

Научно-исследовательский радиофизический институт
Министерства образования Российской Федерации

Препринт № 486

**АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
ПЛОТНОСТЕЙ ПОТОКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ
КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ
С КАЛИБРОВКОЙ ПО ДВУХТЕМПЕРАТУРНОМУ
ЧЕРНОТЕЛЬНОМУ ЭТАЛОНУ.**

Часть 3.

Программное обеспечение

Н. А. Дугин
И. П. Кузнецова
А. Г. Серкин
С. О. Черникова
В. А. Бояринов

Нижний Новгород, 2004

Дугин Н. А., Кузнецова И. П., Серкин А. Г., Черникова С. О., Бояринов В. А. Абсолютные измерения плотностей потоков радиоплучения космических источников с калибровкой по двухтемпературному чернотельному эталону. Часть 3. Программное обеспечение // Препринт № 486. — Нижний Новгород: НИРФИ, 2004. 20 с.

УДК 523.164

В 2002 году в РАО НИРФИ “Старая Пустынь” восстановлен и модернизирован стенд для проведения абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения внеземных источников с калибровкой по излучению “черных” дисков с различной температурой. Одной из основных целей проводимых работ является достижение предельно малых погрешностей измерений и максимальной реализации возможностей разработанного в НИРФИ метода “черных” дисков. В 2003 году проведены первые серии измерений в частотных диапазонах 3 и 10 ГГц.

Работа состоит из трех частей.

В первой части приведено описание стенда для абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения РАО “Старая Пустынь” — параметры аппаратуры, антенной системы, калибровочного эталона и регистрирующих устройств, а также методика работы с двухтемпературным эталоном шумового радиоизлучения.

Во второй части рассмотрены факторы, влияющие на точность измерений интенсивности космических источников в радиоастрономических экспериментах, определены коэффициенты коррекции (поправки) измеряемых данных и процедура расчета общей погрешности измерений. Приведены первые результаты.

В третьей части описана система регистрации, математическое и программное обеспечение записи и обработки данных. Приведены алгоритмы обработки файлов записи сигналов.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (проект № 0729-01, руководитель — проф. В. А. Разин).

© Научно-исследовательский радиофизический институт

Для проведения измерений на стенде радиоастрономической обсерватории “Старая Пустынь” разработана система регистрации данных, основу которой составляют современные средства электронной и компьютерной техники.

Математическое и программное обеспечение (МО и ПО) измерений состоит из двух частей: 1) программа запуска аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), считывания данных АЦП и записи их в память ЭВМ и 2) МО обработки данных, основанное на использовании стандартной программы Mathcad 2000, Prof.

1. СИСТЕМА ЗАПИСИ ДАННЫХ В ПАМЯТЬ ЭВМ

Система представляет собой совокупность измерительного модуля Field Point, ЭВМ типа IBM PC и программного обеспечения, установленного на ЭВМ.

Измерительный модуль Field Point представляет собой агрегированный сетевой модуль FP-1000 RS 232\RS-485 и базовую платформу с контроллером устройств, на которой установлен набор АЦП. В данной конфигурации на базовой платформе размещено два АЦП с разным диапазоном входных напряжений FP-AI-V5B (± 5 В) и FP-AI-V1 ($0 \div 1$ В). Оба АЦП имеют одинаковую разрядность, равную 12.

Взаимосвязь измерительного модуля и PC Omnibook XE4100 осуществляется через COM-порт посредством запросов данных с PC. Скорость передачи данных в избранной конфигурации составляет 38400 бит/с, существует возможность изменения скорости до 115200 бит/с. Данные передаются в асинхронном режиме.

Общая схема системы в целом представлена на рис. 1.

Программа предназначена для интерактивного мониторинга и сбора данных с источников, сигнал которых изменяется в диапазонах ($-5 \div +5$) и ($0 \div +1$) В. Выбор диапазона сигнала осуществляется программным выбором адреса рабочего АЦП, без каких либо переключений на измерительном модуле.

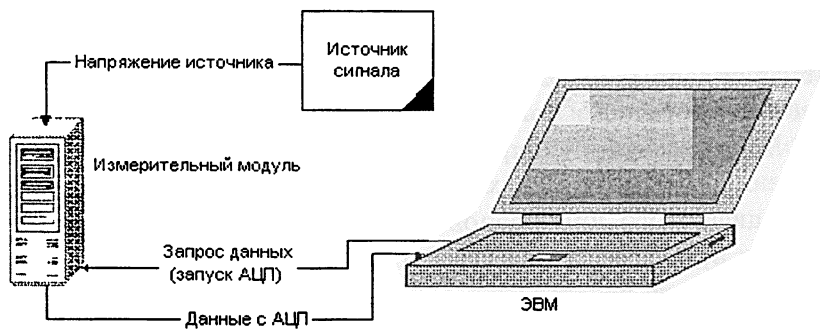


Рис. 1

Записанные данные содержат два поля: времени формирования запроса (в формате ЧЧ.ММ.СС), которое жестко привязано к абсолютному времени ЭВМ, входящей в состав системы, и значения напряжения на входе АЦП (в формате 000.0000 В). Измерения производятся блоками. В блоке накапливаются данные за время измерения, выбранное оператором. Частота опроса АЦП и соответственно количество данных в секунду задается оператором и представляется параметром “частота”. Максимальная частота выборки результатов измерений — 20 Гц.

Результаты измерений сохраняются в виде таблиц (файлы формата .dbf) и могут использоваться для дальнейшей обработки в таких пакетах, как MS Exel и MathCAD. Во время измерений существует возможность добавлять в файл измерений комментарии, которые объясняют смысл производимых операций и данных. Количество данных зависит от выбранной длины блока и частоты опроса.

Мониторинг изменения состояния исследуемого объекта представляется диаграммой, на которой в реальном времени строится график изменения входного напряжения на выбранном АЦП. График можно масштабировать по обеим координатам для увеличения конкретной области.

Программа представляет собой два взаимодействующих блока:

- блок запуска АЦП и приема данных;
- блок визуализации мониторинга и сохранения данных.

Системные требования:

- ОС Windows 9x/2k/XP;
- установленный пакет Measurement Studio (Component Works);
- установленный пакет Borland BDE.

Исходный код программы написан на языке C++ с использованием визуальной среды разработки Borland C Builder 5. При написании программы были использованы дополнительные библиотеки Measurement Studio.

Общая схема взаимодействия блоков программы представлена на схеме (рис. 2).

Взаимодействие частей программы между собой и взаимодействие программы с измерительным блоком осуществляются следующим образом.

Интерфейс пользователя представлен набором элементов управления, выведенных на экран ЭВМ, а также таблицей значений и полем с графиком. Интерфейс позволяет выбрать необходимый интервал времени измерений и частоту формирования запросов, так же производится выбор необходимого АЦП. График масштабируется в соответствии с диапазоном входных сигналов выбранного АЦП.

После начала измерений ядро программы формирует запросы на выбранное АЦП и с выбранной частотой. Запросы производятся в асинхронном режиме. Запрос передается на объект CWSerial и в ASCII режиме передается на COM-порт. Данные с измерительного модуля, полученные в ответ на запрос, накапливаются в буфере порта. После получения всей информации она преобразуется в значение напряжения и отображается на графике; соответствующая строка добавляется в таблицу.

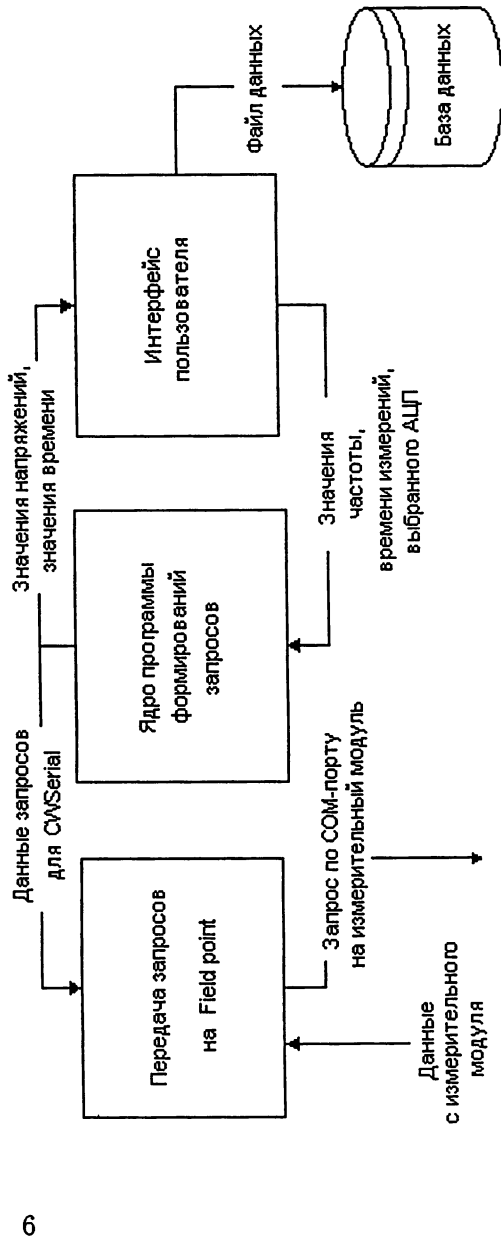


Рис. 2

Передача запросов осуществляется посредством ActiveX объекта CWSerial.

После завершения времени измерений опрос измерительного блока прекращается и данные сохраняются на жестком диске в соответствующем файле. Все файлы хранятся в единой базе данных и могут быть извлечены для дальнейшей обработки.

Технические характеристики программы:

- диапазон времени измерения: 1 с – 12 час;
- максимальная частота выборки: 20 Гц;
- максимальное возможное количество устанавливаемых в сетевом модуле АЦП: 6 (для данной программы 2).

2. ОПИСАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА

При разработке и отладке программы в первых экспериментах необходимым условием было принято обеспечение оператору непрерывного визуального контроля за характеристиками принимаемого сигнала с записью комментариев к проводимым действиям на момент совершения этих действий. Все проводимые во время записи операции привязаны ко времени (по таймеру компьютера) с точностью до 1 с, что достаточно при темпе работы в данных наблюдениях.

Для иллюстрации работы оператора в процессе проведения наблюдений радиисточников на рис. 3А показан экран дисплея ЭВМ в момент измерения диаграмм направленности антенны по азимуту и высоте по генератору в ближней зоне на длине волны 10,6 см. В центре экрана — непрерывная (с дискретом 1 с) запись сигнала для визуального контроля работы системы, справа — файл записи декретного времени, величины сигнала в вольтах и комментариев к проводимым оператором действиям. В левом верхнем углу — имя текущего файла, параметры записи (длительность в минутах, дискрет выборки) и характеристика выбранного АЦП. В правом верхнем углу — марки команд “Пуск”, “Стоп” и “Пауза”. Внизу — окна записи комментариев:

верхнее — для текстового набора текущего комментария, который после ввода остается в окне, а после ввода следующего комментария перемещается в нижнее окно. Сохранение предыдущего комментария важно при наблюдении источников с отведением в правую и левую опорную области; в этом случае необходимо контролировать очередность отведения, особенно при неравномерном окружающем источнике фоновом излучении.

Последовательность действий оператора, в основном, заключается в следующем.

1. Запуск программы после выхода ЭВМ в рабочий режим — на экране дисплея высвечивается картина (рис. 3А). Начальные установки: “частота — 1 Гц” (частота выборки 1 Гц), “время — 20 мин” (время измерения 20 минут), разметка графического поля для АЦП ($0 \div 1$) В.

2. Выбор АЦП: выбором курсором манипулятора “мышь” соответствующей марки вверху экрана.

3. Установка требуемого времени измерения файла данных и частоты выборки.

4. Запись имени измеряемого файла данных.

5. Пуск программы: при нажатии курсором манипулятора “мышь” на поле “Пуск”. При отсутствии поступления данных с АЦП высвечивается надпись “Ошибка работы с СОМ-портом” (выключен измерительный модуль). При наличии в памяти файла с таким же именем высвечивается надпись “Подтвердите замену существующего файла”. После внесения корректировок на экране высвечивается графическое поле для выбранного АЦП, в левой колонке — считываемые время и значение сигнала в вольтах, которые проецируются на экране в виде графика изменения сигнала от времени и заносятся в первые два столбца Excel-файла.

6. В зависимости от величины сигнала график записи на экране можно масштабировать фиксацией курсора левой клавишей “мыши” в начальной точке нужного поля и движением его вправо-вниз до требуемых пределов. На рис. 3, 4 показаны варианты масштабированных полей.

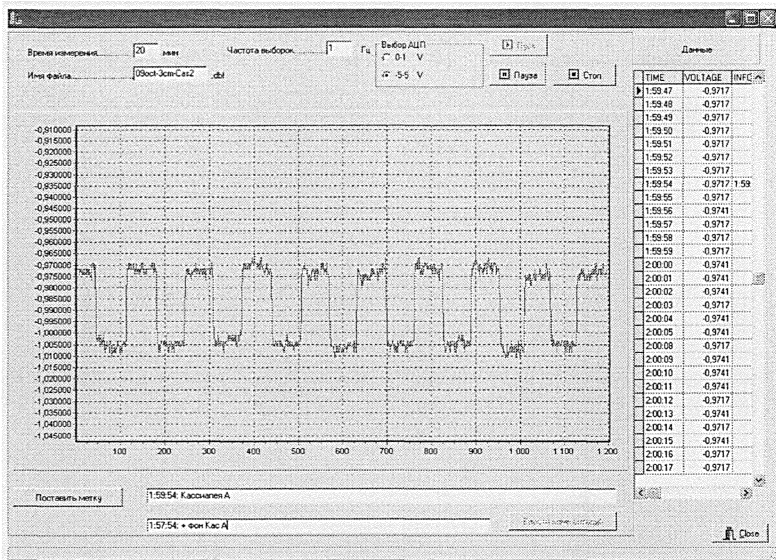


Рис. 3

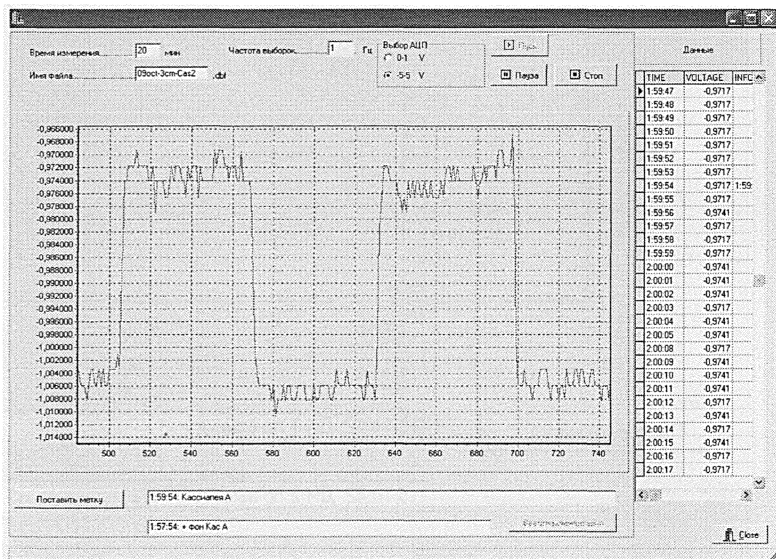
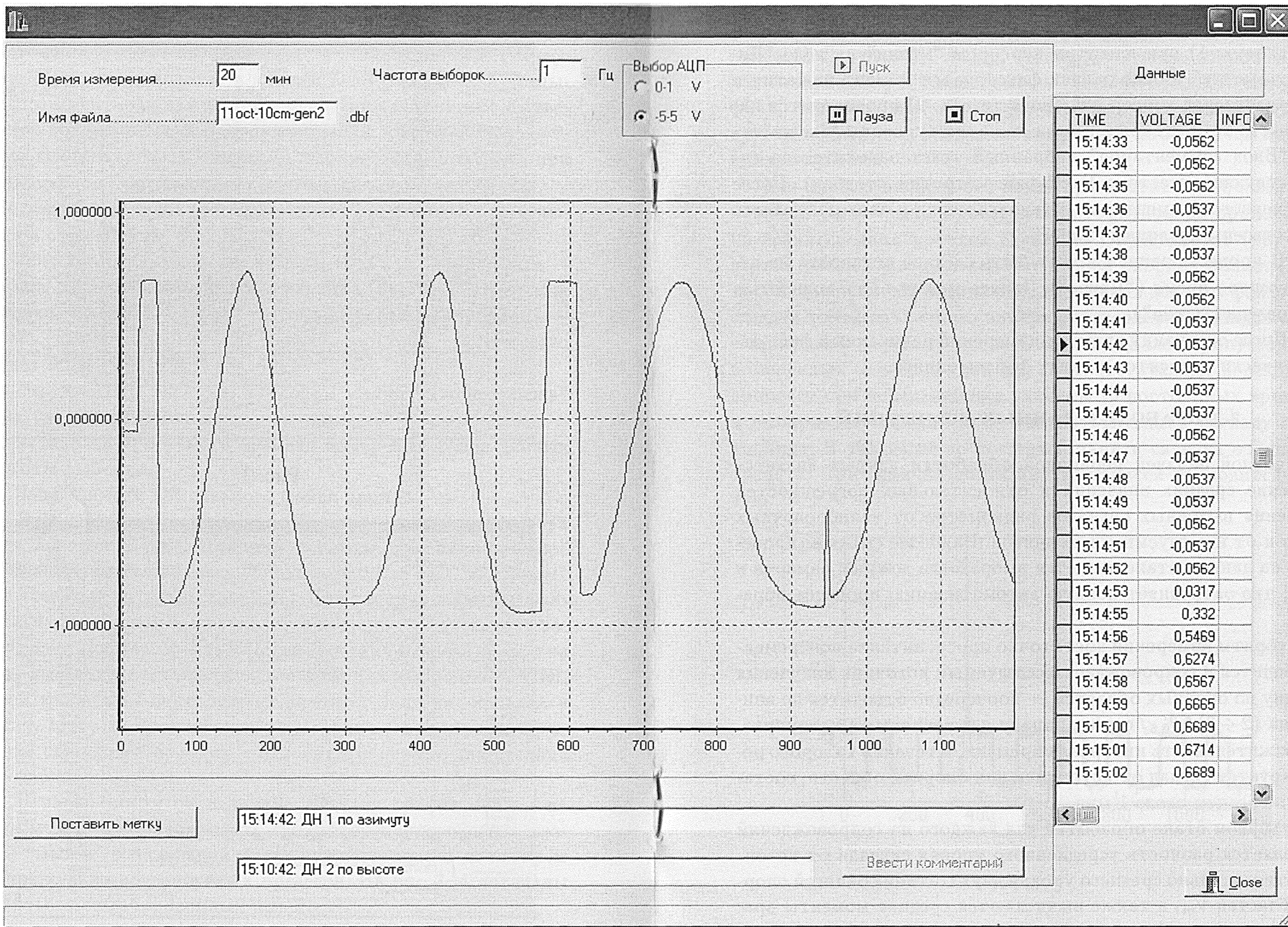


Рис. 4



7. Ввод комментария осуществляется в следующей последовательности: 1) при нажатии курсором “мыши” на поле “Поставить метку” в окне записи фиксируется момент нажатия и устанавливается курсор для ввода текста, 2) производится набор текста комментария, 3) при нажатии курсором “мыши” на поле “Ввод комментария” набранный текст заносится на соответствующее место в Excel-файле (третий столбец). После ввода первого комментария установка метки и ввод могут быть осуществлены клавишей “Enter”.

8. В процессе записи может быть сделана остановка на определенное время (“Пауза”). Запись может быть полностью остановлена (“Стоп”).

9. После окончания времени измерений записанный файл автоматически заносится в папку файлов записи.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Основной задачей первичной обработки данных является получение средних значений и относительных погрешностей измерения выходных сигналов радиометра от калибровочных дисков и от исследуемых источников. Наиболее сложной процедурой на данном этапе является выбраковка ложных замеров и помех, что затрудняет полную автоматизацию процесса обработки.

Алгоритм измерений достаточно прост: антенна попеременно наводится и сопровождает исследуемый источник излучения или одну из опорных областей — поочередно отводится по азимуту на $(2 \div 3)\Delta\theta_{0,5}/\cos h$ к западу и к востоку от источника. Продолжительность интервала времени, в течение которого регистрируется сигнал от источника или опорной области, составляет в среднем около 1 мин.

На первом этапе обработки для каждого из сопровождений определяется разность усредненного уровня сигнала от источника относительно среднего уровня двух соседних записей опорных областей \bar{V}_m , а также вычисляются средние моменты вре-

мени для каждого сопровождения, выраженные в часах и долях часа \bar{T}_m , $m = 0 \dots m_{\max}$, где m_{\max} — число сопровождений для данной записи. Здесь “запись” означает один 20-минутный файл, или несколько таких файлов, если они следуют друг за другом подряд, т. е. разделены во времени не более, чем несколькими секундами.

Для чистых записей без помех при достаточно большом отношении сигнал/шум проводится автоматизация процесса вычисления средних уровней сигналов. Определяется (вручную) первая точка записи сигнала от первой опорной области, с которой, как правило, начинаются измерения для всех файлов. Последняя точка одиночного замера определяется по задаваемому в программе перепаду уровней сигнала. Далее пропускаются 5 измеренных значений сигнала, соответствующих переходному процессу при перенаведении антенны (5 постоянных времени), и выбирается массив чисел, соответствующий сигналу от источника. И так далее до последней записи сигнала от опорной области. При наличии помех чистка записей проводится вручную.

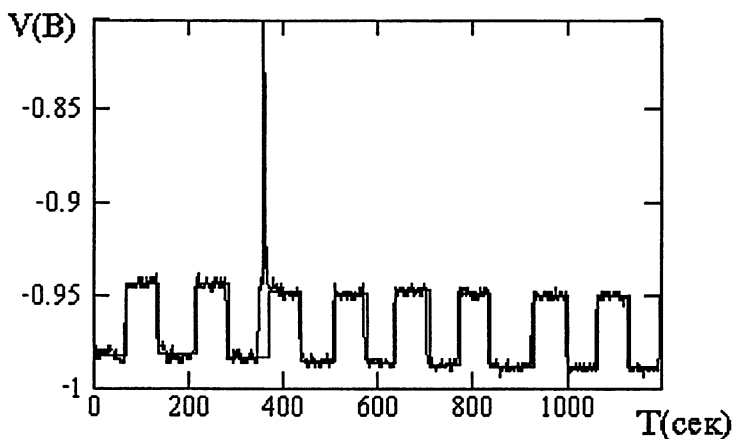


Рис. 5

На рис. 5 представлен фрагмент записи, полученной в процессе наблюдений радиоисточника Телец А на волне 3,4 см вместе с вычисленными средними значениями уровней сигналов от источника и опорных областей. По оси абсцисс отложено время в секундах, отсчитываемое от начала записи, по оси ординат — сигнал на выходе радиометра в вольтах. Видно, что импульсная помеха в третьей записи источника исключена.

Далее для каждого замера сигнала от источника вводятся поправки на поглощение радиоизлучения в атмосфере Земли, а также на частичную линейную поляризацию излучения исследуемых источников.

В нашем случае приема излучения на линейно поляризованный вибратор, ориентированный в вертикальной плоскости, поправка на поляризацию осуществляется умножением величин \bar{V}_m на множитель $k_{\text{пол}}(p, \chi_{eq}, q_m) = [1 - p + 2p \cos^2(\chi_{eq} - q_m)]^{-1}$, где p и χ_{eq} — степень поляризации излучения наблюдаемого источника и позиционный угол плоскости поляризации в экваториальной системе координат, q_m — экваториальный параллактический угол в точке нахождения источника в момент \bar{T}_m . Для учета поляризации приняты следующие значения параметров (см. Часть 2):

| | | | |
|-------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| Телец А | $\lambda = 3,4$ см | $p = 6,7\%$, | $\chi_{eq} = 144^\circ$; |
| | $\lambda = 10,6$ см | $p = 3,15\%$, | $\chi_{eq} = 131^\circ$; |
| Лебедь А | $\lambda = 3,4$ см | $p = 7,9\%$, | $\chi_{eq} = 146^\circ$; |
| | $\lambda = 10,6$ см | $p = 0,3\%$, | $\chi_{eq} = 170^\circ$; |
| Кассиопея А | $\lambda = 3,4$ см | $p = 1,5\%$, | $\chi_{eq} = 40^\circ$. |

Поправочный множитель, учитывающий поглощение в атмосфере имеет вид $k_{\text{погл}}(\Gamma, h_m) = \exp[\Gamma \cdot \text{csc}(h_m)]$, где h_m — высота источника над горизонтом в момент \bar{T}_m , величины полного вертикального поглощения взяты равными $\Gamma(3,4 \text{ см}) = 0,013 \text{ Нп}$, $\Gamma(10,6 \text{ см}) = 0,009 \text{ Нп}$. На рис. 6а, б приведены результаты расчета поправочных коэффициентов на поглощение и поляризацию для одной из записей Тельца А.

Результат обработки одной записи источника (6–15 замеров) — среднее значение сигнала и его среднеквадратичная погрешность, по которой оценивается качество проведенных измерений. На рис. 7 показан график изменения амплитуды сигнала Тельца А в одной записи, выводимой на печать в протоколе обработки.

Результат обработки серии измерений (рис. 8) — среднее значение сигнала (от часового угла источника) и его среднеквадратичная погрешность по 40–100 замерам, является итогом первичной обработки данных по источнику.

На рис. 9 показана запись калибровки антенны по двум “черным” дискам с замерами фонового излучения за дисками. Первичная обработка проводится аналогично описанной выше для радиоисточников, расчет разности температур дисков ведется по отношению сигналов от “горячего” и “холодного” дисков по алгоритму, приведенному в Части 1 данной работы.

Окончательный результат — величина плотности потока радиоизлучения источника, рассчитывается по соотношению (1) Части 2 после введения всех корректирующих поправок.

На рис. 10 приведен пример записи изменения выходного сигнала от собственных шумов атмосферы в зависимости от высоты h антенны, так называемой “разрез атмосферы”. Метод разрезов служит для определения поглощения в атмосфере в процессе проведения наблюдений. Высоты выбираются из условия

$$\csc h_{m+1} - \csc h_m = \pm 1, \text{ где } m = 1, 2, \dots$$

Из приведенной записи видно, что приращение антенной температуры $\Delta T_a(h)$ практически постоянно (линейная зависимость от $\csc h$) в пределах h от 8° до 55° . По углу наклона $\Delta T_a(\csc h)$ можно судить об изменении поглощения от разреза к разрезу. Для получения абсолютного значения Γ_0 необходимо измерять сигнал от согласованной нагрузки, что в данной конструкции приемника не предусмотрено. Для калибровки измерялся сигнал от “черного” тела, которым закрывался облуча-

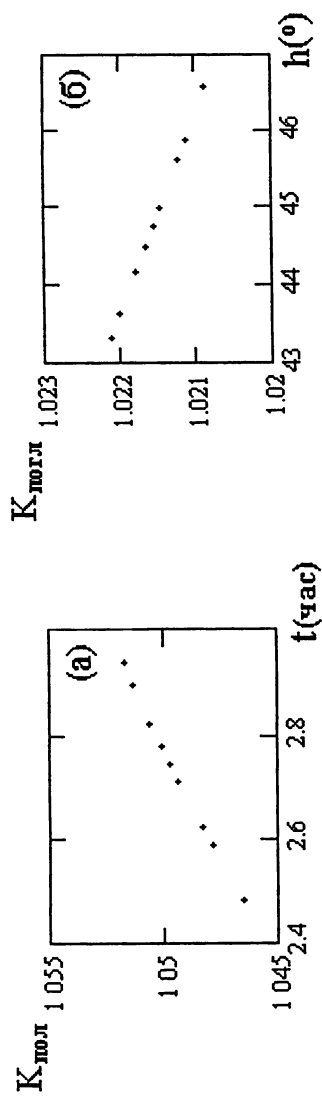


Рис. 6

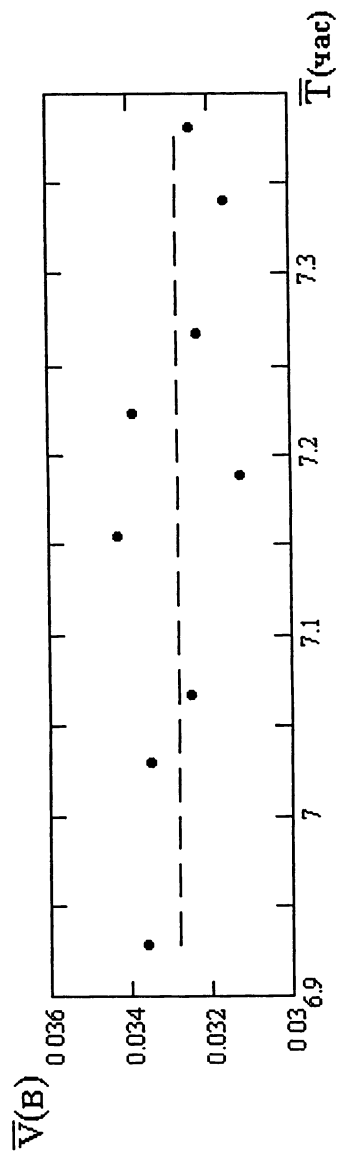


Рис. 7

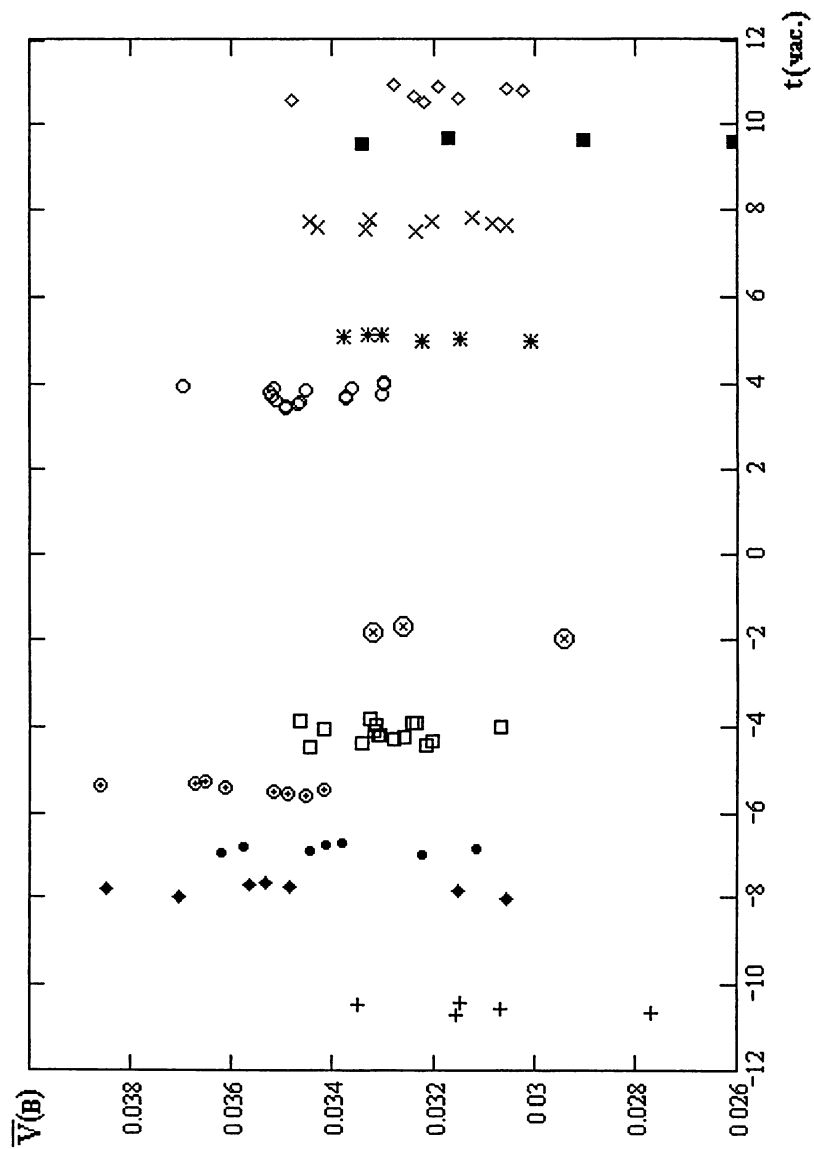


Рис. 8

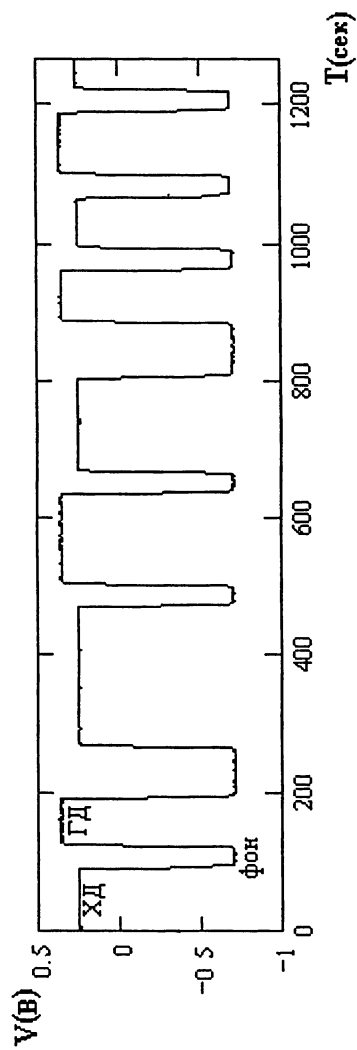


Рис. 9

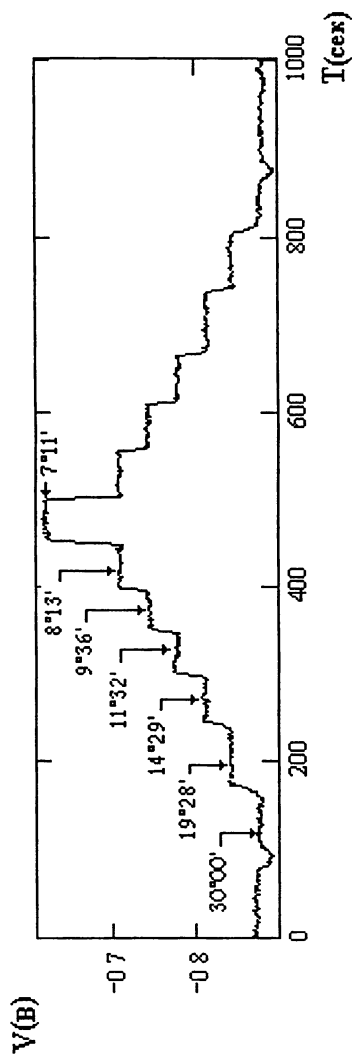


Рис. 10

тель. Алгоритм расчета поглощения находится в стадии разработки, результаты измерений будут опубликованы в отдельной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В трех препринтах опубликованы результаты основных работ по модернизации стенда для абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения источников в РАО НИРФИ “Старая Пустынь” и его апробации в первых измерениях. В настоящий момент очевидно, что поставленная задача уменьшить погрешность абсолютных измерений до 1–2% достижима, но для этого потребуются дополнительные усилия по исследованию характеристик антенны и калибровочного эталона в рабочих диапазонах длин волн, перестройка радиометра РМ-3 на частоту ~ 8400 МГц для отстройки от помех, ухудшающих точность и мешающих нормальной работе на частоте 8834 МГц, а также ряд других мероприятий.

Планируемые на весну – лето 2004 года измерения в диапазонах 3 и 10 ГГц должны послужить основой для расчета векового уменьшения плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых. Предусматривается также тщательный анализ всех предыдущих работ по данной тематике.

Дугин Николай Александрович
Кузнецова Ирина Павловна
Серкин Александр Григорьевич
Черникова Светлана Олеговна
Бояринов Василий Александрович

Абсолютные измерения плотностей потоков радиоизлучения
космических источников с калибровкой по двухтемпературному
чернотельному эталону.

Часть 3.
Программное обеспечение

Подписано в печать 01.03.04 г. Формат 60 × 84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 1,25 усл. п. л.
Тираж 50. Заказ 5536.

Отпечатано в НИРФИ
Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25