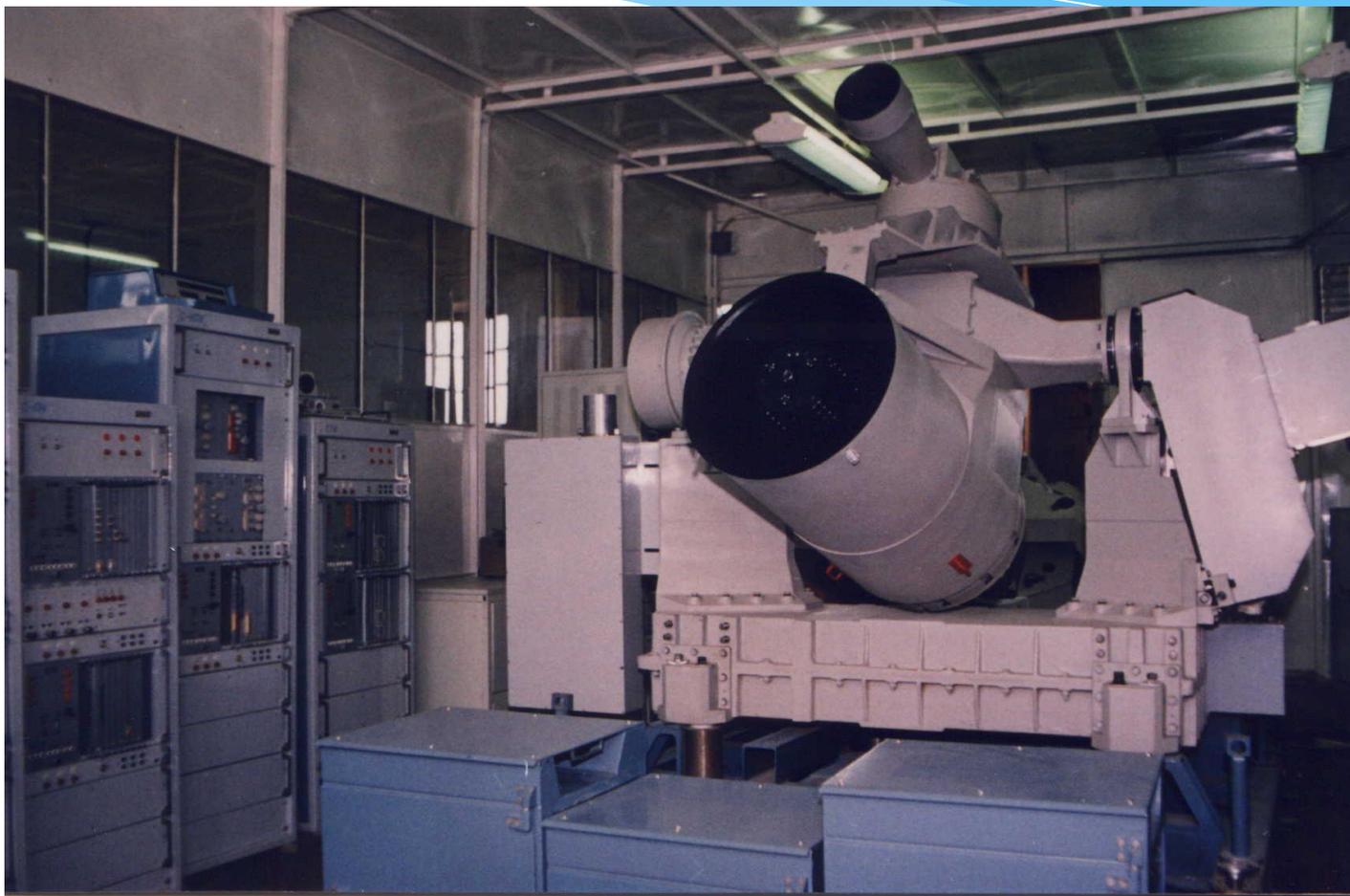
Конструкция апертурной диафрагмы предусматривает полное перекрытие оптического канала в случае прямой солнечной засветки.

Максимальное угловое поле зрения объектива в пространстве предметов составляет $30'$. Путем перекрытия полевой диафрагмы поле может быть ограничено до значения $10'$. Диаметр фоточувствительной площадки приемника равен 1 мм.

Объектив телевизионного (ТВ) канала

- * Объектив телевизионного канала предназначен для формирования изображения объекта на приемной матрице телевизионной камеры.
- * Линейное угловое поле объектива в пространстве изображений равно $5\text{мм} \times 4\text{мм}$. Рабочее угловое поле 2ω в пространстве предметов составляет 1° и 5° . Рабочий спектральный диапазон объектива определяется спектральной чувствительностью приемника изображения ($450 \dots 1100\text{нм}$). Рабочий диапазон дальности до измеряемых объектов составляет $0,2$ до 25 км (∞).
- * Максимальное относительное отверстие для поля зрения 1° - $1:5.6$, для поля зрения 5° - $1:2.8$. Апертурная диафрагма обеспечивает 100 кратное ослабление светового потока с возможностью его полного перекрытия в случае прямой солнечной засветки. Максимальный световой диаметр объектива 150мм . Объектив телевизионного измерительного канала обеспечивает наблюдение объекта с минимальными размерами $10''$ при контрасте объекта 5% .

Станция «Юкон-М»



Оптические системы ЛТЛС дальнего действия

Оптическую часть системы дальнего действия рассмотрим на примере ВКЛ СТИ «Юкон-М». Станция «Юкон-М» предназначена для точного измерения координат КА типа ИСЗ или боеголовки баллистических ракет при входе их в плотные слои атмосферы.

- * **Формирующая оптика передающего канала д. обеспечивать**
- * а) формирование двух значений диаграмм передающего луча
- * ВКЛС ТИ "Юкон-М" 2-х (5 угл.мин) и 20- х (30 угл.сек)уменьшение собственной диаграммы луча передатчика.
- * б) дистанционное автоматическое или ручное переключение этих значений по сигналам аппаратуры управлени ВКЛС ТИ "Юкон-М".
- * в) сканирование лучом передатчика в зоне поиска объекта - 5 угл. мин.(по двум осям в картинной плоскости.)
- * г) дистанционное автоматическое или ручное переключение
- * выходной мощности излучения передатчика для обеспечения заданной зоны
- * безопасности по сигналам аппаратуры управления ВКЛС ТИ "Юкон-
- * д) отвод части лазерного излучения передатчика (около 10^{-8} Дж)
- * в приемник дальномерного канала для формирования опорного сигнала "старт" в измерителе дальности.

Формирующая оптика приемного канала

- * **Формирующая оптика приемного канала д. обеспечивать:**
- * а) прием отраженного от объекта излучения лазерного передатчика в канале лазерного дальномерного и угломерного каналов .
- * б) формирование изображения объекта слежения в телевизионном канале;
- * в) поле зрения :
 - * телевизионного канала $1^\circ \times 1^\circ$;
 - * лазерных каналов $10 \text{ угл мин} \times 10 \text{ угл мин}$;
- * д) прием части лазерного для формирования опорного сигнала "старт" в измерителе дальности.
- * е) дистанционное дискретное изменение пропускания принимаемого излучения (введение ослабляющих светофильтров) при изменении уровня отраженного сигнала .

* ж) дистанционное формирование светового потока в телевизионном канале на уровне 10^{-2} - 10^{-3} лк с помощью ослабляющих светофильтров и(или) диафрагмирования по сигналам аппаратуры управления ВКЛС ТИ "Юкон-М".

* 3.2.11 Общие оптические элементы приемного канала должны иметь просветляющие покрытия для спектрального диапазона 500 - 1100 нм с последующей спектральной селекцией по каналам:

* - телевизионного 500-700 нм:

* - лазерного 532 нм (ширина полосы дихроичного зеркала).

* 3.2.12 Объектив приемного канала д. иметь следующие хар-ки:

* - диаметр входного зрачка не менее 500 мм;

* - эффективность поверхности 0.85

* - фокусное расстояние (уточняется исходя из необходимости получения углового разрешения 5 угл сек) - 4000- 5000 мм;

* - размер кружка рассеяния 0.07-0.1 мм;

* - не менее 75 % принятой энергии д. б. сосредоточенно в заданном кружке рассеяния.

* - разрешающая способность для телевизионного приемника д.б. не менее 35 лин/мм;

* - рабочее поле изображения телевизионного канала $D = 25$ мм.

*

Оптические системы для ЛТЛС сверхдальнего действия

- * Мы их подробно рассматривать не будем. Это глобальные сооружения. Иногда многоэтажные здания. Диаметр приемной оптики 2-3 м, т.е. на пределе возможностей их изготовления. Системы компенсации гравитации, температуры и других дестабилизирующих факторов.
- * Практически никакой динамики там нет, только отслеживание суточного вращения звезд -15 угл.сек /сек. Поле зрения обычно 1-3 угл.сек. расходимость лазерного излучения также 1-3 угл.сек. Обычно работают только ночью и расположены в наиболее благоприятных климатических зонах. Это действительно впечатляющие сооружения. Своя электростанция, своя градирня, свой вычислительный центр с мощным суперкомпьютером.

*