

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ РАН

На правах рукописи

ЛАВРОВ Алексей Станиславович

Комплекс аппаратно-программных средств для
автоматизации приемной аппаратуры при проведении
радиоастрономических наблюдений на
радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО»

Специальность 01.03.02 – «Астрофизика и звездная
астрономия»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте прикладной астрономии РАН

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

А. В. Ипатов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

М. Н. Кайдановский

кандидат физико-математических наук

Б. З. Каневский

Ведущая организация:

Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга МГУ

Защита состоится «28» июня 2010 г. в _____ на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 при Учреждении Российской академии наук Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 Санкт-Петербург, наб. Кутузова, д. 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПА РАН.

Автореферат разослан «_____» мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

Ю. Д. Медведев

Общая характеристика работы

Радиоастрономическая аппаратура и основное средство автоматизации – ЭВМ, непрерывно развиваются, предоставляя радиоастрономам новые возможности для повышения информативности радиоастрономических инструментов.

Процесс проведения радиоастрономических исследований можно условно разделить на следующие этапы: постановка задачи и выбор объектов, планирование наблюдения, проведение наблюдения, доставка полученных данных в центр обработки и их обработка, хранение результатов наблюдения и анализ. Проведение наблюдения состоит из собственно наблюдения и калибровки аппаратуры, проводимой до и после наблюдения.

Этап проведения наблюдений является особым. Причинами этого являются как территориальная обособленность места проведения этого этапа, (наблюдения проводятся в отдаленных обсерваториях, а все остальные этапы – в научных центрах), так и значительная роль аппаратуры. В ходе планирования, обработки и хранения приходится иметь дело только с информацией и ее преобразованием. При этом аппаратура не влияет на качество производимых операций, а определяет лишь скорость обработки. В процессе наблюдения, напротив, аппаратура определяет качество получаемых данных. В течение сеанса наблюдений происходит активное взаимодействие системы управления с аппаратурой, в частности, с радиометром, который является источником данных.

Удостовериться в качестве полученных наблюдательных данных можно только после обработки, которая, вместе с доставкой данных в центр обработки, занимает значительное время. Поэтому, для эффективного использования рабочего времени радиотелескопа крайне важна процедура калибровки аппаратуры до и после наблюдения. Цель этих процедур – убедиться в том, что аппаратура способна обеспечить требуемый уровень качества наблюдательных данных. Также важно знать параметры аппаратуры после наблюдения. Совпадение параметров до и

после наблюдения – это подтверждение стабильности аппаратуры, которая является залогом качества наблюдательных данных.

Основными наблюдательными инструментами Учреждения Российской академии наук Института прикладной астрономии РАН (ИПА РАН) являются три полноповоротных радиотелескопа РТ-32, расположенные в обсерваториях «Светлое» (Ленинградская область), «Зеленчукская» (Карачаево-Черкесская республика) и «Бадары» (Республика Бурятия). Эти обсерватории, совместно с центром корреляционной обработки (ИПА РАН, Санкт-Петербург), образуют РСДБ комплекс «Квazar-КВО».

Радиотелескопы РТ-32 оснащены комплексом криорадиометров для наблюдения космического радиоизлучения в диапазонах длин волн 1.35, 3.5, 6.2, 13 и 18-21 см (каждый радиометр имеет два независимых канала для наблюдения в правой и левой круговой поляризации), системой наведения, системами регистрации, центральным управляющим компьютером и другим оборудованием, что позволяет проводить наблюдения как в режиме РСДБ, так и радиометрические наблюдения в режиме одиночного телескопа.

В ИПА РАН автоматизированы все этапы радиоастрономических исследований за исключением проведения радиометрических наблюдений, и калибровки аппаратуры приемного комплекса в начале и в конце наблюдений.

На радиотелескопах комплекса «Квazar-КВО» для управления процессом наблюдений используется центральный компьютер управления радиотелескопа (ЦКУР) со специальным программным обеспечением, которое полностью согласовано с программным обеспечением MarkIV Field System. Оно принято в качестве международного стандарта, обеспечивающего автоматизацию РСДБ наблюдений и работу с современными системами регистрации (Mark3 – Mark5, VLBA, P1000).

Актуальность темы диссертации

В настоящее время на радиотелескопах РТ-32 ИПА РАН проводится значительный объем РСДБ и радиометрических наблю-

дений. По данным за 2008 год на трех радиотелескопах ИПА РАН 463 суток антенного времени было использовано на РСДБ наблюдения и 149 суток – на радиометрические наблюдения. Столь значительный объем радиометрических наблюдений и калибровок аппаратуры, сопровождающих РСДБ наблюдения, крайне трудно выполнить без автоматизированных средств проведения наблюдений и измерений.

Помимо наблюдений, в обсерваториях ИПА РАН периодически проводятся работы по радиоастрономической юстировке радиотелескопа, изучению помеховой обстановки в обсерваториях, мониторингу параметров приемной аппаратуры радиотелескопа в различных условиях и т.п. Эти работы весьма сходны с наблюдениями, поскольку также предусматривают измерения с помощью радиометров и обработку полученных данных. Автоматизация процесса проведения таких работ позволила бы повысить качество получаемых данных и увеличить регулярность их проведения.

Настоящая работа посвящена разработке комплекса аппаратно-программных средств для автоматизации приемной аппаратуры при проведении радиоастрономических наблюдений на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО» и его применению, в частности, для калибровки аппаратуры при радиоастрономических наблюдениях.

Цели работы

Целью настоящей диссертационной работы является повышение информативности радиотелескопов РТ-32. Для достижения этой цели необходимо:

- Обеспечить проведение радиометрических наблюдений в автоматическом режиме.
- Автоматизировать процессы калибровки аппаратуры приемно-регистрирующего комплекса перед радиоастрономическими наблюдениями и после них.
- Автоматизировать измерения параметров приемной аппаратуры радиотелескопа.

Научная новизна работы

- Разработана новая структура комплекса аппаратно программных средств для автоматизации приемной аппаратуры. В структуру заложены средства автоматизации измерений параметров приемной аппаратуры, средства для организации мониторинга измеряемых параметров и средства удаленного доступа к функциям комплекса с использованием каналов связи.
- Разработаны оригинальные алгоритмы измерения параметров приемной системы, не требующие участия оператора в процессе измерения.
- Разработан алгоритм автоматической компенсации выходного сигнала приемников радиотелескопа РТ-32, оснащенный функциями диагностики неисправностей радиометра, который позволил полностью автоматизировать процесс радиометрических наблюдений.
- Результаты мониторинга вспышечной активности микроквазара Суг X-3, подтверждающие качество работы комплекса аппаратно-программных средств.

Научная и практическая значимость работы

- Реализовано автоматическое проведение радиометрических наблюдений.
- Введена в эксплуатацию новая система управления, обеспечивающая проведение РСДБ и радиометрических наблюдений.
- Разработаны и введены в эксплуатацию аппаратно-программные средства автоматизации измерений параметров приемной аппаратуры с возможностями мониторинга измеряемых параметров и удаленного доступа.
- Реализовано автоматическое измерение параметров приемно-регистрирующего комплекса радиотелескопа РТ-32, что позволяет проводить автоматизированную диагностику и мониторинг его параметров.
- Предусмотрена возможность удаленного доступа к функциям

аппаратно-программных средств с использованием каналов связи и стандартных средств удаленного доступа.

Результаты, выносимые на защиту

1. Комплекс аппаратно-программных средств для автоматизации приемной аппаратуры при проведении радиоастрономических наблюдений на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО», обеспечивающий: полную автоматизацию радиометрических наблюдений, калибровку приемной аппаратуры радиотелескопа РТ-32, диагностику неисправностей и мониторинг параметров.
2. Универсальный мультиадресный протокол обмена информацией, ориентированный на применение в радиоастрономической аппаратуре.
3. Результаты мониторинга радиисточника Суг Х-3, подтверждающие качество работы комплекса аппаратно-программных средств автоматизации приемной аппаратуры.

Апробация работы

Результаты, полученные в настоящей диссертационной работе, представлялись на конференциях: КВО-2005 (С.-Петербург, 11 – 15 апреля 2005), YERAC-2005 (Италия, Кальяри, 12 – 16 октября 2005), «РСДБ-2012 для астрометрии, геодинамики и астрофизики» (С.-Петербург, 11 – 15 сентября 2006), 18th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry (Австрия, Вена, 12 – 13 апреля 2007), «Повышение эффективности и модернизация радиотелескопов России» (Карачаево-Черкесская Республика, пос. Нижний Архыз, 22 – 27 сентября 2008), 2^й Пулковской молодежной астрономической конференции (С.-Петербург, 2 – 4 июня 2009).

Созданный автором комплекс обеспечивает наблюдения в обсерваториях «Светлое», «Зеленчукская» и «Бадары».

Публикации и вклад автора

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 работах [1 –12] (9 статьях и 3 тезисах).

В работе [1] автору принадлежит разработка и отладка узла управления.

В работах [2, 4] автору принадлежит формулирование требований к протоколу, его разработка и реализация.

В работах [10, 3, 11] автору принадлежит формулирование требований к разрабатываемой системе управления, описание разработанной структуры и использованных решений.

В работах [5, 7] автору принадлежит описание комплекса аппаратно-программных средств.

В работах [6, 8] автору принадлежит идеология взаимодействия программных средств комплекса с программным обеспечением центрального компьютера управления радиотелескопом.

В работе [9] автору принадлежит разработка алгоритма проведения автоматизированных наблюдений с помощью разработанного комплекса аппаратно-программных средств.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, и заключения. Общий объем диссертации 130 страниц. Диссертация содержит 10 таблиц, 64 рисунка и список литературы из 49 наименований.

Содержание диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, 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 средства: автоматизации процесса управления приемно-регистрирующими комплексами, автоматизации проведения радиометрических наблюдений и проведения автоматизированных измерений параметров, применяемые на радиотелескопах Российской Федерации и за рубежом. Сделан обзор средств автоматизированной диагностики и

удаленного доступа, применяемых на РСДБ комплексах, аналогичных комплексу «Квазар-КВО». Описано устройство приемно-регистрирующего комплекса радиотелескопов РТ-32 РСДБ комплекса «Квазар-КВО».

Во **второй главе** сформулированы требования к комплексу аппаратно-программных средств и разработана его структура.

На основании анализа состава и типов управляемых устройств выбран способ их объединения в единую структуру управления: использование общей шины с последовательным обменом данными.

Разработанная структура комплекса аппаратно-программных средств автоматизации приемной аппаратуры включает (рис. 1): аппаратные модули сопряжения с шиной данных, программные модули нижнего уровня и аппаратуру общей шины обмена данными, объединяющую перечисленные элементы в единую структуру управления и контроля. Программные модули верхнего уровня, оперируя средствами нижнего уровня, реализуют сложные алгоритмы контроля и управления аппаратурой приемно-регистрирующего комплекса.

Разработана архитектура общей шины обмена данными, которая позволяет создавать необходимое число сегментов.

Исходя из характеристик управляемых устройств сформулированы требования к микроконтроллеру. Выбрана единая для всех управляемых устройств модель микроконтроллера, удовлетворяющая всем предъявленным требованиям. Такое решение позволило унифицировать разработку принципиальных электрических схем, печатных плат и программного обеспечения микроконтроллеров.

Аппаратура комплекса аппаратно-программных средств автоматизации изготовлена и установлена во всех обсерваториях РСДБ комплекса «Квазар-КВО», и используется при проведении всех типов наблюдений с 2008 года.

В третьей главе рассматривается программный сегмент комплекса аппаратно-программных средств.

Иерархия программных средств представлена на рис. 2. Про-

токол обмена информацией по общей шине необходим для регламентирования порядка обмена данными между устройствами, подключенными к общей шине с целью исключения конфликтных ситуаций.

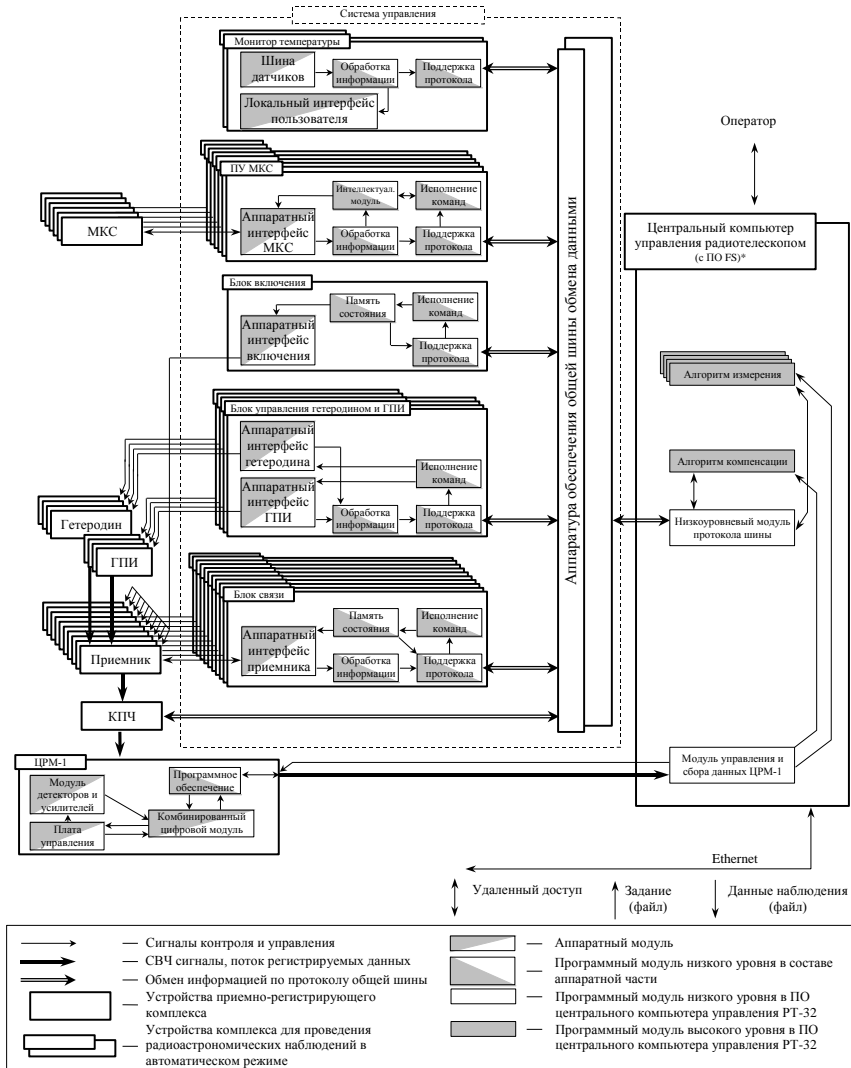


Рисунок 1 Структурная схема комплекса аппаратно-программных средств автоматизации приемной аппаратуры

Передача данных осуществляется по иерархии ведущий-ведомый, двухбайтными пакетами. Ответные сообщения – текстовые строки. Ведущее устройство одно, максимальное количество ведомых устройств – 127. Для каждого из них может быть определено до 127 команд, 11 из которых являются общими для всех устройств. Для общих команд возможна подача одной команды всем устройствам одновременно.

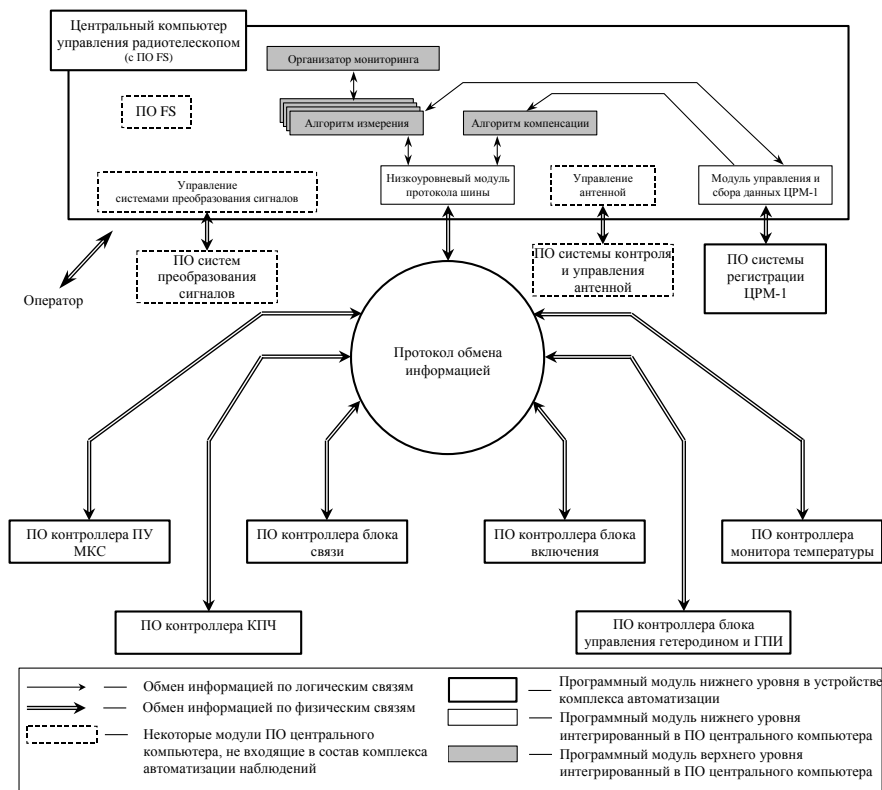


Рисунок 2 Иерархия программных средств комплекса для автоматизации приемной аппаратуры

Описаны алгоритмы, реализующие протокол обмена данными в программной среде выбранного микроконтроллера. Благодаря оригинальному решению автору удалось задействовать для

описания состояния ведомого устройства (с точки зрения логики протокола обмена) всего один регистр общего назначения, что значительно упрощает разработку программного обеспечения микроконтроллера.

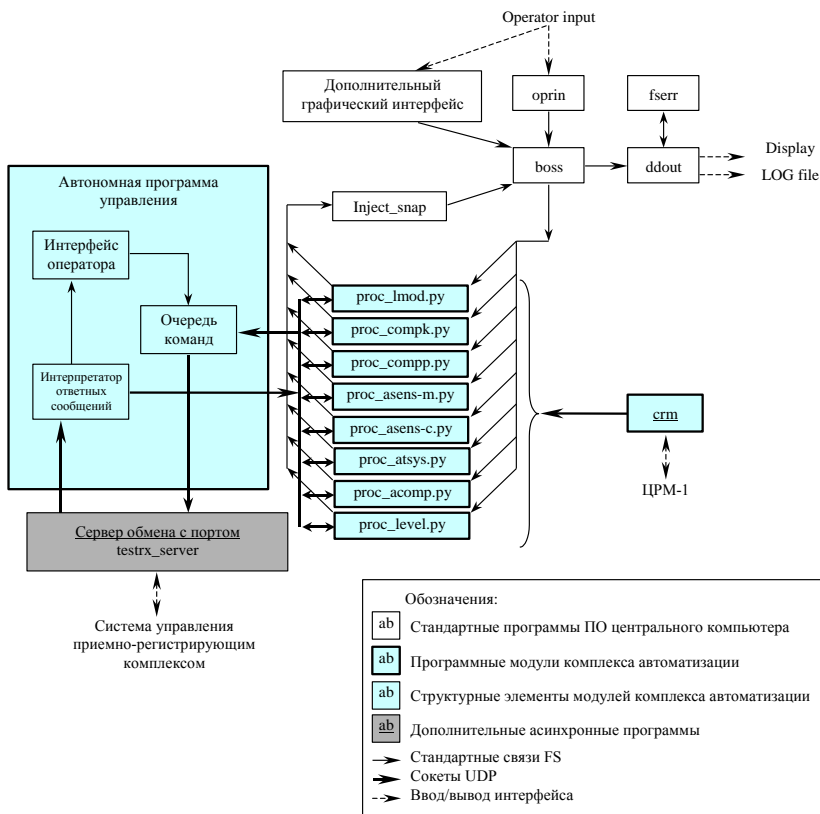


Рисунок 3 Программные средства комплекса аппаратно-программных средств, интегрированные в программное обеспечение центрального управляющего компьютера радиотелескопа

Программный сегмент комплекса аппаратно-программных средств для автоматизации приемной аппаратуры интегрирован в программное обеспечение центрального компьютера управления радиотелескопом в виде отдельных модулей (рис. 3), каждый из которых осуществляет одну из следующих функций:

- компенсация выходного сигнала в радиометрическом режиме,
- измерение шумовой температуры системы,
- измерение чувствительности в радиометрическом (квазиуловом) режиме,
- измерение чувствительности в режиме без модуляции коэффициента усиления,
- измерение глубины закрытия модулятора,
- измерение эквивалентной шумовой температуры ГШ компенсации в градусах Кельвина,
- измерение процента компенсации,
- измерение уровня сигнала, СКО и фактора нестабильности на заданном количестве отсчетов.

Модули написаны на интерпретируемом языке Python для операционной системы Linux.

В **четвертой главе** рассматриваются вопросы применения комплекса аппаратно-программных средств автоматизации приемной аппаратуры для решения задач астрофизики и радиометрии, калибровки аппаратуры приемно-регистрирующего комплекса и ее диагностики.

Средства созданного комплекса объединяют в единую информационную структуру приемно-регистрирующий комплекс радиотелескопа РТ-32 и ресурсы центрального компьютера управления. Благодаря этому в автоматическом режиме возможна реализация сложных процессов управления радиотелескопом, таких как: проведение радиометрических наблюдений, измерение параметров системы радиотелескоп-радиометр и диагностика аппаратуры приемного комплекса.

Основным применением созданного комплекса является проведение радиометрических наблюдений без участия оператора, что реализовано с помощью автоматизированных процедур компенсации выходного сигнала, измерения шумовой температуры системы и чувствительности.

Описан алгоритм автоматической компенсации (рис. 4), в ко-

торый внесены фрагменты, позволяющие автоматически идентифицировать некоторые неисправности радиометра. По результатам исследования исходные параметры алгоритма автоматической компенсации оптимизированы для минимизации времени завершения алгоритма.

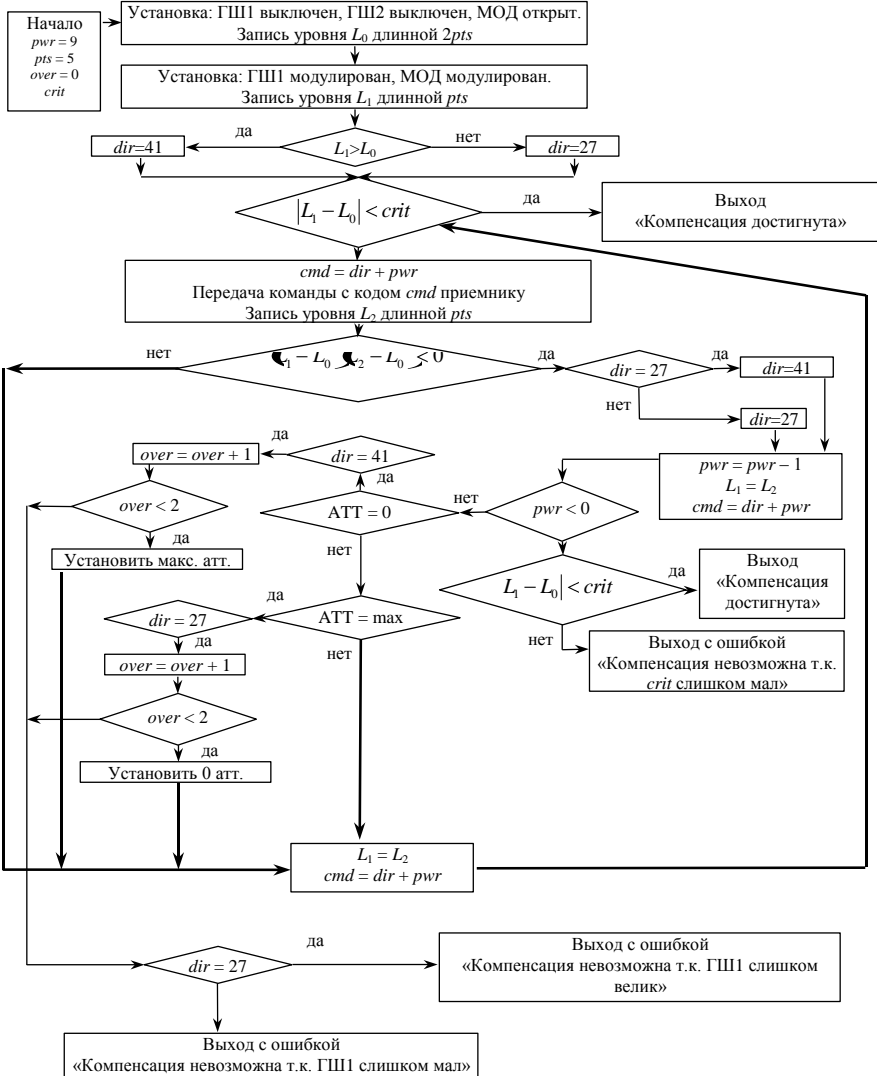


Рисунок 4 Алгоритм автоматической компенсации

Рассмотрены алгоритмы автоматического измерения шумовой температуры и чувствительности (как в квазиуловом режиме, так и в режиме без модуляции коэффициента усиления).

Получены выражения для расчета теоретической чувствительности радиометра с системой регистрации ЦРМ-1, в которой используется цифровое синхронное детектирование.

Диагностическое применение созданного комплекса включает в себя: измерения параметров узлов приемной системы, мониторинг измеряемых параметров и автоматизированное получение «разрезов» атмосферы.

Для количественного представления влияния линейных трендов на значения чувствительности, в настоящей работе вводится фактор нестабильности F – величина, пропорциональная отношению среднеквадратического отклонения исходных данных к среднеквадратическому отклонению набора данных, подвергнутого численному дифференцированию $F = \sqrt{2} \frac{\sigma}{\sigma'}$.

Фактически, фактор нестабильности характеризует качество работы приемной аппаратуры как отношение реальной чувствительности к чувствительности, математически освобожденной от влияния линейных трендов. Отличительной особенностью фактора нестабильности является то, что он измеряется в «фоновом» режиме, каждый раз, когда измеряется уровень сигнала (в том числе в процессе автоматической компенсации, т.е. в ходе наблюдения).

В качестве дополнительного применения комплекса аппаратно-программных средств рассмотрено автоматизированное снятие «разрезов» атмосферы. Эта процедура может быть использована для регулярных исследований помеховой обстановки. Приведены измеренные «разрезы» атмосферы для обсерваторий «Зеленчукская» и «Бадары».

Для иллюстрации возможностей комплекса аппаратно-программных средств приведены результаты радиометрического

наблюдения источника 3C147, который используется в качестве опорного при наблюдениях по программам Ru-GRB и Ru-Integral. Наблюдение проводилось в обсерватории «Зеленчукская» на приемнике 3,5-II 29.04.2009.

Приведены результаты наблюдений источника Cyg X-3, полученные в период с 2008 по 2009 год на радиотелескопах РТ-32 ИПА РАН с применением комплекса аппаратно-программных средств для автоматизации приемной аппаратуры. В ходе этих наблюдений обнаружен ряд вспышек. Полученные данные подтверждаются наблюдениями САО РАН (РАТАН-600) и Yamaguchi, JAXA, Япония.

В **заключениях** сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационной работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в статьях:

1. Ильин Г. Н. Михайлов А. Г. Лавров А. С. Отчет «Четырехканальный цифровой радиометрический модуль ЦРМ-1» Санкт-Петербург. ИПА РАН, 2007 г. 14 страниц.
2. Гренков С. А., Лавров А. С., Михайлов А. Г., Федотов Л. В. Система управления модернизированной аппаратурой преобразования сигналов РСДБ-терминала. Труды ИПА РАН, Вып. 12, СПб., 2005, стр. 198-210.
3. Ипатов А. В., Лавров А. С., Мардышкин В. В., Михайлов А. Г., Яцковский К. Ю. Автоматизация управления СВЧ аппаратурой приемной системы радиотелескопа РСДБ сети КВАЗАР. Труды ИПА РАН. Вып. 13. – СПб.: Наука, 2005, стр. 454-458.
4. Лавров А. С., Михайлов А. Г. Универсальный мультиадресный протокол обмена данными и его реализация на микроконтроллерах ATmega8535 производства ATMEL. Труды ИПА РАН. Вып. 15. – СПб.: Наука, 2006, стр. 60-76.
5. Fedotov L., Ivanov D., Ipatov A., Ipatova I., Lavrov A., Kosobokov M., Mikhailov A. Institute of Applied Asotromy Technology Development Center, International VLBI Service for Geodesy

and Astrometry. 2006 Annual Report, April 2007, edited by D. Behrend and K. D. Baver, IVS Coordinating Center, NASA Center for AeroSpace Information, 7115 Standard Drive, Hanover, MD 21076-1320. p 255-258.

6. Mikhailov A., Lavrov A., IAA RAS Radio Telescope Monitoring System, Proceedings of the 18th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, 12-13 April 2007, edited by J. Boehm, A. Pany, & H. Schuh, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft Nr. 79, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation, Technische Universitaet Wien, ISSN 1811-8380. p 10-15.
7. Лавров А. С., Мардышкин В. В. Система управления приемным комплексом радиотелескопа радиоинтерферометрической сети «Квazar-КВО» // ПТЭ, №5, 2008, стр. 150 – 151.
8. Михайлов А. Г., Лавров А. С. Распределенная система управления приемно-регистрающей аппаратурой комплекса "Квazar-КВО". Труды ИПА РАН. Вып. 16. – СПб.: Наука, 2007, стр. 107-116.
9. Лавров А.С., Харинов М.А. Мониторинг Суг X-3 на радиотелескопах ИПА РАН // Известия ГАО, №219, вып. 3. – СПб.: 2009, стр. 26 – 36.

Основные результаты диссертации опубликованы в тезисах:

10. Ипатов А. В., Лавров А. С., 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». СПб., 2005, стр. 215-217.
11. Михайлов А. Г., Лавров А. С.. Распределенная система управления приемно-регистрающей аппаратурой комплекса «Квazar-КВО». Всероссийская конференция «РСДБ-2012 для астрометрии, геодинамики и астрофизики». Тезисы докладов. Спб.: ИПА РАН, 2006, стр. 97-98.
12. Лавров А. С. Программно-аппаратный комплекс автоматизи-

рованного измерения параметров приемной системы радиотелескопа РСДБ-сети «Квазар-КВО». VII конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». Тезисы докладов. – М.: Ротапринт ИКИ РАН, 2010, стр. 33 – 34.

Подписано в печать 24.05.2010	Формат 60 x 84 ¹ / ₁₆	Офсетная печать	Печ. л. 1.0
Уч.-издл. 1.0	Тираж 120	Заказ 242	бесплатно

Отпечатано в типографии ЗАО «Полиграфическое предприятие» № 3
(191104, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55.)

Институт прикладной астрономии РАН, 191187, С.-Петербург, наб. Кутузова, 10