

ТЕЛЕСКОП С ДИАМЕТРОМ ЗЕРКАЛА 6 МЕТРОВ

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Б. К. Иоаннисиани

Излагаются исходные данные, послужившие теоретической основой для разработки большого оптического телескопа с диаметром зеркала 6 м. Даны обоснования выбора альтазимутальной монтировки для телескопа. Дается краткий обзор механической конструкции телескопа, его оптической схемы и принципов работы системы управления. Приведены сведения о ходе строительства телескопа.

In this paper the basic data are presented that formed theoretical foundations for designing a big optical telescope with a 6-meter mirror. The choice of an altazimuth mounting for the telescope is substantiated. The telescope design, its optical system, and modes of its control system operation are briefly outlined. Some information is conveyed about the construction of the telescope.

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие той или иной области науки во многом определяется состоянием научного приборостроения. Так, успехи современной практической астрофизики зависят от наличия крупных оптических телескопов, оснащенных разнообразной светоприемной и регистрирующей аппаратурой.

Постоянная потребность астрофизики в повышении проникающей способности и разрешающей силы средств наблюдений с целью изучения все более слабых и удаленных космических объектов приводит к необходимости непрерывно увеличивать размеры и эффективность создаваемых телескопов. Действительно, вся история развития астрономического приборостроения — это история создания все более и более крупных телескопов.

В XX столетии в крупном телескопостроении, по-видимому, окончательно определилось наиболее перспективное направление его развития — строительство телескопов-рефлекторов. Все современные действующие и проектируемые гигантские телескопы — рефлекторы. Крупнейший из действующих — рефлектор Хейла обсерватории Маунт Паломар (США), имеющий зеркало диаметром 5 м, вступил в строй в 1949 г. [1]. В Европе наибольшим телескопом является рефлектор им. акад. Г. А. Шайна (ЗТШ) с диаметром зеркала 2.6 м. Он разработан и изготовлен в Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО) при участии ряда организаций и предприятий нашей страны и с 1962 г. успешно эксплуатируется в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР [2—7].

Этот пока единственный в нашей стране действительно крупный оптический телескоп, естественно, не в состоянии обеспечить все возрастающие потребности современной астрофизики, и поэтому было принято решение о строительстве Специальной астрофизической обсерватории (САО) Академии наук СССР с телескопом, имеющим главное зеркало диаметром 6 м.

Выбранный диаметр зеркала — это разумный предел сегодняшнего дня, обеспеченный реальными возможностями практического решения такой сложнейшей научно-технической задачи, как создание крупного оптического телескопа.

Большая светособирающая способность телескопа позволит проводить исследования недоступных для существующих телескопов процессов, происходящих в наиболее отдаленных участках космического пространства. В основном это исследование структуры, физической природы и эволюции внегалактических объектов (особенно объектов, расположенных на границах наблюдаемой в настоящее время области Вселенной), детальное изучение физических характеристик и химического состава пекулярных, нестационарных и магнитных звезд, исследование процессов звездообразования и эволюции звезд, изучение поверхностей и химического состава атмосфер планет, траекторные измерения искусственных небесных тел на больших расстояниях от Земли и многое другое.

В последние годы в астрономическом приборостроении наметилась тенденция создания специализированных инструментов, предназначенных для наилучшего решения ограниченного круга задач. Характерным примером прибора такого типа может служить специальный астрометрический рефлектор Вашингтонской морской обсерватории с диаметром зеркала 1.5 м [8]. Этот путь, несомненно, правилен, и создание специализированных инструментов умеренных размеров целесообразно. Но когда ставится задача сооружения уникального гигантского телескопа, то становится совершенно очевидным, что он должен быть, в разумных пределах, универсальным, ибо, по всей вероятности, в течение длительного времени будет единственным в своем роде и, следовательно, должен возможно шире удовлетворять потребности самых различных отраслей практической астрофизики (правда, «в разумных пределах» — понятие весьма неопределенное, постоянно вызывающее разногласия между астрономами и инженерами-создателями больших телескопов).

Эффективность большого телескопа, как известно, зависит от площади главного зеркала и его способности концентрировать свет звезды в кружок минимального диаметра. Диаметр же этого кружка рассеяния определяется в основном тремя факторами: 1) атмосферными условиями в пункте установки инструмента (отсюда — необходимость тщательного выбора места для установки телескопа), 2) турбуленцией воздуха внутри купола и влиянием приземного слоя атмосферы (что зависит от конструкции купола и башни), 3) инструментальными ошибками телескопа (качеством изготовления, термическим состоянием и стабильностью взаимного расположения оптических элементов, плавностью и точностью слежения за объектом наблюдения и пр.). Действительно, многолетняя практика показала, что если крупные зеркала при контроле качества поверхности в производственных условиях обеспечивают кружок рассеяния не более 0.1—0.2 секунды дуги, то в условиях эксплуатации в обсерватории он оказывается значительно большим — редко менее одной секунды.

Первые проектные разработки комплекса Специальной астрофизической обсерватории были начаты в 1959 г. в отделе астрономического приборостроения Главной астрономической обсерватории в Пулковке (ГАО) Академии наук СССР, возглавлявшемся в то время чл.-корр. АН СССР Д.Д. Максуповым, ныне покойным. Были организованы 16 экспедиций в различные районы Советского Союза по выбору места для строительства будущей обсерватории [9] и начаты проектные работы, целью которых было решение ряда кардинальных задач, связанных с разработкой конструкции телескопа: определение рациональных оптических систем, материала и конструкции главного зеркала, типа монтировки, принципов системы управления и др. Проектное задание на строи-

тельство обсерватории составлялось чл.-корр. АН СССР О. А. Мельниковым и его сотрудниками. В результате длительной работы был подготовлен предэскизный проект и составлено первое техническое задание на сооружение большого телескопа.

Дальнейшее проектирование телескопа было поручено Ленинградскому оптико-механическому объединению (ЛОМО) совместно с рядом специализированных организаций, а проектирование комплекса обсерватории — Ленинградскому отделению ГИПРОНИИ. Все работы велись в тесном контакте с сотрудниками ГАО АН СССР.

Для общей координации работ по созданию большого телескопа и обсерватории был организован при Астрономическом совете АН СССР Межведомственный совет под председательством академика А. А. Михайлова.

Ниже дается краткий обзор конструкции 6-метрового телескопа и его системы управления.

II. ВЫБОР ТИПА МОНТИРОВКИ ТЕЛЕСКОПА

При проработке задания на проектирование нового телескопа перед конструкторами возникает проблема выбора типа монтировки, во многом зависящего от заданной оптической схемы инструмента. Обычно выбирается та или иная из известных экваториальных монтировок в каком-либо, наиболее целесообразном, конструктивном исполнении. В любом случае это — две взаимно перпендикулярные оси, одна из которых, полярная, ориентирована параллельно оси вращения Земли, т. е. наклонена к горизонту под углом, соответствующим географической широте места установки телескопа.

На первом этапе проектирования большого телескопа к проработке были приняты два, наиболее приемлемых для данного случая, типа симметричных экваториальных монтировок [10]: а) монтировка «паломарского» типа, в которой центр тяжести трубы телескопа расположен между опорами полярной оси; б) оригинальная консольная вилочная монтировка (вариант ГАО), в которой консоль вилки несколько сокращена за счет выреза в северной опоре. Однако в процессе проработки этих двух вариантов выяснилось, что ни первая, ни вторая монтировка не удовлетворит полностью требованиям, предъявляемым к механической конструкции большого телескопа в отношении жесткости, технологичности и пр. Для уменьшения влияния гнущих моментов можно было бы прибегнуть к различного рода ухищрениям, но все это не представлялось наилучшим решением задачи. Кроме того, в ближайшее время не предвиделось получение необходимых результатов работы экспедиций по выбору места для строительства обсерватории, и широта места установки телескопа еще длительное время должна была оставаться неизвестной.

В связи с этим возник вопрос: можно ли избежать недостатков, присущих экваториальным монтировкам, и не зависеть от широты места установки инструмента? Пришлось обратиться к далекому прошлому астрономического приборостроения и оценить возможность применения азимутальной монтировки с учетом сегодняшнего состояния техники.* Первые астрономические телескопы, как известно, имели азимутальные монтировки, в которых слежение за объектом осуществлялось вручную. Впервые спроектированная в 1618 г. Христофом Шейнером (1575—1650) экваториальная, или параллактическая, монтировка приобрела свой современный вид в кенигсбергском гелиометре Фраунгофера (1827 г.) [11, 12].

* Идея применения азимутальной монтировки для гигантского оптического телескопа высказывалась ранее акад. В. П. Линником и чл.-корр. АН СССР О. А. Мельниковым.

Впоследствии все оптические телескопы делались на экваториальных монтировках.

Конструкторами Большого телескопа прорабатывались две разновидности азимутальной монтировки (рис. 1): горизонтальная (а)** [13—16] и альтазимутальная (б). По ряду причин альтазимутальная монтировка оказалась предпочтительнее, несмотря на менее благоприятные условия в отношении динамических ограничений, заключающихся в том, что при горизонтальной монтировке наибольшие скорости вращения возникают около горизонта (вблизи точек востока и запада, т. е. в практически нерабочей зоне), а при альтазимутальной — в близзенитной области неба, которая по этой причине оказывается недоступной для наблюдений.

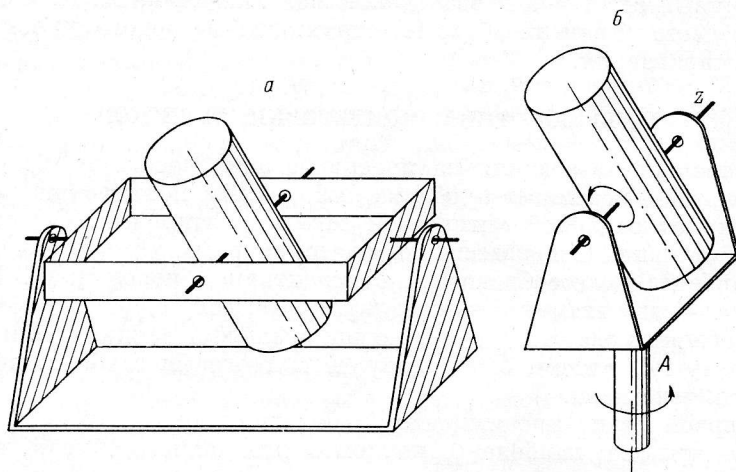


Рис. 1. Азимутальные монтировки телескопов.

а — горизонтальная монтировка; б — альтазимутальная монтировка.

В этом случае скорость слежения за звездой по азимуту (A) может принимать значения от 0 до ∞ , а по зенитному углу (z) — от 0 до $\cos \varphi$ об./сутки (φ — географическая широта места установки телескопа). После оценки реально достижимого диапазона регулировки приводов телескопа были приняты такие максимальные скорости слежения: по A — до 10 об./сутки, по z — примерно до 1 об./сутки. Тогда, в предположении, что значение $\varphi = 40 \div 50^\circ$, границы зоны недоступности вблизи зенита оказываются около $z = \pm 5^\circ$. Так как это ограничение не имеет решающего значения, то окончательное решение в пользу альтазимутальной монтировки зависело в основном от возможности создания системы управления телескопом на такой монтировке.

Рассмотрим вкратце основные достоинства и недостатки альтазимутальной монтировки для 6-метрового телескопа.

а) *Достоинства альтазимутальной монтировки:*

1) нагрузка от веса трубы телескопа на опорно-поворотную часть направлена вертикально, величины и знаки деформаций неизменны, конструкция телескопа симметрична, жестка, компактна и технологична;

2) труба вращается вокруг неизменно горизонтальной оси, т. е. только в одной плоскости — от горизонта до зенита, вследствие чего разгрузка главного зеркала осуществляется проще и точнее, а относительное расположение оптических элементов в трубе более стабильное;

** Называется иногда «альт-альт»-монтировкой.

3) предельно упрощается балансировка трубы телескопа (производится только по оси z) [17];

4) опоры жидкостного трения, являющиеся наиболее совершенными для столь значительных нагрузок и малых скоростей, могут быть применены к обоим осям;

5) потери света в системе неподвижного фокуса минимальны, ибо обзор практически всей видимой полусферы неба оказывается возможным с помощью только одного дополнительного зеркала (не считая главного и гиперболического зеркал);

6) обслуживание светоприемников системы неподвижного фокуса оказывается исключительно удобным, открывается возможность одновременной практически стационарной установки целого ряда светоприемников, попеременно включаемых в работу простым поворотом диагонального плоского зеркала;

7) географическая широта места не имеет значения для выбора места установки (даже уже изготовленного) телескопа;

8) отпадает надобность в преобразовании координат для синхронизации движений телескопа и купола; поправки за рефракцию и гнутые вводятся лишь в z -координату;

9) благодаря компактности, симметричности и центральному положению телескопа в башне подкупольное пространство башни менее загружено, что позволяет расположить в нем установку для алюминирования главного зеркала.

б) Недостатки альтазимутальной монтировки:

1) усложняется система управления телескопом, поскольку она требует наличия высокоточного, быстродействующего преобразователя координат, который может быть удовлетворительно реализован только методами дискретной вычислительной техники; значительные трудности создаются необходимостью в ряде случаев компенсировать вращение поля (параллактический угол);

2) недоступна для наблюдений близзенитная область неба;

3) невозможно слежение за наблюдаемым объектом без помощи фотогида.

Преимущества альтазимутальной монтировки представляются более убедительными, ибо рациональное решение практически неизменной во времени оптико-механической части является определяющим фактором успешной работы инструмента. Основные же компоненты системы управления, такие как электронная вычислительная машина, приводы телескопа, элементы фотоэлектрического гидирования и пр., осуществимы уже сейчас, а с течением времени могут и будут все больше развиваться и совершенствоваться.

В ноябре 1960 г. на совместном заседании Астрономического совета АН СССР и Межведомственного совета по БТА был рассмотрен и утвержден аванпроект 6-метрового телескопа на альтазимутальной монтировке. Началось рабочее проектирование телескопа.

III. СХЕМА ОПТИКИ ТЕЛЕСКОПА

Основная деталь оптики телескопа (рис. 2) — главное зеркало (I), имеющее световой диаметр 6 м и фокусное расстояние 24 м ($F/D=4$). Отражающая поверхность главного зеркала представляет собой параболоид вращения.

В системе первичного фокуса (непосредственно в фокусе главного зеркала — F_1) могут быть установлены приборы, предназначенные для работ, для которых достаточно нулевого поля. В этой системе наименьшие потери света, однако полезное рабочее поле, ограничиваемое комой,

может быть не более $2\beta=2$ угловых минут. Для увеличения поля до $2\beta=12$ угловых минут применен двухлинзовый афокальный корректор (4), рассчитанный Д. Д. Максотовым.

Переход от системы первичного фокуса к системе, именуемой нами системой неподвижного фокуса, осуществляется введением выпуклого гиперболического зеркала (3).*

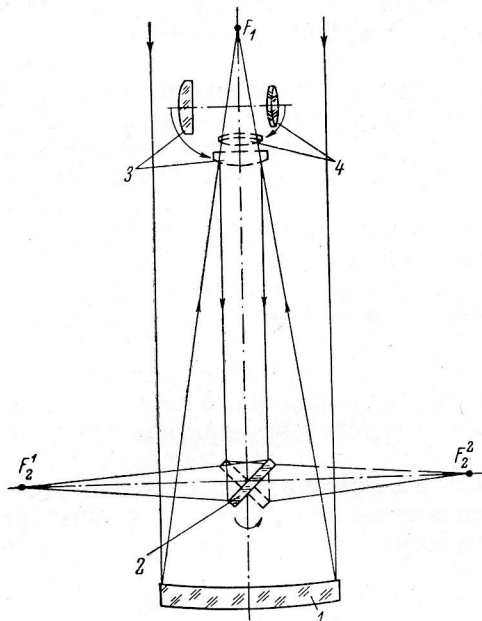


Рис. 2. Схема оптики 6-метрового телескопа.

ОПЧ монтируется на центральном железобетонном фундаменте в башне и представляет собой жесткую сварную платформу (6) с вертикальной осью. Верхняя часть платформы выполнена в виде горизонтального вращающегося круга диаметром 12 м, который образует центральную часть пола подкупольного этажа башни. К нижней части платформы крепятся сферическое кольцо (5), выполняющее роль верхнего радиально-упорного самоустанавливающегося подшипника, и полая вертикальная ось (3) длиной 9 м с нижним радиальным подшипниковым узлом (1), определяющим и фиксирующим положение оси в пространстве [19]. Подшипниковый узел снабжен поперечными подвижками, необходимыми для вертикализации оси, осуществляемой относительно центра сферического кольца. Сферическое кольцо покоится на шести (трех жестких и трех подпружиненных) опорах жидкостного трения (4).

Между верхним и нижним подшипниками на вертикальной оси установлен блок колес (2) привода вращения [20]. Блок состоит из прецизионного червячного и цилиндрического косозубого колес, которые жестко связаны с осью. Червячное колесо ($Z=512$, $M=11$, $D_{cp}=5632$ мм) предназначено для точного слежения телескопа за объектом, а цилиндрическое—

световой пучок отклоняется диагональным плоским зеркалом (2) и направляется вдоль горизонтальной оси телескопа к фокальной плоскости F_2 . Эквивалентное фокусное расстояние в этой системе составляет 180 м ($F/D=30$). Поворотом плоского зеркала (2) относительно оптической оси трубы световой пучок может быть направлен либо в одну, либо в другую сторону (к F_2^1 или к F_2^2).

IV. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕСКОПА

1. Монтровка телескопа

Телескоп состоит из двух основных механических узлов: монтровки и трубы (рис. 3). Монтровка, в свою очередь, состоит из опорно-поворотной части и стоек с подшипниками горизонтальной оси [18]. Опорно-поворотная часть (ОПЧ) разрабатывалась главным конструктором А. А. Зайцевым.

* Собственно, по оптической схеме, это — система Нэсмита и она не является в общепринятом смысле неподвижной, так как при слежении за наблюдаемым объектом точка фокуса, хотя и очень медленно, вращается относительно вертикальной оси телескопа.

для наведения на объект. Червяк червячного колеса и малая приводная шестерня цилиндрического кинематически связаны между собой и вращают одновременно, с одинаковой скоростью и в одну и ту же сторону, вертикальную ось ОПЧ. Таким образом, вращение как бы передается одновременно по двум кинематическим ветвям. Узел червяка в своем корпусе с обеих сторон в осевом направлении ограничен регулируемыи подпружиненными упорами, фиксирующими его в нулевом положении. При работе привода вертикальной оси в режиме слежения нагрузка на зубья червячной пары находится в пределах усилий подпружиненных упоров и движение передается по ветви: редуктор — червячная пара — ось. Вторая ветвь: редуктор — цилиндрическая пара — ось при этом оказывается ведомой. При работе привода в режиме наведения осевые нагрузки на червяк превышают усилия пружинных упоров, и червяк смещается вдоль своей оси, до полной нагрузки более прочной цилиндрической пары. 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 ОПЧ установлены две идентичные стойки (10) 8-метровой высоты, представляющие собой сварные коробчатые конструкции, несущие на своих 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 (12), по которым может ходить оператор, и жесткие несущие кронштейны (11) для установки наблюдательных приборов. Снаружи стойки обнесены рифлеными алюминиевыми полосами, образующими обшивку закрытых рабочих помещений. Доступ на балконы стоек с пола подкупольного этажа возможен как с помощью легких одномест-

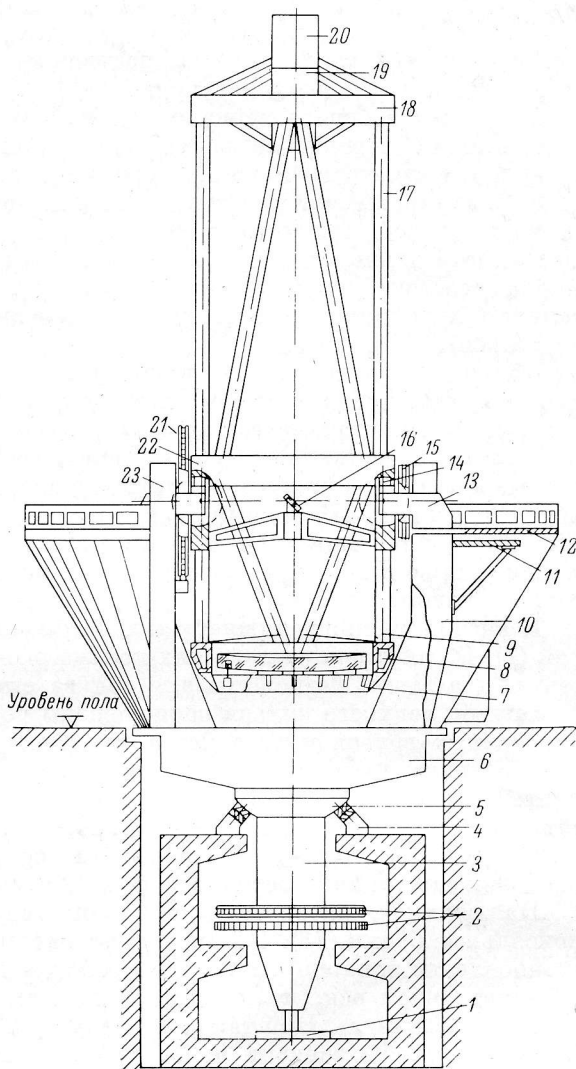


Рис. 3. Схема конструкции 6-метрового телескопа.

ных лифтов (23), установленных на вращающейся платформе, так и по трапам внутри обшивки стоек. На одной из боковых стенок платформы ОПЧ установлены лебедки лифтов, а на противоположной стенке — агрегаты маслопитания гидростатических подшипников горизонтальной оси.

2. Труба телескопа

Труба телескопа состоит из следующих основных частей:

- а) каркаса (несущей конструкции),
- б) оправы главного зеркала с механизмами разгрузки,
- в) стакана первичного фокуса с кабиной наблюдателя,
- г) плоского диагонального зеркала системы неподвижного фокуса.

Каркас стержневой конструкции выполнен по схеме равных прогибов, обеспечивающей высокую точность центрировки оптических деталей при относительно малой абсолютной жесткости несущих элементов.* Каркас состоит из нижнего кольца (8), «средника» (22), верхнего кольца (18), нижних (9) и верхних (17) соединительных трубчатых штанг (стержней).

Кольца и «средник», выполненные в виде стальных сварных коробчатых конструкций, расчленены, для удобства транспортировки, на секции, которые при монтаже соединяются между собой призонными болтами.

Штанги представляют собой бесшовные трубы, механически обработанные как снаружи, так и внутри. К скошенным торцам труб приварены круглые фланцы. Наружный диаметр штанг 420 мм; длина нижних штанг 6750 мм при толщине стенок 15 мм, длина верхних штанг 13 500 мм при толщине стенок 26 мм. Внутри верхних штанг перемещаются балансировочные грузы.

К внешнему торцу нижнего кольца крепится оправа с главным зеркалом (7). Во внутренних полостях кольца расположены редукторы крышек зеркала, а также устройства для обдува его в нерабочее время.

Внутри верхнего кольца расположены редукторы перемещения балансировочных грузов и устройства для вентиляции кабины наблюдателя.

«Средник» состоит из четырех (двух боковых и двух поперечных) плит. В боковых плитах, на уровне центра тяжести трубы, предусмотрены сферические отверстия диаметром 2200 мм. Геометрическая ось вращения трубы проходит через центры этих сферических отверстий, которые расположены в плоскости осей боковых соединительных штанг трубы.

На верхних плоскостях стоек опорно-поворотной части крепятся консольные балки (13). На внутренних концах этих балок на поперечине установлены попарно (под углом 60°) гидростатические подушки (14) горизонтальной оси, по которым скользят сферические поверхности отверстий «средника». При такой конструкции горизонтальной оси точность вращения трубы зависит лишь от точности изготовления сферических отверстий, деформации же «средника» практически не играют роли. Применяв оригинальный метод, удалось достигнуть весьма высоких точностей обработки поверхности этих отверстий: отступления от сферичности не превышают 0.05 мм.

К наружным плоскостям боковых плит «средника» крепятся: с одной стороны червячная шестерня привода z (21) (аналогичная приводной шестерне оси A), а с противоположной стороны кабельный барабан (15), служащий для подводки электропитания с неподвижной стойки на вращающуюся вокруг горизонтальной оси трубу телескопа.

* Схема предложена Серюрьеом [21], впервые успешно применена в 5-метровом телескопе обсерватории Маунт Паломар и отлично зарекомендовала себя в ряде современных инструментов, в том числе и в телескопе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории.

Стакан первичного фокуса (19) состоит из неподвижного внешнего цилиндра (диаметром 1800 мм) и подвижного внутреннего цилиндра, перемещающегося вдоль своей оси. Внешний цилиндр с помощью четырех двоянных растяжек подвешен к верхнему кольцу трубы. Внутри подвижного цилиндра на откидывающихся кронштейнах установлены гиперболическое зеркало системы неподвижного фокуса и компоненты афокального корректора системы первичного фокуса. Попеременный ввод их в рабочее положение осуществляется дистанционно с центрального пульта управления. Приняты меры, обеспечивающие воспроизводимость их установки с надлежащей точностью.

На верхнем фланце подвижного цилиндра установлен поворотный стол, который может вращаться для компенсации параллактического угла. На поворотном столе могут быть установлены различные светоприемники. Перемещение подвижного цилиндра (для целей фокусировки) осуществляется синхронным двухвинтовым механизмом от электропривода, управляемого как с центрального, так и со вспомогательных пультов управления. Скорости фокусировочной подвижки: 0.1 и 0.5 мм/сек.

Кабина наблюдателя (20), имеющая цилиндрическую форму, расположена над стаканом первичного фокуса. Наружный диаметр ее 1800 мм, а высота — 2260 мм. К нижней части кабины, представляющей собой силовую пояс, присоединены четыре кронштейна, крепящие кабину к верхнему срезу верхнего кольца трубы. Поскольку кабина находится на пути пучка света, падающего на главное зеркало, и выделяемое наблюдателем тепло может вызвать дополнительные искажения волнового фронта, кабина со всех сторон закрыта, а стенки ее покрыты изнутри теплоизоляционным слоем. Предусмотрена специальная система, обеспечивающая необходимый воздухообмен.

Кабина оборудована креслом, которое наклоняется при вращении трубы вокруг горизонтальной оси, для того чтобы наблюдатель при работе всегда сохранял вертикальное положение. Кроме того, для выбора наиболее удобного положения относительно светоприемников, имеющих различную длину, кресло может перемещаться параллельно оси кабины.

Внутри кабины установлен местный пульт, с помощью которого производятся необходимые для управления телескопом операции. Предусмотрена двухсторонняя переговорная связь с находящимся у центрального пульта ночным ассистентом наблюдателя.

Наблюдатель входит в кабину при горизонтальном положении трубы через дверь в торцевой крышке кабины. Для аварийного выхода наблюдателя при любом наклоне трубы предусмотрена специальная площадка, перемещающаяся вдоль воротниковых балок купола.

Внутри «средника» на растяжках, в точке пересечения осей A и z , установлено диагональное плоское зеркало системы неподвижного фокуса (16). Зеркало имеет возможность вращения вокруг оси, совпадающей с оптической осью трубы, на угол 180° . Таким образом, пучок света, отраженный от выпуклого гиперболического зеркала, 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.

3. Главное зеркало и его разгрузка

Главное зеркало является основной деталью, определяющей оптические качества телескопа. При проектировании зеркала столь больших размеров впервые пришлось решать ряд вопросов, каждый из которых пред-

ставляет самостоятельную научно-техническую задачу. В рамках данного краткого обзора представляется возможным изложить лишь некоторые соображения и окончательные результаты работ.

Помимо преодоления очевидных трудностей, возникающих при создании крупной стеклянной заготовки зеркала, основная задача заключается в необходимости обеспечить высокую стабильность формы отражающей поверхности зеркала как в процессе его обработки, так и в весьма сложных условиях его эксплуатации в обсерватории.

Известны два основных источника деформаций зеркала: а) деформации вследствие температурных градиентов в зеркале, возникающих под влиянием изменения температуры окружающей среды; б) деформации от собственного веса зеркала. Для уменьшения влияния перепадов температуры предпочтение при любой конструкции зеркала (сплошной, ребристой) должно быть отдано материалу с наименьшим коэффициентом линейного расширения (например, плавленному кварцу, ситаллу). В данном случае выбор материала ограничивался технически реальной возможностью получения заготовки столь больших размеров.*

Окружность	Радиус окружности, R (мм)	Количество механизмов
I	630	6
II	1322	12
III	1998	18
IV	2730	24

Лыткаринским заводом оптического стекла был разработан новый сорт стекла, аналогичный ранее применявшемуся стеклу ЛП-5, но имеющий перед последним некоторые технологические преимущества. Коэффициент линейного расширения этого стекла $\alpha = 3 \cdot 10^{-6}$.

По ряду соображений была принята конструкция сплошного, равнотолщинного (в виде мениска) зеркала с наружным диаметром 6050 мм и толщиной 650 мм (расчетный вес — 42 тонны). Сплошное стеклянное зеркало представляется нам предпочтительнее ребристого, ибо, вследствие его большой тепловой инерции, оно менее подвержено влиянию быстрых изменений температуры окружающей среды. Правда, для того чтобы проводить контрольные измерения рабочей поверхности зеркала в процессе его обработки, потребуются значительные промежутки времени для его отстоя, так как время, необходимое для выравнивания разности температур в диске, пропорционально квадрату толщины диска (в данном случае общей толщины зеркала), а в процессе эксплуатации зеркала придется в дневное время устранять в диске возникшие в ночное время температурные градиенты.

Разгрузка зеркала осуществляется с помощью 60 равномерно нагруженных механизмов, устроенных по принципу взвешенных опор. Механизмы разгрузки введены в соответствующие отверстия в тыльной стороне зеркала и расположены по четырем concentрическим окружностям (см. таблицу).

При расчете деформаций отражающей поверхности зеркала от собственного веса для определения количества и мест расположения опор при заданных параметрах зеркала допустимые деформации определялись, исходя из условия Рэлея, согласно которому суммарные искажения отраженного от зеркала волнового фронта не должны превышать четвертой части длины световой волны $\left(\frac{1}{4} \lambda\right)$ [22—24]. Следовательно, необходимо, чтобы отражающая поверхность зеркала сохраняла свою форму с точностью до $\frac{1}{8} \lambda$.

* Возможность применения металлического зеркала не рассматривалась.

При расчете упругих деформаций зеркала был принят допуск W , равный половине данного суммарного допуска, т. е.

$$W = \frac{1}{16} \lambda = \frac{1}{16} \cdot 0.56 \text{ мкм} = 0.035 \text{ мкм}.$$

На рис. 4 показан график прогиба отражающей поверхности зеркала (в двух сечениях). Из графика видно, что амплитуда упругих деформаций рабочей зоны зеркала не превысила 0.0094 мкм, что в 3.6 раза меньше принятого допуска.

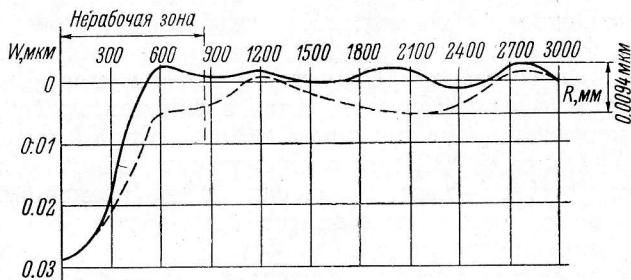


Рис. 4. График прогиба поверхности 6-метрового зеркала (в двух сечениях).

V. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Принятию решения о применении альтазимутальной монтировки для 6-метрового телескопа САО предшествовали исследования Н. Н. Михельсона и его сотрудников в ГАО АН СССР [25, 26], электролаборатории СКБ крупных телескопов ЛОМО, отделов Института электромеханики, целью которых было выявление возможности осуществления системы управления, обеспечивающей необходимые условия эксплуатации инструмента на такой монтировке. Положительные результаты этих исследований явились определяющим аргументом в пользу выбора альтазимутальной монтировки и легли в основу системы управления, впоследствии разработанной лабораторией СКБ ЛОМО (руководитель Е. М. Неплохов) [27—32].

Система управления любым телескопом должна обеспечивать выполнение следующих операций: а) наведение трубы на объект, б) слежение за объектом, в) гидирование (коррекция положения видимого изображения объекта).

В телескопах на экваториальных монтировках выполнение этих операций достигается различными способами и средствами сравнительно просто. В телескопе, имеющем альтазимутальную монтировку, возникают значительные трудности, обусловленные тем, что суточное движение объекта происходит в системе экваториальных координат (t, δ) , а телескопа — в системе азимутальных координат (A, z) , вследствие чего система управления должна обеспечивать неравномерное знакопеременное движение трубы телескопа по обеим координатам и, кроме того, компенсировать видимое вращение поля зрения (изменение параллактического угла q).

В разработанной схеме управления наведение и слежение за объектом наблюдения осуществляется в результате совместной работы трех систем:

а) цифровой системы автоматического управления, в которой в качестве управляющего элемента используется электронная цифровая управляющая машина (ЭЦУМ);

- б) системы компенсации вращения поля (СКВП);
- в) системы фотоэлектрической автоматической коррекции (ФАК),
- т. е. своего рода «грубого» гидирования.

Система управления (СУ) построена на базе цифровой комбинированной (позиционно-скоростной) следящей системы с жесткой позиционной обратной связью, вводимой в ЭЦУМ.

Контроль углового положения осей телескопа производится с помощью преобразователей «угол—код» дискретно до 20-го двоичного разряда (1.25 угловой секунды). Высокая разрешающая способность и точность преобразователей «угол—код» достигаются применением многоотсчетной системы с высокоточным повышающим редуктором, передаточное отношение которого выбирается в виде 2^n , где n определяет разрешающую способность младшего разряда. Редуктор в системе управления выполнен в двух вариантах: в первом используются прецизионные червячные пары осей A и z с передаточным отношением 2^9 , а во втором применен оптический редуктор ГОИ («ОПТОСИН») с передаточным отношением 2^{10} . Опрос преобразователей «угол—код» производится по временным маркерам, показания датчиков хранятся в специальном регистре и считываются по сигналам запуска программы.

В СУ входят также преобразователи «цифра—напряжение» (ПЦН), вырабатывающие сигналы, пропорциональные величине угла рассогласования, сумме скоростей изменения координат и интегралу позиционной ошибки.

ЭЦУМ решает следующие задачи:

а) преобразует координаты объекта из экваториальной системы координат (t, δ) в азимутальную (A, z), вычисляет паралактический угол q , а также рассчитывает скорости изменения координат A, z, P — величины $\dot{A}, \dot{z}, \dot{P}$;

б) работая в реальном масштабе времени, управляет цифровыми следящими системами;

в) вычисляет и вводит поправки;

г) решает логические задачи, связанные с выбором режимов работы СУ и осуществляет необходимые переключения;

д) преобразует исходные данные для расчета $\alpha, \delta, \dot{\alpha}, \dot{\delta}$ и сигналы обратной связи из различных форм представления и систем счисления в цифровой двоичный код;

е) осуществляет преобразование некоторых величин из двоичной системы счисления в градусную и часовую, а также вывод информационных данных на световое табло пульта управления;

ж) контролирует правильность работы СУ и процесса вычислений, проводимых ЭЦУМ.

Однако, вследствие ряда неизбежных погрешностей, слежение за объектом по заданной программе не может имитировать, в отношении точности, часовое ведение экваториального телескопа. Поэтому ошибка слежения компенсируется системой грубого гидирования, в качестве датчика которой используется оптический гид, имеющий световой диаметр 700 мм и фокусное расстояние 10 м. Гид снабжен системой фотоэлектрической автоматической коррекции (ФАК) и передающей телевизионной системой. С помощью телевизионной системы производится отождествление звездного поля и выбор звезды для гидирования. Видеоконтрольное устройство телевизионной системы установлено на центральном пульте управления* (рис. 5).

* Впоследствии имеется в виду использовать систему телевизионного гидирования и в качестве системы ФАК.

Таким образом, в результате совместной работы трех упомянутых систем, производится наведение трубы на объект и имитируется часовое ведение за объектом.

Разумеется, вследствие целого ряда погрешностей (нарушения параллельности оптических осей гида и основной трубы из-за гнутостей и термических эффектов, коллимационных ошибок и пр.), гидирование путем

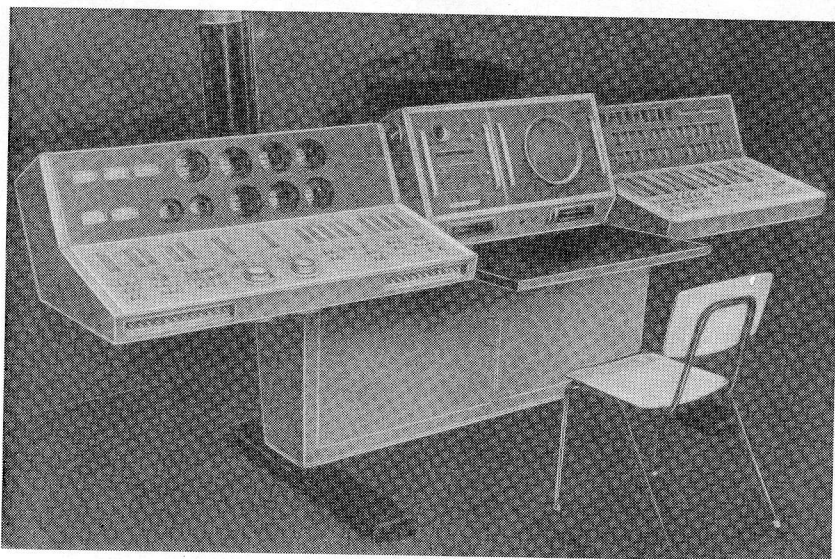


Рис. 5. Центральный пульт управления 6-метрового телескопа.

непосредственного слежения за объектом как в первичном, так и в неподвижном фокусах не исключается и будет осуществляться, как и в экваториальных телескопах, местным гидированием (на щели спектрографа, диафрагме фотометра и т. д.).

Ожидаемая результирующая точность слежения должна находиться в пределах $0.1 \div 0.2$ угловой секунды.

ЭЦУМ и все приборы системы управления разрабатывались в СКБ крупных телескопов ЛОМО, за исключением датчиков температуры воздуха и давления (необходимых для автоматической выработки поправки за рефракцию), разработка и изготовление которых осуществлялось в ГГО им. Воейкова.

VI. СТРОИТЕЛЬСТВО ТЕЛЕСКОПА

Предварительная заводская сборка телескопа была начата летом 1966 г. и завершена в ноябре 1967 г. (рис. 6). На место главного зеркала и оправы с механизмами разгрузки был установлен железобетонный имитатор, уравнивающий трубу.

Отливка и тонкий отжиг 60-тонной заготовки главного зеркала были закончены в сентябре 1967 г. На рис. 7 показана транспортировка формы с заготовкой зеркала на станок для предварительной обработки. В настоящее время зеркало обрабатывается в специально построенном термостабильном цехе на уникальном станке, созданном советскими машиностроителями (рис. 8).

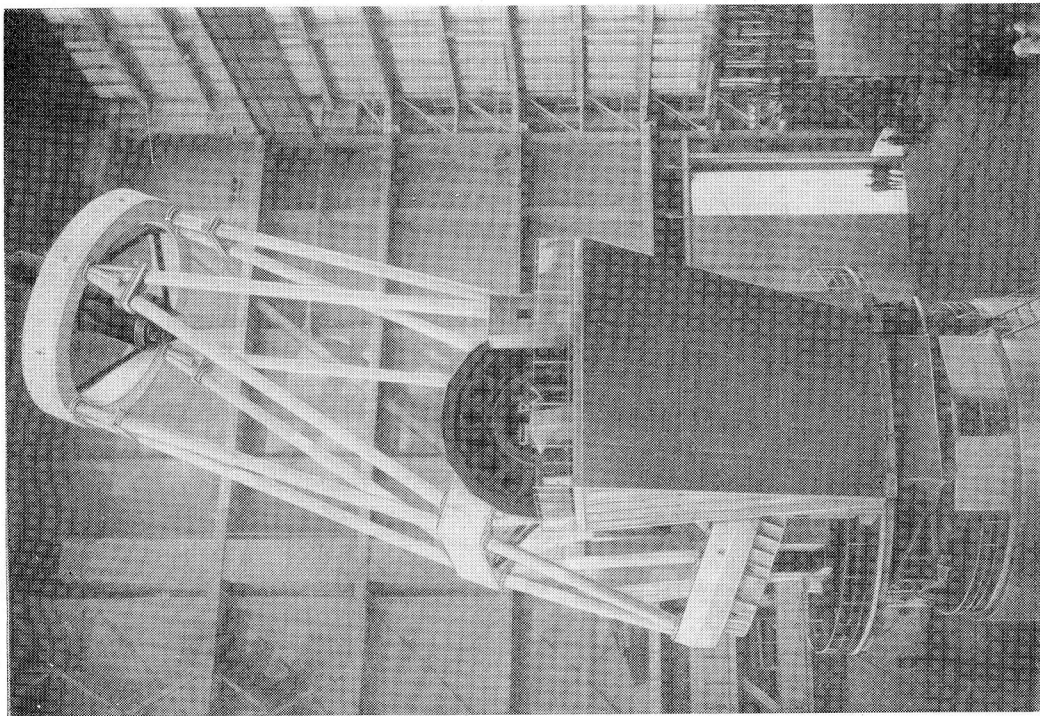


Рис. 6. 6-метровый телескоп после предварительной сборки в цехе завода.

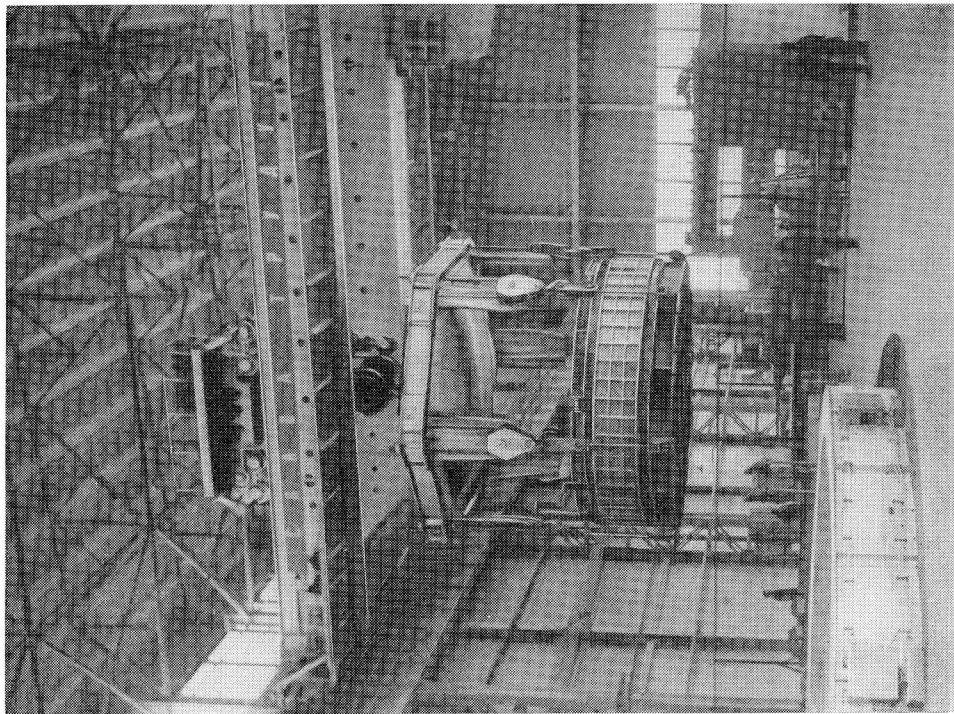


Рис. 7. Транспортировка формы с заготовкой 6-метрового зеркала на станок для предварительной обработки.

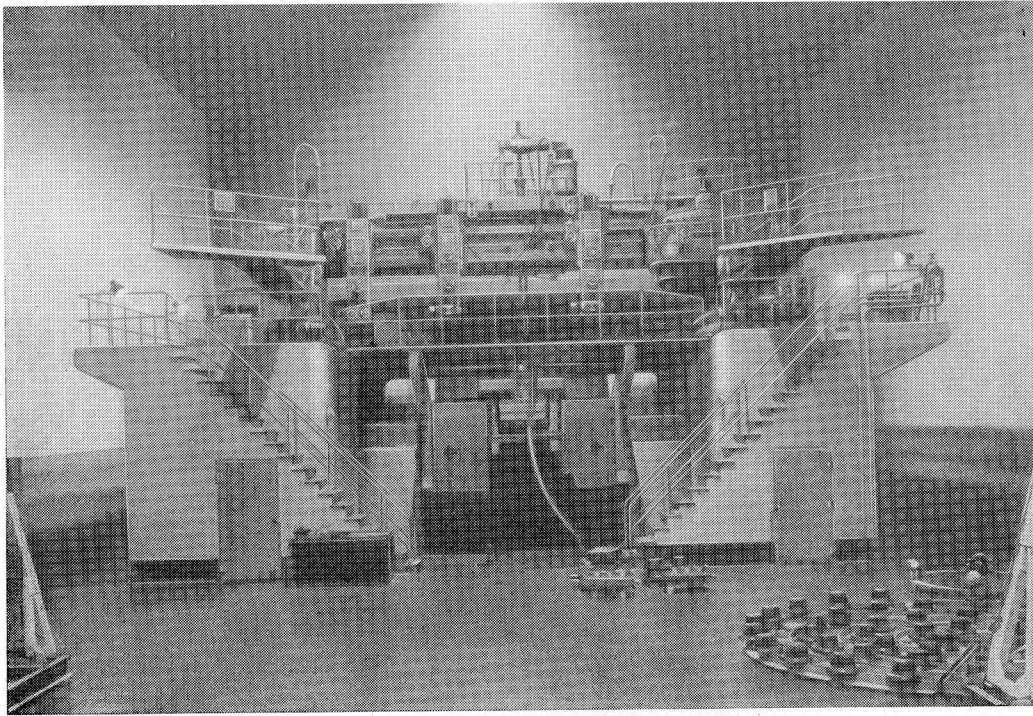


Рис. 8. Станок для шлифовки и полировки 6-метрового зеркала.

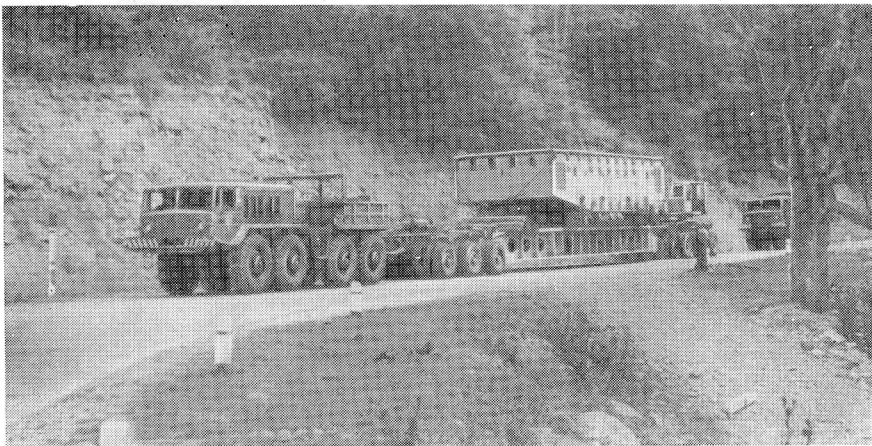


Рис. 9. Транспортировка платформы опорно-поворотной части 6-метрового телескопа на трейлере по дороге в обсерваторию.

Летом 1968 г. все крупногабаритные узлы и детали телескопа были доставлены из г. Ленинграда к месту монтажа телескопа (на высоте 2070 м над ур. м.). Эта весьма сложная операция была успешно выполнена организацией «Главмосавтотранс» совместно с речниками. На рис. 9 показана транспортировка платформы ОПЧ по дороге в обсерваторию на специально изготовленном трейлере грузоподъемностью 100 тонн.

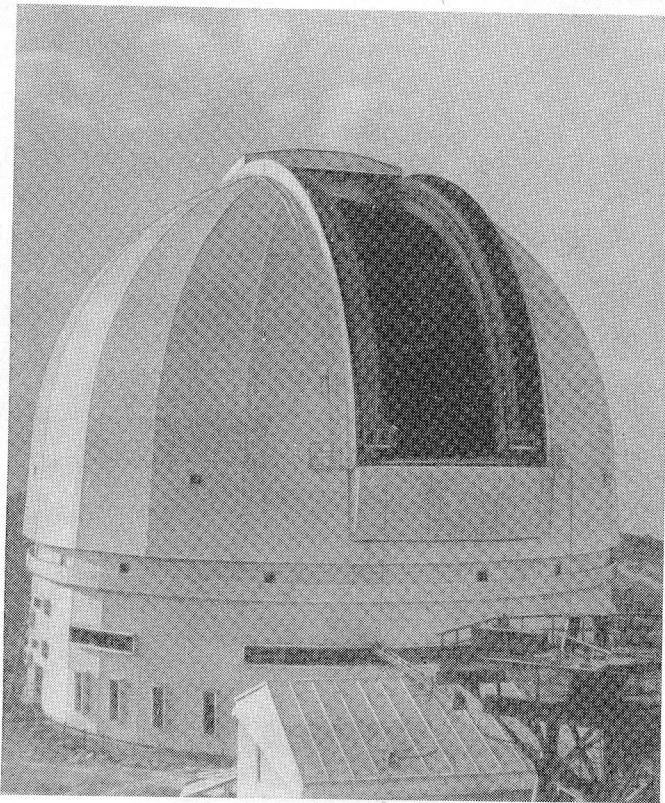


Рис. 10. Башня для 6-метрового телескопа (в процессе строительства).

После завершения тщательной предмонтажной подготовки, в октябре 1969 г. начался монтаж телескопа в построенной для него башне (рис. 10). В ближайшем будущем предполагается окончание монтажа телескопа и приборов системы управления. Затем будет производиться предварительная отладка телескопа с имитатором зеркала и при помощи гида будут исследоваться некоторые точностные характеристики системы управления. Только после этого главное зеркало, алюминирование которого будет произведено в вакуумной установке, предусмотренной для этого в башне, будет собрано с оправой и установлено на телескопе для окончательного исследования и астрономических испытаний.

Литература

1. И. С. Боуэн. 200-дюймовый телескоп Хэла. В кн. «Телескопы», под ред. Дж. Койпера и Б. Миддлхёрст, ИЛ, М., 1963.
2. Б. К. Иоаннисиани, Оптико-механич. промышл., № 6, 1, 1957.

3. Б. К. Иоаннисиани, сб. «Новая техника в астрономии», Изд. АН СССР, М.—Л., 1963, стр. 5.
4. Б. К. Иоаннисиани, сб. «Новая техника в астрономии», Изд. АН СССР, М.—Л., 1963, стр. 8.
5. Б. К. Иоаннисиани, Оптико-механич. промышл., № 4, 25, 1958.
6. Н. С. Журкин, В. М. Кошпин, Г. Л. Брук, сб. «Новая техника в астрономии», Изд. АН СССР, М.—Л., 1963, стр. 13.
7. В. В. Ошурко, сб. «Новая техника в астрономии», Изд. АН СССР, М.—Л., 1963, стр. 16.
8. K. Strand, Sky Telesc., 27, No. 4, 1964.
9. Н. И. Кучеров, Тр. совещания по исследованию мерцания звезд, Изд. АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 133; сб. «Оптическая нестабильность земной атмосферы», «Наука», М.—Л., 1965.
10. Б. К. Иоаннисиани, сб. «Новая техника в астрономии», вып. 3, «Наука», М.—Л., 1970, стр. 5.
11. R. Rieckher, Fernrohre und ihre Meister. Berlin, 1957, S. 33, 246.
12. H. S. King. The History of the Telescope. London, 1955, pp. 42, 180—184.
13. P. V. Fellgett, Occasion. Notes R. astr. Soc., 3, No. 8, 143, 1956.
14. Н. Н. Михельсон, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 169, 131, 1961.
15. Н. Н. Михельсон, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 181, 23, 1966.
16. Н. Н. Михельсон, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 185, 279, 1970.
17. Б. К. Иоаннисиани, В. А. Ковалев, Л. А. Берент, Авт. свид. № 178522, Бюлл. изобр., № 3, 1966.
18. Б. К. Иоаннисиани, А. А. Саат, Г. С. Емельянов, Авт. свид. № 181912, Бюлл. изобр., № 9, 1966.
19. А. А. Саат, А. А. Зайцев, Авт. свид. № 164142, Бюлл. изобр., № 14, 1964.
20. Б. К. Иоаннисиани, А. А. Саат, Авт. свид. № 162683, Бюлл. изобр., № 10, 1964.
21. M. Segurier, Civil Engineering, No. 8, 524, 1938.
22. Н. С. Самофал, Оптико-механич. промышл., № 6, 1, 1966.
23. Н. С. Самофал, Оптико-механич. промышл., № 12, 23, 1966.
24. Е. Г. Гроссвальд, К. С. Тавастшерна, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 177, 114, 1964.
25. Н. Н. Михельсон, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 169, 167, 1961.
26. Ю. А. Беляев, Изв. Глав. астр. obs. в Пулкове, № 169, 171, 1961.
27. Ю. А. Сабинин, П. В. Николаев. Фотоэлектрические следящие системы. «Энергия», М.—Л., 1969.
28. Е. М. Неплохов, Н. П. Болдырев, Приборостроение, № 1, 3, 1966.
29. Е. М. Неплохов, Я. В. Вятский, А. С. Найшуль, сб. «Цифровые системы управления точными механизмами», «Наука», М.—Л., 1967, стр. 125.
30. Е. М. Неплохов, сб. «Цифровое управление в системах автоматике», «Наука», М.—Л., 1968, стр. 173.
31. Е. М. Неплохов, В. А. Бесекерский, Тр. третьего Всесоюзного совещания по теории инвариантности и ее применению в системах автоматического управления, «Наука», М.—Л., 1967.
32. Е. М. Неплохов и др., сб. «Цифровое управление в системах автоматике», «Наука», М.—Л., 1968, стр. 73.

Декабрь 1969 г.