

В. А. ЗВЕРЕВ

## БОЛЬШОЙ ТЕЛЕСКОП АЗИМУТАЛЬНЫЙ

Представлена история создания Большого Телескопа Азимутального. Описаны основные особенности его конструкции.

**Ключевые слова:** телескоп, альт-азимутальная монтировка, оптическая схема, звездный спектрограф.

25 марта 1960 г. Совет Министров СССР принял постановление о разработке телескопа-рефлектора с главным зеркалом диаметром 6 метров (головное предприятие-разработчик — ЛОМО, главный конструктор — Б. К. Иоаннисиани). В ноябре 1960 г. на заседании Астросовета АН СССР и Межведомственного Совета по БТА (Большой Телескоп Азимутальный) утвержден аванпроект шестиметрового телескопа на альт-азимутальной монтировке [1—25].

Типичная для телескопов структурная схема приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема телескопа

**Оптическая схема телескопа.** При построении оптической системы телескопов широко применяется двухзеркальная схема Кассегрена и ее модификации, представленные на рис. 2.

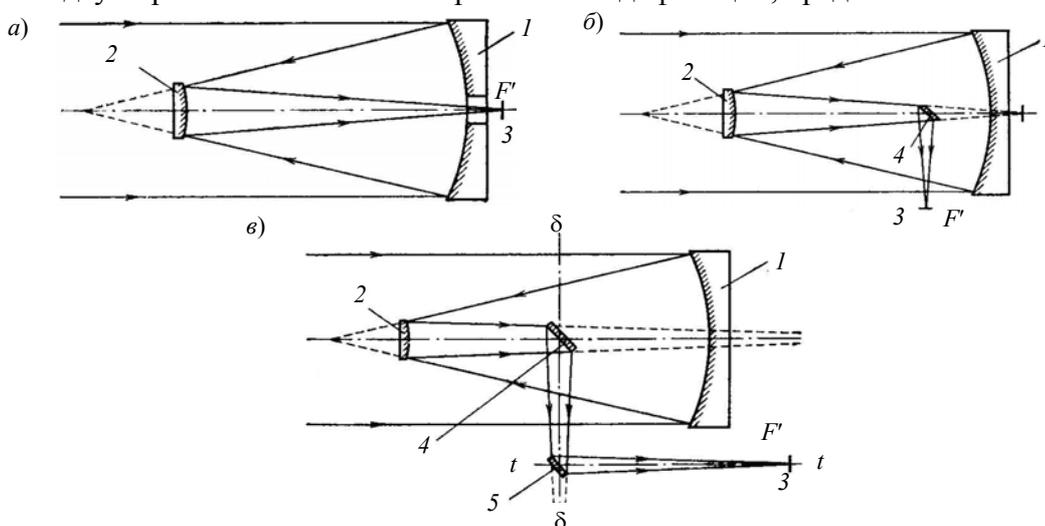


Рис. 2. Варианты схем применяемых двухзеркальных оптических систем при построении телескопов: а) схема Кассегрена; б) схема Несмита; в) схема кудэ (фр. coude — ломаный, коленчатый)

На рис. 2: 1 — главное зеркало, 2 — вторичное зеркало, 3 — фокальная плоскость и светоприемник, 4 и 5 — плоские диагональные зеркала,  $\delta\delta$  — ось склонений,  $tt$  — полярная ось телескопа.

Принципиальная схема оптики шестиметрового БГА представлена на рис. 3.

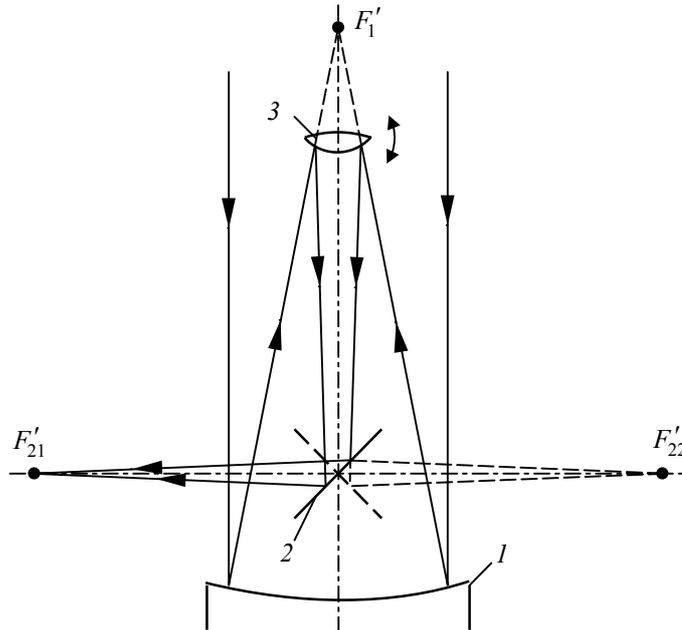


Рис. 3. Принципиальная схема оптики БГА:

1 — главное зеркало; 2 — плоское зеркало (переключается в два положения);  
3 — гиперболическое зеркало (выключается при работе в первичном фокусе)

Основная деталь оптической системы телескопа — главное зеркало, его параметры следующие:

световой диаметр, мм .....	6 000
наружный диаметр, мм .....	6 050
толщина зеркала по оси .....	655
масса зеркала (вычисленная по фактическим размерам), кг .....	41 700.

Отражающая поверхность главного зеркала имеет форму параболоида вращения.

На рис. 4 представлены основные оптические системы, используемые при работе телескопа.

#### 1. Система первичного фокуса.

Этой системе свойственны наименьшие потери света. Полезное рабочее поле  $2w \leq 2'$ .

#### 2. Система первичного фокуса с корректором полевых аберраций.

Полезное рабочее поле  $2w \approx 10'$ . Конструктивно корректор состоит из двухлинзового компенсатора аберраций и линзы Смита. Двухлинзовый компенсатор диаметром  $\approx 700$  мм установлен на расстоянии 0,1 фокусного расстояния параболоида от плоскости изображения. Все линзы изготовлены из оптического стекла марки К8.

#### 3. Система вторичного (неподвижного) фокуса.

Система обслуживает спектральную и другую аппаратуру, установленную на балконах телескопа. Переход от системы первичного фокуса к системе вторичного осуществляется введением выпуклого зеркала 4 (см. рис. 4), отражающая поверхность которого имеет форму гиперboloида вращения.

4. Система вторичного (неподвижного) фокуса с линзовой системой, уменьшающей фокусное расстояние.

5. Система вторичного (неподвижного) фокуса с линзовой системой, увеличивающей фокусное расстояние.

6. Оптическая система вторичного фокуса для работы с интерференционно-поляризационным фильтром (ИПФ).

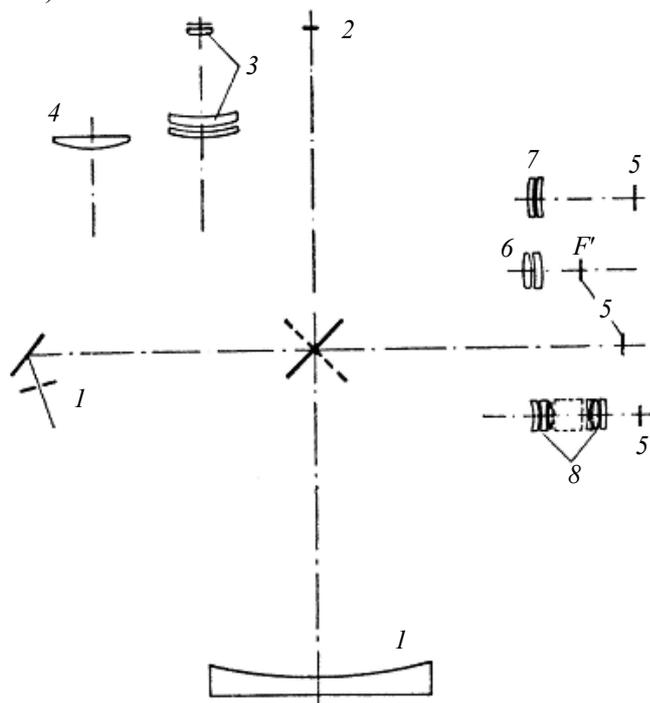


Рис. 4. Оптическая схема БТА:

- 1 — главное зеркало, 2 — фокус главного зеркала,
- 3 — двухлинзовый корректор aberrаций в системе первичного фокуса,
- 4 — вторичное гиперболическое зеркало системы вторичного фокуса,
- 5 — фокальные плоскости систем вторичного фокуса,
- 6 — линзовая укорачивающая система, 7 — линзовая удлиняющая система,
- 8 — оптическая система с интерференционно-поляризационными фильтрами

На балконе телескопа устанавливается оптическая система с ИПФ. Эта система рассчитана для работы с излучением в спектральном диапазоне  $\lambda = 0,3—0,66$  мкм. Оптическая система вторичного фокуса в сочетании с частью системы, питающей ИПФ, образует телескопическую систему, формирующую изображение с угловым увеличением, равным  $120^{\times}$ .

Выходные параметры основных оптических систем, используемых при работе телескопа, приведены в таблице.

Оптические системы, используемые в БТА

Наименование системы	Фокусное расстояние, $f$ , мм	Относительное отверстие	Поле		Масштаб изображения, мм/угл.с.
			угловое, $2\omega$	линейное, $2l'$ , мм	
1	24 000	1 : 4	$2'$	14	0,116
2	24 680	1 : 4,11	$9'45''$	70	0,120
3	97 700	1 : 14,62	$3'55''$	100	0,425
4	184 400	1 : 30,74	$1'52''$	100	0,894
5	349 400	1 : 58,2	$1'$	101,6	1,694
6	188 400	1 : 31,4	—		0,919

**Конструкция БТА.** Телескоп состоит из двух основных механических узлов: монтировки и трубы. Монтировка, в свою очередь, состоит из опорно-поворотной части и стоек с подшипниками горизонтальной оси. Впервые примененные для двух осей специальные гидростатические подшипники, а также уникальные (диаметром 5,6 м) высокоточные червячные пары обеспечивают перемещение подвижной части телескопа массой 650 тонн с точностью до десятых долей угловой секунды.

Монтировкой называется основание с системой осей, несущих трубу телескопа; различные типы монтировок представлены на рис. 5.

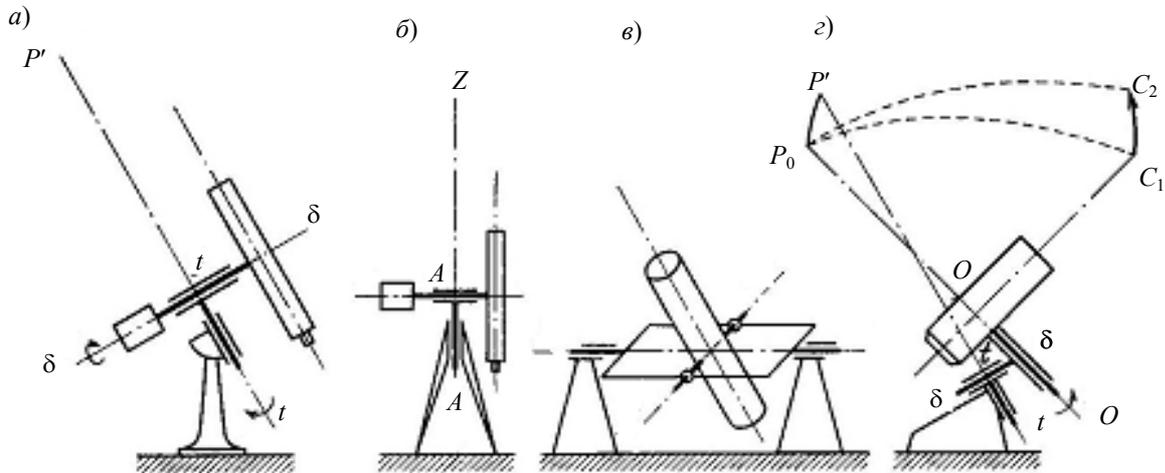


Рис. 5. Основные принципиальные типы монтировок:

а) экваториальная немецкого типа ( $P$  — видимый полюс мира); б) альт-азимутальная ( $Z$  — зенит);  
в) горизонтальная (альт-альт); г) трехосная ( $P_0$  — полюс орбиты искусственного спутника Земли,

$C_1C_2$  — его видимая траектория,  $OO$  — орбитальная ось)

Конструктивно монтировки делятся на два основных типа — симметричные и несимметричные.

На рис. 6 приведена схема несимметричной монтировки кудэ разработанного Б. К. Иоаннисиани рефлектора РМ-700.

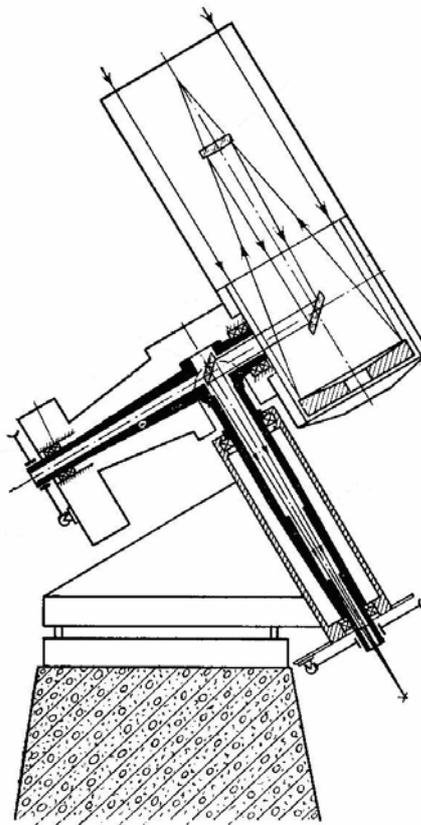


Рис. 6. Схема монтировки Б. К. Иоаннисиани, примененной в рефлекторе РМ-700 с фокусом кудэ

На рис. 7 представлена конструкция БТА.

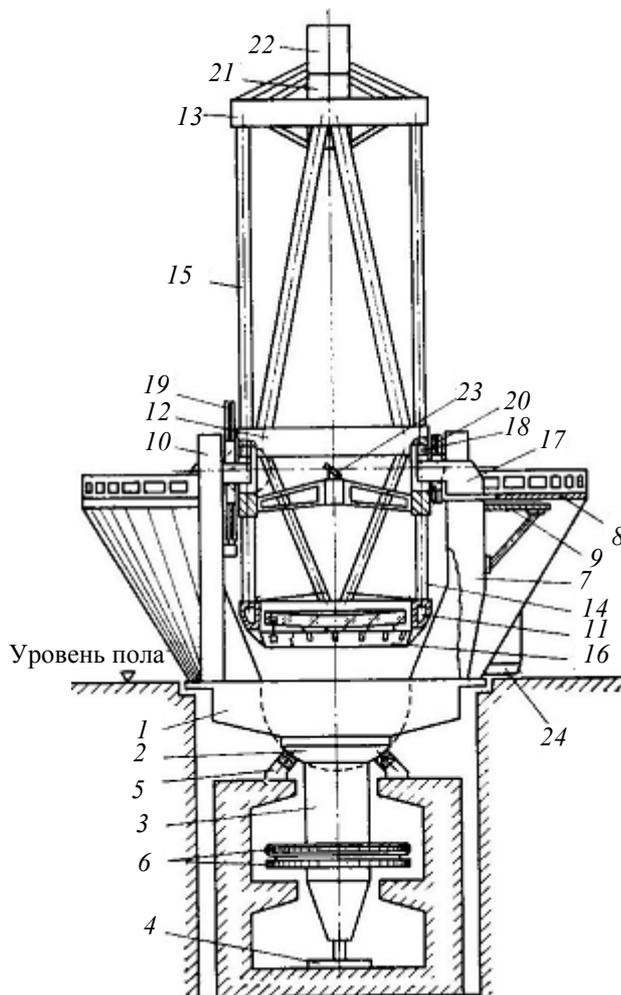


Рис. 7. Схема конструкции шестиметрового телескопа БТА на альт-азимутальной монтировке:

- 1 — платформа, 2 — сферическое кольцо, 3 — ось, 4 — радиальный подшипник,
- 5 — опора жидкостного трения, 6 — блок колес, 7 — стойка, 8 — рабочие балконы,
- 9 — кронштейн балкона, 10 — лифт, 11 — нижнее кольцо, 12 — „средник“,
- 13 — верхнее кольцо, 14 — нижняя штанга, 15 — верхняя штанга,
- 16 — оправа главного зеркала с разгрузочным устройством, 17 — консольные балки,
- 18 — гидростатические подушки, 19 — червячная шестерня, 20 — кабельный барабан,
- 21 — стакан первичного фокуса, 22 — кабина наблюдателя,
- 23 — зеркало неподвижного фокуса, 24 — основной звездный спектрограф

Платформа телескопа 1 (горизонтальный вращающийся круг диаметром 12 м) образует центральную часть пола купольного этажа башни. Сферическое кольцо 2 — верхний радиально-упорный самоустанавливающийся подшипник, представляющий собой стальную отливку диаметром 4600 мм со сферической поверхностью радиусом 3300 мм. Вертикальная полая ось 3 — ось длиной 9 м с нижним радиальным подшипниковым узлом 4, определяющим и фиксирующим положение оси в пространстве; погрешность положения вертикальной оси при нагрузке 600 т и при повороте ее на 360° не превышает 2". Подшипниковые узлы главных осей телескопа должны обеспечивать возможность легкого и плавного вращения его подвижных частей, масса которых часто достигает сотен тонн, с малой скоростью — от 0,2 до 0,000 01 об/мин, и точностью до долей секунды дуги. Опыт зарубежного и отечественного астроприборостроения показал, что лучше всего этим требованиям соответствуют гидростатические подшипники, имеющие весьма малый, порядка  $10^{-5}$ — $10^{-6}$ , коэффициент трения. В телескопе БТА из шести опор 5 гидростатических подшипников три, определяющие

положение вертикальной оси — жесткие и три, разгружающие жесткие опоры — упругие. Жесткие опоры (рис. 8) расположены по окружности через  $120^\circ$ , упругие — между ними.

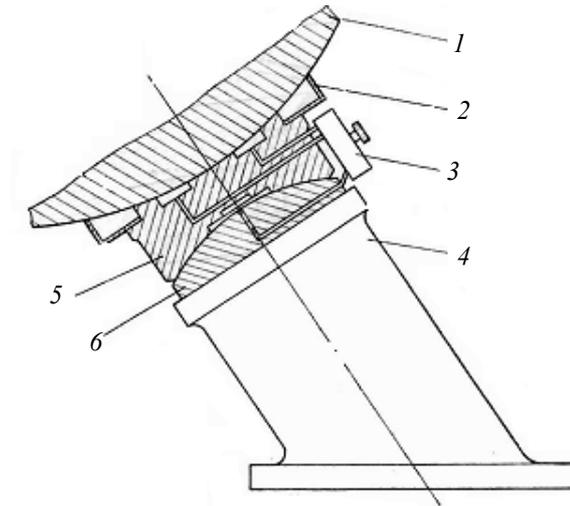


Рис. 8. Жесткая опора БТА:

- 1 — опорное сферическое кольцо, 2 — поддон,  
3 — распределительная коробка, 4 — основание,  
5 — подушка, 6 — неподвижный вкладыш

Подушка представляет собой квадратную стальную плиту размером  $750 \times 750$  мм. Для возможности самоустановки соприкасающиеся поверхности неподвижного вкладыша и подушки изготовлены по сфере радиусом 600 мм. Устройство упругой опоры подобно устройству жесткой за исключением основания, которое выполнено в виде рычажно-пружинной подвески.

Гидростатические подшипники горизонтальной оси (по одному на каждой стороне оси) воспринимают массу трубы 240 тонн.

Опыт эксплуатации показал, что гидростатические подшипники БТА безотказны в работе и обеспечивают малый, порядка  $(1-5) \cdot 10^{-6}$ , коэффициент трения при любой предусмотренной рабочей скорости перемещения и существующих сезонных колебаниях температуры (в зависимости от времени года — от  $+15$  до  $-10$  °С).

Между верхним и нижним подшипниками на вертикальной оси установлен блок колес б привода вращения. Блок состоит из прецизионного червячного и цилиндрического косозубого колес, которые жестко связаны с осью. Червячное колесо предназначено для точного слежения телескопа за объектом, а цилиндрическое — для наведения на объект. Таким образом, без обычно применяемых переключающих устройств разделяются ветви слежения и наведения, а высокоточная червячная пара надежно предохраняется от перегрузок, возникающих при быстром вращении телескопа в режиме наведения.

На платформе опорно-поворотной части установлены две идентичные стойки 7 восьмиметровой высоты, несущие на верхних частях элементы горизонтальной оси телескопа. К одной из стоек с внешней стороны крепятся узлы основного звездного спектрографа. На верхних плоскостях стоек установлены (раздельно) рабочие балконы 8 для работы операторов и жесткие несущие кронштейны 9 для установки наблюдательных приборов. На одном из балконов стационарно установлена головная часть основного звездного спектрографа, а на другом предусмотрена возможность установки трех спектральных приборов: планетного и эшелюного спектрографов и спектрометра с интерферометром Фабри—Перо. Опорный узел универсален и предусматривает также возможность установки впоследствии любого нового спектрального прибора или какого-либо другого светоприемника.

В трубе БТА использована стержневая конструкция каркаса, выполненная по схеме равных прогибов, обеспечивающей высокую стабильность центрировки деталей оптической системы телескопа при относительно малой жесткости его несущих элементов. Конструкция каркаса включает нижнее кольцо 11, „средник“ 12, верхнее кольцо 13, нижние 14 и верхние 15 соединительные трубчатые штанги (стержни). Кроме того, в трубе телескопа различают следующие основные части: оправу главного зеркала с механизмами разгрузки 16, стакан первичного фокуса 21 с кабиной наблюдателя 22, плоское диагональное зеркало системы вторичного фокуса 23.

Штанги — это бесшовные трубы диаметром 420 мм, механически обработанные снаружи и внутри; длина нижних штанг равна 6750 мм при толщине стенок 15 мм, верхних — 13 500 мм при толщине стенок 26 мм. Внутри верхних штанг перемещаются балансирующие грузы.

К внешнему торцу нижнего кольца крепится оправа 16 главного зеркала с разгрузочным устройством. Во внутренних полостях кольца расположены редукторы крышек, закрывающих главное зеркало.

Внутри верхнего кольца расположены редукторы перемещения грузов, автоматически балансирующие трубу, и устройства для вентиляции кабины наблюдателя.

„Средник“ состоит из четырех (двух боковых и двух поперечных) плит. На внутренних концах консольных балок 17 на поперечине установлены попарно под углом  $60^\circ$  гидростатические подушки (опоры) 18 горизонтальной оси, аналогичные подушкам (опорам) вертикальной оси, по которым скользят сферические поверхности отверстий „средника“.

Стакан первичного фокуса 21 состоит из неподвижного внешнего цилиндра диаметром 1800 мм и подвижного внутреннего цилиндра, перемещающегося вдоль своей оси. Внешний цилиндр с помощью четырех растяжек подвешен к верхнему кольцу трубы. Внутри подвижного цилиндра на откидывающихся кронштейнах установлены зеркало диаметром 760 мм с отражающей поверхностью в форме гиперболоида вращения оптической системы неподвижного фокуса и компоненты корректора аберраций системы первичного фокуса. Попеременный ввод их в рабочее положение осуществляется дистанционно с центрального пульта управления.

На верхнем фланце подвижного цилиндра установлен поворотный стол, который может вращаться для компенсации параллактического угла. Скорость перемещения подвижного цилиндра для фокусировки изображения равна 0,1—0,5 мм/с.

Внутри кабины наблюдателя 22 (диаметр 1800, высота — 2260 мм) установлен пульт управления телескопом.

Внутри „средника“ на растяжках установлено диагональное плоское зеркало 23 системы вторичного (неподвижного) фокуса. Зеркало можно поворачивать на угол  $180^\circ$  вокруг оси, совпадающей с оптической осью трубы. Таким образом, пучок световых лучей может быть направлен сквозь отверстия в боковых плитах „средника“ и в консольных балках гидростатических опор оси  $Z$  на любой из двух рабочих балконов системы неподвижного фокуса.

**Система управления БТА.** Система управления должна обеспечивать наведение телескопа на объект наблюдения, ведение телескопа (слежение) за объектом наблюдения, коррекцию положения телескопа и ряд других операций, необходимых для функционирования такого сложного прибора, каким является оптический телескоп. Для управления альт-азимутальным телескопом необходимо обеспечивать неравномерное знакопеременное движение по двум координатам с ошибкой, не превышающей 0,1—0,2", а также компенсировать вращение изображения в фокальных плоскостях оптических систем телескопа. Таким образом, управление оптическим телескопом на альт-азимутальной монтировке фактически ведется по трем координатам: азимуту ( $A$ ), зенитному расстоянию ( $Z$ ) и параллактическому углу ( $P$ ). Проблема управления телескопом была решена с помощью специально разработанной и

изготовленной электронно-цифровой управляющей машины системы фототелевизионного поиска и гидирования, а также системы компенсации вращения образованного изображения. Для контроля углового положения осей телескопа был изготовлен высокоточный преобразователь „угол—код“.

Скорость наведения по азимуту не выше 45, а по зенитному расстоянию — до 30 градусов в минуту, ускорения по обеим осям — до 0,1 угл. град·с<sup>2</sup>. Однако этих мер не достаточно для исключения возможности возникновения аварийных режимов, особенно по зенитному расстоянию. Скорость в любой точке траектории движения трубы автоматически поддерживается на таком уровне, чтобы свободный выбег при аварийном отключении питания обеспечивал остановку в зоне  $Z=0—90^\circ$ .

Контроль движения дублирован и осуществляется как цифровой управляющей машиной, так и аналоговыми средствами.

**Спектральная аппаратура БТА.** Для астрофизических исследований с помощью телескопа БТА предусмотрен большой комплекс спектральной аппаратуры. Конструкция трубы телескопа и его монтаж позволили разместить светоприемную аппаратуру как в кабине наблюдателя (в первичном фокусе), так и на рабочих балконах вторичного фокуса (системы неподвижного фокуса).

Для работы в системе главного (первичного) фокуса предусмотрен светосильный спектрограф СП-160, предназначенный для изучения спектров звезд и туманностей. Оптическая схема прибора приведена на рис. 9.

На входной щели 1, расположенной в фокальной плоскости главного зеркала БТА, формируется изображение исследуемой звезды или иного астрономического объекта, поиск которого, наведение на него телескопа и последующее гидирование осуществляется с помощью визуального гида 2. Изображение объекта удерживается на щели качанием плоскопараллельной пластинки 3. Плоское зеркало 4 направляет световой пучок лучей на коллиматор 5 — внеосевой отражающий параболоид ( $f = 400$  мм,  $D : f = 1 : 4$ ). Диспергирующими элементами служат сменные плоские дифракционные решетки 6 (600, 300 и 200 штр/мм) размером  $150 \times 140$  мм, работающие в первом порядке. Объектив 7 на фотокатоде ЭОП 8 фокусирует спектр, который контактным способом фотографируется с экрана ЭОП на пленку. Разрешающая способность изображения, образованного объективами, равна 200 лин/мм в центре поля и 50—70 лин/мм на его краях. Сменные светофильтры 9 служат для устранения налагающихся порядков дифракционных спектров. Расширение спектра осуществляется качанием кварцевой плоскопараллельной пластинки 10. Семь сменных щелей шириной от 0 до 1 мм расположены на поворотном диске. Положение щели контролируется по лимбу 11, который позволяет при помощи установочного микроскопа 12 осуществлять позиционную установку входной щели. Перед щелью помещены две раздвижные призмы, направляющие в прибор свет от спектральной лампы. Щель

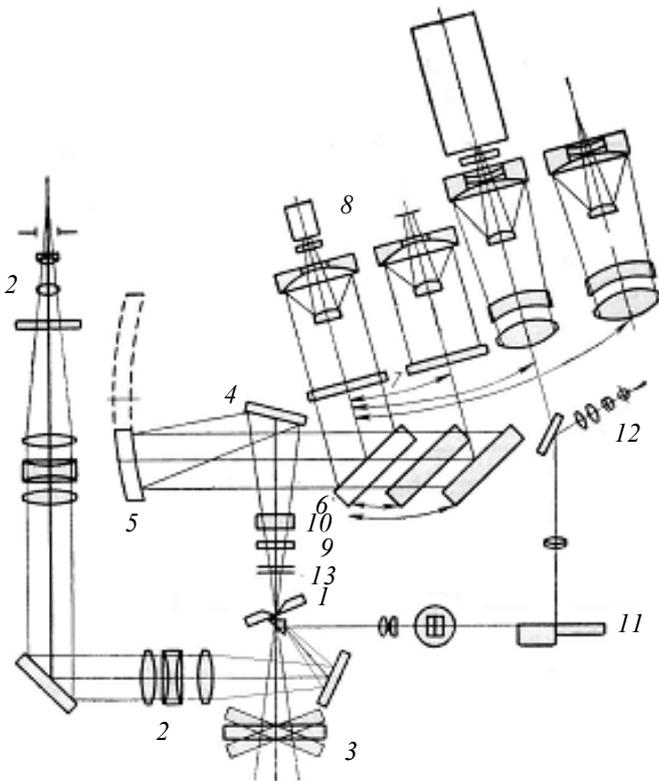


Рис. 9. Оптическая схема спектрографа СП-160

Щель

может перекрываться затвором 13 с пульта управления. Для термостатирования весь спектрограф изолирован слоем пенопласта.

Для термостатирования весь спектрограф изолирован слоем пенопласта.

Для работы в системе неподвижного фокуса ( $f' = 186\ 000$  мм,  $D : f' = 1 : 31$ ) предусмотрены следующие приборы:

- основной звездный спектрограф ОСЗП;
- эшелельный спектрограф СП-161;
- планетный спектрограф СП-124 ( $f' = 400$  мм,  $D : f' = 1 : 4$ );
- спектрометр с интерферометром Фабри—Перо.

Благодаря применению азимутальной монтировки свет выводится диагональным зеркалом, установленным на оси вращения трубы телескопа, на специальные балконы стоек, вращающихся вместе с телескопом в горизонтальной плоскости. Основной звездный спектрограф (рис. 10) предназначен для спектрального анализа слабых небесных объектов в диапазоне длин волн 0,3—1,1 мкм.

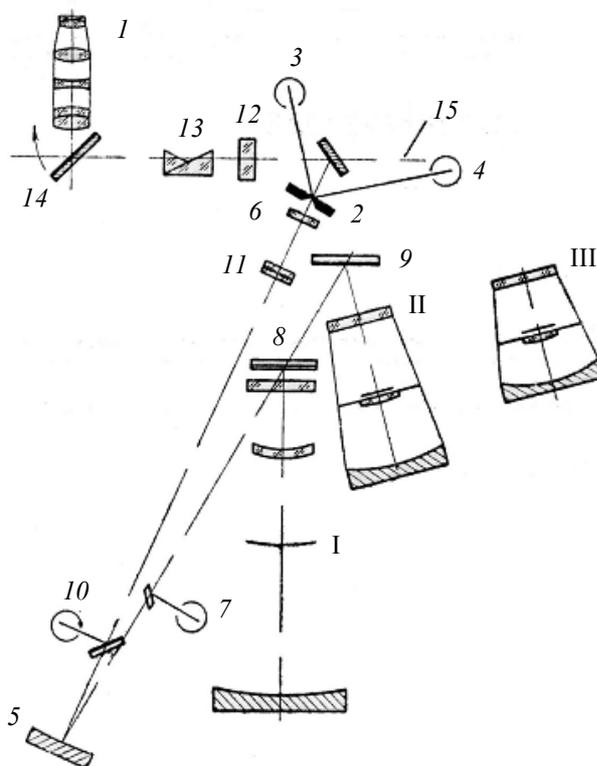


Рис. 10. Оптическая схема основного звездного спектрографа:

- 1 — поисковая система вторичного фокуса,
- 2 — щель, 3 — система фотоэлектрического и визуального гидирования,
- 4 — система спектра сравнения, 5 — коллиматор, 6 — цилиндрическая линза,
- 7 — система спектра калибровки, 8 — узел скрещенной дисперсии,
- 9 — дифракционная решетка камер III и II,
- 10 — фотоэкспонетр, 11 — пластина расширения спектра,
- 12 — пластина гида, 13 — призма Аббе, 14 — откидное зеркало,
- 15 — горизонтальная ось телескопа

Три сменные камеры I—III обеспечивают получение спектрограмм с обратной линейной дисперсией от 0,13 до 5,6 нм/мм.

В предщелевой части расположена поисковая визуальная система с откидным зеркалом 14, обеспечивающая наблюдение в неподвижном фокусе телескопа (поле 3'). Удержание изображения в центре щели осуществляется качанием плоскопараллельной пластинки гида 12. Фокальный узел оснащен рядом сменных нейтральных и цветных светофильтров. Сменные

ступенчатые ослабители позволяют впечатывать девять ступеней непрерывного спектра калибровки в кадр камеры.

**Главное зеркало БТА.** Функциональные возможности любого телескопа принципиально определяются диаметром главного зеркала. Помимо очевидных проблем, связанных с созданием крупной заготовки зеркала, приданием рабочей поверхности зеркала требуемой формы при допустимом отклонении ее от номинальной (при предельно возможной точности обработки), основная конструкторская проблема заключалась в обеспечении высокой стабильности формы отражающей поверхности зеркала как в процессе ее обработки, так и в весьма сложных условиях эксплуатации зеркала в обсерватории. Известны два основных источника деформации зеркала: деформации вследствие температурных градиентов в материале, возникающих под влиянием изменения температуры окружающей среды, и деформации от собственного веса зеркала. Зеркало БТА представляет собой равнотолщинный мениск диаметром 6050 и толщиной 650 мм. Для определения количества и местоположения опор при заданных параметрах зеркала допустимые деформации отражающей поверхности зеркала от собственной массы определялись исходя из условия Рэлея, требовалась точность отражающей поверхности зеркала до  $1/8\lambda$ . Было решено, что деформация поверхности зеркала в результате разгрузки не должна превышать 0,035 мкм.

Было рассчитано, что зеркало телескопа БТА достаточно разгрузить в 60 точках как в торцевом, так и в радиальном направлениях. При этом амплитуда упругих деформаций в пределах рабочей зоны зеркала не превышает 0,0096 мкм, что в 3,6 раза меньше принятого допуска.

Разгрузка зеркала построена на принципе уравнивания масс с помощью неравноплечих рычагов. Каждый механизм содержит торцевую и радиальную системы разгрузки.

В торцевом направлении зеркало разгружается 57 механизмами разгрузки и опирается на три фиксирующие опоры. В радиальном направлении зеркало разгружается 60 рычагами радиальной разгрузки и фиксируется центрирующим стаканом. Расчет показал, что деформация отражающей поверхности главного зеркала из-за потерь вследствие трения будет не более 0,045 мкм.

При выборе материала зеркала для уменьшения влияния перепадов температуры предпочтение при любой конструкции зеркала (сплошной, ребристой) должно быть отдано материалу с наименьшим коэффициентом линейного расширения (например, плавленому кварцу, ситаллу). В результате проведенных исследований специалистами Лыткаринского завода оптического стекла и ГОИ им. С.И. Вавилова был разработан новый сорт стекла — стекло 316 (с коэффициентом линейного расширения  $\alpha=3\cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), аналогичное стеклу ЛК5, но имеющее некоторые технологические преимущества. Из этого стекла 20 ноября 1964 г. была отлита заготовка главного зеркала телескопа. Процесс заполнения формы стеклом длился чуть больше шести часов. Форма с отлитой заготовкой охлаждалась на воздухе в цехе под обогреваемой крышкой в течение четырех часов до температуры 1000—1050 °С, после чего была установлена в специальную печь для отжига.

Заготовка главного зеркала БТА отжигалась в течение двух лет и шести дней.

Для получения заготовки зеркала заданной геометрической формы был спроектирован и изготовлен комплект алмазного инструмента, при этом было использовано свыше 12 тысяч каратов натурального алмаза в виде порошка. При обработке заготовки наиболее сложными и трудоемкими операциями были получение сфер фрезерованием, разметка 66 глухих отверстий для размещения механизмов разгрузки зеркала, а также их обработка.

Окончательная шлифовка и полировка главного зеркала БТА проводились бригадой высококвалифицированных оптиков ЛОМО в специальном термостатированном корпусе на уникальном шлифовальном станке. Заготовка была установлена в технологическую оправу с сильфонной разгрузкой. В мае 1969 г. отполированная поверхность зеркала была такова, что

контроль ее формы при горизонтальном направлении оси зеркала, подвешенного на ленте, был уже недопустим из-за возникновения деформаций поверхности. Поэтому последующая обработка поверхности зеркала была продолжена в штатной оправе при штатной системе разгрузки. Это позволило обрабатывать и контролировать поверхность зеркала, не снимая его со станка. В апреле 1970 г. поверхность зеркала была отшлифована и начата ее полировка, в июне 1974 г. изготовленное зеркало было готово для проведения аттестации.

Параллельно с решением проблем обработки поверхности проводилась большая научно-исследовательская работа по созданию методов и средств контроля формы поверхности этого уникального зеркала. Был использован комплекс методов, взаимно дополняющих друг друга, позволивших получить объективную количественную информацию о поверхности главного зеркала БТА. Для проведения технологических и аттестационных контрольных испытаний были разработаны и изготовлены высокоточные контрольные приборы.

Впервые было разработано программное обеспечение, позволяющее получить топографическую карту отклонений отражающей поверхности зеркала от номинальной формы по результатам гартмановского или интерференционного контроля. Впервые была решена задача машинного расчета режимов обработки оптических поверхностей несферической формы по результатам численных значений измеренных отклонений формы поверхности от номинальной, т.е. по данным топографической карты.

Модифицированные методы и средства цехового контроля формы поверхности успешно применялись для решения тех же задач в обсерватории.

30 декабря 1975 г. министром оборонной промышленности С. А. Зверевым и Президентом АН СССР академиком А. П. Александровым утвержден акт Государственной межведомственной комиссии по приемке комплекса большого азимутального телескопа БТА в совместную эксплуатацию АН СССР и министерством.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агурок И. П., Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Усоскин В. В. Оптимальная компенсация погрешностей изготовления астрономических зеркал юстировкой телескопа // ОМП. 1980. № 7. С. 17—20.
2. Амур Г. И., Зверев В. А. Изготовление главного зеркала азимутального телескопа БТА // Изготовление асферической оптики. М.: Машиностроение, 1978. С. 170—190.
3. Бородуля Л. П., Бобашов В. В. Расчет основных систем БТА // ОМП. 1977. № 8. С. 3 — 5.
4. Бужинский И. М., Дмитриева З. П., Арефьева К. И. Контроль заготовки главного зеркала БТА // ОМП. 1978. № 5. С. 37—41.
5. Васильев А. С., Евзеров А. М., Лобачев М. В., Пейсахсон И. В. Основной звездный спектрограф БТА // ОМП. 1977. № 2. С. 31—34.
6. Доладугина В. С. Качество заготовки для главного зеркала БТА // ОМП. 1978. № 3. С. 36—38.
7. Зайцев А. А., Клопский А. П., Ковалев В. А. Гидростатические подшипники большого азимутального телескопа // ОМП. 1979. № 2. С. 47—50.
8. Зандин Н. Г., Колесников А. Е., Пейсахсон И. В., Лобачев М. В. Светосильный спектрограф с ЭОП для главного фокуса БТА // ОМП. 1977. № 2. С. 34—37.
9. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н. Об оценке влияния местных деформаций волнового фронта на качество оптического изображения // Опт. и спектр. 1974. Т. 36, вып. 4. С. 792—797.
10. Зверев В. А., Кирилловский В. К., Сокольский М. Н. Исследование качества изображения оптических систем методом изофотометрической фоторегистрации // ОМП. 1976. № 8. С. 14—17.
11. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Ланно Л. М. Исследование связи распределения энергии в пятне рассеяния с величиной и формой отступления поверхности зеркала от идеальной // ОМП. 1976. № 11. С. 5—8.

12. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Усоскин В. В. Математические основы гартмановского теста главного зеркала БТА // ОМП. 1977. № 2. С. 18—22.
13. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Усоскин В. В. Технический контроль главного зеркала БТА методом Гартмана // ОМП. 1977. № 3. С. 3—5.
14. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Усоскин В. В. Исследование главного зеркала БТА в обсерватории // ОМП. 1977. № 4. С. 3—5.
15. Зверев В. А., Болдырев Н. И., Сокольский М. Н. Фотоэлектрический фотометр для измерения концентрации энергии в пятне рассеяния // ОМП. 1977. № 5. С. 27—29.
16. Зверев В. А., Агурок И. П., Родионов С. А., Сокольский М. Н. Автоматизация обработки интерферограмм при контроле оптических систем // ОМП. 1978. № 9. С. 7—10.
17. Зверев В. А., Родионов С. А., Сокольский М. Н., Усоскин В. В. Применение диафрагмы Гартмана в сходящемся пучке лучей при исследовании телескопов в обсерватории // ОМП. 1980. № 2. С. 48—49.
18. Иоаннисиани Б. К. Разработка телескопа с зеркалом диаметром 6 метров // ОМП. 1970. № 4. С. 37—48.
19. Коровяковский Ю. П., Шабанов М. Ф. Предварительные результаты определения проникающей силы БТА // ОМП. 1978. № 5. С. 21—23.
20. Маларев В. А. Поисково-гидирующая система большого азимутального телескопа // ОМП. 1977. № 7. С. 32—36.
21. Неплохов Е. М. Автоматизированная система управления комплексом большого азимутального телескопа // ОМП. 1977. № 8. С. 41—49.
22. Павлов В. Н. Система разгрузки главного зеркала большого азимутального телескопа // ОМП. 1979. № 2. С. 44—46.
23. Самофал Н. С. Аналитическое исследование и разработка методики расчета системы оптимальной разгрузки главных зеркал телескопов // ОМП. 1966. № 6. С. 1—8.
24. Самофал Н. С. Оптимальная разгрузка главных зеркал телескопов с отверстием в центре // ОМП. 1966. № 12. С. 23—29.
25. Создание большого азимутального телескопа БТА / Под ред. д.т.н., проф. В. Ю. Торочкова. М.: ЦНИИ информации, 1976. С. 83.

#### *Сведения об авторе*

**Виктор Алексеевич Зверев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики

Рекомендована кафедрой  
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию  
25.12.09 г.