

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ГЛАВНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

---

На правах рукописи

ПИНГИН  
Геннадий Иванович

УДК 520.25:521.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЯМЫХ ВОСХОЖДЕНИЙ И СКЛОНЕНИЙ  
ЗВЕЗД ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕРИДИАННОГО  
ИНСТРУМЕНТА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Специальность 01.03.01  
Астрометрия и небесная механика

А в т о р е ф е р а т  
на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

КИЕВ - 1992



00816364 (S)

Робота виконана в Николаевской астрономической обсерватории при Государственном Комитете по вопросам Науки и Технологий Украины

Официальные оппоненты:

доктор фізико-математических наук, професор А.П.Гуляев  
доктор техніческих наук А.С.Довгопольий  
доктор фізико-математических наук А.С.Харин

Ведущая организация – Астрономическая обсерватория им. В.П.Энгельгардта при Казанском Государственном университете

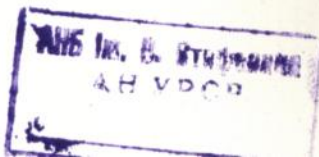
Защита состоится "5" квітня 1992г. в 10 час. 00 мин  
на засіданні спеціалізованого ради ( Д 016.14.01 )  
при Главной астрономической обсерватории Академии Наук Украины  
(252127, Киев-127, ГАО АН Украины, тел. 266-08-69).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Главной астрономической обсерватории АН Украины.

Автореферат разослан "30" серпня 1992г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат физико-математических  
наук

Н.Г.Гусева



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из основных задач астрометрии является создание высокоточной системы небесных координат (СНК) обладающей только прямолинейным и равномерным движением, в которой начало координат связано с барицентром Солнечной системы. На современном этапе развития астрономии существует несколько реализаций СНК: например, звездная (фундаментальная), внегалактических радиисточников (по РСДБ - наблюдениям), космическая (по наблюдениям с космических аппаратов). Современные требования фундаментальных и прикладных исследований в астрономии и других смежных областях науки к точности построения различного вида СНК и их взаимной связи близки к значению  $0^{\circ}001$  т.е.  $5 \cdot 10^{-9}$  рад.

Развитие современной техники дает принципиальную возможность построения СНК по РСДБ - наблюдениям с точностью до нескольких миллисекунд дуги. Такая система координат обладает высокой стабильностью, порядка  $10^{-10}$  рад/100 лет и будучи построенной методом дуг может быть свободной от ошибок определения параметров вращения Земли. По решению 19-й Генеральной ассамблеи ИААС СНК внегалактических радиисточников принята за первичную фундаментальную систему (*Primary Conventional Celestial Reference Frame*).

Подобную точность СНК можно получить и посредством наблюдений с борта космических аппаратов. Реализация проекта астрометрических наблюдений из космоса *Hipparcos* уже начата и к 1996г. планируется получить первый каталог положений небесных объектов.

Отмеченные виды СНК являются продуктом внедрения новейших методов измерений в астрометрию, возникших в результате развития

современной космической и радиоастрономической техники.

Наблюдения с поверхности Земли в оптическом диапазоне имеют длительную историю и несомненно будут и впредь использоваться для получения информации о Вселенной, а также для практических нужд. По мнению многих исследователей построение и уточнение фундаментальной системы координат звезд является сейчас и останется в будущем весьма актуальным. В настоящее время завершено создание Пятого фундаментального каталога (FK5), имеющего точностные характеристики по  $\alpha$  и  $\delta$   $\pm 0''.02$ ,  $\mu_{\alpha} / \cos \delta$  и  $\mu_{\delta} / \cos \delta = \pm 0''.06 \pm 0''.07$ . При создании этого каталога учтены самые лучшие наблюдения мировой оптической астрометрии до 70-х годов нашего столетия. Поскольку точность реализации первичной фундаментальной ССК довольно высока некоторые авторы считают, что достижение подобной фундаментальной ССК по наземным наблюдениям проблематично. В связи с этим, для дальнейшего улучшения наземной ССК остается актуальным создание новых, более точных наземных фундаментальных каталогов, охватывающих звезды до 9-й звездной величины и слабее. При этом имеет важное значение совершенствование методики определения координат, использование таких резервов наземной астрометрии как тщательный учет влияния атмосферы, выбор мест с наилучшими астроклиматическими условиями, создание и применение высокоточных автоматических инструментов и др.

Целью настоящей работы является исследование резервов и возможностей наземных астрометрических инструментов для высокоэффективного определения координат небесных объектов. Научно-технический прогресс, затронувший и астрометрическое приборостроение в сочетании с положительным опытом накопленным за многолетнюю историю использования астрометрических телескопов

позволяет определить реальные рубежи того, что можно решить на современном этапе с помощью наиболее современных наземных меридианных инструментов.

Из существующих и проектируемых меридианных инструментов автор наиболее подробно анализирует возможности пулковского горизонтального меридианного круга Л.А.Сухарева как инструмента нетрадиционной конструкции и наиболее рационального типа. Рассматриваются методические преимущества этого инструмента, его технические параметры и характеристики. Представляют интерес данные о поведении системы пулковского ГМК, его точностные характеристики, полученные по результатам длительных исследований, выполненных в 1967-1990 гг. Следствием этих работ являются предложения по улучшенной версии горизонтального меридианного круга с расположением труб в плоскости меридиана.

Автор не ограничивается рассмотрением лишь одного типа горизонтальной схемы меридианного инструмента, а рассматривает еще одну оригинальную схему аксиального меридианного круга (АМК). Перспективность этого типа горизонтального меридианного инструмента с расположением трубы в первом вертикале, пока не имеющего таких обширных исследований своих свойств как на пулковском ГМК тем не менее очевидна.

Такой широкий подход к рассмотрению реальных и потенциальных возможностей наземных меридианных инструментов в сочетании с использованием высокоточных регистрирующих устройств и программного управления для организации наблюдений в автоматическом режиме позволяет более реально и объективно оценить перспективы решения современных астрометрических задач посредством наземных инструментов рационального типа. Как будет показано далее, вполне реально уменьшение инструментальной части совокупной ошибки опре-

деления координат звезд до величин не превышающих  $0^{\circ}01+0^{\circ}02$ .

Научная новизна и практическое значение работы.

1. Впервые в практике отечественной меридианной астрометрии разработан, создан и исследован аппаратный комплекс меридианного круга для измерений и наблюдений небесных объектов в автоматическом режиме. Комплекс включает устройство автоматического отсчета разделенного круга, позиционирования зеркала ГМЗ на заданное зенитное расстояние, автоматический окулярный микрометр, систему программного управления, другие оригинальные разработки.

Комплекс позволяет существенно расширить возможности меридианной астрометрии - обеспечить массовые наблюдения небесных объектов со скоростью один объект за 1.5 минуты, наблюдения слабых объектов до 10-й звездной величины при высокой точности регистрирующих устройств на уровне десятых долей микрона.

Узлы комплекса, как самостоятельные устройства могут найти применение в геодезии, точном приборостроении.

2. Для единственного в СНГ меридианного круга оригинальной конструкции - горизонтального меридианного круга - разработана полная методика исследования инструмента и определения координат небесных объектов с учетом возможностей программно-управляемого комплекса. Предложены методы высокоточного определения характеристик инструмента, а также постоянного контроля за их поведением во время наблюдений звезд в зависимости от меняющихся условий наблюдений.

3. Впервые проведено полное исследование Пулковского горизонтального меридианного круга, включающее исследование ошибок делений всех диаметров методом бразильских ученых Беневидаша-Соареша и Божко, исследование профиля цапф и деформаций зеркала, ис-

следование особенностей регистрирующих устройств, изменение параметров ориентировки инструмента со временем и температурой. Исследования сопровождались модернизацией отдельных узлов ГМК для устранения выявленных недостатков. В результате получена надежная и стабильная система инструмента, в которой уровень ошибок оценивается величиной около  $0^{\circ}02 \pm 0^{\circ}03$ . Это позволяет, в свою очередь, проводить высокоточные наблюдения звезд при весьма малом влиянии инструментальных ошибок.

4. Посредством ГМК созданы четыре каталога положений звезд:  $P_{\mu}(\text{ГМК})70A$ ,  $P_{\mu}(\text{ГМК})82Д$ ,  $P_{\mu}(\text{ГМК})88$  и  $P_{\mu}(\text{ГМК})89$ . Квазиабсолютный каталог прямых восхождений 188 звезд FK4  $P_{\mu}(\text{ГМК})70A$  был использован при выводе системы прямых восхождений нового фундаментального каталога FK5. Каталог склонений 224 звезд FK4 ( $P_{\mu}(\text{ГМК})82Д$ ) и каталог прямых восхождений и склонений 911 избранных звезд ( $P_{\mu}(\text{ГМК})88$ ) составленный из списков FK4, FK4 $S$  и FK3 в единой инструментальной системе может быть использован для улучшения положений звезд в будущем каталоге FK6. Каталог прямых восхождений и склонений 170 опорных звезд в 63-х площадках с внегалактическими радиоисточниками ( $P_{\mu}(\text{ГМК})89$ ) является в настоящее время первым в СНГ двухкоординатным фотоэлектрическим каталогом такого типа и может быть использован для установления связи между опорными системами координат, базирующимися на внегалактических радиоисточниках и оптических объектах.

5. Результаты исследований и наблюдений на автоматическом ГМК послужили основой для разработки предложений по созданию более совершенного ГМК второго поколения - меридианного автоматического горизонтального инструмента имени Л.А.Сухарева (МАГИС). Этот новый инструмент должен реализовать большинство возможностей

наземного оптического меридианного инструмента при выполнении современных астрометрических программ.

6. Рассмотрен вариант оригинального горизонтального меридианного инструмента в первом вертикале. Разработана методика, выполнены расчеты, пробные исследования и сделаны предложения по перспективному горизонтальному меридианному инструменту в первом вертикале с непрерывной привязкой его к миру и отвесной линии. Предлагаемый инструмент наиболее подходит для абсолютных определений координат небесных объектов.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

1. Методы измерений, наблюдений и исследований горизонтальных меридианных инструментов в меридиане и первом вертикале, результаты полного исследования системы прямых восхождений и склонений пулковского автоматического горизонтального меридианного круга.

2. Решение актуальной научно-технической проблемы в астрометрии, связанной с разработкой и исследованием автоматического комплекса горизонтального меридианного инструмента, предназначенного для массовых определений координат звезд с высокой точностью.

3. Каталоги положений звезд, полученные на пулковском ГИК с целью доказательства широких возможностей инструмента подобного типа, а именно: а) каталог прямых восхождений 188 звезд списка FK5B, б) каталог склонений 224 звезд списка FK5B, в) каталог прямых восхождений и склонений 911 избранных звезд списков FK4, FK4S, FK3, г) каталог прямых восхождений и склонений 10 опорных звезд в 63 площадках с внегалактическими радиосточниками.

Апробация работы. Основные результаты диссертации доклады-

вались на научных собраниях астрометрических отделов ГАО АН СССР, ГАО АН УССР, Николаевского отделения ГАО АН СССР, Ученом Совете Пулковской обсерватории, 18+ 23 астрометрических конференциях СССР, Симпозиуме №109 МАС в Гейнесвилле (Флорида, США, 1984г), Коллоквиуме №100 МАС в Белграде (Югославия, 1987г), на Симпозиуме №141 МАС в Ленинграде (1989г.), на 15, 18, 20 съездах Международного астрономического союза, экспонировались на Выставке достижений народного хозяйства в г.Москве в 1985г.

Исходные материалы и личный вклад автора. В основу диссертации положены результаты многочисленных исследований и наблюдений, выполненных автором на пулковском ГМК в 1967-90гг.

Исследования и наблюдения на ГМК выполнялись автором в составе научной группы. Коллективная работа в содружестве с Л.А. Сухаревым, Г.М.Тимашковой, Т.Р.Ириьян, Ю.Н.Ивановым, Е.И.Брюшковой, Н.А.Саар, З.А.Разворотневой была характерной для периода 1967-78гг. В это время при активном участии автора осуществлялись выбор и постановка научных задач, разрабатывалась методика исследований, проводились эксперименты, отрабатывались и анализировались результаты исследований различных узлов и всего инструмента в целом. Наблюдения каталога Рн (ГМК) 70А выполнены полностью автором, им же была сделана обработка и вывод каталога.

В дальнейшем, будучи руководителем научной группы ГМК автор инициирует модернизацию ГМК на современном научно-техническом уровне. Работа по модернизации проводилась в творческом сотрудничестве с научно-конструкторской группой из АСЭ КГУ под руководством ведущего научного сотрудника Р.И.Гумерова. Под научным руководством автора и его личном участии разрабатывались технические требования и задания по модернизации, методике исследований и приемосдаточным испытаниям различных устройств

ГМЖ. На этом этапе работы выполнялись совместно с сотрудниками лаборатории фундаментальной астрометрии ГАО - Т.Р.Кириян, Б.Н.Смирновым, К.Н.Наумовым и с сотрудниками АОЭ КГУ - Р.И.Гумеровым, В.Б.Капковым, Ф.Г.Авповым, О.М.Мироновым.

В исследовании ГМЖ с новыми автоматическими регистрирующими устройствами работа выполнялась совместно с Т.Р.Кириян, Р.И.Гумеровым, В.Б.Капковым. В частности, наблюдения 1981-1983гг, проведенные с целью изучения системы склонений ГМЖ выполнены автором совместно с Т.Р.Кириян. Наблюдения каталогов  $R_{\alpha}(\text{ГМЖ})88$  и  $R_{\alpha}(\text{ГМЖ})89$  проведены главным образом К.Н.Наумовым, обработка и анализ наблюдений выполнены автором совместно с В.Б.Капковым, К.Н.Наумовым, Т.Р.Кириян и Ю.И.Процком.

В работах [4,9,10,13,15,16,20,25,26] автор участвовал наравне с соавторами, работа выполнена совместно. В работе [2] автор разработал методику использования прибора, предложенного Л.А.Сухаревым. В работах технического характера [11,14,22,23,27] автору принадлежит постановка задач, методика исследования новых устройств, участие в исследованиях, анализ результатов. В работах [7,12,17,19,28] автор принимал участие в анализе первых результатов по итогам создания и исследования Николаевского АМЖ. В работах [18,21] автор принимал участие в разработке методики, измерениях и анализе результатов обработки.

Все выводы и рекомендации, сделанные по теме диссертации получены лично автором.

Считаю своим долгом выразить глубокую признательность Л.А.Сухареву и А.А.Немиро за идейное руководство работой по теме диссертации, ценные замечания, творческую дискуссию по результатам исследований и наблюдений. Автор благодарит всех соавторов научных статей, коллег по совместной работе на ГМЖ, участников

экспедиции на о. Шпицберген, в частности Г.М.Петрова, за помощь в наблюдениях, обработке, в обсуждении и дискуссии результатов представленной работы.

**СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.** Диссертация состоит из введения, восьми глав основного текста, заключения, списка литературы и четырех приложений. Её объем составляет 363 страницы, из них - библиография занимает 25 страниц, 4 приложения - 40 страниц, рисунки - 50 страниц, таблицы - 10 страниц и чистый текст - 238 страниц.

Во введении обосновывается актуальность проведения наземных определений координат звезд с целью создания новых, более точных фундаментальных каталогов, охватывающих яркие и слабые звезды. Обсуждаются резервы и пути достижения предельной точности определений координат наземными средствами. Утверждается, что среди различных методов определения координат меридианный метод остается наиболее рациональным и выгодным с позиций учёта и исключения различных ошибок. Приведены данные о необходимости тщательного учета влияния атмосферы в приземном слое, павильоне и инструменте. Рассмотрена задача выбора оптимального размещения астрометрических инструментов и в этой связи высокие широты представляют несомненный интерес с точки зрения благоприятных условий во время полярной ночи.

Приведены итоговые данные по наблюдениям прямых восхождений звезд на Шпицбергене в 1974 - 77 г посредством фотоэлектрического пассажного инструмента АИМ - Ю, в которых автор принимал участие. Исследование взаимной устойчивости пассажного инструмента и мир показали следующее: 1) использование фундаментов в условиях вечной мерзлоты не привело к аномалиям в изменении

азимута пассажного инструмента относительно мир: температурный коэффициент изменения азимута - порядка  $0''2$  на  $1^{\circ}\text{C}$ . Корреляция изменений азимута с ходом температуры давала возможность его уверенного контроля; 2) стабильность положения мир на протяжении четырех месяцев полярной ночи удовлетворительная - связи изменений угла между мирами с ходом температуры не обнаружено, поступательный ход угла между мирами порядка  $0''25$  в месяц находился в хорошем согласии с аналогичными величинами для мир, расположенных в средних широтах.

В результате анализа высокоширотных наблюдений 1974-1977гг сделаны следующие выводы: 1) полностью подтвердилось предположение, что в условиях полярной ночи можно получить абсолютные элементы ориентировки пассажного инструмента  $\mu$ , свободные от влияния суточного хода, что имеет фундаментальное значение в проблеме освобождения прямых восхождений от ошибок вида  $\Delta\alpha_{\alpha}$ ; 2) полученный высокоточный каталог абсолютных прямых восхождений  $Nik(Sp)75$  в значительной мере свободен от систематических ошибок вида  $\Delta\alpha_{\alpha}$  и  $\Delta\alpha_{\beta}$ ; 3) результаты сравнения каталога  $Nik(Sp)75$  с другими каталогами показали, что опорный каталог ИКА имеет заметные систематические ошибки вида  $\Delta\alpha_{\beta}$  в зоне склонений от  $+10^{\circ}$  до  $+80^{\circ}$  и вида  $\Delta\alpha_{\alpha}$  в зоне склонений от  $+50^{\circ}$  до  $+80^{\circ}$ . Полярный каталог  $Nik(Sp)75$  показал хорошее совпадение с каталогом ИСВ. Здесь расхождение систематических ошибок вида  $\Delta\alpha_{\beta}$  не превышало  $0.003$ .

Что касается определения абсолютных склонений при использовании двух высокоширотных и одной экваториальной обсерваторий ( $\varphi = +80^{\circ}, -80^{\circ}, 0^{\circ}$ ), то проведенные расчеты показывают, что с учетом реально возможного количества наблюдений на

выбранных широтах высокая точность определения гнутя и рефракции получается при выполнении условия:  $b_N = b_S = b_Z = b$ , то есть, если применяется один инструмент с постоянным гнутем на всех трех обсерваториях, либо три инструмента, величина гнутя у которых одинакова. Средняя квадратическая ошибка определения гнутя и рефракции в этом случае:  $\epsilon_{b_{N,S,Z}} = \pm 0^{\circ}017$ ,  $\epsilon_{p_{N,S,Z}} = \pm 0^{\circ}015$ . Среднеширотный вариант расположения двух инструментов ( $\varphi = \pm 45^{\circ}$ ) дает менее точные результаты:  $\epsilon_{b_{N,S}} = \pm 0^{\circ}045$ ,  $\epsilon_{p_{N,S}} = \pm 0^{\circ}017$ .

Во введении приведены сведения о вкладе автора в решение этих проблем, сформулирована научная новизна и дан перечень положений, вынесенных на защиту. Приведен также список статей, в которых опубликованы основные результаты диссертации.

Первая глава посвящена обсуждению возможностей наземных меридианных инструментов. С позиций современных задач астрометрии в ней сформулированы общие требования и показатели меридианного инструмента. В частности, современный меридианный инструмент должен быть автоматическим, высокоточным, иметь высокую проникающую способность. Сделан обзор существующих и проектируемых инструментов, распределенных на четыре группы с учетом принципиальных особенностей их оптико-механических конструкций. Говоря о выборе меридианного инструмента рационального типа предложено в качестве критерия оптимальности оценки окончательного варианта выбрать величину и стабильность систематических ошибок инструментов: весовых и термических деформаций. Пользуясь этим критерием были проанализированы все четыре группы инструментов. В итоге сравнения сделан вывод, что меридианные инструменты горизонтальных конструкций (в меридиане, в первом вертикале) имеют минимальные по величине и наиболее стабильные

по характеру изменений параметры (гнутие, коллимация). Эти данные несомненно являются определяющими при выборе наиболее рациональной конструкции меридианного инструмента. На основе новых возможностей меридианных инструментов показано место современной наземной астрометрии при взаимодействии с космической и радиоастрометрией.

Во второй главе показано историческое развитие идеи ГМК, приведена принципиальная схема пулковского ГМК в объеме, задуманном Л.А.Сухаревым. Эта схема имеет значительное достоинство, если ее рассматривать как замкнутую систему из двух главных автоколлимационных труб с возможностью привязки к отвесной линии посредством искусственного горизонта. Основные из них: механические деформации (гнутие) сравнительно небольшого зеркала значительно меньше деформации трубы классического меридианного круга; гнутие труб ГМК практически исключено, поскольку они неподвижны, а их объективы и окуляры не имеют механической связи с корпусами труб; применение длиннофокусных труб должно приводить к меньшим угловым смещениям их визирных осей. В дополнение к этому, система двухзеркальных отражателей ГМК с автоколлиматорами представляет принципиальную возможность постоянного контроля положения главного зеркала непосредственно во время наблюдений звезд. Из недостатков схемы ГМК обычно отмечают удвоение влияния ошибок отсчета разделенного круга и погрешностей его делений, увеличение зависимости определяемых прямых восхождений звезд от погрешностей цапф; возможны также рефракционные эффекты на горизонтальном пути светового луча в павильоне и пр. Часть указанных недостатков вполне может быть устранена при изготовлении ГМК на современном техническом уровне; влияние других значительно ослабляется

при тщательном исследовании системы ГМК и последующем её учете.

Изложенная теория ГМК включает формулы приведения наблюдений на плоскость меридиана с оценкой влияния членов высшего порядка, а также методы определения всех инструментальных параметров.

Предложена методика приведения наблюдений, выполненных на ГМК в две трубы к единой системе. Дело в том, что схема ГМК позволяет в принципе выполнять наблюдения в одну трубу с зеркалом по широкой дуге меридиана. Можно получить при этом две инструментальные системы как по прямому восхождению, так и по склонению. Идентичность этих систем позволяет судить о независимости и полноте учета инструментальных параметров, а также является контролем объективности учета систематических ошибок инструмента, определяемых посредством разных труб. Однако, при некоторых угловых положениях зеркала происходит виньетирование объективов труб, что приводит к деформациям изображений звезд. Оценка потерь в яркости наблюдаемых звезд в южной части меридиана для северной трубы приводит к величине  $1^m.9$  для высот звезд над горизонтом  $65^\circ$  или  $1^m.2$  для высот  $80^\circ$ . Зоны меридиана, где звезды наблюдаются в одинаковых условиях перекрываются лишь в зенитной области ( $+11^\circ 24'$  от зенита). При массовых определениях координат звезд наблюдения в обе трубы выполняются лишь в зонах склонений без виньетирования объективов обеих труб.

Для этого случая в наблюдаемые  $(\alpha - T)_N$ , полученные на северной трубе необходимо вводить поправки для приведения всех наблюдений на ГМК к единой системе южной трубы:

$\Delta = \pm (\mu_N + \mu_S) \sec \delta$ ; здесь  $\mu_{N,S}$  - азимут северной и

южной трубы относительно зеркала, верхние знаки относятся к наблюдениям в верхних кульминациях, нижние - в нижних кульминациях. Дальнейшая обработка выполняется единообразно для обеих труб.

Наблюдения склонений звезд в обе трубы ГМК после учета наклонности труб  $i_{N,S}^1$  и нуля зеркала  $M_0$  в наблюдениях обеих труб относятся к единой системе, определяемой плоскостью горизонта и отвесной линией и в принципе дополнительных поправок не требуется.

Двухтрубная конструкция ГМК представляет уникальные возможности путем комбинации наблюдений в обе трубы определять прямые восхождения с привязкой к более стабильной по азимуту средней линии двух труб. При хорошо определенной и стабильной коллимации зеркала такие наблюдения позволяют также получать точные ( $\pm 0^{\circ}03 \div 0^{\circ}05$ ) значения относительного азимута зеркала:

$$\frac{1}{2}(\mu_N + \mu_S) = \pm \frac{1}{2}(\tau_N - \tau_S) \cos \delta \pm \sqrt{2} \cdot c \cdot \sin \frac{\epsilon}{2},$$

здесь  $c$  - коллимация зеркала. Это позволяет установить почти непрерывный контроль за положением зеркала относительно главных труб по каждой звезде с  $\delta \geq 60^\circ$  и устранить неизбежные при дискретных автоколлимационных измерениях ошибки интерполяции в значениях относительного азимута зеркала.

При определении склонений звезд в узкой зенитной зоне в сочетании с привязкой зенитных расстояний к отвесной линии посредством искусственного горизонта ГМК можно определять широту способом Тальботта:  $\varphi = \frac{1}{2}(\delta_N^z + \delta_S^z) - \frac{1}{2}(z_N - z_S)$ ; при  $z$  близком к нулю влиянием рефракции можно пренебречь.

Производя наблюдения пар звезд распределенных по всем часам прямых восхождений и выравнивая их цепным способом можно получить в итоге значение широты инструмента, однако, с точностью

до постоянной из-за ошибок склонений наблюдаемых звезд. Ожидаемая оценка точности определения  $\varphi$  по одной паре ( $\pm 0''.11$ ) зависит главным образом от точности определения нульпункта ГМЖ по склонениям.

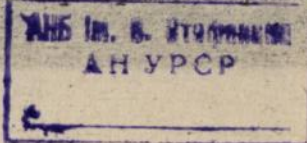
При наблюдении звезд на подобранных специальным образом склонениях ГМЖ можно использовать в качестве меридианного круга и зенит-телескопа т.е. применить метод Сандерса-Раймонда для получения более точного значения широты.

В третьей главе приведено описание современного пулковского ГМЖ: его конструкции, регистрирующих устройств, программного управления. Окончательный вариант модернизированного пулковского ГМЖ с программным управлением удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к современному меридианному инструменту. Автоматизированы все основные операции при наблюдении звезд, исследовании и определении параметров инструмента.

Регистрирующие устройства ГМЖ (система отсчета разделенного круга, окулярный микрометр, маятниковый зеркальный горизонт) обеспечивают точность измерений на уровне десятых долей микрона. Это позволило достичь точности определений положений звезд в случайном отношении по прямому восхождению:  $\pm 0''.010 \text{ sec}^2(\text{sec } z)^{0.6}$ , по склонению:  $\pm 0''.16(\text{sec } z)^{0.9}$ .

Созданная на ГМЖ система программного управления совместно с регистрирующими устройствами обеспечивает высокую эффективность инструмента - быстродействие ГМЖ в автоматическом режиме около 40 звезд в час.

Четвертая глава посвящена исследованию системы прямых восхождений ГМЖ посредством лабораторных измерений и наблюде-



ний звезд. Обширные исследования, выполненные впервые для такого типа инструмента позволили сделать следующие выводы:

- 1) Примененные на ГМК две версии фотоэлектрического окулярного микрометра (с неподвижным, а позднее со сканирующим анализатором поля) показали высокие точностные характеристики, что позволяло производить автоколлимационные измерения с точностью  $0.2 \text{ мкм}$  ( $0^{\circ}01$ ), а регистрацию прохождений звезд на уровне влияния атмосферной турбуленции ; 2) Форма металлического зеркала (единого с осью) устойчива и слабо зависит от температуры - получена уверенная корреляционная связь изменений коллимации зеркала с температурой, около  $0^{\circ}004$  на  $1^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) Система неподвижных горизонтальных труб ГМК позволяет эффективно контролировать их взаимное расположение, а также изменение ориентировки зеркала; устойчивость труб ГМК по азимуту сравнима с устойчивостью классических мир (около  $0^{\circ}2$  в месяц); 4) Сезонных изменений системы ГМК по прямому восхождению не обнаружено, что свидетельствует о её стабильности с температурой и временем; 5) Результаты наблюдений, выполненных посредством северной и южной труб ГМК весьма близки друг к другу; 6) Окончательная система ГМК по прямому восхождению (вида "каталог ГМК - опорный каталог") показала хорошее согласие с системами других каталогов северного неба. Это свидетельствует о надежной привязке системы каталога  $R_{\mu}(\text{ГМК})70A$  к системе опорного каталога, о высокой точности наблюдений в систематическом отношении. Полученный на ГМК каталог прямых восхождений 188 звезд  $R_{\mu}(\text{ГМК})70A$  был использован при выводе системы прямых восхождений фундаментального каталога  $R_{\mu}$ . В среднем, точность положений звезд в каталоге  $R_{\mu}(\text{ГМК})70A$  составляет  $\epsilon_{\alpha} \cos \delta = \pm 0.005$ .

Пятая глава посвящена исследованию системы склонений ГМК. Получены данные, позволяющие решить проблему инструментального гнутя - изменение формы зеркала под действием силы тяжести не превышает 0.05 мкм, что соответствует эффекту гнутя ( $0^{\circ}01 \div 0^{\circ}02$ ) *Sm 2 Z*. При наличии кривизны отражающей поверхности зеркала возможен учет её влияния, аналогично эффекту гнутя на наблюдения звезд. Высокоточное автоматическое устройство отсчета круга ( $\pm 0^{\circ}02$  по четырем микроскопам) позволило полностью исследовать ошибки всех делений круга, разработать и использовать оперативный контроль за стабильностью делений круга. Закрепление стеклянного лимба в металлической оправе, а последней на оси зеркала решено на ГМК достаточно корректно. Об этом свидетельствует величина изменения точек экватора разделенного круга, равная  $0^{\circ}1$  на  $1^{\circ}C$ , что типично для меридианных кругов других конструкций. Впервые в отечественной меридианной астрометрии на ГМК применен искусственный горизонт маятникового типа, позволяющий определять положение отвесной линии с точностью  $\pm 0^{\circ}04 \div 0^{\circ}06$ . Экранирование участка между зеркалом и объективами труб значительно уменьшало влияние турбулентции воздуха внутри павильона на положение светового луча. Устранение вертикального градиента температуры в горизонтальных трубах ГМК до нескольких сотых долей градуса на диаметр трубы выполнено путем принудительной вентиляции воздуха в промежутке между внутренней и внешней стенками труб.

Сезонных изменений системы ГМК по склонению не обнаружено, что также свидетельствует о её стабильности с температурой и временем. Результаты наблюдений, выполненных посредством северной и южной труб ГМК весьма близки друг к другу. Окончательная система ГМК по склонению (вида "каталог ГМК - опорный кате-

лог") показала хорошее согласие с системами других каталогов северного неба. Это свидетельствует о надежной привязке системы каталога  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})82\text{Д}$  к системе опорного каталога, о высокой точности наблюдений в систематическом отношении. В среднем, точность положений звезд в каталоге  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})82\text{Д}$  составляет  $\epsilon_g = \pm 0''11$ .

В главе шестой приведены результаты наблюдений прямых восхождений и склонений 170 опорных звезд в 63 площадках с внегалактическими радиоисточниками - каталог  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})89$ , а также избранных 911 звезд списков  $\text{FK4}$ ,  $\text{FK4S}$  и  $\text{FKC3}$  - каталог  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})88$ . Наблюдения проведенные в 1988-90гг для оценки возможностей автоматического ГМК, показали следующее: 1) Система Нулковского горизонтального меридианного круга показала высокую стабильность в течение двух лет наблюдений. Сезонные изменения не превышали значений  $\pm 0''02 + \pm 0''05$ . Систематические разности вида " каталог ГМК - опорный каталог  $\text{FK5}$ " отражают с точностью  $\pm 0''02 - \pm 0''03$  ошибки опорного каталога  $\text{FK5}$ , в частности ошибка вида  $\Delta\delta_g$ , достигающие  $0''10$  в зоне склонений  $+40^{\circ} \div +60^{\circ}$ ; 2) Полученный каталог прямых восхождений и склонений 170 опорных звезд в 63 площадках вокруг радиоисточников  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})89$  является в настоящее время первым в СНГ фотоэлектрическим двухкоординатным каталогом такого типа и может быть использован для установления связи между опорными системами координат, базирующихся на радиоисточниках и оптических объектах; 3) Каталог прямых восхождений и склонений  $P_{\alpha}(\Gamma\text{МК})88$ , составленный из звезд списков  $\text{FK5B}$ ,  $\text{FK4S}$  и  $\text{FKC3}$ , полученный в единой инструментальной системе может быть использован для улучшения положений звезд в новом фундаментальном каталоге типа  $\text{FK6}$ .

В седьмой главе обсуждаются перспективы горизонтального

меридианного инструмента в меридиане. Проведенные исследования пулковского ГМК Л.А. Сухарева показали с одной стороны достоинства принципиальной схемы горизонтального меридианного круга в меридиане, с другой стороны недостатки реальной схемы ГМК были либо сняты в ходе исследования из-за возможности учета их влияния (например, ошибки делений круга), либо переведены в разряд чисто технических проблем например, ошибки цапф). С учетом выявленных особенностей пулковского ГМК можно ожидать, что ГМК второго поколения будет одним из наиболее точных в систематическом отношении меридианных инструментов, предназначенных для эффективного решения современных астрономических задач - дифференциальных и абсолютных координат звезд, больших и малых планет, изучения рефракционных свойств атмосферы и др.

Приведена схема Меридианного автоматического горизонтального инструмента Сухарева (МАГИС), изготавливаемого усилиями трех обсерваторий: Пулковской, Николаевской и Казанской (АОЭ), а также ЦКБ "Фотон" (г.Казань) и ИСМ АН Украины (г.Киев). Инструмент имеет круглое зеркало диаметром 300 мм (единое с осью вращения), две длиннофокусные вакуумированные трубы ( $\varnothing 190$ мм,  $F = 8000$ мм). Определение наклонности оси вращения зеркала, а также точки зенита на разделенном круге МАГИСа производится посредством искусственного горизонта в зените и надире. Инструмент снабжен окулярными регистрирующими устройствами, фотоэлектрическим отсчетом круга, автоматическим приводом зеркала. Работой телескопа во время наблюдений звезд и исследований управляет система программного управления (СПУ). Инструмент устанавливается в трех павильонах: центральный имеет раскатную кровлю, два других закрывают окулярные концы труб. Электронная

аппаратура СПУ расположена в специальном вагончике на удалении не менее 50 м от инструмента. Планируется с помощью системы сбора метеоданных (температура, давление, влажность, скорость и направление ветра) обеспечить учет влияния астрономической рефракции.

Ожидаемые характеристики инструмента: весовые деформации (горизонтальное гнутие) -  $0^{\circ}02$  (зеркало), термические деформации (изменение коллимации) -  $0^{\circ}004 / 1^{\circ}\text{C}$  (зеркало), изменение азимута -  $0^{\circ}05 / 1^{\circ}\text{C}$  (для трубы) и  $0^{\circ} 2 / 1^{\circ}\text{C}$  (для зеркала), изменение нуля-пункта круга -  $0^{\circ}1 / 1^{\circ}\text{C}$ , изменение наклонности -  $0^{\circ}1 / 1^{\circ}\text{C}$  (для зеркала и труб). Ожидаемая точность определений координат звезд в случайном отношении:  $\epsilon_{\alpha} \cos \delta = \pm 0.5 \text{ (sec } z)^{0.6}$  и  $\epsilon_{\delta} = \pm 0.16 \text{ (sec } z)^{0.9}$ , в систематическом отношении не хуже  $0^{\circ}02 \pm 0^{\circ}03$ .

В целом, создаваемый инструмент МАГИС по большинству параметров не уступает зарубежным аналогам, а в отношении систематических ошибок имеет определенные преимущества.

В главе восьмой приведена принципиальная схема горизонтального меридианного инструмента в первом вертикале, а также его теория. Особенностью этой схемы является помимо расположения трубы в первом вертикале возможность определения ориентировки инструмента относительно длиннофокусной миры расположенной также в первом вертикале, а по существу возможность прямых измерений положений звезд относительно визирной линии миры, что невозможно на всех существующих в настоящее время меридианных инструментах. Добавим еще, что конструкция ГМИ в первом вертикале благодаря своей горизонтальности заимствует и некоторые положительные черты горизонтальных меридианных кругов, оставаясь в то же время сво-

бодной от их недостатков: возможно равновесное наблюдение звезд по всему меридиану в одну трубу, ослаблено влияние рефракционных эффектов на горизонтальном ходе лучей света, так как объективы трубы и миры могут быть расположены вплотную к оптическому узлу, отсутствует удвоение влияния ошибок разделенного круга и др.

Предварительные исследования ГМИ в первом вертикале, выполненные на Николаевском опытном экземпляре аксиального меридианного круга (первая очередь АМК) показали, что такой тип горизонтального меридианного инструмента имеет малые весовые деформации. Получена величина инструментального гнута  $\delta = -0^{\circ}22 \pm 0^{\circ}08$ , что соответствует уровню точности визуальных измерительных устройств АМК.

Рассматривая перспективы развития горизонтального меридианного инструмента в первом вертикале автором предложена схема и даны расчеты по новому устройству отсчета круга с самоустанавливающимся нульпунктом. Ожидаемая точность  $\pm 0^{\circ}02$  определяется главным образом ошибками демпфирования колебательной системы. Предложенная схема ГМИ в первом вертикале с возможностью непрерывной привязки инструмента к миру и к отвесной линии позволяет полностью исключить ошибки ориентировки и повысить точность наблюдений в систематическом отношении.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В  
СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Г. И. Пинигин. Учет погрешностей установки фотоэлектрической визирной решетки с наклонными щелями. Изв. ГАО АН СССР, 1970, № 155, с. 83-92.
2. Л. А. Сухарев, Г. И. Пинигин. О дистанционном управлении пулковским горизонтальным меридианным кругом, Изв. ГАО

АН СССР, 1973, №191, с.102-106.

3. Г. И. Пинигин. Определение ориентировки труб и зеркала горизонтального меридианного круга. Изв. ГАО АН СССР, 1975 г, №193, с.109-116.

4. Г. И. Пинигин, Л. А. Сухарев, Г. М. Тимашкова. Пути увеличения точности меридианных наблюдений на примере работы пулковского ГМК. В сб. "Современные проблемы позиционной астрометрии". М., изд-во МГУ, 1975, с.92-94.

5. Г. И. Пинигин. Результаты определения поправок прямых восхождений 188 звезд со склонениями от  $-10^{\circ}$  до  $+86^{\circ}$ , полученных из наблюдений на горизонтальном меридианном круге Л. А. Сухарева. Изв. ГАО АН СССР, 1976, №194, с.105-118.

6. Г. И. Пинигин. О методе определения прямых восхождений на горизонтальном меридианном круге. Астрон. журнал, 1976, т.53, в.4, с.903-910.

7. Г. И. Пинигин, Шорников О. Е. Горизонтальный меридианный инструмент в первом вертикале. Информ. бюлл. Астросовета АН СССР секция "Астрометрия", 1979, №1, с.27-30.

8. Г. И. Пинигин. К вопросу о меридианном инструменте оптимального типа. В сб. "Проблемы исследования Вселенной", 1979, №8, с.172-187.

9. Т. Р. Кирьян, Г. И. Пинигин, Т. М. Тимашкова. Исследование рефракционных аномалий в горизонтальных трубах ГМК с помощью фотоэлектрического клинового окулярного микрометра. Изв. ГАО АН СССР, 1982, №199, с.43-47.

10. Л.А. Сухарев, Г.М. Тимашкова, Г.И. Пинигин, Т.Р. Кирьян. Предварительные результаты исследования маятникового зеркального горизонта Пулковского горизонтального меридианного круга. Изв. ГАО АН СССР, 1982, №200, с. 116-121.
11. Р.И. Гумеров, В.Б. Капков, Г.И. Пинигин, О.Е. Шорников. Фотоэлектрические системы отсчета лимбов Пулковского горизонтального меридианного круга. Изв. ГАО АН СССР, 1982, №200, с. 114-117.
12. Г.И. Пинигин, О.Е. Шорников. Аксиальный меридианный круг. "Астрометрия и астрофизика", Наукова Думка, 1983, в. 49, с. 75-82.
13. Т.Р. Кирьян, Г.И. Пинигин, Г.М. Тимашкова. Первые результаты наблюдений склонений звезд на пулковском горизонтальном меридианном круге. Астрон. журнал, 1983, т. 60, в. 4, с. 775-780.
14. Р.И. Гумеров, В.Б. Капков, Г.И. Пинигин. Автоматическая установка по зенитному расстоянию пулковского горизонтального меридианного круга. Письма в Астрон. журнал, 1983, т. 9, №11, с. 699-703.
15. Т.Р. Кирьян, Г.И. Пинигин, Г.М. Тимашкова. Особенности поведения параметров ориентировки пулковского горизонтального меридианного круга. Письма в Астрон. журнал, 1984, т. 10, №2, с. 143-148.
16. Т.Р. Кирьян, Г.И. Пинигин, Г.М. Тимашкова. О подготовке Пулковского горизонтального меридианного круга к наблюдениям склонений звезд. В сб. "Проблемы астрометрии (22-я астрометр. конференция СССР 1-5 мая 1981)", изд. МГУ, 1984, с. 213-215.

17. Г. И. Пинигин, О. Е. Шорников. Аксиальный меридианный круг. В сб. "Проблемы астрометрии" (22-я Астрометрическая конф. 1-5 мая, 1981 г.), Изд. МГУ, 1984, с. 206-208.
18. Т. Р. Кирьян, Р. И. Гумеров, Г. И. Пинигин. Оперативный контроль и исследование поправок делений лимба. В сб. "Кинематика и физика небесных тел," Наукова Думка, 1986, №6, с. 47-50.
19. Г. И. Пинигин, А. В. Сергеев, О. Е. Шорников. Результаты работ по созданию экспериментального варианта аксиального меридианного круга (первая очередь). В сб. "Современная астрометрия" (23-я Астрометрическая конф. СССР), 1987, л. с. 243-247.
20. Т. Р. Кирьян, Р. И. Гумеров, Г. И. Пинигин и др. О системе склонений горизонтального меридианного круга Пулковской обсерватории. В сб. "Современная астрометрия" (23-я астрометрическая конф. СССР), 1987, л. с. 256-261.
21. Р. И. Гумеров, В. Б. Капков, Т. Р. Кирьян, Г. И. Пинигин. Теория и предварительные результаты исследования двухкоординатного автоматического звездного микрометра пулковского горизонтального меридианного круга. Изв. ГАО АН СССР, 204, 1987, с. 72-76.
22. Г. И. Пинигин. Возможности меридианного круга горизонтальной конструкции. В сб. "Кинематика и физика небесных тел", т. 5, №2, 1989, с. 83-87.
23. Д. А. Еубнов, Г. И. Пинигин, А. В. Шумахер. Отсчетное устройство. Авторское свидетельство №1534314 АИ SU, Госкомизобретений, 1989.
24. Г. И. Пинигин. Возможности и перспективы меридианных ин-

струментов. В сб. "Проблемы построения координатных систем в астрометрии", Л., 1989, с.140-161.

25. Т.Р.Кирьян, Г.И.Пинигин. Результаты дифференциальных определений склонений звезд на пулковском горизонтальном меридианном круге Л.А.Сухарева в 1982-83г.г. - Деп. в ВИНТИ 6.05.92г., №1489-В92.
26. Т.Р.Кирьян, К.Н.Наумов, Б.Н.Смирнов, О.Ю.Никифорова, Д.Л.Горшанов (ГАО); Г.И.Пинигин, Ю.И.Процюк (НАО); В.В.Капков, Р.И.Гумеров, Ф.Л.Аюпов (АОЗ). Результаты дифференциальных определений прямых восхождений и склонений звезд на пулковском горизонтальном меридианном круге Л.А.Сухарева в 1988-90гг -Деп. в ВИНТИ 6.05.92г., №1488 - В92.
27. R.Gumerov, V.Kapkov, G.Pinigin et cet. On the Progress of the construction of the Sukharev meridian automatic horizontal instrument (MAHIS).-In "Inertial Coordinate System on the Sky", J.H.Lieske and V.K.Abalakin (eds), 1990, by IAU Symp. N 141, Kluwer Acad.Publ., p.88-90.
28. O.Shornikov, G.Pinigin, V.Konin et cet. An axial meridian circle, first results of the determination of horizontal flexure.-In "Astrophysics and Space Science", 177,1991,Kluwer Acad.Publ.,p.273-275.
29. G.Pinigin. Observing Programms for the Pulkovo horizontal meridian circle.-In "Astrophysics and Space Science", 177,1991, Kluwer Acad.Publ.,p.225-227.

Дни замес

№ 25.998  
**АВ 25.998**