РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

МИХАЙЛОВ Андрей Георгиевич

Радиоастрономическая юстировка радиотелескопов комплекса «Квазар» в полусфере

Специальность 01.03.02 - «Астрофизика и радиоастрономия»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2005

Работа выполнена в Институте прикладной астрономии РАН.

Научный руководитель:

доктор технических наук	А. В. Ипатов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук	М. Н. Кайдановский
кандидат физико-математических наук	Б. З. Каневский

Ведущая организация:

Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизический обсерватории РАН

Защита состоится 22 сентября 2005 г. в 14 час. на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 в Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН.

Автореферат разослан "____" августа 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук З. М. Малкин

Общая характеристика работы

Технология радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами (РСДБ), предложенная в СССР и реализованная в начале 70-х годов совместными усилиями СССР и США, является в настоящее время самым мощным и универсальным средством наземной астрономии. Она используется развитыми странами для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач, которые требуют высокоточных координатно-временных и навигационных данных.

В 1988 г. Институт прикладной астрономии АН СССР (ныне — ИПА РАН) начал разработку проекта радиоинтерферометрического комплекса «Квазар». Это обеспечивало независимость России от других стран при решении важных национальных задач и одновременно давало возможность для эффективного включения комплекса в международное радиоинтерферометрическое сообщество в рамках крупных международных астрометрических, геодинамических и астрофизических программ.

Введение в эксплуатацию первых радиотелескопов комплекса «Квазар» в п. Светлое (Ленинградская обл.) в 1998 г. и в ст. Зеленчукская (Карачаево-Черкесская республика) в 2001 г. сопровождалось необходимостью разработки программно-аппаратных средств для управления радиотелескопом, а также проведения работ по настройке и исследованию этих новых инструментов.

Разработанный автором программно-аппаратный комплекс, состоящий из центрального управляющего компьютера, объединяющий многие функциональные системы радиотелескопа и оснащенный специализированным программным обеспечением позволил обеспечить проведение как интерферометрических, так и радиометрических наблюдений на радиотелескопах комплекса «Квазар».

Разработанная автором методика измерения нелинейности датчиков положения повысила точность отработки истинного положения оптической оси радиотелескопа в обсерватории «Светлое» почти в 2 раза, в обсерватории «Зеленчукская» — почти в 3 раза. Это позволило начать радиоастрономические наблюдения в высокочастотном диапазоне 1,35 см. При ширине диаграммы направленности 1,5 угловой минуты достигнутая точность сопровождения составляет величину менее 10 угловых секунд.

Проведение радиоюстировок в обсерватории «Светлое» дало возможность ввести этот радиотелескоп в состав международных РСДБ-сетей и сделать его постоянным участником РСДБ наблюдений. Проведение радиоюстировок в обсерватории «Зеленчукская» дало возможность начать РСДБ-наблюдения на базе «Светлое-Зеленчукская». Радиотелескопы этих обсерваторий также успешно работают и по астрофизическим программам как одиночные радиотелескопы, что подтверждается приведенными в диссертации результатами наблюдательных программ.

Актуальность темы диссертации

Задача объединения различных компонентов аппаратуры радиотелескопа в единый аппаратно-программный комплекс при создании и вводе в действие нового инструмента является очень важной. При этом необходимо согласовать между собой системы, разработанные независимо друг от друга, а также обеспечить их совместную работу с единым программным обеспечением, обязательным для международных сетей РСДБ.

Успех проведения радиоастрономического сеанса зависит от большого количества факторов, одним из наиболее существенных является правильное наведение радиооси телескопа на источник. Даже для идеально настроенного радиотелескопа остаются неучтенные поправки наведения, снижающие эффективность работы инструмента. В РСДБ сеансе существует опасность вообще не попасть диаграммой направленности антенны на источник, т. к. во время проведения наблюдений выходной сигнал радиотелескопа не контролируется. В радиометрии возможен контроль наличия источника в диаграмме, но при длительном сопровождении источника неверный учет статических поправок вызовет флуктуации выходного сигнала радиометра, что приведет к появлению артефактов и ухудшению реальной чувствительности. При этом целесообразно различать т. н. «динамические» ошибки наведения, вызванные неравномерным движением антенны относительно заданной траектории, и «статические» ошибки, являющиеся следствием отклонения истинного положения радиооси антенны от расчетного из-за различных факторов: неточностей изготовления конструкции антенны, ошибок датчиков положения, деформаций конструкции антенны и др. Данная работа посвящена решению проблемы уменьшения «статических» ошибок, определению причин их вызывающих и разработке методов их коррекции.

Цели работы

Основными целями настоящей работы являются:

1. Разработка программно-аппаратных средств для проведения радиоастрономической юстировки и решения задач управления радиотеле-

скопом.

2. Радиоастрономическая юстировка антенных систем РСДБ комплекса «Квазар» с целью достижения основных параметров по точности наведения, позволяющих, в том числе, включить радиоастрономические обсерватории «Светлое» и «Зеленчукская» в состав международных РСДБ-сетей.

Научная новизна работы

1. Разработана структура программно-аппаратного комплекса, позволяющего проводить автоматическую радиоастрономическую юстировку, а также наблюдения в радиометрическом и радиоинтерферометрическом режимах без введения дополнительных поправок в процессе наблюдения.
2. Впервые в нашей стране выполнена автоматизированная радиоастрономическая юстировка радиотелескопов в полусфере и построена аналитическая модель систематических поправок наведения.
3. Разработана методика измерения характеристик нелинейности датчиков положения (индуктосинов).

Научная и практическая значимость работы

1. Произведенная радиоастрономическая юстировка радиотелескопов РСДБ-комплекса «Квазар» в полусфере позволила начать регулярные наблюдения в составе международных РСДБ-сетей и в режиме одиночного радиотелескопа.
2. Реализована программная коррекция нелинейности датчиков положения радиотелескопов комплекса «Квазар», в результате чего была достигнута точность наведения порядка единиц угловых секунд.
3. Разработан программно-аппаратный комплекс для управления радиотелескопом и регистрации радиоастрономических данных, обеспечивающий наблюдения в режиме одиночного радиотелескопа.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Программно-аппаратный комплекс для проведения радиоастрономической юстировки радиотелескопа с асимметричным контррефлектором в полусфере и управления процессом наблюдений в составе РСДБ-сети и в режиме одиночного радиотелескопа.

2. Результаты радиоастрономической юстировки радиотелескопов комплекса «Квазар» в обсерваториях «Светлое» и «Зеленчукская» (модели поправок в четырех частотных диапазонах), обеспечивающие требуемую точность наведения и давшие возможность начать регулярные наблюдения в интерферометрическом и радиометрическом режимах работы радиотелескопов.
3. Методика и результаты измерения нелинейности датчиков положения антенн радиотелескопов комплекса «Квазар», позволившие осуществить программную компенсацию ошибок сопровождения, вызванных нелинейностью этих датчиков и, тем самым, улучшить точность наведения в 3 раза.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, представлялись на XXVI Радиоастрономической конференции (С.-Петербург, 18–22 сентября 1995 г.), XXVII Радиоастрономической конференции (С.-Петербург, 10–14 ноября 1997 г.), конференции «Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века» (С.-Петербург, 19–23 июня 2000 г.), Международной конференция «Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии» (С.-Петербург, 17–22 сентября 2000 г.), Всероссийской Астрономической конференции (С.-Петербург, 6–12 августа 2001 г.), Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение» (С.-Петербург, 11–15 апреля 2005 г.) и обсуждались на научных семинарах ИПА РАН.

Результаты проведенных автором исследований реализованы в ИПА РАН при вводе в действие радиотелескопов обсерваторий «Светлое» и «Зеленчукская» радиоинтерферометрического комплекса «Квазар».

Публикации и вклад автора

Основные результаты диссертации опубликованы в 27 работах [1–27] (10 статьях, 15 тезисах и 2 технических отчетах) общим объемом 355 страниц, 21 работа написана совместно с другими авторами.

В работах по устройствам радиометрической регистрации [13, 15, 18] автору принадлежит участие в формулировке требований к устройству, участие в испытаниях устройства, практическая реализация программ для внешнего управления.

В работах, посвященных наблюдательным программам в режиме одиночного телескопа [4, 7, 9, 19, 20, 23], автору принадлежит реализация алгоритма наблюдений на центральном компьютере радиотелескопа, а в работах [19, 20, 23] — также непосредственное участие в проведении наблюдений и обработке результатов.

В работах [5, 6] автору принадлежит описание разработанных им компонентов аппаратно-программного комплекса управления радиотелескопом.

В работе [27] автору принадлежит участие в формулировке требований к системе контроля и управления антенной, непосредственное участие в отладке и испытаниях системы.

В работах по СВЧ приемному комплексу [1–3, 10–12, 14, 24–26] автору принадлежит непосредственное участие в разработке и исследованиях аппаратуры приемного комплекса.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Общий объем диссертации 170 страниц. Диссертация содержит 10 таблиц, 62 рисунка и список литературы из 60 наименований.

Содержание диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, указаны научная новизна, научная и практическая значимость результатов работы, перечислены результаты, выносимые на защиту, приведены структура и содержание диссертации, указаны печатные работы, в которых отражены основные результаты и определена доля участия автора в совместных публикациях.

В **первой главе** рассматриваются общие требования к точности наведения антенн радиотелескопов, перечисляются возможные причины ошибок наведения. Автор предлагает разделять периодические статические ошибки наведения антенны на две категории. «Долгопериодические», могут быть описаны зависимостью, имеющей несколько (от одного до четырех) периодов во всем диапазоне изменения координат антенны. Такие ошибки учитываются методами радиоастрономической юстировки. Другой тип ошибок — короткопериодические или локальные ошибки — не может быть учтен такими методами и требует специальных исследований и, при необходимости, разработки методик измерения и коррекции.

В этой главе также рассматриваются различные виды наблюдений с точки зрения требований к точности наведения, влияния ошибок наведения и используемых методов коррекции.

Во **второй главе** рассматривается программно-аппаратный комплекс для управления радиотелескопом и радиоастрономической юстировки, объединяющий основные системы радиотелескопа (рис. 1). Ключевым

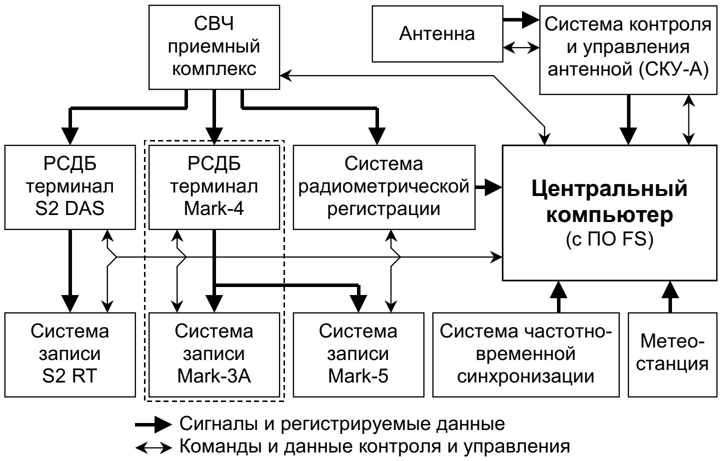

Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

фактором в определении структуры комплекса является требование использования программного обеспечения MarkIV Field System (FS), являющегося стандартом для международных сетей РСДБ. Предлагаемая схема построения комплекса отличается от обычной практики использования FS на других радиотелескопах, имеющих собственную независимую от FS систему управления.

В предлагаемой структуре комплекса (рис. 2) главным элементом является центральный управляющий компьютер с программным обеспечением FS. Все необходимые программные средства для управления антенной и другим оборудованием радиотелескопа работают на этом же компьютере и интегрированы в среду FS.

В главе приводится описания структуры программного обеспечения FS и функций составляющих его компонентов.

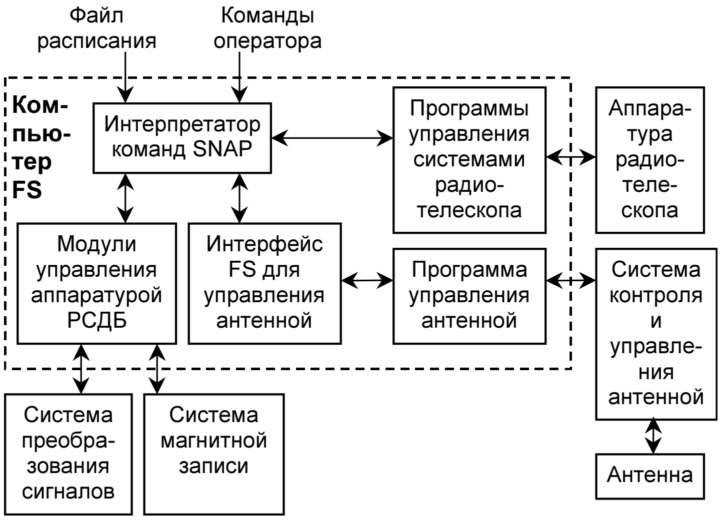

Рис. 2. Схема взаимодействия FS с системами радиотелескопа комплекса «Квазар».

Наиболее объемной частью программного обеспечения комплекса, разработанного автором, является программа управления антенной. Требования к этой программе сформулированы исходя из анализа программного интерфейса управления антенной FS и возможностей системы контроля и управления антенной (СКУ-А), которая непосредственно управляет приводами антенны. СКУ-А на антеннах комплекса «Квазар» была реализована в двух вариантах.

При создании первой версии программы автором была разработана схема организации в среде FS асинхронных программ, т. е. программ, цикл работы которых не связан с циклом интерпретатора командного языка FS, а определяется взаимодействием с объектом управления. Эта схема включает алгоритм запуска и завершения таких программ и механизм межпрограммного взаимодействия, основанный на использовании UDP сокетов UNIX. Была решена сложная задача согласования логики команд управления антенной FS и логики работы СКУ-А, которые существенно отличаются между собой.

После замены СКУ-А на базе СПУ-5 на новую систему управления, основная часть разработанных принципов построения программы управления антенной сохранилась, были также реализованы новые возможности, произошло перераспределение функций аппаратно-программного комплекса.

Программа позволяет вычислять координаты и, следовательно, проводить наблюдения источников трех типов: источники с фиксированными координатами в экваториальной системе координат (галактические и внегалактические радиоисточники), объекты Солнечной системы (Солнце, большие планеты, Луна), другие космические объекты (малые планеты, искусственные спутники Земли — по заранее рассчитанному файлу данных, который предоставляется наблюдателем).

Для расчетов координат объектов Солнечной системы автором был разработан программный интерфейс, интегрирующий в программу управления антенной программное обеспечение NOVAS-C (USNO) и эфемериды JPL DE405.

Разработанная программа управления системой радиометрической регистрации позволяет выполнять две основные функции: регистрацию данных при наблюдениях в режиме одиночного радиотелескопа и обеспечение радиометрической информацией программы для радиоастрономической юстировки и измерения параметров радиотелескопа.

В этой главе также рассматриваются программы для работы с метеостанцией и программы интерфейса оператора.

В **третьей главе** рассматриваются «короткопериодические» или локальные ошибки. Из анализа наблюдений делается предположение, что источником локальных ошибок на радиотелескопах комплекса «Квазар» являются датчики положения антенны — устройство съема угловых координат (УСУК) «Салгир». УСУК обеспечивает измерение углового положения исполнительных осей антенны в виде двоичного двадцатиразрядного кода с минимальной дискретностью $360°/2^{20}$ и однозначностью отсчета в пределах $360°$. Двухотсчетное преобразование обеспечивается датчиками «точного» и «грубого» отсчета (или точной и грубой шкалы). Старшие 8 бит формируются датчиком грубой шкалы, младшие 12 бит — датчиком точной шкалы. Период изменения уровня сигнала, отмеченный в наблюдениях оказался согласованным с периодом изменения координат антенны $360°/256 = 1.40625°$, а это совпадает с периодом повторения точной шкалы УСУК «Салгир».

Предлагается проводить коррекцию ошибок датчиков положения программным методом, т. е. путем измерения характеристики нелинейности датчика и компенсации этой характеристики при наведении антенны. При этом характеристику достаточно измерить только в пределах одной точной шкалы датчика, т. к. она является периодической.

В главе приводится результат измерения этой характеристики у одного экземпляра датчика известным геодезическим методом. Практическое применение метода затрудняется необходимостью использования дополнительного геодезического оборудования, большим временем измерений, сложностью автоматизации. Автором предложена новая методика измерения характеристики нелинейности, не использующая дополнительного измерительного оборудования (используется только штатное оборудование радиотелескопа). Измерения проводятся значительно быстрее в сравнении с геодезическим методом, обработка результатов автоматизирована. Программа обработки сразу формирует таблицу данных для коррекции нелинейности, загружаемую в систему наведения антенны.

В основу методики положена запись положения антенны без замкнутой системы автоматического регулирования. На электропривод антенны подается постоянное напряжение. При этом можно было бы ожидать, что антенна будет двигаться с постоянной скоростью, однако вследствие различных дестабилизирующих факторов это не выполняется. При движении антенны в указанном режиме записывается график движения $x(t)$, т. е. зависимость положения антенны от времени, с помощью штатного программного обеспечения системы управления радиотелескопом. Зарегистрированная таким образом зависимость состоит из двух неизвестных слагаемых: искомой ошибки нелинейности и реального графика движения антенны. Предложенный алгоритм обработки результатов измерений, позволяет разделить эти неизвестные составляющие в выражении и таким образом выделить ошибку нелинейности $\overline{\delta x}$ как функцию поворота датчика в пределах одной точной шкалы (x'). Далее в главе приводится описание алгоритма и реализующей его программы.

С использованием предложенной методики были исследованы все датчики положения на антеннах в обсерваториях «Светлое» и «Зеленчукская» и построены их характеристики нелинейности. В главе приводится подробный, иллюстрированный графиками, пример обработки данных измерений азимутального датчика на антенне в обсерватории «Светлое». На рис. 3 представлен график записи исходных данных. На рис. 4 показана окончательная усредненная оценка характеристики нелинейности после обработки, которая и используется программным обеспечением системы наведения в процессе наблюдений. В главе представлены аналогичные зависимости для всех исследованных датчиков.

В конце главы приводятся экспериментальные данные, подтвержда-

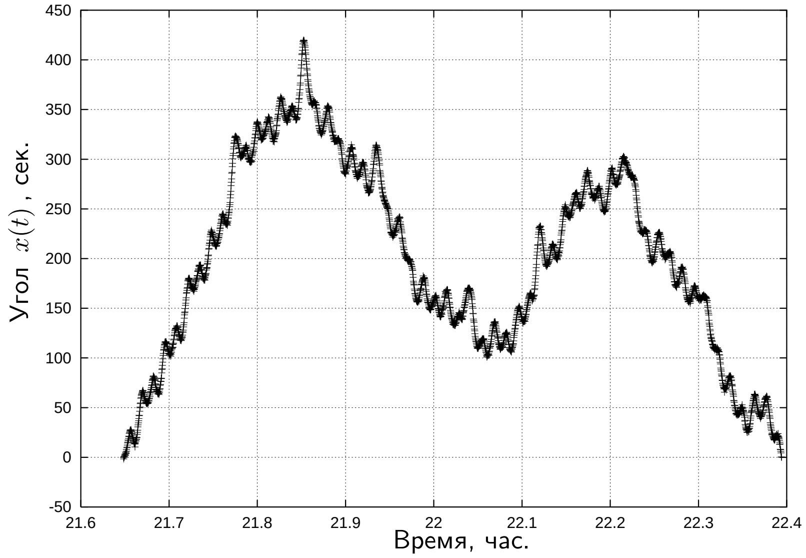

Рис. 3. Исходные данные для обработки (убран линейный тренд)

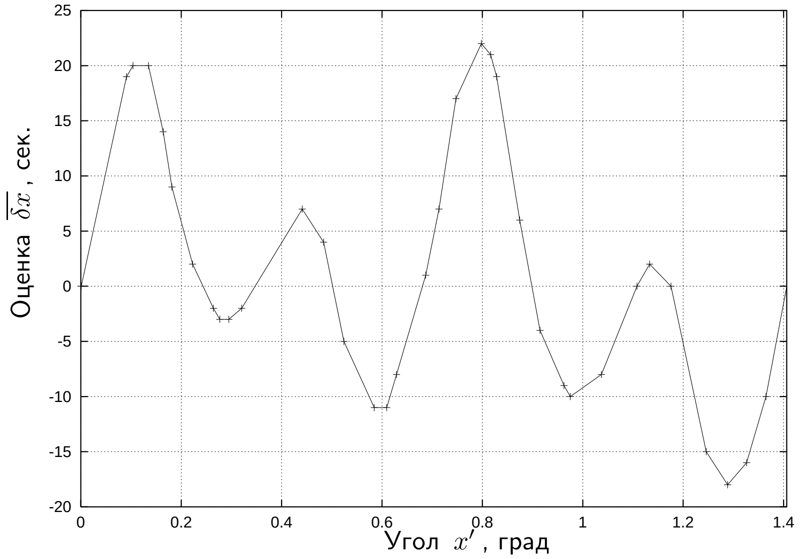

Рис. 4. Характеристика нелинейности азимутального датчика антенны в обсерватории «Светлое», амплитуда нелинейности $40''$

ющие эффективность предложенной методики программной коррекции датчиков положения на антеннах в обсерваториях «Светлое» (рис. 5) и «Зеленчукская».

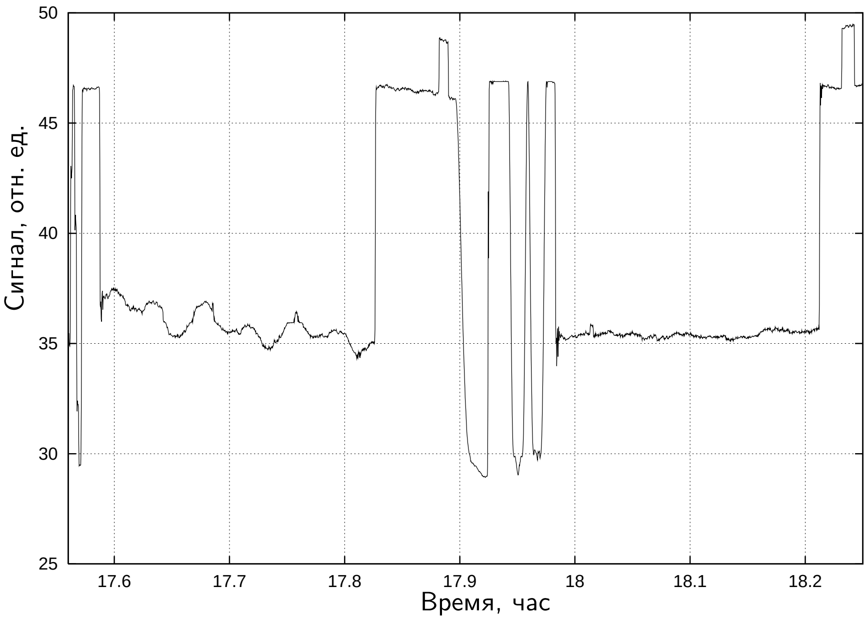

Рис. 5. Запись сопровождения источника CasA без программной коррекции нелинейности датчиков положения и с коррекцией, обсерватория «Светлое», диапазон 3,5 см

В **четвертой главе** рассматриваются вопросы, связанные с практическим проведением сеансов радиоастрономической юстировки.

Список источников для юстировки должен равномерно покрывать весь диапазон склонений, видимый на широте расположения радиотелескопа, и включать источники с достаточной величиной потока. Основная часть этого списка универсальна для большинства антенн, расположенных в северном полушарии. Автором был добавлен в список ряд источников, находящихся на склонениях около $+70^\circ$ для ликвидации разрыва в заполнении полусферы на высоких углах места на антенне в обсерватории «Светлое».

В главе рассматривается определение параметров сеанса радиоастрономической юстировки: начальных условий и параметров сканирования. Обсуждаются возможные варианты выбора начальных условий, а также влияние обоих параметров на результаты. Окончательный выбор параметров производится экспериментальным путем.

Проведение юстировки имеет свои особенности в различных диапазонах частот. Наиболее простыми являются диапазоны 3,5 и 6 см. Чувствительность системы здесь хорошая для регистрации юстировочных источников, ширина диаграммы направленности не требует больших перемещений антенны при сканировании. Поскольку антенны комплекса «Квазар» оснащены совмещенными облучателями для диапазонов 3,5 и 13 см, модель поправок для диапазона 3,5 см автоматически обеспечивает точное наведение и в диапазоне 13 см. В диапазоне 18 см основной сложностью является необходимость больших смещений оси радиотелескопа от положения источника при сканировании из-за широкой диаграммы направленности ($\sim 20'$), что приводит к существенному увеличению времени наблюдения одного источника и, следовательно, к ухудшению заполнения полусферы в ходе сеанса радиоастрономической юстировки. В результате точность полученной модели оказывается хуже. Однако в данном диапазоне и требования к точности наведения являются самыми низкими.

Самым сложным для юстировки является диапазон 1,35 см. Это объясняется уменьшением ширины диаграммы направленности, уменьшением количества источников, пригодных для радиоастрономической юстировки, снижением чувствительности системы. Для данного диапазона важен правильный выбор начальных условий. В обсерватории «Светлое» удалось применить в качестве начальных условий сеанса юстировки модель поправок, полученную в диапазоне 6 см. В обсерватории «Зеленчукская» потребовалось провести дополнительный сеанс для определения предварительной неточной модели поправок, и лишь затем — основной сеанс с использованием этой модели в качестве начальных условий.

В главе приводится иллюстрированный графиками пример обработки сеанса радиоастрономической юстировки антенны в обсерватории «Светлое» в диапазоне 3,5 см. Далее приводятся и обсуждаются графики моделей поправок, полученных в результате сеансов юстировки двух антенн во всех частотных диапазонах, кроме модели в диапазоне 18 см в обсерватории «Зеленчукская». На рис. 6 и 7 показаны графики модели поправок антенны в обсерватории «Зеленчукская» в диапазоне 6 см.

Эффективность полученных моделей поправок подтверждается успешным проведением регулярных сеансов по программам IVS (Interna-

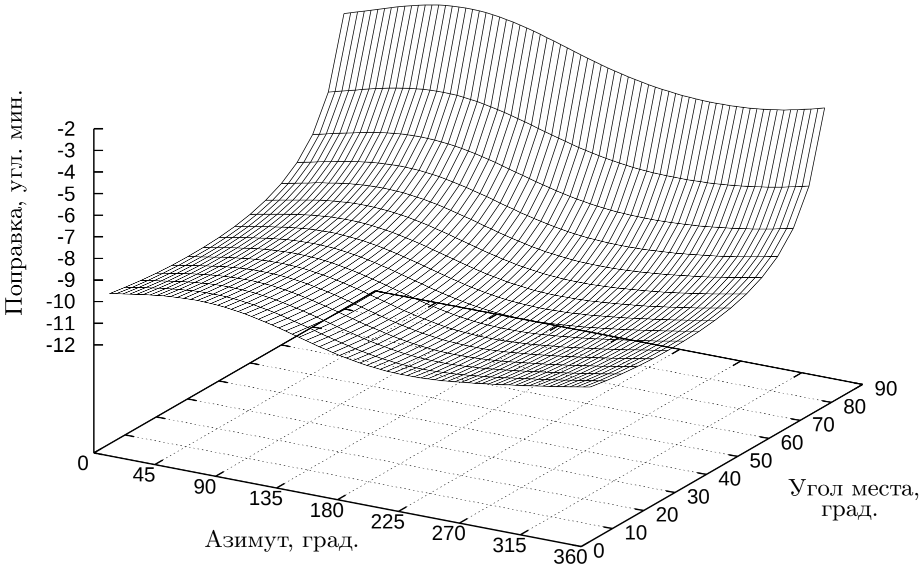

Рис. 6. Модель поправок по азимуту в диапазоне 6 см, «Зеленчукская»

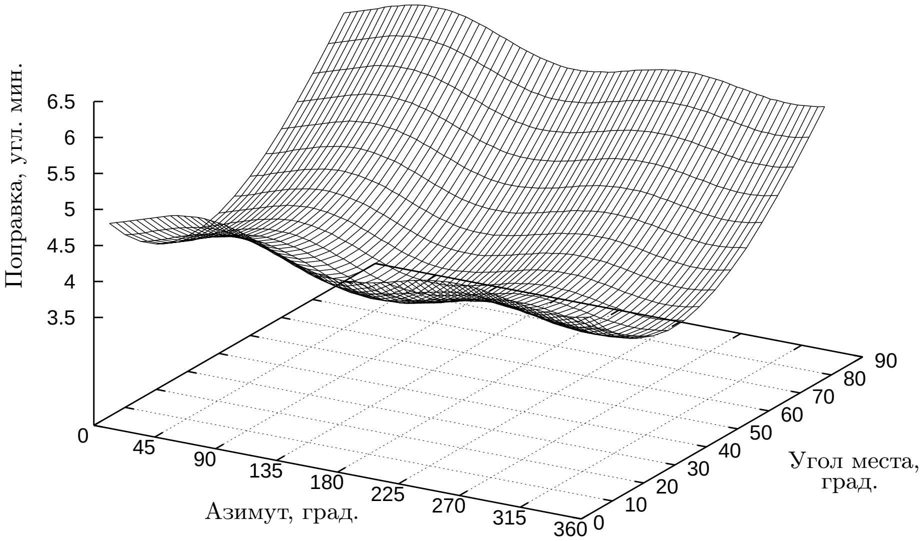

Рис. 7. Модель поправок по углу места в диапазоне 6 см, «Зеленчукская»

tional VLBI Service for Geodesy and Astrometry) R4, T2, Euro, E3, а также наблюдениями переменных радиоисточников в обсерватории «Светлое», тесных двойных систем и радиоизлучения космического гамма-всплеска GRB 030329 в обсерваториях «Светлое» и «Зеленчукская».

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В **приложении** приведен исходный текст программы обработки результатов измерений характеристик нелинейности датчиков положения антенны.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г. Основы конструирования малошумящих криорадиометров высокой чувствительности. Труды ИПА РАН, вып. 2, 1997, с. 232–241.
2. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г. Приемники радиоинтерферометрической сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН, вып. 2, 1997, с. 242–256.
3. Михайлов А. Г. Автоматизация управления приемным СВЧ-комплексом радиоинтерферометрической сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН, вып. 2, 1997, с. 257–264.
4. Пятунина Т. Б, Рахимов И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Зборовский А. А. Наблюдения переменных радиоисточников на радиоастрономической обсерватории Светлое. Труды ИПА РАН. Вып. 5. Радиоастрономия и эфемеридная астрономия. 2000. с. 15–30.
5. A. Ipatov, I. Ipatova, N. Koltsov, A. Mikhailov, S. Sirovoy. Institute of Applied Astronomy Technology Development Center. International VLBI Service for Geodesy and Astronomy 2002 Annual Report. IVS Coordinating Center, NASA, 2003, p. 307–310.
6. A. Ipatov, N. Koltsov, A. Mikhailov, S. Smolentsev. Institute of Applied Astronomy Technology Development Center. International VLBI Service for Geodesy and Astronomy 2003 Annual Report. IVS Coordinating Center, NASA, 2004, p. 245–248.
7. Ипатов А. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Харинов М. А. Программное обеспечение для подготовки радиометрических наблюдений — Sched Maker v1. Сообщения ИПА РАН, 2005, №172. 20 с.
8. Михайлов А. Г. Программное обеспечение центрального управляющего компьютера наблюдательного пункта РСДБ-сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН, вып. 12, 2005, с. 68–92.

9. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Харинов М. А. Программное пакет подготовки, проведения и обработки радиометрических наблюдений на радиотелескопах сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН, вып. 12, 2005, с. 93–112.

10. Ипатова И. А., Иванов Д. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Харинов М. А. Радиометр на волну 7 мм для наблюдений Солнца на радиотелескопах сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН, вып. 12, 2005, с. 152–159.

11. Госачинский А. И., Ипатов А. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Хайров Р. Р., Лебедь В. И. Двухчастотный криорадиометр на длины волн 13 и 3,5 см. Сборник тезисов докладов. XXI Всесоюзная конференция. Ереван. 1989, с. 139–140.

12. Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Иванов Д. В. Криоэлектронные приемники для высокоточных геодезических измерений. Тезисы доклада Астрометрической конференции ГАО. С.-Петербург. ГАО. 1993. 1 с.

13. Горновесов С. Ю., Кольцов Н. Е., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г. Цифровой измеритель мощности широкополосных сигналов для радиометра. Тезисы докладов XXVI Радиоастрономической конференции, С.-Петербург, 18–22 сентября 1995, с. 387–388.

14. Ipatov A., Ipatova I., Ivanov D., Mardyshkin V., Mikhailov A. The construction method of VLBI receivers. In: Proc. Symposium on VLBI technology, December 10–13, 1996. Kashima, Japan. 1996, p. 104–108.

15. Горновесов С. Ю., Ипатов А. В., Климов С. Д., Кольцов Н. Е., Михайлов А. Г. Царев В. И. Широкополосная регистрация сигналов на радиотелескопе ТНА-400-1 (пос. Светлое). Тезисы докладов XXVII Радиоастрономической конференции, Т. 3. С.-Петербург, 10–14 ноября 1997, с. 174–175.

16. Михайлов А. Г. Использование программного обеспечения MarkIV Field System для системы контроля и управления наблюдательным пунктом комплекса «Квазар». Тезисы докладов XXVII Радиоастрономической конференции, Т. 2. С.-Петербург, 10–14 ноября 1997. с. 229–230.

17. Михайлов А. Г. Программное обеспечение центрального управляющего компьютера наблюдательного пункта РСДБ-сети КВАЗАР. Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. Тезисы докладов. С.-Петербург, 2000, с. 358–359.

18. Ипатов А. В., Кольцов Н. Е., Крохалев А. В., Михайлов А. Г., Рахимов И. А., Христиановский В. С. Четырехканальный радиометрический модуль радиотелескопа РТФ-32. Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века. Тезисы докладов. С.-Петербург, 2000, 392–393.

19. Ипатова И. А., Иванов Д. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Сыровой С. С., Рахимов И. А., Ахмедов Ш. Б., Зборовский А. А. Аппаратура и

методика наблюдений Солнца в миллиметровом диапазоне волн на радиотелескопе РТФ-32. Международная конференция «Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии». Тезисы докладов. С.-Петербург, ГАО РАН, 17–22 сентября 2000, с. 213–215.

20. Иванов Д. В., Ипатов А. В., Михайлов А. Г., Зборовский А. А. Методика наблюдения слабых источников на радиотелескопе РТФ-32. Тезисы докладов Всероссийской Астрономической конференции, С.-Петербург, 6–12 августа 2001, с. 74-75.

21. Михайлов А. Г. Автоматическая радиоюстировка радиотелескопа наблюдательного пункта «Светлое» РСДБ сети КВАЗАР. Тезисы докладов Всероссийской Астрономической конференции, С.-Петербург, 6–12 августа 2001, с. 77.

22. Михайлов А. Г. Программное обеспечение центрального управляющего компьютера наблюдательного пункта РСДБ сети КВАЗАР. Тезисы докладов Всероссийской Астрономической конференции, С.-Петербург, 6–12 августа 2001, с 76.

23. Ипатова И. А., Иванов Д. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Сыровой С. С., Приемная аппаратура радиотелескопа РТФ-32 для наблюдений Солнца в миллиметровом диапазоне. Тезисы докладов Всероссийской Астрономической конференции, С.-Петербург, 6–12 августа 2001, с. 78.

24. Иванов Д. В., Вытнов А. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г. Использование сигнала фазовой калибровки для проверки приемной системы РСДБ радиотелескопа. Тезисы докладов Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение» (КВО-2005). С.-Петербург, 11–15 апреля 2005, с. 211–212.

25. Ипатов Д. В., Лавров А. В., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Яцковский К. Ю. Автоматизация управления СВЧ аппаратурой приемной системы радиотелескопа РСДБ сети «Квазар-КВО». Тезисы докладов Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение» (КВО-2005). С.-Петербург, 11–15 апреля 2005, с. 215–216.

26. Ипатов А. В., Ипатова И. А., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Лебедь В. И., Пилипенко А. М. Наблюдательный пункт. Высокочувствительный приемный СВЧ-комплекс. Эскизный проект. Пояснительная записка ИЕЛГЭ.01.003.01.02.02.ПЗ. Ленинград. ИПА АН СССР, 1988. 161 с.

27. Петров С. Д., Рубин И. Г., Филиппов А. А., Бронвальд А. Ю., Сыровой С. С., Михайлов А. Г. Система контроля и управления ТНА-400-1 радиоинтерферометрического комплекса «Квазар». Технический отчет по опытно-конструкторской работе. ИПА РАН. С.-Петербург, 2003. 42 с.

Подписано к печати 16.08.2005.		Формат $60 \times 90/16$.		Офсетная печать.
Печ. л. 1.0.	Уч.-изд. л. 1.0.	Тираж 130	Заказ	бесплатно

Отпечатано в ООО "Типография N 3"
(Санкт-Петербург, Литейный пр., 55).

ИПА РАН, 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10