

УДК 520.253

Автоматический горизонтальный меридианный круг в Пулковке

Р. И. Гумеров, В. Б. Капков, Г. И. Пинигин

Приведено описание программного управления пулковским горизонтальным меридианным кругом. Дано описание обобщенного алгоритма управления ГМК посредством микроЭВМ типа «Электроника С5-12» при меридианных наблюдениях, включая определения необходимых инструментальных параметров.

Инструмент рассчитан на наблюдения звезд до 11^m . Общее время на наблюдение, обработку информации для одной звезды не превышает двух минут. Ожидаемая точность регистрации прохождений окулярным микрометром — порядка $\pm 0.05''$.

THE AUTOMATIC HORIZONTAL MERIDIAN CIRCLE AT PULKOVO, by Gumerov R. I., Kapkov V. B., Pinigin G. I.— The computer control of the Pulkovo Horizontal Meridian Circle (HMC) including the automatic setting system, circle reading system, two photoelectric eyepiece micrometers, meteorological data sensors and rotating drive of the pendulum horizon is described. The algorithms are given for the computer control of HMC by the microcomputer «Электроника С5-12» and for the determination of the required instrumental parameters. The HMC may be used for observations of stars down to 11^m . The time of the observation and data processing for one star does not exceed two minutes. The expected precision of the registration of transit of a star by the automatic eyepiece micrometer is about $\pm 0.05''$.

Создание современных каталогов координат звезд высокой точности возможно при использовании меридианных кругов (МК), обладающих минимальными ошибками наблюдений, имеющих достаточно высокий уровень автоматизации процесса наблюдений и обработки полученных данных. Разработка и создание МК, обладающих отмеченными свойствами, осуществляется как по пути поиска оптимальных, рациональных конструкций, обуславливающих минимальные систематические ошибки, так и в направлении внедрения объективных способов регистрации, автоматизации всех основных операций при определении координат наблюдаемых объектов, введения программного управления (ПУ) посредством малых ЭВМ. Последнее позволяет полностью объективизировать наблюдения, повысить производительность при массовых наблюдениях больших списков звезд, вести оперативный контроль, анализ и учет параметров инструмента и условий наблюдений. Автоматизация позволяет расширить возможности МК, особенно новых конструкций, таких как горизонтальные, реализовать новые, более совершенные методы наблюдений, а в целом комплекс МК+ПУ является прогрессивным многофункциональным прибором для современных астрометрических работ.

К автоматизации отдельных этапов наблюдательного процесса стремились давно, но лишь в последнее время, благодаря развитию микропроцессорной техники, улучшению точности изготовления отдельных узлов и самого меридианного инструмента, на некоторых МК введено программное управление. Так, на меридианных кругах Токийской и Брорфельдской обсерваторий автоматизированы все основные операции при наблюдении звезд и определении параметров инструмента [12, 14]. Становится обычным при модернизации и проектировании новых МК желание обеспечить максимальный уровень автоматизации в ПУ [5, 11, 13, 16].

В ходе проводимой модернизации на пулковском горизонтальном меридианном круге (ГМК) введено программное управление для автоматизации всех основных операций процесса наблюдений звезд. ПУ

ГМК включает: устройство наведения на звезду, автоматическую отсчетную систему круга (АОС), два фотоэлектрических окулярных микрометра, систему сбора метеоданных и устройство перекладки искусственного горизонта (рис. 1). Работой всех устройств управляет микро-ЭВМ типа «Электроника С5-12» с набором функциональных модулей.

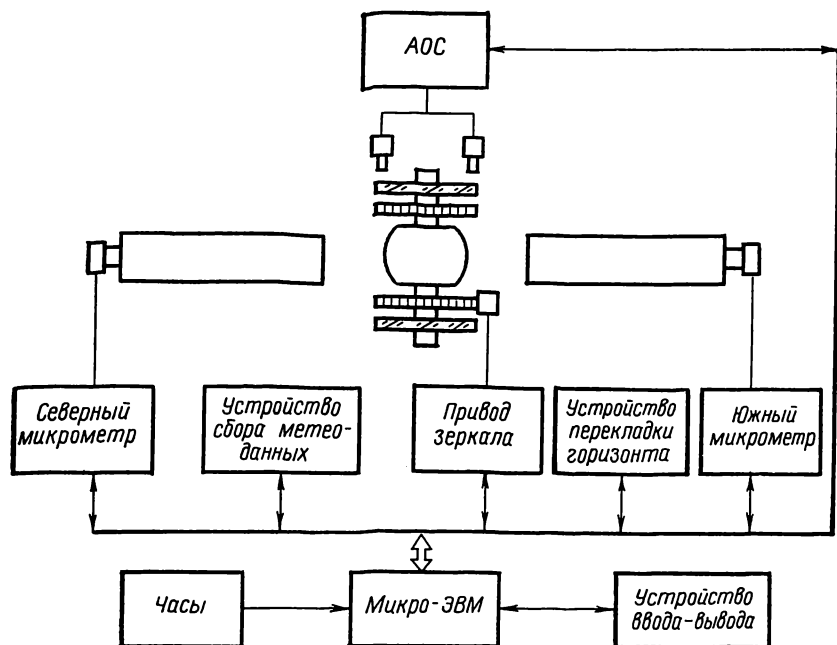


Рис. 1. Программное управление пулковским ГМК

Конструктивно оптико-механические узлы ПУ с устройствами предварительного преобразования сигналов расположены на инструменте (аппаратура управления и обработки установлена в изолированной кабине, где находится рабочее место оператора-наблюдателя).

Автоматическая отсчетная система круга установлена на ГМК в 1980 г. и предназначена для высокоточных измерений угловых положений зеркала при определении склонений звезд [2]. АОС состоит из оптико-механической части, содержащей 4 отсчетных микроскопа с осветителями стеклянного лимба (для исследования ошибок делений лимба можно установить в нужном положении дополнительную пару микроскопов). Электронная часть АОС, управляющая работой всей системы, содержит пульт управления, блок коммутации и формирования (БКФ) сигналов с микроскопов, блок обработки и управления (БОУ).

Принцип работы отсчетного микроскопа АОС заключается в определении положения штриха лимба относительно нуля-пункта микроскопа с помощью сканирующего узла, положение которого измеряется оптическим растровым датчиком. Сканирующий узел, состоящий из щелевой диафрагмы и измерительной решетки, приводится в движение соленоидом под действием импульса тока из БКФ. При возврате сканирующего узла под действием силы тяжести в исходное положение осуществляется рабочий режим измерения. Изображение штриха лимба, проходящего через щелевую диафрагму, возбуждает сигнал в фотоприемнике канала штриха. Из сигналов растрового датчика вырабатывается последовательность импульсов, задающих нуль-пункт микроскопа. По окончании рабочего хода в БОУ содержится информация о положении штриха лимба относительно нуля-пункта микроскопа, а также расстояние между соседними штрихами. Для каждого микроскопа отсчет вычисляется по формуле: $M = N \cdot a/b$, где N — масштабный

множитель, b — база, расстояние между соседними штрихами, a — расстояние от штриха до нуля-пункта микроскопа.

Результаты измерений в виде величин $M_{\text{ср}}$ по четырем микроскопам выводятся на цифropечать и перфоленту. Во время наблюдений склонений АОС обеспечивала точность единичного отсчета круга по четырем микроскопам около $\pm 0.02''$. Время, затрачиваемое на этот отсчет, не превышает 12 с.

Устройство автоматической установки зеркала ГМК по зенитному расстоянию состоит из механизмов грубой и точной ступени поворота зеркала, фотоэлектрического установочного микроскопа (ФЭУМ) и блоков электроники [3]. По заранее рассчитанным установочным координатам звезд на вечер наблюдений, полученным с учетом атмосферной рефракции и нуля-пункта разделенного круга, микроЭВМ вычисляет величину поворота зеркала. С помощью двигателя грубой установки зеркало поворачивается на нужное число 5-минутных интервалов, контролируемых ФЭУМ. Скорость вращения зеркала 10 град/с. Для уменьшения проворота, вызываемого инерцией металлического зеркала ГМК, реализован режим плавного торможения.

Точный поворот зеркала внутри 5-минутного интервала осуществляется посредством шагового двигателя. Для устранения выкатывания зеркала из лагер и вследствие этого изменения азимута его горизонтальной оси установка зеркала на заданное зенитное расстояние заканчивается вращением точной ступени в одном, постоянно принятом направлении. Упругие деформации и люфты в механизме поворота зеркала учитываются специальным алгоритмом наведения. Окончательный контроль установки зеркала осуществляется отсчетной системой круга АОС. При несовпадении положения зеркала с заданным наведение повторяется. Использование устройства установки зеркала ГМК при наблюдениях звезд показало, что точность установки составляет $\pm 2''$, а время установки не превышает 15 с.

Для реализации программного управления при определении координат небесных объектов на ГМК выполнена работа по созданию двухкоординатного автоматического звездного микрометра (ДАЗМ) со сканирующим активным анализатором поля зрения. До 1983 г. на ГМК работал окулярный фотоэлектрический микрометр с неподвижной системой Λ -образных щелей [4].

В основу конструкции ДАЗМ положено линейное сканирование поля зрения ГМК решеткой-анализатором с Λ - или N -системой щелей. Положение решетки-анализатора, как и в случае АОС, определяется с помощью оптического растрового датчика перемещения. Шаг решетки растрового датчика выбран кратным шагу решетки-анализатора. Сигналом растрового датчика задается время регистрации фотоумножителем числа фотонов от звезды, прошедших через щели решетки-анализатора. При этом регистрируются также и интервалы времени между отсчетами фотоумножителя (координаты сканирующего узла) для учета неравномерности движения решетки-анализатора и построения временной шкалы регистрограммы. После наблюдения прохождения одной звезды по решетке-анализатору имеется две регистрограммы: для фотоэлектронов и интервалов времени. Результирующая регистрограмма прохождения построена по величинам отношения числа фотоэлектронов и интервалов времени и, следовательно, не зависит от вариаций скорости движения сканирующего узла. Окончательно регистрограмма осредняется по всем щелям решетки-анализатора. По алгоритму обработки, аналогичному [15], вычисляются координаты звезды в системе микрометра.

Окулярный микрометр включает оптико-механический узел с приводом (ОМУ), электронные схемы формирования сигналов фотоумножителя и растрового датчика. Управление, получение и обработка ре-

гистрограмм осуществляется с помощью микроЭВМ. ОМУ расположен на окулярном конце трубы ГМК. Возвратно-поступательное движение сканирующего узла ОМУ с установленной на нем решеткой-анализатором и оптическим растровым датчиком осуществляется двигателем с редуктором. Для ограничения фона неба звезду сопровождает диафрагма, движение которой осуществляется шаговым двигателем. В микрометре заложена возможность использования сменных фильтров для работы в различных участках спектра.

В ходе пробных испытаний автоматического окулярного микрометра точность регистрации автоколлимационной марки яркостью около 6-й звездной величины оказалась порядка ± 1 мкм ($\pm 0.05''$). Регистрация одного прохождение звезды занимает 30 с, обработка регистрограммы — около 20 с. Микрометр рассчитан на наблюдения звезд до 11^m.

Управление искусственным горизонтом ГМК заключается в организации автоколлимационных измерений от зеркала горизонта в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Как следует из описания маятникового зеркального горизонта (МЗГ) ГМК, в рабочем состоянии маятник с зеркалом — ребром агатовой призмы свободно лежит на плоской плате, закрепленной в оправе-шестерне [10]. Оправа-шестерня вращается вместе с маятником вокруг вертикальной оси относительно корпуса посредством электропривода с фиксацией через 90° или 180°. Установив зеркало ГМК под углом около 45° к горизонту таким образом, чтобы можно было выполнить автоколлимационные измерения в одну из горизонтальных труб ГМК при двух положениях МЗГ, можно определить направление отвесной линии, наклонность зеркала и главных труб ГМК. Управление устройством сбора метеоданных находится в стадии разработки. Планируется производить дистанционный отсчет температуры в определенных местах инструмента и павильона, атмосферного давления и влажности. Система сбора метеоданных базируется на опыте действующих разработок [8, 9].

Для программного управления наблюдениями на ГМК описанные выше устройства объединены в систему и управляются от одной микроЭВМ типа «Электроника С5-12» с набором функциональных модулей (ФМ) [1]. Интерфейс организован на базе ФМ ЦВВ «Электроника С5-122». Вывод информации на цифрочечать и перфорацию осуществляется с помощью ФМ «Электроника С5-124», обеспечивающего сопряжение микроЭВМ с телеграфным аппаратом. На микроЭВМ возложены следующие функции: замена жесткой логики на программную, обеспечение диалога с оператором-наблюдателем, реализация разнообразных программ измерений и наблюдений, работа в реальном масштабе времени, экспресс-обработка результатов измерений и наблюдений, обеспечение эффективного контроля за процессом измерений. Конструктивно микроЭВМ с набором ФМ выполнена в виде блока, на передней панели которого размещены органы управления.

Для управления работой микроЭВМ разработано математическое обеспечение — диспетчерская система (ДС) объемом 1024 слова, которая размещена в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) микроЭВМ. ДС обеспечивает организацию решения задач в реальном масштабе времени, управление работой внешних устройств, режим мультипрограммирования. С этой целью ДС выполняет заданный набор инструкций и действий: ввод и вывод информации, уход на новую задачу, возврат к прерванной задаче и пр. Предусмотрена возможность расширения математического обеспечения ДС в случае включения в ДС перфоратора и фотосчитывающего устройства.

Так как программное управление ГМК имеет программно-аппаратную структуру и элементарные операции измерения осуществляются автономно (без управления от микроЭВМ), то алгоритм ПУ позво-

ляет совмещать во времени процедуры наведения и обработки, регистрации прохождения звезд и отсчета круга с помощью системы прерывания микроЭВМ. Суть режима прерывания состоит в том, что микроЭВМ осуществляет переход к той или иной задаче в соответствии

с заданным соотношением приоритетов задач; количество сигналов прерывания для микроЭВМ «Электроника С5-12» не превышает 8.

Библиотека целевых программ ГМК включает программы наблюдений по определению прямых восхождений и склонений звезд и программы по определению и исследованию инструментальных параметров. В качестве примера рассмотрим алгоритм функционирования ПУ ГМК на вечер наблюдений (рис. 2). Предварительная подготовка к наблюдениям выполняется с помощью ЕС-ЭВМ для блока 2 (вычисление видимых мест звезд, рефракции). Здесь же вводятся параметры, сохраняющие постоянство в течение вечера наблюдений. В блоке 3 определяются параметры инструмента, необходимые для определения положений звезд по материалу наблюдений (относительный азимут и коллимация зеркала, наклонность главных труб и зеркала, нуль-пункты окулярных микрометров главных труб и разделенного

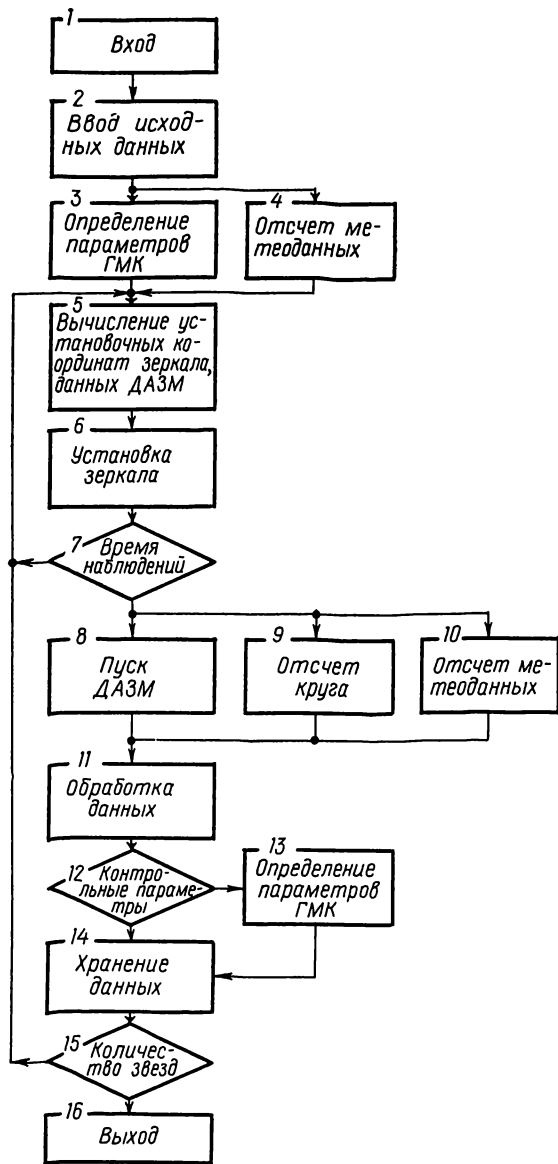


Рис. 2. Обобщенный блок-алгоритм работы программного управления ГМК при наблюдениях звезд

круга). С учетом условий наблюдений и поведения инструмента микроЭВМ задает частоту определения параметров инструмента и интерполирует их на время наблюдения каждой звезды (блоки 12, 13). Метеоданные (главным образом, температура) определяются при наблюдении каждой звезды (блок 10). Фактически выполнение инструментом всех функций контролирует микроЭВМ, что обеспечивает безошибочную и надежную эксплуатацию. Общее время на наблюдение, обработку и вывод информации для одной звезды не превышает двух минут.

С 1981 г. по настоящее время на ГМК ведутся исследования системы склонений посредством автоколлимационных измерений и экспериментальных наблюдений звезд FK4 [5, 6]. Предварительные результаты обработки указывают на то, что система ГМК, представленная

в виде распределения точек экватора по склонению, мало изменяется с температурой и временем, а после учета инструментальных ошибок (кроме ошибок делений круга) совпадает по двум трубам в пределах точности наблюдений и остаточного влияния ошибок делений круга. Средняя по двум трубам система ГМК обнаруживает изменения по склонению лишь в пределах $\pm 0.3''$, что позволяет сделать предварительный вывод о весьма малой величине или даже отсутствии инструментального гнущия ГМК. В случайном отношении средняя квадратичная ошибка одного наблюдения, вычисленная по сходимости наблюдений одной и той же звезды в разные вечера, равна $\pm 0.2''$ для зенитной зоны и $\pm 0.4''$ для зенитных расстояний $50 \div 70^\circ$. В процессе этих наблюдений идут испытания всего аппаратного комплекса ГМК+ПУ, обрабатываются конкретные, рациональные алгоритмы управления.

В заключение отметим, что автоматизация основных операций при меридианных наблюдениях звезд позволила практически реализовать комплексную задачу по программному управлению ГМК.

1. Гальперин М. П., Кузнецов В. Я., Масленников Ю. А. и др. МикроЭВМ «Электроника С5» и их применение. — М.: Сов. радио, 1980.—160 с.
2. Гумеров Р. И., Капков В. Б., Пинигин Г. И. Фотозлектрическая система отсчета лимбов пулковского горизонтального меридианного круга. — Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове, 1982, 200, с. 114—117.
3. Гумеров Р. И., Капков В. Б., Пинигин Г. И. Автоматическая установка по зенитному расстоянию пулковского горизонтального меридианного круга. — Письма в Астрон. журн., 1983, 9, с. 699—703.
4. Кирьян Т. Р., Пинигин Г. И., Тимашкова Г. М. Исследования рефракционных аномалий в горизонтальных трубах ГМК с помощью фотозлектрического клинового окулярного микрометра. — Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове, 1982, 199, с. 43—47.
5. Кирьян Т. Р., Пинигин Г. И., Тимашкова Г. М. Первые результаты наблюдений склонений звезд на пулковском горизонтальном меридианном круге. — Астрон. журн., 1983, 60, с. 775—780.
6. Кирьян Т. Р., Пинигин Г. И., Тимашкова Г. М. Особенности поведения параметров ориентировки пулковского горизонтального меридианного круга. — Письма в Астрон. журн., 1984, 10, с. 143—148.
7. Пинигин Г. И., Шорников О. Е. Аксальный меридианный круг. — Астрометрия и астрофизика, 1983, вып. 49, с. 75—82.
8. Сергеенко В. И. О перспективных возможностях учета астрономической рефракции при определении параметров вращения Земли. — В кн.: Изучение Земли как планеты методами астрономии, геофизики и геодезии. Киев: Наук. думка, 1982, с. 228—234.
9. Сергеенко В. И., Кудеева Б. С., Павлов Б. А. и др. Об автоматизированной системе сбора и обработки астрономической и метеорологической информации в СФ ВНИИФТРИ. — В кн.: Влияние атмосферы на астрономические наблюдения в оптическом и радиодиапазонах. Иркутск, 1980, с. 67—69.
10. Сухарев Л. А., Тимашкова Г. М., Пинигин Г. И. и др. Предварительные результаты исследования маятникового зеркального горизонта пулковского горизонтального меридианного круга. — Изв. Гл. астрон. обсерватории в Пулкове, 1982, 200, с. 118—121.
11. Шорников О. Е., Сергеев А. В. Автоматический отсчет лимбов и шкал астрономических инструментов. — Изв. Астрон. обсерватории им. В. П. Энгельгардта, 1978, вып. 43/44, с. 200—227.
12. Fogh Olsen H. J., Helmer L. The Carlsberg automatic meridian circle and the plans for anglo-danish collaboration. — In: Modern astrometry. Vienna, 1978, p. 218—225. (IAU Coll.; N 48).
13. Hughes J. A. The instrumental development of the seven-inch transit circle. — In: Proceedings of the Eighteenth General Assembly, Patras 1982. Dordrecht: Reidel Publ. co., 1982, p. 89.
14. Kühne C. A new automatic meridian circle PMC 190. — Astron. and Astrophys., 1983, 121, p. 165—173.
15. Lindegren L. Photoelectric astrometry. A comparison of methods for precise image location. — In: Modern astrometry. Vienna, 1978, p. 197—217. (IAU Coll.; N 48).
16. Requieme Y., Mazurier J. M. Bordeaux automatic meridian circle. Application to faint stars. — In: Proceedings of the Eighteenth General Assembly, Patras 1982. Dordrecht: Reidel Publ. co., 1982, p. 89.