

СВЕТОСИЛЬНЫЙ ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП АЗТ-33ВМ

© 2009 г. С. А. Денисенко*; С. Ф. Камус*; Ю. Д. Пименов*, канд. техн. наук; В. И. Тергоев**;
П. Г. Папушев**, канд. физ.-мат. наук.

* ОАО “ЛОМО”, Санкт-Петербург

** Институт Солнечной и Земной физики СО РАН, г. Иркутск

Изложены особенности построения оптических систем широкоугольных двухзеркальных телескопов. Рассматривается оптическая система большой апертуры, основанная на модифицированной схеме Ричи–Кретьена с предфокальным корректором.

Ключевые слова: цифровые микроскопы, анализ изображения, цветопередача.

Коды OCIS: 220.4830, 350.1260.

Поступила в редакцию 28.04.2009.

Введение

В течение последних 10 лет в области оптического телескопостроения достигнуты значительные успехи, позволившие осуществить разработку и практическое использование сверхширокоугольных телескопов умеренного размера [1–4]. Новые результаты в различных разделах астрофизики, включая планетологию, звездную астрофизику, звездную динамику в различных галактических структурах, внегалактическую астрономию, полученные с помощью первого из ряда таких телескопов – 2,5-метрового телескопа SDSS [5], убедительно свидетельствуют о появлении нового класса инструментов в современной наблюдательной астрономии. Большую роль широкоугольные телескопы диаметром 1,5–2 м будут играть в области прикладной астрономии – при измерении и каталогизации ИСЗ и космического мусора, поиске и обнаружении сближающихся с Землей космических объектов естественного происхождения. Применение широкоугольного телескопа двухметрового диаметра для решения общей задачи контроля космоса обеспечит обзор неба со скоростью не менее 10 000 кв. градусов в ночь с проникающей силой не хуже 23–24 звездной величины (зв. вел.) по неподвижным объектам и не ниже 20 зв. вел. по движущимся объектам. В методическом плане решаемые задачи аналогичны проводившимся в середине XX века работам по картографированию небесной сферы с помощью телескопов Шмидта и наблюдению ИСЗ с помощью камер

ВАУ и Бейкера–Нана [6]. Эти телескопы и камеры обладали широкими полями. Однако принципиальные ограничения, связанные с использованием линзовых элементов, не позволяют увеличивать диаметр оптических систем и, следовательно, увеличивать проникающую способность и оперативность получения информации.

Новые возможности картографирования небесной сферы, обнаружения подвижных и транзиентных объектов определились на рубеже XXI века и связаны с современными достижениями в области оптического приборостроения, микроэлектроники и вычислительной техники. При этом в качестве базовой технологии во всех известных работах используется процесс изготовления крупногабаритных светосильных асферических зеркал. Оптические системы новых телескопов являются развитием известной оптической системы Ричи–Кретьена, используемой в 80–90 годах XX века при создании телескопов с диаметром от 1 до 4 метров. Они широко применяются в современной астрономии, обеспечивая высокое качество изображения при полях от 5' до 40'.

Основными технологиями при решении задачи построения широкоугольной оптической системы большого диаметра являются

- технология производства крупногабаритных светосильных асферических зеркал,
- технология сборки больших форматных ПЗС-матриц в мозаики с площадью до 500 см².

На “ЛОМО” эти технологии были применены и доведены до практического использования при изготовлении специализированного инфракрас-

ного (ИК) телескопа АЗТ-3ЗИК [7]. В настоящей работе рассмотрены особенности построения системы нового широкоугольного телескопа диаметром 1,6 м – АЗТ-3ЗВМ.

Оптическая схема

Оптическая схема телескопа основана на модифицированной схеме Ричи–Кретьена с предфокальным корректором. Требуемые параметры системы – диаметр углового поля до 3° при небольшом центральном экранировании. Размеры aberrационного кружка точечного изображения должны соответствовать размеру пикселя современных ПЗС-приемников. Для описываемой оптической системы линейные размеры фокальной плоскости были ограничены диаметром 300 мм.

Оптическая схема телескопа показана на рис. 1. Она состоит из двухзеркальной системы 1, 2 и двухкомпонентного предфокального корректора 3. Фокальная плоскость f_1 видимого диапазона находится внутри трубы телескопа перед главным зеркалом 1 на расстоянии 0,6 м от него. Благодаря этому удалось заметно снизить диаметр и массу вторичного зеркала и повысить светопропускание системы.

Внутреннее расположение фокальной плоскости не является традиционным в крупных отечественных телескопах из-за наличия громоздкой сменной научной аппаратуры, но широко используется в широкоугольных системах типа камер Шмидта. Большое центральное отверстие в главном зеркале обеспечивает удобное расположение фотоприемной аппаратуры, облегчает проблемы

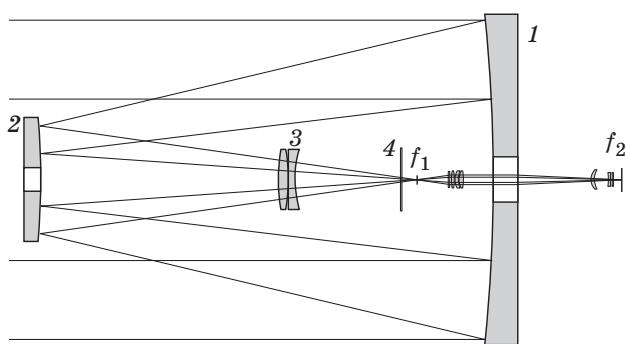


Рис. 1. Оптическая схема телескопа АЗТ-3ЗВМ. 1 – главное зеркало, 2 – вторичное зеркало, 3 – предфокальный корректор, 4 – защитное стекло, f_1 , f_2 – фокальные плоскости видимого и инфракрасного диапазона соответственно.

балансировки и позволяет существенно уменьшить клиренс вилки телескопа.

Основные характеристики оптической схемы приведены в таблице. Проведенные оценки допустимых разъюстировок рассматриваемой оптической системы показывают, что для сохранения значения функции концентрации энергии на принятом размере пикселя при уменьшении ее значения от расчетного в центре поля зрения в пределах 10% допуски на смещения вторичного зеркала не должны превышать следующих значений:

- наклон – не более $\pm 10''$,
- поперечное смещение – $\pm 0,1$ мм,
- глубина резкости – 0,01 мм.

Столь жесткие требования к расположению основных оптических элементов телескопа создают дополнительные трудности при конструировании трубы телескопа. Поэтому, как и в других современных разработках, достижение требуемых значений соосности и параллельности главных оптических элементов должно быть обеспечено за счет применения активной оптики.

Основные характеристики оптической схемы

Характеристика	Значение
Диаметр входного зрачка, мм	1600
Фокусное расстояние, мм	5600
Коэффициент центрального экранирования по диаметру	0,41
Относительное отверстие	1:3,5
Угловое поле в пространстве предметов	до 3°
Линейное поле в пространстве изображений, мм	до 300
Спектральный диапазон, мкм	0,4–1,1 (0,25–3,5) _{max}
Интегральный коэффициент пропускания	0,63
Максимальная дисторсия, %	1,2
Концентрация энергии (полихроматическая) в кружке рассеяния, %	
– в центре поля (диаметр кружка 0,4'')	81
– на краю поля (диаметр кружка 0,8'')	66
Общая длина, мм	2500
Проникающая способность, зв. вел.	22 в области "V"

Для исправления динамических ошибок волнового фронта предназначается активная оптика. Ошибки возникают из-за изменения расположения зеркал в процессе эксплуатации вследствие перепадов температуры, нарушения соосности и параллельности элементов оптической системы телескопа при гнутье трубы телескопа. Этот тип ошибок имеет низкочастотный спектр – от 0,01 Гц и ниже. Задачей активной оптики, представленной системой контроля и обеспечения качества изображения в телескопе, является измерение смещений вторичного зеркала относительно главного по пяти степеням свободы и отработка измеренных смещений с помощью пяти приводов по командам системы управления. Датчики совместно с приводами перемещения и системой управления образуют единую систему, которую можно назвать системой контроля и обеспечения качества изображения. Система должна включать следующие подсистемы управления вторичным зеркалом:

- систему контроля смещений (СКС), которая оценивает его смещения по двум осям;
- систему контроля наклонов (СКН) для оценки углов разворотов зеркала относительно двух осей,
- систему контроля фокусировки для определения смещения вдоль продольной оси.

Кроме систем компенсации собственных ошибок, предусматривается возможность использования ярких звезд поля для определения качества изображений и снижения динамических ошибок с частотой до 10 Гц, вызванных оптической нестабильностью земной атмосферы. Адаптивная оптическая система будет построена на базе датчика Шака–Гартмана и биморфного плоского зеркала.

Конструкция

Общим требованием к разрабатываемому телескопу является обеспечение высокой скорости обзора неба при предельной проникающей способности. Это достигается изготовлением светосильной оптической системы и сборкой большеформатных мозаик ПЗС-матриц в фотоприемнике.

В разрабатываемом телескопе АЗТ-33ВМ используется сплошное облегченное зеркало с диаметром заготовки около 1,7 м и массой 530 кг. Конструкция зеркала и его система разгрузки отработаны в процессе изготовления телескопа АЗТ-33ИК. С оправой главного зеркала жестко связаны узел двухлинзового предфокального корректора и блок фотоприемной аппаратуры.

Все эти узлы являются жесткой конструкцией, а функции компенсации ошибок коллимации и параллельности могут быть осуществлены путем наклонов и перемещений вторичного зеркала по пяти степеням свободы.

Вторичное зеркало закрепляется в оправе в виде отдельной сборки и устанавливается на автоматизированном приводе, обеспечивающем линейные перемещения вторичного зеркала вдоль трех взаимно перпендикулярных осей и разворот его вокруг двух из них. В настоящее время рассматривается возможность применить в качестве автоматизированного привода гексапод. С вторичным зеркалом жестко связаны контрольные отражатели систем СКС и СКН: плоское автоколлимационное зеркало и триплель-призма. При поперечных смещениях вторичного зеркала триплель-призма также смещается и при этом

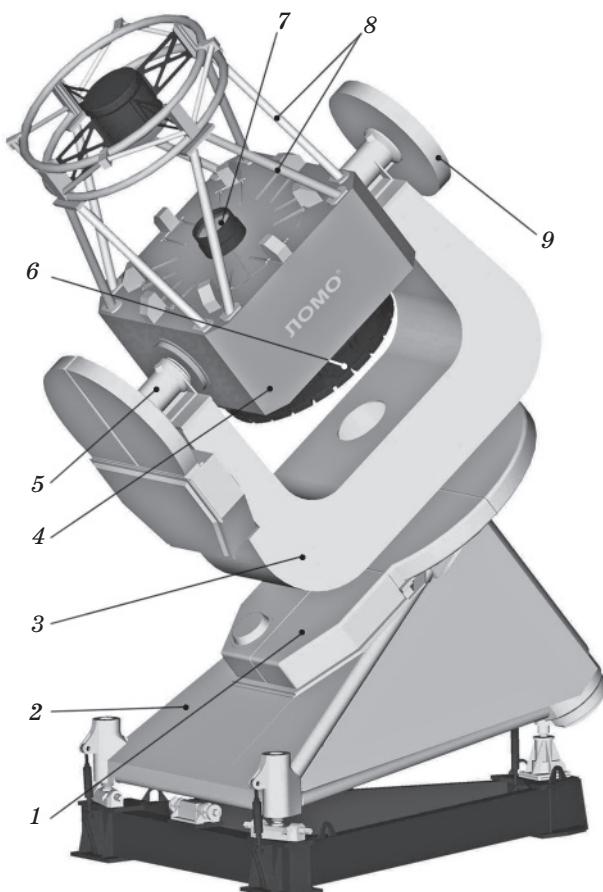


Рис. 2. Конструкция телескопа АЗТ-33ВМ.
1 – прецизионный червячный привод часовой оси, 2 – прецизионный червячный привод оси склонения, 3 – вилка, 4 – средник, 5 – цапфы монтировки, 6 – главное зеркало в оправе, 7 – линзовый корректор, 8 – металлоконструкция трубы, 9 – ось склонения.

смещает на удвоенную величину сфокусированное на ней изображение точечного тест-объекта, которое формируется специальным автоколлиматором системы контроля смещений. Смещение изображения измеряется фотоприемным устройством, встроенным в автоколлиматор.

При наклонах вторичного зеркала наклоняется также закрепленное на нем плоское автоколлимационное зеркало. Величина наклонов регистрируется фотоприемным устройством, связанным с отдельным автоколлиматором. Благодаря большому полю имеется возможность использования ярких звезд для определения дрожания и расфокусировки изображений. Обработанные значения передаются на систему управления вторичным зеркалом.

В конструкции телескопа АЗТ-33ВМ (рис. 2) используется экваториальная вилочная монтировка, состоящая из корпуса часовой оси 2, вилки 3 и прецизионных червячных приводов по часовой оси 1 и оси склонения 9, использующих высокоточный цифровой привод на базе высокомоментных шаговых приводов с микропроцессорным управлением и цифровых датчиков угловых перемещений телескопа. Металлоконструкция трубы открытого типа выполнена как половина схемы Серрюэра. Средник 4 является одним из главных узлов телескопа. С одной стороны, это базовый узел для сборки и центрировки металлоконструкции трубы 8, а с другой – средник вместе с цапфами монтировки 5 образует в телескопе ось склонений. Средник в составе металлоконструкции трубы предназначен для установки главного зеркала в оправе 6, линзового корректора 7 и фотоприемной аппаратуры.

Предложенная конструкция трубы обеспечивает жесткое крепление всех базовых элементов оптической системы и оправдывает выбор вторичного зеркала в качестве активного элемента. Предлагаемый выбор обоснован модельными расчетами при эскизном конструировании, а выбор монтировки, приводов и системы управления подтвержден в процессе проведения заводских испытаний предшествующей конструкции.

Заключение

Широкоугольные светосильные оптические системы на основе модифицированных систем Ричи–Кретьена умеренного диаметра (до 1,5 м)

являются новыми, перспективными средствами для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач современной астрономии. Основными областями применения разрабатываемого широкоугольного телескопа являются

– проведение высокоскоростных обзоров экваториальной области неба для обнаружения и каталогизации высокоапогейных космических объектов,

– поиск, обнаружение и измерение характеристик опасных космических объектов (астероидов и комет), сближающихся с Землей на предельных дальностях;

– проведение цифровых обзоров неба и создание каталогов слабых фотометрических стандартов.

Разработанный ОАО “ЛОМО” телескоп АЗТ-33ВМ полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным широкоугольным телескопам, и может служить базовым инструментом для исследований по широкому кругу проблем современной фундаментальной и прикладной астрономии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Г., Теребиж В. Модифицированная система Рихтера-Слефогта // Известия КРАО. 2001. Т. 97. С. 101–113.
2. Viotti R., Badiai M., Boattini A. Wide-field observation at Dome Concordia // Mem. S.A. It. Supplement. 2003. V. 2. P. 177.
3. Денисенко С.А., Камус С.Ф., Папушев П.Г., Пименов Ю.Д., Тергоев В.И., Чупраков С.А. Широкоугольные светосильные астрономические телескопы умеренных размеров // Труды 2-го съезда астрономического общества России. Санкт-Петербург. 2002. С. 104.
4. Kaizer N.J. Pan-STARRS: a wide-field optical survey telescope array // Proc. SPIE. 2004. V. 5489. P. 11–22.
5. Waddel P., Mannery E., Gunn et al. The Sloan Digital Sky Survey 2/5 meter telescope // Optics. 1999. Sloan Digital Sky Survey Telescope Technical Note 19980416. P. 56–58.
6. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. М.: Наука, 1976. 512 с.
7. Камус С.Ф., Тергоев В.И., Папушев П.Г., Дружинин С.А., Караваев Ю.С., Палацев Ю.Н., Денисенко С.А., Липин Н.А. Широкодиапазонный астрономический телескоп // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 9. С. 84–87.