

ПУЛКОВСКИЙ МЕРИДИАННЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИМ. Л.А. СУХАРЕВА (МАГИС)

© 2010 г. И. И. Канаев, канд. физ.-мат. наук; Т. Р. Кирьян, канд. физ.-мат. наук; Н. А. Шкутова; А. В. Шумахер; К. Н. Наумов; А. В. Девяткин, канд. физ.-мат. наук; В. В. Никифоров; О. П. Русаков; И. Н. Кондратенко; Д. Л. Горшанов, канд. физ.-мат. наук; В. В. Куприянов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

E-mail: adev@gao.spb.ru

Дано описание конструктивных особенностей меридианного телескопа горизонтального типа МАГИС Пулковской обсерватории и принципа его работы. Рассмотрены вопросы технологического и метрологического обоснования выбора материалов для его узлов. Меридианный круг МАГИС предназначен для дифференциальных определений координат (прямых восхождений и склонений) объектов до 17-й звездной величины на небесной сфере в полосах B , V , R фотометрической системы Джонсона и в интегральной полосе чувствительности приемника.

Ключевые слова: телескоп горизонтального типа, астрономическая оптика.

Коды OCIS: 110.6770, 350.1260.

Поступила в редакцию 26.05.2009.

1. Введение

Опыт развития современной астрометрии доказал нецелесообразность отказа от традиционных наземных методов наблюдений, возможности их эффективного использования для решения задачи получения высокоточных координатных измерений. Однако для этого меридианные инструменты должны быть усовершенствованы. Полная автоматизация процесса наблюдений, применение ПЗС-матриц в качестве приемников света, согласование их характеристик с параметрами оптики являются необходимыми условиями работы такого телескопа.

В качестве одного из телескопов для решения этих задач используется меридианный автоматический горизонтальный инструмент им. Л.А. Сухарева – МАГИС.

2. Область применения

Меридианный круг МАГИС предназначен для выполнения астрономических и фотометрических наблюдений небесных тел до 17-й звездной величины.

Область измеряемых склонений, зависящая от широты установки инструмента, применительно к настоящему месту расположения теле-

скопа МАГИС в Пулковской обсерватории находится в интервале от -20 до $+90$ градусов по склонению.

3. Конструкция телескопа

В основу телескопа МАГИС положена конструкция Пулковского горизонтального меридианного круга Л.А. Сухарева (ГМК) [1, 2].

Основные геометрические параметры МАГИС следующие:

- световой диаметр объектива – 190 мм,
- фокусное расстояние объектива – 8000 мм,
- размеры отражающей поверхности зеркала 210×300 мм,
- длина оси вращения зеркала – 760 мм,
- диаметр разделенной окружности лимбов – 412 мм,
- диаметр рабочего сечения цапфы – 80 мм,
- цена деления лимба – $5'$.

Принцип действия телескопа МАГИС поясняет рис. 1.

Центральное плоское зеркало 1 (рис. 1) направляет свет от наблюдаемого объекта в объектив 8 южного горизонтального коллиматора 2, установленного в плоскости меридиана центрального зеркала. Ось вращения зеркала 1 совпадает с плоскостью первого вертикала. Угол поворота

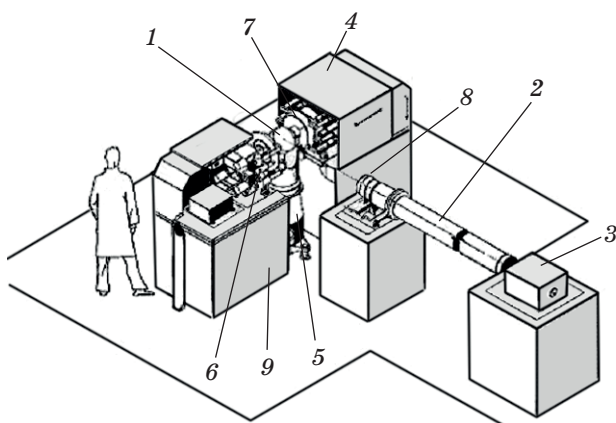


Рис. 1. Блок-схема конструкции телескопа МАГИС.

зеркала относительно плоскости горизонта измеряется с помощью разделенных стеклянных лимбов 7, жестко связанных с осью вращения зеркала, и измерительных микроскопов 6 системы измерения угла поворота и наведения зеркала на наблюдаемый объект.

Положение изображения объекта в фокальной плоскости объектива 8 регистрируется с помощью окулярного микрометра 3.

Бараны с микроскопами, опорные лагеры оси вращения зеркала смонтированы на столбах 9 в плоскости первого вертикала. Все устройства на столбах 9 закрываются защитными кожухами 4.

Опорная колонна 5 обеспечивает разгрузку центрального узла с зеркалом – остаточное давление на лагеры должно быть 10–20 кг на каждый лагерь.

3.1. Блок главного зеркала МАГИС

Опыт работы на ГМК показал, что цельнометаллическое зеркало, использованное Л.А. Сухаревым, действительно обладало высокой стабильностью основного параметра – коллимации [3] (отклонение от 90° угла между нормалью к отражающей поверхности зеркала и его осью вращения), важнейшего при абсолютных наблюдениях (температурный коэффициент коллимации металлического зеркала – $0,004''/^\circ\text{C}$ [1]).

Однако при работе в открытом павильоне металл сильно ржавеет (как отражающая поверхность, так и цапфы оси вращения). Зеркало довольно быстро приходит в негодность. Оптическая же обработка металлической поверхности – достаточно сложный технологический процесс.

В процессе эксплуатации также было обнаружено значительное изменение формы отражающей поверхности [2]. Плоская поверхность зеркала, использовавшегося на ГМК в 1981–90 гг., превратилась почти в сферическую. Деформация составила 2 кольца и, вероятно, явилась следствием внутренних напряжений в металле, не снимаемых при изготовлении крупногабаритного блока зеркала.

В силу сложности изготовления цельнометаллического зеркала была предпринята попытка разработки конструкции зеркала МАГИС с применением новых перспективных технологий, которая завершилась достаточно успешно.

Для МАГИС было изготовлено зеркало из силицированного карбида кремния (SiC). Этот материал лишь немного уступает алмазу по твердости, обладает высокой температуропроводностью, высоким модулем упругости, не подвержен окислению, имеет малый удельный вес. Благодаря таким свойствам SiC считается одним из самых перспективных материалов, в том числе в космическом телескопостроении.

Для сравнения в табл. 1 приведены значения коэффициента Д.Д. Максудова $\psi = Eq/\alpha$, которые характеризуют материал с точки зрения “эффекта края”, т. е. степени деформируемости зеркала при наличии в нем градиента температуры. Здесь E – модуль упругости материала, q – коэффициент температуропроводности, α – коэффициент линейного расширения [4].

Из таблицы следует, что даже бериллий – “космический” металл – значительно уступает SiC по этому показателю. Благодаря очень высокому значению модуля упругости SiC возможно изготавливать зеркала сотовой конструкции с малой толщиной стенок (до 5 мм для оптической поверхности). Можно сказать, что при длительной работе в открытом павильоне зеркало МАГИС находится даже в более сложных условиях, чем при работе в космосе. Пыль, влага, кислотные компоненты в атмосфере, темпера-

Таблица 1. Значения коэффициентов Д.Д. Максудова ψ для разных материалов

Материал	SiC	Бериллий	Медь	Ситалл	Алюм. сплав	Сталь	Плав. кварц	Пирекс	Кронгласс
ψ	697	136–165	76	27	11–26	25	13	1,2	0,4

турные градиенты до $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ и скорости изменения температуры до $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ – обычные явления при астрономических наблюдениях. То есть, применение этого материала для наших целей оправдано и перспективно.

Центральное плоское зеркало (рис. 2) представляет собой сложную конструкцию из силицированного карбида кремния (отражающий элемент) и инваровых сплавов, согласованных с SiC по коэффициенту температурного расширения (элементы сборной оси вращения). В ГОИ была разработана технология изготовления оптической поверхности непосредственно на карбиде кремния.

Отражающий элемент из SiC имеет две плоских отражающих поверхности, отстоящих от оси вращения на половину толщины карбидного блока, равной 65 мм. В осевое отверстие блока из SiC вклеивается металлическая втулка, через которую пропускается вал. Концы вала обработаны на конус (конус Морзе), и на них насаживаются полуоси. Втулка, вклеиваемая в блок зеркала, соединена с валом так, что отражающая поверхность может поворачиваться специальным механизмом относительно оси вращения зеркала, что позволяет регулировать угол коллимации.

На полуосях цанговыми зажимами крепятся оправы лимбов, шестерен привода вращения зеркала, подшипники системы разгрузки зеркала.

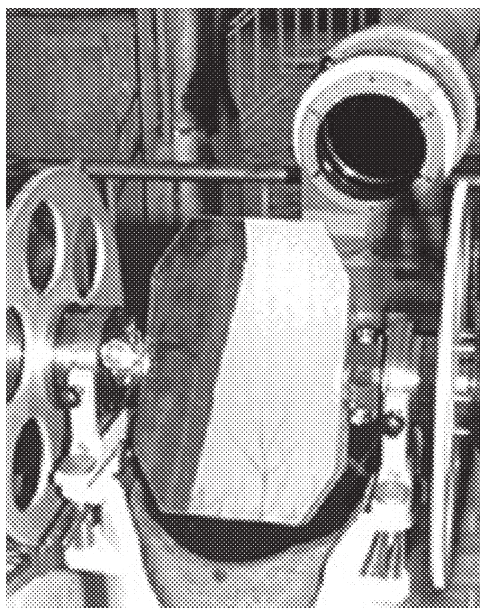


Рис. 2. Центральное плоское зеркало телескопа МАГИС.

В соответствии с технологией, разработанной ГОИ, рабочие поверхности цапф подлежат азотированию, что дает возможность выполнить их обработку с требуемой точностью (отклонение рабочего сечения от окружности не более нескольких микрометров, шероховатость – не более нескольких десятых микрометра), повысить износостойкость, долговечность профилей рабочих сечений. Однако в связи с тем, что процесс азотирования происходит при высоких температурах, имеется риск деформаций деталей. После консультаций со специалистами ЦНИИ КМ “Прометей” (Санкт-Петербург) было решено заменить азотирование цапф нанесением специального покрытия ($\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Cr}_2\text{O}_3$) детонационным методом по технологии, разработанной в этом НИИ. Там же эта работа была выполнена вплоть до обработки нанесенного покрытия с точностью, требуемой для сборки осевой системы и дальнейшей работы зеркала МАГИС.

В результате мы получили цапфы, профили рабочих сечений которых не отклоняются от окружности более чем на 3 мкм, а шероховатость остается в пределах 0,1–0,3 мкм (измерения проведены после сборки зеркала и установки его на штатных лагерах в павильоне МАГИС с помощью индикатора вертикальных перемещений с ценой деления 1 мкм). По испытаниям на твердомере Виккерса (в соответствии с паспортными данными) по ГОСТ 2995-95 при нагрузке 2Н твердость покрытия составила $1100\text{ кгс}/\text{мм}^2$. Прочность сцепления определялась на разрывной машине в соответствии с ГОСТ 1497-84 на адгезионных образцах (диаметр шайб 20 мм, диаметр штифта 2 мм) и составила 42 МПа.

Используемый отражающий элемент имеет сотовую конструкцию, благодаря чему его масса уменьшалась до 5 кг вместо 13,4 кг при сплошном блоке. Все детали крепления на оси лимбов, их оправ, шестерен привода вращения зеркала, подшипников разгрузочного устройства также изготовлены из инваровых сплавов. В результате суммарная масса центрального узла зеркала в сборке составила 45 кг и стало возможно выполнять наблюдения без его разгрузки. Для сравнения скажем, что масса цельнометаллического зеркала ГМК в сборке составила 106 кг.

Особенности конструкции такого составного зеркала дают возможность в процессе его эксплуатации легко осуществлять профилактику и обновление отражающей поверхности, в то время как для цельнометаллического варианта это было весьма проблематичной операцией.

3.1.2. Узел лимба

На телескопе МАГИС использованы достаточно распространенные на данный момент стеклянные лимбы, изготовленные киевским заводом “Арсенал” и имеющие следующие характеристики:

- толщина стеклянного диска 16–20 мм,
- диаметр 425 мм,
- диаметр разделенной окружности 412 мм,
- цена деления лимба 5′,
- толщина штрихов 8–10 мкм,
- длина штрихов 1 мм,
- штрихи нанесены на стекло и запущены черной краской.

Впервые (по крайней мере в России) лимбы такого типа для меридианного инструмента были применены Л.А. Сухаревым на телескопе ГМК, изготовленном заводом “Арсенал” в 1957 г. Технологию их изготовления завод разрабатывал при активном участии Л.А. Сухарева. Лимбы прошли успешные многолетние испытания на ГМК [2]. У лимбов МАГИС, как и у лимбов ГМК, были выявлены следующие особенности:

- очень малый уровень случайных ошибок нанесения штрихов – среднеквадратическая ошибка положения штриха не превышает $\pm(0,04''-0,05'')$;
- наличие двух систем штрихов, сдвинутых относительно друг друга на некоторый угол (на лимбах МАГИС нечетные штрихи сдвинуты по отношению к четным на $0,75''$);
- систематическая составляющая ошибок диаметров имеет синусоидальную составляющую с амплитудой около $1''$;
- стабильность системы делений стеклянного лимба удовлетворяет требованиям астрометрических наблюдений.

Эти особенности объясняются, во-первых, высоким качеством делительной машины и, во-вторых, технологией деления – нанесением поочередно системы четных и нечетных штрихов, принятой на заводе “Арсенал”.

Кроме перечисленных выше свойств, в процессе эксплуатации лимбов ГМК было выявлено заметное влияние оправы (системы соединения стеклянного диска с осью) на ошибки измерения угла поворота зеркала с их помощью. В используемой на ГМК конструкции диск стекла удерживается в заданном положении только благодаря силам трения при его сжатии с двух сторон металлическими дисками оправы. Это приводит к возникновению напряжений и деформаций стеклянного диска при неправильной сборке

или при изменении температуры, при появлении градиентов температуры в стекле, что влияет на положение штрихов.

С целью устранения выявленных негативных моментов была разработана новая оправа лимба, принципиально отличающаяся от оправы лимба ГМК. Был использован принцип самоцентрирующейся оправы, предложенный в свое время Л.А. Сухаревым для астрометрических объектов. Особенность такой оправы состоит в том, что на краю центрального отверстия стеклянного диска лимба делается сферическая фаска, по поверхности которой диск опирается на ответную деталь оправы лимба, также имеющую сферическую фаску, но обратного знака. Таким образом, стеклянный диск центрируется относительно посадочного отверстия оправы (и, следовательно, оси вращения зеркала), не требуется больших усилий для его фиксации относительно деталей оправы, упрощается процесс юстировок лимба. Эффективность примененных решений была подтверждена исследованиями при эксплуатации лимбов на МАГИС.

3.2. Опорная колонна

Опорная колонна, устанавливаемая под блоком зеркала, используется для его подъема-перекладки. Кроме того, на ней монтируется механизм разгрузки узла зеркала. Использована разгрузка рычажного типа, аналогичная той, которая испытана на ГМК [1].

В соответствии с техническим заданием остаточное давление узла зеркала на каждый лагерь должно быть порядка 10 кг. Эта величина является эмпирической, установленной на основании исследований поведения оси вращения многих меридианных кругов классического типа. Считается, что при меньшей нагрузке на лагеря поведение оси становится недостаточно определенным, а при больших заметно увеличивается износ поверхности цапф, быстрее появляются пятна коррозии поверхности цапф, соответствующие точкам опоры при длительном нахождении инструмента в одном и том же положении (например, в нерабочем положении). Остаточное давление оси на лагеря для разных меридианных кругов колеблется от 10 до 25 кг. Однако известны опыты наблюдений при нагрузке порядка 40 кг на лагерь.

Подъем и перекладка зеркала МАГИС (поворот его на 180°) используются только в режиме лабораторных исследований или как разовые операции.

Следует отметить, что конструкция колонны полностью аналогична таковой для ГМК. Колонна изготовлена из литых чугунных деталей и представляет собой весьма громоздкое сооружение. Аналогия с ГМК была сохранена в предположении, что зеркало МАГИС также будет цельнометаллическим и масса всего блока равной 100 кг. Но зеркало из карбида кремния и инваровых сплавов имеет массу около 45 кг. С ним можно работать и без разгрузки, оставаясь в пределах допустимых нагрузок на лагерь даже в рамках прежних представлений. Учитывая тот факт, что новое зеркало имеет цапфы, материал которых значительно тверже закаленной стали и не подвержен окислению, изменение нагрузки на лагерь с 10 до 22,5 кг повысило стабильность положения оси вращения зеркала и не привело к порче поверхностей цапф.

3.3. Барабаны с микроскопами

Барабаны, предназначенные для крепления микроскопов системы отсчета угла поворота зеркала, должны обеспечивать жесткость крепления микроскопов относительно лимба и друг друга, стабильность всей системы при изменении внешних условий, возможность выполнения юстировок положения микроскопов относительно лимба.

Для обеспечения этих требований использованы барабаны массивной сварной конструкции. Вся система установлена на центральных столбах. Предусмотрена возможность закрепления на барабанах индикатора вертикальных перемещений, используемого для исследования фигуры цапф, что облегчает процедуру исследования и контроля качества поверхности цапф.

ПЗС-матрицы микроскопов имеют размеры пиксела 10×10 мкм, размеры светочувствительной области $4,48 \times 3,36$ мм. Пятиминутный интервал между штрихами лимба равен 0,3 мм. Используемая оптическая схема такова, что мы имеем изображения 7–8 штрихов на матрице (6–7 интервалов). При этом на матрице изображаются также градусные и минутные штрихи.

Масштаб в плоскости измерений таков, что угловой размер пиксела равен $4,8''$. Отсчет положения штриха интегрируется по его высоте примерно по 100 строкам (на матрицу проецируется не менее половины длины штриха – 0,5 мм). При точности определения положения энергетического центра изображения штриха в строке 0,5 пиксела получим результирующую точность отсчета 0,017 пиксела, или $0,08''$, т. е.

при использовании весьма грубого алгоритма определения положения центра изображения на матрице мы получим удовлетворительную точность измерений.

3.4. Объектив, труба коллиматора

Как и на ГМК, на МАГИС применена трех-элементная схема трубы телескопа (коллиматора) – объектив, труба, окулярный микрометр являются независимыми узлами, не связанными друг с другом конструктивно (как это делается в классическом меридианном круге). Труба телескопа в этом случае не является несущей конструкцией и выполняет роль светозащитного кожуха. Она устанавливается на независимых опорах, не связанных с основным фундаментом инструмента, на котором устанавливаются столбы узла зеркала, объектива, окулярного микрометра.

Для устранения влияния турбулентции на качество изображений и точность измерений труба МАГИС вакуумируется. Остаточное давление не превышает 1–10 мм рт. ст. Герметичность конструкции трубы характеризуется следующими показателями. После откачки на заводе в конце 1993 г. и хранения в таком состоянии вплоть до лета 1997 г. давление внутри трубы увеличилось всего лишь до 0,1 атмосферы, или 76 мм рт. ст., т. е. за прошедшее время натекание было порядка 20 мм рт. ст. за год.

Торец трубы со стороны объектива закрыт концентрическим мениском и плоскопараллельной пластинкой – со стороны окуляра. На рис. 3 показаны оптические элементы трубы телескопа, а в табл. 2 приведены значения радиусов кривизны, толщины и сорт стекол.

Как уже отмечалось, объектив МАГИС аналогичен объективу ГМК. Это двухлинзовый астрометрический объектив, ахроматизированный в интервале длин волн полос $C-F$ со световым диаметром 190 мм и фокусным расстоянием 8000 мм. Отличие заключается не только в фокусном расстоянии (для ГМК – 4200 мм), но и в устройстве оправы. На ГМК Л.А. Сухарев при-



Рис. 3. Оптические элементы трубы телескопа МАГИС. 1–2 – первая линза объектива; 3–4 – вторая линза; 5–6 – мениск; 7 – плоскопараллельная пластина.

Таблица 2. Параметры оптических элементов телескопа МАГИС

Номер элемента поверхности	Радиус кривизны, мм	Толщина, мм	Среда, стекло
1	4742,0	25,0	К8
2	–2780,0	2,0	Воздух
3	–2780,0	25,0	Ф1
4	–12246,0	50,0	Воздух
5	7971,0	25,0	К8
6	7946,0	7846,0	Воздух
7	∞	4,0	К8

менил оправу лагерного типа – линзы объектива удерживаются относительно друг друга специальной оправой, создавая автономный блок, который укладывается в гнездо лагерного типа. При этом в точках опоры на лагерь оправка имеет вырезы, благодаря которым линзы объектива непосредственно опираются на щеки лагера. Тем самым Л.А. Сухарев стремился исключить влияние металла оправы на поведение объектива. Однако в течение многолетней работы ГМК не было обнаружено фактов, которые бы подтверждали преимущества такого устройства или опровергали его. За исключением, может быть, следующего: было обнаружено, что объектив ГМК, изготовленный в 1955 г., после 25 лет пребывания в лагере приобрел стойкую деформацию линз, в результате чего его пришлось заменить из-за недопустимо большого астигматизма. Вид изображения подтверждал деформацию линз в точках опоры. Возможно, сказался факт длительной опоры линз непосредственно на лагерь. В то же время оправка лагерного типа позволяет и убирать, и ставить объектив без заметного влияния этой процедуры на положение визирной оси в пространстве.

Поскольку объектив МАГИС в рабочем положении неподвижен и закреплен на столбе в вертикальном положении (его оптическая ось горизонтальна), то изготовитель, Красногорский оптико-механический завод (КОМЗ), счел целесообразным использование оправы, имеющей две жестких точки опоры и одну (верхнюю) пружинную. При массе линзы 2–2,5 кг выбирается пружина с усилием в 3 кг.

Перед объективом устанавливается противоросник, отличительной особенностью которого является наличие пенопластовой термоизоляции толщиной 15 мм. Такого же типа термоизоляция

применена и для стального кольца между мениском и объективом, экранирующего этот промежуток.

На КОМЗ был выполнен расчет теплового состояния узла объектива и конца трубы с мениском для оценки влияния теплоизоляции на динамику изменения температуры оптических элементов и возможности их запотевания. Расчеты выполнены для “холодного” и “теплого” режимов, когда суточные колебания температуры составляют соответственно от –20 до –35 °С и от +20 до +35 °С.

Результаты расчетов показали, что применение теплоизолированных противоросника и кольца уменьшает колебания температуры оптики с 15 °С до 3 °С, перепады температур на линзах при этом менее 1 °С. Температура линз в течение всего времени при открытом противороснике выше температуры окружающего воздуха, что уменьшает вероятность запотевания. В отсутствие теплоизоляции суточные колебания температуры оптики достигают 12 °С, температура линз в утренние часы опускается ниже температуры воздуха на 2–3 °С.

Эффективность применения концентрического мениска (с радиусом кривизны примерно равным фокусному расстоянию объектива) для изоляции вакуумированного объема трубы также была проверена и подтверждена расчетами оптических аберраций при его смещениях, поворотах, вызванных деформациями стальной трубы (толщина стенок 15 мм) под действием силы тяжести, температурных градиентов. При смещении мениска до 2 мм и углах наклона до 6° распределение энергии в изображении звезды практически не изменяется. Такого порядка смещения конца трубы возникают при градиенте температуры на диаметр в 4 °С.

На основе расчетов деформаций также были выбраны оптимальные точки опоры для трубы – на расстоянии порядка 2350–2450 мм от ее концов.

Эффективности принятых мер уменьшения деформаций, градиентов температуры, минимизации их влияния на качество оптики, соответствие расчетов реальным условиям наблюдений подтверждено опытом работы телескопа МАГИС.

3.5. ПЗС-камера окулярного микрометра

В период с 1998 по 1999 год телескоп МАГИС был оснащен инженерным макетом ПЗС-камеры, изготовленным НПО “Электрон” (фирмой

“Заряд”), в котором использовалась матрица размером 20,7×15,7 мм (768×580 пкс).

Малый линейный размер светочувствительной области ПЗС-матриц представляет серьезную проблему при их применении для целей современной наземной астрометрии. От телескопа требуется высокая производительность – наблюдения десятков тысяч звезд в час, что обеспечивается как его проникающей способностью, так и наблюдением площадок неба с большим угловым размером. В то же время требование обеспечения предельной точности координатных измерений предполагает использование объектива с большим фокусным расстоянием, что приводит к увеличению линейных размеров рабочего поля окулярного микрометра.

Одним из решений этой задачи является создание мозаичных ПЗС-приемников. В случае создания мозаики из отдельных матриц, расположенных относительно друг друга на минимальных расстояниях, определяемых их конструкцией, это решение является самым реализуемым для нас с технологической и финансовой точек зрения.

В конце 1999 года фирма “Заряд” завершила изготовление ПЗС-микрометра из пяти матриц (рис. 4). Конструкция микрометра оригинальна, аналогов в отечественной астрономии и в зарубежной астрометрии он не имеет.

Основные параметры микрометра следующие:

- количество матриц 5,
- размеры каждой матрицы 15,7×20,7 мм,
- количество пикселей в матрице 768×580,
- размер пиксела 27×27 мкм,
- разрядность АЦП 16 бит,
- спектральный диапазон приемников 400–1000 нм,
- наборы стеклянных фильтров позволяют наблюдать объекты в полосах *B*, *V*, *R* фотометрической системы Джонсона;

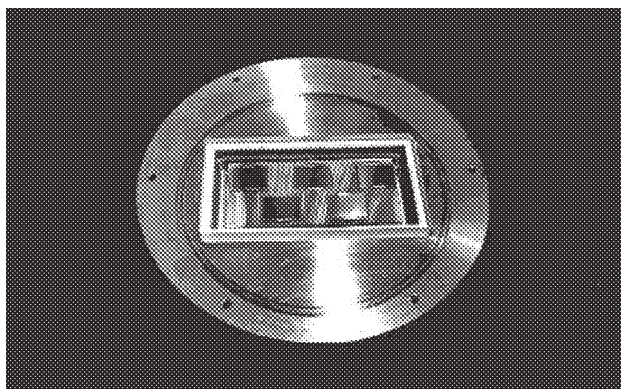


Рис. 4. Мозаичная ПЗС-камера.

– рабочие режимы: режим временной задержки и накопления (ВЗН) и кадровый (режим ВЗН задается для каждой из матриц независимо);

– температурный режим: охлаждение по отношению к температуре воздуха на 60 °С;

– линейный размер поля зрения 95,7×15,7 мм, – соответствующий линейному суммарный угловой размер поля зрения по склонению при фокусе телескопа 8000 мм равен 40′, минимальная площадь такого кадра 40′×6,5′.

Микрометр в 2000 году работал на телескопе МАГИС в ГАО РАН. Однако его эксплуатация выявила технические проблемы, из-за которых от пятиматричного варианта пришлось временно отказаться, вернувшись к использованию одноматричного варианта.

В настоящее время ведутся работы по созданию нового, более совершенного ПЗС-микрометра.

4. Аппаратно-программные средства автоматической системы управления (АСУ) телескопа МАГИС

В 2005 году на телескопе МАГИС была проведена полная автоматизация процесса наблюдений, которая позволила повысить производительность телескопа в несколько раз и, максимально формализовав процесс наблюдений, исключить влияние человеческого фактора на конечный результат.

АСУ телескопа МАГИС предназначена для управления исполнительными и регистрирующими устройствами, контроля их точностных характеристик, управления потоками данных, предварительной обработки полученных результатов. Аппаратно-программные средства АСУ состоят из следующих систем:

- программные средства АСУ,
- система наведения зеркала (СНЗ),
- автоматическая отсчетная система круга (АОС),
- окулярный микрометр на основе ПЗС-камеры.

Автоматическая система управления реализована на основе двух персональных ЭВМ, соединенных в локальную сеть и работающих по схеме клиент–сервер с разделением управляющих функций. Серверная часть системы, управляющая ПЗС-камерой, во время наблюдений находится в режиме ожидания сигнала на запуск сканирования в ВЗН-режиме от клиентской части, которая в свою очередь управляет системой наведения зеркала, автоматической

отсчетной системой стеклянного лимба на основе ПЗС-камер, вычисляет координаты небесных тел, синхронизирует все процессы с привязкой к шкале звездного времени. Роль наблюдателя сводится лишь к контролю за состоянием работы регистрирующих и исполнительных устройств.

4.1. Программные средства АСУ

Программные средства АСУ МАГИС разработаны на основе интегрированной среды визуального программирования Delphi и предназначены для работы в операционной системе Windows98/XP. Они предоставляют наблюдателю большие возможности по гибкому управлению процессом наблюдений. Благодаря использованию этой среды, ее высокой степени структурированности и модульности разработчик программного обеспечения имеет широкие возможности по его быстрому наращиванию, учитывающему изменения в АСУ МАГИС.

Интерфейс пользователя представляет собой многооконную диалоговую среду, использующую средства управления, соответствующие стандарту операционной системы Windows.

Все процессы управления и регистрации автоматизированы, и наблюдателю необходимо лишь выполнить ряд стандартных процедур: определить метеопараметры, выбрать наблюдаемые объекты из базы данных с последующим вычислением видимых мест с учетом рефракции и получением установочных координат зеркала и, наконец, запустить процесс наблюдения.

4.2. Система наведения зеркала (СНЗ)

Аппаратные средства СНЗ состоят из шагового двигателя, соединенного через редуктор и ведомую шестерню с горизонтальной осью вращения зеркала; одного из отсчетных микроскопов и его осветителя. Управление шаговым двигателем и осветителем осуществляется через параллельный порт компьютера с помощью соответствующего программного обеспечения. Изображения с ПЗС-камеры, установленной на отсчетном микроскопе, передаются в компьютер с использованием специальной ISA-платы.

В настоящее время один шаг шагового двигателя равен повороту зеркала на 38,5", максимальная скорость вращения зеркала – 1,25 шаг/мс. Завершающее вращение при наведении всегда одного направления для устранения влияния люфта привода центрального зеркала.

Программа управления СНЗ включает в себя модули вычисления установочных координат зеркала для наблюдаемого объекта, получения изображения с ПЗС-камеры установочного микроскопа, его обработки до определения текущих координат зеркала на основе анализа взаимного расположения штрихов и оцифровки лимба. Все это в совокупности дало возможность полностью автоматизировать процесс наведения зеркала по зенитному расстоянию на наблюдаемый объект.

4.3. Автоматическая отсчетная система круга (АОС)

АОС состоит из четырех микроскопов на основе ПЗС-камер, расположенных относительно друг друга под углом 90°, и их осветителей – светодиодных матриц. В автоматическом режиме время опроса всех четырех микроскопов порядка 1 с. Наблюдатель имеет возможность контролировать изображение каждого микроскопа и получать отсчет лимба по каждому микроскопу.

4.4. Система управления окулярным микрометром на основе ПЗС-камеры

Программа, управляющая работой ПЗС-камеры в режиме ВЗН, позволяет записывать полученные файлы данных на жесткий диск компьютера, реализует режим вывода наблюдаемых данных на монитор.

При загрузке программы производится очистка всех матриц и программа переходит в главное окно, позволяющее производить следующие действия:

- операции по приему изображений с матриц: начало сканирования, очистку матриц, задание вида экрана, запись/останов записи по каждому каналу или всех пяти одновременно (для микрометра из пяти ПЗС-матриц), выбор битовых плоскостей, которые будут отображаться на экране монитора;

- операции по установке режимов работы программы: независимая установка параметров приема изображений с каждой матрицы – включение/выключение работы канала, скорость сканирования, задание имени файла для приема изображений, задание параметров, характеризующих работу каждой матрицы в отдельности.

Однако в автоматическом режиме наблюдений эти операции осуществляются автоматически, без участия наблюдателя.

Для обработки наблюдений используется пакет программ “Апекс”, разработанный в Пулков-

ской обсерватории, обеспечивающий получение координат X , Y звездообразных объектов ПЗС-кадра в долях пикселей матрицы, позволяющий также проводить определение интегральных световых потоков в изображениях звезд и дифференциальную обработку наблюдений вплоть до получения координат α , δ .

5. Заключение

На основе выполненных наблюдений была проведена оценка стабильности инструментальной системы по ошибкам одного наблюдения, полученным по разностям координат одних и тех же звезд за несколько ночей наблюдений (рис. 5). Ошибки приведены в секундах дуги для прямых восхождений (σ_X) и склонений (σ_Y). Полученные данные демонстрируют высокую точность наблюдений.

Опыт эксплуатации телескопа МАГИС в Пулковской обсерватории в 1999–2006 годах показал правильность технологических и конструктивных решений его узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинигин Г.И. Исследование пулковского горизонтального меридианного круга Л.А. Сухарева по наблюдениям прямых восхождений // Автореф. канд. дисс. Ленинград, 1973.
2. Кирьян Т.Р. Исследование системы склонений пулковского горизонтального меридианного круга

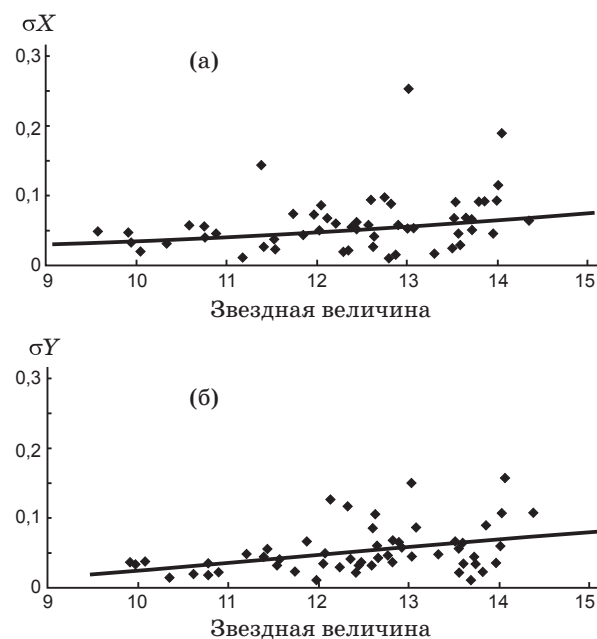


Рис. 5. Ошибки наблюдений по прямому восхождению (а) и по склонению (б). Телескоп МАГИС. Межвечеровая сходимость.

Л.А. Сухарева // Автореф. канд. дисс. Ленинград, 1987.

3. Сухарев Л.А. Теория горизонтального меридианного инструмента // Изв. ГАО. 1960. № 166. С. 38–48.
4. Максудов Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики // М.–Л.: ОГИЗ, 1948. С. 19–33.