

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

Препринт № 193

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН
(алгоритмы управления измерениями и вычисления характеристик)

Часть I

В. В. Снегирева
Д. И. Белов
Н. А. Дугин
О. А. Зорина
В. И. Турчин

УДК 621.396.67

Рассмотрены алгоритмы, описывающие порядок действий и вычислений при радиоастрономических измерениях характеристик антенн: коэффициентов усиления и полезного действия, диаграммы направленности, разъюстировки. Разработано частичное тестирование алгоритмов.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоастрономические методы измерений являются действенным инструментом для определения таких радиотехнических характеристик (РТХ) антенн, как коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент усиления (КУ), диаграмма направленности (ДН), разъюстировка, при наличии высокочувствительных измерительных приёмников - радиометров. Развившиеся в последнее время амплифазометрические [1] методы не исключают использования радиоастрономических методов как проверочных, как средств эталонирования измерительных станций. При этом возросшие возможности автоматизации процессов измерений позволяют уменьшить время измерений при использовании обработки данных от простейшей - усреднения, до более сложных нелинейных методов. Для применения ЭВМ в структуре радиоастрономических станций по определению РТХ антенн важно воплотить опыт радиоастрономии по калибровке антенн в алгоритмическое описание (вплоть до технических заданий на программирование) этих процессов. При этом возникает задача проверки качества алгоритмов, которые в силу их громоздкости трудно обследовать на моделях - математически. Настоящая работа представляет собой попытку, во-первых, систематизировать опыт радиоастрономии, см. [2], по определению РТХ в алгоритмическом описании, во-вторых, отыскать некоторый оптимальный подход к такой работе, в-третьих, обеспечить надёжность и достоверность работы алгоритмов.

Работа по проектированию алгоритмов спроектирована сверху - вниз, т.е. имеет аналогию со схемой структурного программирования [3].

- а) декомпозиция общей работы на подзадачи (ПЗ), проверка корректности решения каждой ПЗ, проверка связи ПЗ между собой;
- б) декомпозиция и другие операции (см. выше) для каждой ПЗ;
- в) измельчение структуры до нескольких строк конкретного языка программирования.

Структура описываемых алгоритмов

Алгоритмы делятся на управляющие, которые обеспечивают функционирование приборов, движение антенны, ввод данных в ЭМ, обрабатываемые - статистический анализ (вычисление средних величин и дисперсий, операций с ними) и спектральные методы выделения РТХ (сплайн-методы, методы средне-квадратичного оценивания). Последние в настоящей работе не рассматриваются.

Первое крупное разделение (декомпозиция) - по целевому назначению:

- а) диаграмма направленности или её сечения,
- б) разностроика,
- в) коэффициент усиления по известному потоку радиомлучения,
- г) коэффициент полезного действия.

Второе крупное разделение - по функциональным узлам:

- а) измерение сигнала радиометра и "холодной" нагрузки,
- б) тепловая калибровка радиометра,
- в) установка уровня поддумливания,
- г) выбор усиления радиометра,
- д) измерение приращения температуры антенны при наведении на источник в сравнении с опорной областью,
- е) измерение сечений диаграммы направленности антенны.

Каждый из предыдущих разделов содержит в себе полностью или частично элементы второго подразделения. Структуры подразделов приведены на схемах алгоритмов. Для примера рассмотрим кратко состав тепловой калибровки радиометра.

Назначение: калибровка приёмника ($U_{вх}$) в единицах шумовой температуры и определение флуктуационного порога чувствительности.

Структура:

- а) коммутация входа радиометра на "холодную" нагрузку, генератор шума (ГШ) выключен, поддумливание отсутствует, ослабление усиления равно U_1 ;
- б) включен ГШ, вход коммутируется на ГШ, оба пункта повторяются N раз;
- в) то же, что и а), но при максимальном усилении радиометра;
- г) статистическая обработка данных (подробнее см. ниже);
- д) вычисление требуемых калибровок.

При дальнейшей декомпозиции каждого вышеописанного пункта до группы операторов языка программирования необходимо использовать данные

об операционной системе ЭВМ (за исключением пп. г) и д)), позволяющей реализовать с помощью драйверов включения или измерения необходимых напряжений.

Тестирование работы алгоритмов

Тестирование (проверка) работы алгоритмов проводится в двух направлениях:

а) анализа сбойных ситуаций - определение дрейфов усиления, изменения усиления скачком, наличие помех;

б) текущее (условное название) тестирование, которое подразумевает:

- определение времени с целью выяснения, есть ли источник радиоматрирования или нет, долго ли он будет находиться в зоне видимости, удастся ли провести измерения и т.д.;
- оценку размера массива при дискретном съеме данных для заданного вида интерполяции или обработки;
- оценку достаточной чувствительности радиометра.

Таким образом, текущее тестирование позволяет планировать эксперимент, выяснить рациональность его проведения. Последовательность действий оператора и детальное содержание текущего тестирования отражены в разделе 4 "Предварительные вычисления". Вопросы тестирования радионавигационных измерений полностью не проработаны и будут завершены в эксплуатации алгоритмов. Тесты, проверяющие функционирование (исправность радиометра и АЦП (цифрового вольтметра) для регистрации данных измерений, можно выделить в особую группу и в данной работе не описываются.

1. ИЗМЕРЕНИЕ РТХ АНТЕНН ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ

1.1. Общие сведения

Назначение программы:

1. Обеспечение взаимодействия приборов и устройств ИЕК с ЭВМ в соответствии с временной диаграммой эксперимента, в том числе:

а) управление режимами работы приборов и устройств комплекса в процессе измерений,

б) опрос приборов и устройств и ввод измеренных данных в ЭВМ.

2. Проведение статистического анализа и обработки экспериментальных данных.

3. Определение РТХ антенны по измеренным данным.

Используемые внешние устройства.

В процессе измерений программа обеспечивает взаимодействие ЭВМ со следующими приборами и устройствами комплекса:

1) радиометром (РДМ),

2) синхронизатором (СИНХ),

3) таймером (ТМ),

4) системой автоматического управления антенной (САУ).

Радиометр (РДМ) предназначен для измерения мощности слабых шумовых и синусоидальных сигналов. Программа, обслуживающая радиометр, обеспечивает

а) ввод в ОЗУ значения измеренной мощности сигнала A^2 , Вт (СИ) (ввод кодового сигнала - результата измерений); диапазон измерения на выходе АЦП $\pm 0 + 2^9$,

б) вывод кодового управляющего сигнала, выполняющего следующие функции:

1) включение генератора шума (ГШ) - два значения: вкл.-выкл. (I_1 , $\{I:0\}$),

2) управление четырьмя состояниями входа РДМ (ГШ, опорная нагрузка (ОН), антенный тракт - ВХ1, ВХ2) - I_2 ,

3) управление переключателем ослабления по промежуточной частоте на четыре положения (ПЧ) и переключателем ослабления выхода РДМ (НЧ) на шесть положений (П),

4) управление уровнем поддумливания $U_{ш}$.

Возможные состояния РДМ при измерении РТХ антенны по внешним источникам излучения зависят как от значения исходных параметров (ком-

мутация входа, фаза модуляции, состояние ПШ), так и от данных измерений: предварительных (установка уровня поддумпывания, выбор усиления РДМ) и текущих (переключение ослабления на выходе РДМ в зависимости от уровня измеряемого сигнала непосредственно в ходе измерений ДН антенны).

Синхрометр (СИНХ) предназначен для хранения и измерения текущего времени в часах, минутах, секундах и миллисекундах, формирования и измерения временных интервалов. Программа, обслуживающая синхрометр, обеспечивает

- а) ввод в ОЗУ в произвольный момент времени кода текущего времени,
- б) использование синхрометра как датчика временных интервалов.

Таймер (ТМ) используется как датчик временных интервалов (если для этого не используется СИНХ).

Система автоматического управления антенной (САУ) предусматривает возможность выполнения эксперимента для трех режимов функционирования САУ:

- 1) "САУ-1" - координаты антенны измеряются автоматически, антенна управляется по командам ЭВМ,
- 2) "САУ-2" - координаты антенны измеряются автоматически, антенна управляется вручную,
- 3) "САУ-0" - ЭВМ не связана с антенной, антенна управляется вручную, требуемые для расчетов данные об ориентации антенны заносятся с пульта оператора в процессе выполнения эксперимента.

Примечание: в эксперименте по определению КПД требуется только ориентация антенны в одно фиксированное положение (A_0, h_0). Эта функция в принципе может быть выполнена оператором.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДН И КУ АНТЕННЫ

Цель эксперимента - измерение ДН антенны $F(\alpha, \beta)$ или её отдельных сечений, определение истировки антенны и измерение коэффициента усиления антенны по излучению врезанного источника известной интенсивности.

ДН антенны по мощности называется угловая зависимость отклика приёмной антенны $U(\alpha, \beta)$ на внешнее излучение точечного источника, находящегося в дальней зоне.

ДН обычно нормируется так, чтобы её величина в некотором направлении (направление на максимум ДН) полагалась равной единице, т.е.

$$F(\alpha, \beta) = \frac{\bar{U}(\alpha, \beta)}{\bar{U}(\alpha_{\max}, \beta_{\max})} \quad (2.1)$$

либо в децибелах:

$$F(\alpha, \beta) = 10 \lg \frac{\bar{U}(\alpha, \beta)}{\bar{U}(\alpha_{\max}, \beta_{\max})},$$

где (α, β) - некоторая система угловых координат, связанная с антенной. Для зеркальной осесимметричной антенны направление $\alpha = \beta = 0$ совпадает с геометрической осью зеркала, а вострижка антенны сводится к проверке отклонения электрической оси антенны (направление на максимум ДН от геометрической оси зеркала, т.е. определению $\alpha_{\max}, \beta_{\max}$ по измеренным данным.

$\bar{U}(\alpha, \beta)$ - "сглаженная" зависимость показаний выходного прибора от ориентации антенны (h_a, A_a) относительно вневзетного источника, положение которого в каждый момент времени характеризуется координатами ($h_{\text{ист}}, A_{\text{ист}}$)

$$\begin{aligned} \beta &= h_{\text{ист}} - h_a, \\ \alpha &= (A_{\text{ист}} - A_a) \cos h_a. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Иногда измерение диаграммы ведется относительно координат α_3, β_3 , связанных с электрической осью антенны:

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= \alpha - \alpha_{\max} = (A_{\text{ист}} - A_a) \cos h_a - \Delta \alpha, \\ \beta_3 &= \beta - \beta_{\max} = (h_{\text{ист}} - h_a) - \Delta \beta, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$\left. \begin{aligned} \Delta \alpha &= \alpha_{\max} \\ \Delta \beta &= \beta_{\max} \end{aligned} \right\}$ - определяемая заранее развострижка антенны

$\bar{U}(\alpha, \beta)$ - построено согласно измеренным данным $\Delta U(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$:

$$\Delta U(\alpha_{ij}, \beta_{ij}) = [U(\alpha_{ij}, \beta_{ij}) - U_{\text{он}}(\text{пч}, \text{п})] \cdot (\text{пч}, \text{п}), \quad (2.4)$$

где $U(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ - показания выходного прибора при определенной ориентации антенны относительно источника $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$, $U_{\text{он}}(\text{пч}, \text{п})$ - усредненное показание выходного прибора РДМ при сопровожении антен-

ной опорной области (исключение фона источника) и том же самом усилении РДМ (ослаблении по ПЧ и НЧ), при котором замерялось $U(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$; γ (ПЧ, НЧ) - пересчетный коэффициент, приводящий показания РДМ, измеренные на разных шкалах РДМ, к одному усилению.

Опорные области выбираются так, чтобы угловое расстояние оси антенны (направленной в опорную область) от источника было порядка $\theta_{\text{полн}}$ ("полного" лепестка ДН, включающего в себя главный и несколько боковых лепестков ДН)..

При измерении боковых лепестков ДН по Солнцу и главного лепестка ДН по звездному источнику полезный сигнал (разность "фон + источник" - "фон") является слабым и измерения проводятся при минимальном ослаблении выхода, а "нулевой" уровень сигнала при подключении антенного тракта (опорная область, "фон") смещают к "нулевому" уровню РДМ (опорная нагрузка), т.е. вводят "поддумливание" (от специального ПШН через аттенуатор - предусмотрено конструкцией РДМ), компенсирующее разницу "фон - опорная нагрузка".

Состояние РДМ при измерении ДН определяется:

- исходными данными (коммутация входа, состояние ПШ, начальное ослабление),
- в результате предварительных измерений (определение требуемого уровня поддумливания, выбор усиления РДМ);
- текущих измерений (установка усиления РДМ на данном участке ДН в зависимости от уровня измеряемого сигнала).

Для контроля правильности измерений и проверки работы РДМ проводят до и после измерений сечения ДН тепловую калибровку РДМ (контроль постоянства усиления РДМ - по $\Delta U_{\text{гш}}$) и измерение приращения сигнала "источник - опорная" (контроль постоянства КЩД антенны - по отношению $\Delta U_{\text{max}}^{\text{ист}} / \Delta U_{\text{гш}}$):

$$\Delta U_{\text{max}}^{\text{ист}} = \left[U_{\text{ист}} - \frac{1}{2} (U_{\text{оп}_1} + U_{\text{оп}_2}) \right]_{\text{П}_n} \gamma_n, \quad (2.5)$$

$$\Delta U_{\text{гш}} = (U_{\text{гш}} - U_{\text{он}})_{\text{П}_r} \gamma_r,$$

$U_{\text{гш}}$; $U_{\text{он}}$ - средние уровни сигналов при подключении ко входу РДМ ПШ и опорной нагрузки (ОН) соответственно, γ_n , γ_r - пересчетные коэффициенты

$$\gamma_n = \gamma(\text{ПЧ}_n, \text{П}_n),$$

$$\gamma_r = \gamma(\text{ПЧ}_r, \text{П}_r),$$

$\Pi_{и,г}$; $\Pi_{и,г}$ - переключатели ослабления, при которых измерялся источник и ГШ соответственно, $U_{ист}$ - усредненное за время $\tau_{изм}$ показание РДМ при сопровождении антенной источника, $U_{оп1}$, $U_{оп2}$ - усредненные за $\tau_{изм}$ показания РДМ при сопровождении опорной области (до и после измерений сигнала источника).

Измерения $U_{ист}$, $U_{оп1,2}$ проводятся при одном и том же состоянии РДМ (обозначим это состояние $R_{ист}^{max} = R_{ист}(\Pi_{и}, \Pi_{и})$), при том же состоянии РДМ проводится измерения главного лепестка ДН.

Результаты измерения "полной" ДН (несколько сечений), либо центральных сечений ДН (проходящих через максимум ДН) по излучению звездного источника известной интенсивности можно использовать также для определения КУ антенны G , эффективной площади $S_{эфф}$ и КПД антенны:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{k_0 e^{\delta_{ист}}}{\left(\frac{1}{2} S_{\nu}\right) K_{ист}} \quad \Delta T_a^{ист} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{2760 \Delta T_a^{ист} e^{\delta_{ист}}}{S_{\nu} K_{ист}}, \quad (2.6)$$

$$S_{эфф} = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G, \quad \text{КПД} = \frac{S_{эфф}}{S_{геом}}$$

где λ - длина волны, на которой измеряются параметры антенны (м), η - кцд антенны, k_0 - постоянная Больцмана, $k_0 = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/град. \cdot Гц, S_{ν} - спектральная плотность потока мощности источника (Янск) ($1 \text{ Янск} = 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{Гц}$), $K_{ист}$ - коэффициент, учитывающий конечные угловые размеры источника, $S_{геом}$ - площадь раскрытия антенны (м^2) - заданные параметры, $\Delta T_a^{ист}$ - приращение показаний РДМ при наведении антенны на источник по сравнению с сигналом при отведении на опорную область, выраженное в градусах Кельвина (К) - определяется в результате измерений:

$$1) \quad \Delta T_a^{ист} = \text{TK} \bar{U}(\alpha_{max}, \beta_{max}) e^{\delta_{ист}}, \quad (2.7)$$

где ТК - результат тепловой калибровки РДМ¹⁾, $e^{\delta_{ист}}$ - учитывает поглощение в атмосфере ($\delta_{ист} = \Gamma_0 / 4,34 \cos \theta_{ист}$), Γ_0 - полное вертикаль-

+) Для исключения небольших линейных дрейфов усиления РДМ в качестве ТК берут средний результат двух тепловых калибровок, проводимых до и после измерения сечения ДН.

ное поглощение в атмосфере (дБ), $h_{\text{ист}}$ - угол места источника), $\bar{U}(\alpha, \beta_{\text{max}})$ - значение в точке максимума зависимости $U(\alpha, \beta)$ ("ненормированная" ДН), построенной согласно измеренным данным (см. выше).

2) При известной калибровке антенны для определения КУ можно использовать результат контрольных измерений (приращение "источник - опорная") $\Delta U_{\text{max}}^{\text{ист}}$ (см. выше):

$$\Delta T_a^{\text{ист}} = TK \Delta U_{\text{max}}^{\text{ист}} e^{\delta_{\text{ист}}},$$

где ТК в этом случае - усредненный результат двух тепловых калибровок, проводимых до и после контрольных измерений.

После каждой серии измерений с подключением антенного тракта проводится проверка отсутствия помехи.

Для контроля исправности РДМ и отсутствия помехи требуется определение, кроме среднего уровня сигнала, и других статистических характеристик измеряемых сигналов (среднеквадратичное отклонение и т. п.).

Перед измерениями предварительно проверяют их реализуемость с точки зрения достаточной чувствительности РДМ (при использовании для измерений слабого звездного источника), наличия времени для измерений (присутствие источника и опорных областей в заданном секторе в течение предполагаемого времени измерений), а также проводят некоторые предварительные вычисления (расчет скорости движения антенны и начальных точек сечения, координат опорных областей) и измерения (проверка правильности выбора усиления РДМ).

2.1. Порядок действий при проведении эксперимента

1. Ввод исходных параметров и программы.

Считывание показаний синхронметра для определения времени начала проработки программы.

2. Выбор усиления РДМ для измерений сигнала ПШ (проверка правильности задания исходных параметров).

3. Тепловая калибровка РДМ.

4. Предварительные вычисления.

5. Установка уровня поддумливания.

6. Выбор усиления РДМ для измерений сигнала источника (установка "R^{max}_{ист}" - проверка правильности задания исходных параметров).

7. Измерение $\Delta U_{\text{ист}}^{\text{max}}$.

8. Измерение "нулей" ДН (уровень сигнала опорной области 00_1 сеч).

9. Выбор усиления РДМ (для начальной точки сечения).

Примечание: пп. 5-9 включают в себя наведение антенны на определённую область неба, сопровождение этой области и одновременно с сопровождением - снятие замеров сигнала на выходе РДМ (через временной интервал Δt) при некотором состоянии РДМ и проведение вычислений.

10. Измерение сечения ДН.

10.1. Ведение антенны по траектории.

10.2. Одновременно с 10.1 - снятие замеров сигнала на выходе РДМ через Δt (состояние РДМ может меняться в процессе измерений).

11. Измерение "нулей" (уровни сигнала при сопровождении опорной области 00_2 сеч).

12. Измерение сечения ДН (при обратном движении антенны от 00_2 сеч к 00_1 сеч).

13. Измерение "нулей" (00_1 сеч).

14. Измерение $\Delta U_{ист}^{max}$ (через один или несколько циклов измерений сечения ДН).

15. Предварительная обработка данных измерений.

16. Коррекция уровня поддумливания.

17. Проверка конца # 1 (переход к следующему циклу измерений сечения ДН, либо к измерениям сечений по другой координате, либо к обработке).

18. Вычисление параметров ДН и коэффициента усиления (обработка данных измерений).

19. Проверка конца # 2.

20. Печать протокола испытаний.

Программа "Измерение РТХ антенны" обеспечивает (при задании соответствующих параметров):

1) измерение отдельных сечений ДН трех видов (азимутальное, угломестное, по траектории) в заданных пределах,

2) измерение двух ортогональных сечений ДН (азимутального и угломестного), проходящих через максимум ДН подряд, одно за другим,

3) определение кистровки антенны "методом последовательных приближений" (при многократном повторении измерений двух ортогональных сечений с коррекцией исходных параметров σ_{max} , β_{max} на основании предыдущих измерений,

4) измерение коэффициента усиления (КУ) антенны; в этом режиме функционирования программы пп. 8-15 пропускаются.

Коррекция уровня поддумывания (по изменению среднего уровня сигнала опорных областей) проводится через каждые два цикла измерений (в режиме КУ), либо после измерения каждых двух сечений одного вида (в остальных режимах).

При измерении сечений ДН контрольные измерения $\Delta U_{\text{ист}}^{\text{max}}$ (с тепловой калибровкой) производятся через несколько (K_T) циклов измерений, либо только в начале и в конце измерений, либо этот пункт заменяется "Тепловой калибровкой" (при встировке).

При измерении сечения ДН по траектории ш. I2, I3 пропускаются.

При измерении ДН по звездному источнику (с обработкой данных измерений методом параметрического оценивания) п. "Измерение нулей" пропускается.

Для более точного определения параметров антенны в программе предусмотрена возможность повторения измерений заданное число раз.

3. ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Ввод исходных параметров (ИП)

3.1.1. Состав исходных параметров.

1) Шифр программы.

2) Данные о месте наблюдения (для расчета координат источника):

φ - широта места наблюдения (3 числа: градусы, угл. минуты, угл. секунды),

λ_E - долгота места наблюдения (3 числа: часы, минуты, секунды),

N - номер часового пояса (целое число),

N_{Δ} - сезонная поправка к номеру часового пояса.

3) Данные о времени наблюдения:

- дата (3 числа: число, месяц, г.д.),

ΔD - предполагаемая длительность эксперимента (2 числа: часы, минуты),

S_0 - начало звездных суток (3 числа: часы, минуты, секунды).

4) Шифр используемого источника (Солнце или звездный источник).

5) Данные о звездном источнике:

$\delta_{\text{ист}}$ - склонение (3 числа: градусы, угл. минуты, угл. секунды),

$\alpha_{\text{ист}}$ - прямое восхождение (3 числа: часы, минуты, секунды),

S_{λ} - спектральная плотность потока мощности (Ян), характеризующая интенсивность источника,

$K_{\text{ист}}$ - коэффициент, учитывающий конечные угловые размеры источника.

6) Список параметров, задающих координаты Солнца:

$\delta_{\odot}^0, \delta_{\odot}^{+1}$ - склонение на текущие и последующие сутки (3 числа: градусы, угл. минуты, угл. секунды),

$E_{\odot}^0, E_{\odot}^{+1}$ - уравнение времени на текущие и последующие сутки (3 числа: часы, минуты, секунды).

7) Данные об условиях эксперимента:

λ - длина волны (м),

Γ_0 - полное вертикальное поглощение в атмосфере на данной длине волны (дБ),

$D_a, m, \sigma_{\text{geom}}$ - размер антенны (диаметр), S - площадь раскрытия антенны (m^2)⁺⁺,

$[h_1, h_2], [A_1, A_2]$ - сектор измерений (по 2 числа: градусы, угл. минуты)⁺⁺,

- режим работы программы, с которого начинается измерение,

- режим функционирования СЛУ,

L - число измерений источника в цикле,

$\tau_{\text{max}}^{\text{max}}$ - максимальное время накопления (мин),

P_1^H - количество выборок при измерении одного уровня сигналов ПШ, Солнца, "зенита" ($20 \leq P_1 \leq 100$),

Δt - временной интервал между выборками (с),

$\tau_{\text{нав}}$ - оценка времени наведения антенны (с),

$\alpha_{\text{max}}, \beta_{\text{max}}$ - положение максимума ДН (разъюстировка) (угл. мин),

ε_2 - оценка допустимых изменений КПД антенны,

θ_0 - угловое расстояние от источника до опорной области при измерениях ДН (угл. мин),

θ_m - угловое расстояние от источника до опорной области при измерениях $\Delta U_{\text{ист}}^{\text{max}}$ (угл. мин),

M_0 - число циклов измерений в заданном режиме.

+) Для осесимметричной зеркальной антенны $\sigma_{\text{geom}} = \pi D_a^2 / 4$
для секционированной антенны: $\sigma_{\text{geom}} = 3\sqrt{3} D_a^2 / 8$.

++) Сектор измерений - пределы измерения угловых координат источника, которые могут ограничиваться а) возможностями ориентации антенны (для неполоповоротных антенн); б) необходимостью создания адекватных условий приёма сигнала от источника (влияние поглощения в атмосфере, рельефа местности, наличие мешающих конструкций).

8) Данные об используемом радиометре:

$T_{гш}, T_{гшп}, T_{он}$ - температуры соответственно ГШ, ГШП, опорной нагрузки (К),

ϵ - оценка допустимого дрейфа усиления РДМ ($0 < \epsilon < 1$),

Γ - число для оценки исправности ГШ,

V_x - подключение входа РДМ к антенному тракту (ВХ1 или ВХ2),

τ - постоянная времени РДМ (с),

$\Delta 0$ - дискрет изменения ослабления РДМ (дБ),

$ПЧ_{г,з,и}, ПЧ_{г,з,и}$ - положения переключателей ослабления по ПЧ или НЧ при измерении соответственно мощности сигнала ГШ, "зенита", источника,

- массивы ослаблений по ПЧ (МОП) и НЧ (МОН), соответствующие всем возможным положениям переключателей (либо начальные значения и дискрет изменения ослаблений по ПЧ и НЧ при изменении положения переключателя (дБ),

A_m, B_m, A_0, B_0 - пределы изменения уровня измеряемого сигнала отнесенного к максимуму шкалы выходного прибора (U_{max}).

9) Режим работы программы и соответствующие им параметры:

"измерение КУ" -

δ_0 - требуемая точность определения КУ (%);

"встировка" -

$[\alpha_1, \alpha_2], [\beta_1, \beta_2]$ - пределы измерения сечения ДН по каждой из угловых координат при встировке (угл. мин),

$\delta_{\alpha\beta}$ - точность определения положения максимума ДН (угл. мин);

"сечение ДН" -

- вид сечения (азимутальное, угломастное, по траектории),

ξ_1, ξ_2 - пределы изменения угловой координаты по сечению (угл. мин),

K_1 - число измеренных сечений между калибровками ($\Delta U_{ист}^{max}$) ($K_1 = 1, 2, \dots, M_0$),

Q - число измеренных сечений, через которое следует обработка данных ($Q = 1, 2, \dots, M_0$),

ШК=ШК=1 - измерения сечения на одной шкале РДМ,

ШК=2 - переключения ослаблений при измерении ДН,

"2 ортогональных сечения" -

$[\alpha_1, \alpha_2], [\beta_1, \beta_2]$ - пределы измерения по каждой из координат (угл. мин),

- $K_1, Q, ШК$.

10) Данные для проведения обработки:

- метод обработки данных (для метода параметрического оценивания - несколько моделей,

N_K - кратность выборки,

$X_{\text{спл}}$ - постоянная для метода сплайн-функции,

N_0 - минимальное число замеров в пределах кванта ДЧ.

Примечание: Величины S_0 , δ_0 , E_0 берутся на каждые сутки из "Астрономического Ежегодника". Все угловые и временные величины (φ , ϵ , $\alpha_{\text{ист}}$, $\delta_{\text{ист}}$, δ_0 , $\alpha_{1,2}$, θ_0 , θ_m и т.п.) должны храниться в радианной мере, приведенные к интервалу (см. Приложение I).

3.1.2. Режимы формирования массива исходных параметров.

а) Формирование с пульта оператора в диалоговом режиме "запрос - ответ": на АЦД последовательно высвечиваются символьные названия параметров, после чего оператор набирает нужные числа;

б) Загрузка массива исходных данных с перфоленты.

3.1.3. Коррекция массива исходных параметров.

Запрос на коррекцию производится с пульта оператора. Оператору предоставляется возможность изменения любого параметра массива ИП.

3.1.4. Режимы контроля массива ИП.

Предусмотрены по соответствующей команде оператора:

а) перфорация массива ИП,

б) распечатка массива ИП,

в) просмотр массива ИП на АЦД.

3.2. Выбор усиления РДМ для измерения сигнала ГШ

Целью этих предварительных измерений является проверка правильности задания в ИП значений ослабления по ПЧ и НЧ, требуемых при измерениях сигнала ГШ. Для этого при соответствующей коммутации входа РДМ выполняется некоторая последовательность операций "Выбор усиления РДМ".

Внешние устройства (РДМ, ТМ).

3.2.1. Входные параметры:

а) данные, характеризующие начальное состояние РДМ,

б) число замеров сигнала (P_1) и временной интервал между ними (Δt),

в) требуемые пределы изменения уровня сигнала (относительно максимальных значений выходного прибора РДМ U_{max}): А, В,

г) \bar{U}_{max} (задано в ИП),

д) дискрет изменения ослабления по ПЧ и НЧ (определяется конструкцией РДМ, задано в ИП).

3.2.2. Порядок действий, требования.

3.2.2.1. Установка состояния РДМ (первоначально это состояние характеризуется входными параметрами (п. а).

3.2.2.2. Временная задержка $5T$.

3.2.2.3. Снятие замеров сигнала на выходе РДМ через временной интервал Δt .

В ходе измерений проверяется каждый из замеров на "зашкал" и при появлении хотя бы одного замера, превышающего $8U_{\max}$, производится установка нового состояния РДМ (вводится дополнительное ослабление, равное дискрету изменения ослабления по НЧ - 5 дБ, - и все повторяется при новом состоянии РДМ).

3.2.2.4. Проверка замеров на "минимум":

а) статистическая обработка P замеров сигнала (вычисление среднего значения \bar{U} и дисперсии Δ^2),

б) проверка условия $|\bar{U}| > AU_{\max}$; если оно не выполняется - установка нового состояния РДМ, повторение пп. 2-4 при новом состоянии РДМ.

Примечание: Если ослабление по НЧ установлено 20 - 25 дБ (а по ПЧ - 0 дБ) и требуется ввести еще 5 дБ, то вводят 20 дБ по ПЧ (дискрет изменения по ПЧ), убавив децибелы по НЧ. Если по ПЧ установлено ослабление 20 дБ и более, то дополнительное ослабление по ПЧ вводить только если требуемое ослабление по ПЧ превышает 35 дБ.

Данные ослабления ($P_{\text{нов}}$, $P_{\text{нов}}$), при которых выполняются оба вышеуказанных условия на уровень сигнала ($|U_p| < 8U_{\max}$, $|\bar{U}| > AU_{\max}$) являются выходными параметрами, определяющими состояние РДМ для дальнейших измерений.

Предусмотрена индикация на АЦД выходных параметров (и соответствующих значений ослабления), если они отличаются от соответствующих величин, заданных в "исходных параметрах".

3.2.3. Выбор усиления РДМ.

Процедура "Выбор усиления РДМ" выполняется для следующих входных параметров (U_{\max} , дискрет изменения ослабления, определенные в ИП, а также фаза модуляции РДМ $\Phi = \Phi^+$, не меняются в процессе измерений):

а) начальное состояние РДМ:

- коммутация входа (ГШ),

- состояние ПШ (выкл.),
- подшумливание (отсутствует),
- ослабление (положения переключателей ПЧ_Г, П_Г - данные из ИП);
- б) число замеров ($P = P_1$, временной интервал Δt);
- в) пределы изменения уровня сигнала: A_m, B_m (ИП).

Выходные параметры п. 3.2.3. $\Pi_{Г}^{нов}$, $\Pi_{Г}^{нов}$ или соответствующие значения ослабления будут в дальнейшем определять состояние РДМ при проведении тепловой калибровки ($R_{1п}, R_{2п}$).

3.3. Тепловая калибровка РДМ

Назначение программы.

Калибровка показаний измерительного прибора на выходе РДМ в единицах шумовой температуры (К) и определение флуктуационного порога чувствительности РДМ ΔT .

Внешние устройства (РДМ, ТМ).

3.3.1. Входные параметры:

- а) параметры, характеризующие состояния РДМ, используемые для тепловой калибровки;
- б) параметры, характеризующие P_1 - число замеров, Δt - временной интервал;
- в) $T_{ГШ}$ - температура ПШ.

Результуирующие параметры $\Delta U_{ГШj}, T_{Кj}, \Delta T_j, \tilde{\Delta}_j$ (в разд. 3.3 $j = I$, поскольку это первая калибровка) - используются на следующих этапах проведения эксперимента.

3.3.2. Порядок действий.

3.3.2.1. Получение данных измерений для калибровки показаний РДМ в единицах шумовой температуры (К). Состоит в последовательном выполнении процедуры "Измерение сигнала" для следующих состояний РДМ:

- а) $R_{2п}$
 - коммутация входа (ОН),
 - состояние ПШ (выкл.),
 - подшумливание (отсутствует, $U_{Ш} = 0$),
 - ослабление (положение переключателей П_Г^{нов}, ПЧ_Г^{нов} - п.3.2.3).

Результуирующие данные: $\Omega_1[I : P_1]$ - используются для определения среднего уровня сигнала ОН ($\bar{U}_{ОН1}$).

- б) $R_{1п}$
 - коммутация входа (ПШ),

- состояние ГШ (вкл.).

Остальные параметры, как в предыдущем пункте (а).

Результирующие данные $U_2 [I : P_1]$ - используются для определения уровня сигнала ГШ $\bar{U}_{ГШ}$.

в) $R_{2п}$

- повторное измерение сигнала ОН.

Результирующие данные: $U_3 [I : P_1]$ - используются для определения уровня сигнала ОН ($\bar{U}_{ОН2}$).

г) $R_{4п}$

- коммутация входа (ОН),

- состояние ГШ (вкл.),

- подшумливание (отсутствует, $U_{ш} = 0$),

- ослабление (положение переключателей $ПЧ_3, П_3$ - п. 3.2.3).

Результирующие данные $U_4 [I : P_1]$ - используются для определения флуктуационного порога чувствительности РДМ.

3.3.2.2. Статистическая обработка данных измерений - получение средних значений уровней сигналов: $\bar{U}_{1,2,3,4}$ и их среднеквадратичных отклонений $\Delta_{1,2,3,4}$.

3.3.2.3. Вычисление $\Delta U_{ГШj}$, приведение результатов к одному усилению РДМ:

$$\Delta U_{ГШj} = \left| \bar{u}_2 - \frac{1}{2} (\bar{u}_1 + \bar{u}_3) \right| \triangleright (ПЧ_{г}^{нов}, П_{г}^{нов}),$$

$$\tilde{\Delta}_j = \Delta_4 \triangleright (ПЧ_3, П_3),$$

\triangleright - пересчетные коэффициенты для соответствующих значений ослабления

$$\triangleright (ПЧ, П) = 10^{0,1(MOH П + MOП ПЧ)},$$

где MOH, MOП - массивы ослаблений (дБ), соответствующие различным положениям переключателей по ПЧ и НЧ.

3.3.2.4. Проверка исправности ГШ:

$$\Delta U_{ГШj} / \tilde{\Delta}_j = W \Gamma.$$

Проверка условия $W \Gamma > \Gamma (\Gamma \gg 1)$ - сигнал ГШ должен быть много больше шумовой дорожки. В случае невыполнения этого условия - печать причины сбоя и результатов измерений (если они есть) - подробнее см. "Сбойная ситуация" (описание действий при появлении сбоя).

3.3.2.5. Вычисление результирующих параметров (коэффициента тепловой калибровки TK_j , флуктуационного порога чувствительности РДМ ΔT_j):

$$TK_j = \frac{T_{гш}}{\Delta U_{гш j}},$$

$$\Delta T_j = \bar{\Delta}_j TK_j.$$

3.4. Измерение сигнала

Назначение программы.

Получение данных для определения среднего значения шумового сигнала на выходе РДМ и его статистических характеристик при заданной установке состояния РДМ.

Внешние устройства: РДМ, ТМ.

3.4.1. Входные параметры:

а) параметры, характеризующие состояние РДМ:

- коммутация входа РДМ (ГШ, ОН, ВХ1, ВХ2),
- состояние ГШ (вкл., выкл.),
- фаза модуляции (всегда Φ^+),
- уровень подшумливания ($U_{ш} = U_{ш1}$),
- ослабление (положение переключателей ослабления - ПЧ и НЧ);

б) число замеров шумового сигнала (Р) на выходе РДМ и временной интервал между ними (Δt) (обычно $\Delta t = \tau / 2$, где τ - постоянная времени РДМ);

в) U_{max} - максимум шкалы выходного прибора РДМ.

Подпрограмма, обслуживающая данную измерительную процедуру, должна обеспечивать выполнение следующих действий:

а) формирование и вывод управляющего кода состояния РДМ в соответствии с входными параметрами ("Установка состояния РДМ");

б) временная задержка 5τ ,

в) последовательное выполнение Р замеров сигнала на выходе РДМ через временные интервалы Δt , формирование в памяти ЭЕМ массива чисел $u_i [I : P_i]$, соответствующего Р замерам сигнала на выходе РДМ.

г) проверка замеров на отсутствие "зашкалов" выходного прибора

$$|u_i [p]| < U_{max}.$$

При наличии "зависаний" - повторить еще один раз серию замеров (при этом же состоянии РДМ) и снова проверить на "зависал".

Результирующие данные $u; [1:P]$, признак наличия (или отсутствия) "зависалов", коммутация входа РДМ.

При отсутствии "зависалов" - управление передается дальше по программе.

При наличии "зависалов" - как правило, требуемое для конкретной серии замеров усиление РДМ (ослабление по ПЧ и НЧ) определяется предварительно (см. п.п.-3.2, 3.4) и "зависал" является сбойной ситуацией.

а) При коммутации входа на ПШ и ОН причиной "зависала" является неисправность прибора (РДМ): индикация (печать) причины сбоя, этапа эксперимента, на котором произошел сбой, печать результатов (если они есть) - конкретнее см. "Сбойная ситуация".

б) При коммутации входа РДМ на антенный тракт (ВХ) причинами "зависалов" могут быть как неисправность прибора, так и помеха. Для выяснения причины сбоя надо провести "Тепловую калибровку" и "Проверку отсутствия дрейфа усиления РДМ" (контроль исправности прибора - см. ниже). Если эта проверка покажет, что прибор исправен, следовательно, причиной "зависалов" является помеха (дополнительно можно провести серию измерений при большом ослаблении и проверить наличие помехи по дисперсии сигнала); далее действия как в п. (а).

4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

4.1. Выбор времени накопления (для звездного источника)

4.1.1. Входные параметры:

а) данные из массива ИП: $S_{\nu}, \sigma_{\text{геом}}, P., \lambda, K_{\text{ист}}, \Delta t,$

б) данные измерений: ΔT_1

Результирующие параметры: $P_2, \tau_n, C_{\text{ист}}, C_{\sigma}$.

4.1.2. Порядок действий.

4.1.2.1. Вычисляется P_0 - необходимое число замеров при измерении среднего уровня сигнала источника:

$$P_0 = \text{entier} \left[1.36 \left(\frac{\Delta T_1 \cdot 69\,000}{S_{\nu} \sigma_{\text{геом}}} \right)^2 \right]. \quad (4.1)$$

4.1.2.2. Проверка условия

$$P_0 \Delta t \leq \tau_n^{\text{max}},$$

если да, то

$$P_2 = \begin{cases} P_1 & , \text{ если } P_0 \leq P_1 \\ P_0 & , \text{ если } P_0 > P_1 \end{cases}$$

если нет, то печатается сообщение:

$$\langle \text{время измерения} \rangle = \langle \text{число} \rangle ,$$

где $\langle \text{число} \rangle = P_0 \Delta t$ и программа встает (передача управления оператору).

Действия оператора.

1. Продолжение действия по программе (если время измерения не намного превышает τ_n^{\max}).

2. Коррекция параметров (другой источник), повторить, начиная с п. 3, см. 3.1.1. с новыми параметрами; печать новых параметров.

Примечание: ограничения на P_2 (число замеров для определения среднего уровня сигнала источника) выведены в предположении:

а) ошибка в определении $\Delta T_a^{\text{ист}}$ не превосходит 20% с вероятностью 0,98,

б) принято для оценок: КПИ = 0,5; КПД = 0,8; $\tau = 1$ с, замеры производятся через Δt .

в) принято, что максимальное реализуемое время накопления не превосходит τ_n^{\max} .

4.1.2.3. Вычисление времени накопления:

$$\tau_n = P_2 \Delta t .$$

4.1.2.4. Вычисление $C_{\text{ист}}$ (постоянный коэффициент для вычисления КУ по $\Delta T_a^{\text{ист}}$) и $C_{\text{б}}$:

$$C_{\text{ист}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{2760}{S_{\text{д}} K_{\text{ист}}} , \quad (4.2)$$

$$C_{\text{б}} = \lambda^2 / 4\pi \eta \quad (\eta - \text{КПД антенны}).$$

4.2. Оценка времени выполнения этапов эксперимента

4.2.1. Входные параметры:

а) $P_1, \Delta t, \tau, \tau_{\text{нав}}$, шифр источника, $L, \Delta 0$ (дискрет изменения ослабления в РДМ, дБ),

б) $P_{\text{ч}}, P_{\text{и}}$ (либо значения децибелов ослабления, соответствующие этим положениям переключателей).

4.2.2. Порядок действий.

4.2.2.1. Вычисление времени накопления, если используемый источник - Солнце:

$$P_2 = P_1,$$

$$\tau_n = P_2 \Delta t.$$

4.2.2.2. Оценка времени выполнения вычислительных операций на каждом этапе эксперимента (п.п. 3-9 см. разд. 2.1): $\Delta D_3, \dots, \Delta D_9$. Если эти интервалы меньше Δt , то можно их не учитывать.

4.2.2.3. Оценка времени выполнения этапов эксперимента:

"Тепловая калибровка"

$$\Delta D_{TK} = 4(5\tau + P_1 \Delta t) + \Delta D_3$$

либо измерить ΔD_{TK} (СИХ) при выполнении п. 3(разд. 3).

"Установка уровня поддумливания"

"Измерение $\Delta U_{ист}^{max}$ "

$$\Delta D_{пш} = \tau_{нав} + 7(5\tau + P_1 \Delta t) + \Delta D_5.$$

$$\Delta D_{ист} = (2L+1)(\tau_{нав} + 5\tau + \tau_n) + \Delta D_{TK} + \Delta D_7.$$

"Выбор усиления РДМ" (с наведением на область)

$$\Delta D_{вх} \leq \tau_{нав} + (2+3)(5\tau + \tau_n + \Delta D_6),$$

где $\Delta D_6 \approx \Delta D_8$ (статистическая обработка).

Минимальное время выполнения эксперимента для режима "КУ" (20 циклов измерений):

$$\Delta D_{min} = 2 \Delta D_{пш} + 20 \Delta D_{ист} + \Delta D_{вх}.$$

"Измерение нулей ДН" (для режима "КУ" не надо)

$$\Delta D_{ин}(q) = \tau_{нав} + q(5\tau + \tau_n + \Delta D_8),$$

где q - число различных состояний РДМ при измерении сечения ДН; $q = I$, если сечение измеряется без переключения ослаблений.

Если сечение ДН должно измеряться с переключением ослабления выхода РДМ, то q можно оценить, исходя из дискрета изменения ослабления (ДО, дБ) и общего ослабления при измерении сигнала источника, находящегося в максимуме ДН (состояние РДМ "R_{ист}^{max}")

$$q \leq q_{max} = \frac{MOП[\eta_{и}] + MOH[\eta_{и}]}{ДО} + 1$$

4.2.2.4. Оценка времени выполнения вспомогательных операций в цикле измерения сечения ДН для различных случаев.

Вариант параметров № I - измерение сечения ДН без переключения состояния РДМ, обработка данных измерений - методом параметрического оценивания (МОП), используемый источник - звездный, с $\Delta T_{ист}^{max} \sim \Delta T_1$. В этом случае не требуется измерять уровень "нуля" ДН, поскольку он

определяется при обработке, и $\Delta D_{всп}$ равно времени наведения антенны на начальную точку сечения и установки состояния РДМ:

$$\Delta D_{всп1} [IM] = (\tau_{нав} + 5\tau) IM, \quad IM = 1; 2.$$

Вариант # 2 - измерение сечения ДН без переключения ослабления выхода РДМ, обработка данных измерений - методом построения сплайн-функции (МПСФ), используемый источник - Солнце или звездный ($\Delta T_a^{ист} \gg \Delta T_1$):

$$\Delta D_{всп2} [IM] = (\Delta D_{ин}(1) + \tau_{нав} + 5\tau) IM.$$

Вариант # 3 - измерение сечения ДН с переключением ослаблений, обработка - МПСФ, используемые источники - как в предыдущем случае.

$$\Delta D_{всп3} [IM] = (\Delta D_{ин}(q) + \tau_{нав} + 5\tau) IM + \Delta D_{вч} + \Delta D_{ин}(q).$$

При проведении эксперимента измеряется время выполнения каждого этапа, а также время выполнения цикла измерений (в том случае, если не было сбоя).

4.3. Наличие источника и опорных областей в секторе измерений

4.3.1. Входные параметры:

а) Данные из массива ИП для расчета координат источника (или Солнца): шифр источника, дата, $\lambda_E, \varphi, N, N_\Delta, S_0, \delta_{\odot}^{0,+1}, E_{\odot}^{0,+1}$, либо $\alpha_{ист}, \delta_{ист}$;

б) данные о времени: $D_0, \Delta D, \Delta D_{min}, D_1$;

в) $\alpha_{max}, \beta_{max}, \theta_m, \lambda, D_a$, режим программы.

4.3.2. Порядок действий.

4.3.2.1. Вычисление координат источника $h_{ист}, A_{ист}$ для временного интервала $[D_1, D_2]$, где D_1 - время перехода, к которому закончилось выполнение п. 4; $D_2 = D_0 + \Delta D$.

4.3.2.2. Вычисление координат опорных областей $OO_{1,2}$ для того же самого интервала времени ($OO_{1,2}$ - опорные области при измерении $\Delta U_{ист}^{max}$, отведение от источника по азимуту на угол $\pm \theta_m$):

$$h_{01}(D) = h_{02}(D) = h_{ист}(D) - \beta_{max},$$

$$A_{01}(D) = A_{ист}(D) - \frac{(-\theta_m) + \alpha_{max}}{\cosh_{01}(D)},$$

$$A_{02}(D) = A_{\text{ист}}(D) - \frac{\theta_m + \alpha_{\text{max}}}{\cos h_{02}(D)}$$

4.3.3.3. Проверка выполнения условий:

$$\begin{aligned} h_1 &\leq h_a(D) \leq h_2, \\ A_1 &\leq A_a(D) \leq A_2, \end{aligned} \quad (4.3)$$

где

$$A_a(D) = \begin{cases} A_{\text{ист}} - \frac{\alpha_{\text{max}}}{\cos h_{\text{ист}}(D)} \\ A_{01} \\ A_{02} \end{cases}$$

Примечание: поскольку при проведении юстировки α_{max} , β_{max} могут меняться в ходе измерений в пределах $\pm \lambda/2D_a$, то для режима "Юстировка" проверяется наличие источника и опорных областей в секторе измерений для α_{max} , $\beta_{\text{max}} = -\lambda/2D_a, 0, \lambda/2D_a$.

Пусть условия (4.3) выполняются для $D \in [D_3, D_4]$. Если $D_4 = D_2$, а $D_3 > D_1$, то проверяется дополнительно выполнение условий для временного интервала $[D_2, D_3 + \Delta D]$; $D_1 := D_3$; $D_2' := D_5 \in [D_2, D_3 + \Delta D]$ - время, до которого (4.3) выполнены; переход к выполнению следующего пункта.

Если $D_4 \leq D_2$, то $D_1 := D_3$, $D_2 := D_4$, $D_2' := D_4$ тоже перейти дальше по программе.

Во всех случаях для оператора печатается сообщение о временном интервале, в течение которого источник и опорные области присутствуют в секторе измерений (значения D_1, D_2, D_2'), а также значения ΔD_{min} (для режима "КУ").

4.4. Проверка реализуемости заданной программы измерений

Сечение по траектории.

4.4.1. Входные параметры:

а) данные из массива ИП: $\lambda, D_a, \xi_1, \xi_2, M_0, \tau, \Delta t, \tau_{\text{нов}}$, $\Delta D_{\text{сеч}}^{\text{max}}, \theta_0, N_0$, шифр источника, метод обработки данных, S_y ,

$\xi_{\text{геом}}$, N_k , $\mathcal{I}_{\text{спл}}$;

б) угловые координаты источника $A_{\text{ист}}$, $h_{\text{ист}}$; угловая скорость движения источника по траектории для предполагаемого интервала времени измерений;

в) данные о времени: $D_1, D_2, \Delta D_{\text{вч}}, \Delta D_{\text{ист}}, \Delta D_{\text{пш}}, \Delta D_{\text{в}}$;

г) P_2 , ΔT_1 , номер варианта параметров (см. п. 4.2).

4.4.2. Порядок действий.

4.4.2.1. Вычисление начальных данных: упреждения по времени для начальной точки сечения t_0 , опорной области $t_{\text{оп}}$ и конечной точки сечения t_k :

$$t_0 = -\frac{\xi_1}{\Omega_0}, \quad t_{\text{оп}} = \frac{\theta_0}{\Omega_0}, \quad t_k = \frac{\xi_2}{\Omega_0},$$

Ω_0 - угловая скорость движения источника по траектории.

4.4.2.2. Наличие опорных областей сечения в секторе измерений - проверяется выполнение условий

$$\begin{aligned} h_1 &\leq h_{\text{оп}_{1,2}}^{\text{сеч}}(D) \leq h_2, \\ A_1 &\leq A_{\text{оп}_{1,2}}^{\text{сеч}}(D) \leq A_2, \end{aligned} \quad (4.4)$$

где $A_{\text{оп}_{1,2}}^{\text{сеч}}(D)$, $h_{\text{оп}_{1,2}}^{\text{сеч}}(D)$ - координаты опорных областей сечения соответственно

$$h_{\text{оп}_1}^{\text{сеч}}(D) = h_{\text{ист}}(D + t_{\text{оп}}) - \beta_{\text{max}},$$

$$A_{\text{оп}_1}^{\text{сеч}}(D) = A_{\text{ист}}(D + t_{\text{оп}}) - \frac{\alpha_{\text{max}}}{\cos h_{\text{оп}_1}^{\text{сеч}}(D)};$$

$$h_{\text{оп}_2}^{\text{сеч}}(D) = h_{\text{ист}}(D - t_{\text{оп}}) - \beta_{\text{max}},$$

$$A_{\text{оп}_2}^{\text{сеч}}(D) = A_{\text{ист}}(D - t_{\text{оп}}) - \frac{\alpha_{\text{max}}}{\cosh_{\text{оп}_2}^{\text{сеч}}(D)}; \quad D \in [D_1, D_2].$$

Результирующие параметры границы временного интервала, в котором условия (4.4) выполнены: D_3, D_4 .

4.4.2.3. Проверка реализуемости измерений.

а) проверка выполнения условия

$$\Omega_0 \leq \frac{\Delta F_{0.5}^{(\text{ант})}}{N_0 \Delta t},$$

где $\Delta F_{0,5}^{(анр)} = \lambda / D_a$ [рад] - оценка ширины главного лепестка ДН, - минимальное число замеров в пределах лепестка ДН, $N_0 \gg 10$;

б) проверка выполнения условия

$$\Delta D_{сеч} \leq \Delta D_{сеч}^{max},$$

где $\Delta D_{сеч} = \theta_{изм} / \Omega_0$ - оценка времени измерения одного сечения

$$\theta_{изм} = \xi_2 - \xi_1.$$

в) в зависимости от используемого источника, метода измерений и обработки данных проверяется выполнение условий.

Варианты параметров № 2 и 3 (обработка данных методом построения сплайн-функции).

Проверяется выполнение условия

$$\Delta \xi_{2,3}^{max} < \infty_{спл},$$

где $\Delta \xi_{2,3}^{max}$ - максимальное угловое расстояние между замерами сигнала

$$\Delta \xi_3^{max} = \Omega(5\tau + \Delta t) \quad (\text{вариант } \# 3),$$

$$\Delta \xi_2^{max} = \Omega_0 \Delta t. \quad (\text{вариант } \# 2).$$

Если это условие не выполняется для варианта № 3, то проверяется его выполнение и для варианта № 2.

Вариант параметров № I - при измерениях сечения ДН по слабому звездному источнику обработку данных предполагается проводить методом параметрического оценивания (МПО), который дает следующую оценку относительной погрешности определения КУ и параметров главного лепестка $\delta\theta$:

$$\delta\theta \leq \delta\theta_{max} = 2,7 \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_a^{(анр)}} \right) \sqrt{\frac{\Delta \xi}{\Delta F_{0,5}^{(анр)}}},$$

где

$$\Delta T_a^{(анр)} = \frac{S_y \sigma_{геом}}{6900}$$

- оценка приращения антенной температуры $\Delta T_a^{ист}$, К, для оценки принято: КИП = 0,5; КИЦ = 0,8; ΔT_1 - флуктуационный порог чувствительности РДМ (см. п. 3, раздел. 2.I); $\Delta \xi = N_k \Omega_0 \Delta t$ - среднее угловое расстояние между выборками сигнала.

Проверяется выполнение условия достаточной чувствительности РДМ

(для измерений по источнику заданной интенсивности):

$$\delta \theta_{\max} \leq 0,1.$$

Если это условие не выполняется для заданного N_k , и $N_k > N_k^{\min} = \text{entier}(\sqrt{3\tau/\Delta t} + 0,5)$, то проверить его выполнение для N_k^{\min} ;

г) проверка реализуемости заданной программы в заданное время:

$$D_{ik}^{\text{кон}} \leq D_4,$$

где $D_{ik}^{\text{кон}}$ - время окончания заданной программы измерений. Для каждого сечения i проверяется выполнение условия

$$D_i^{\text{кон}} \leq D_4,$$

$$D_i^{\text{кон}} = D_i^{\text{нач}} + \Delta D_{4i}, \quad (4.5)$$

$$D_i^{\text{нач}} = D_{i-1}^{\text{кон}} + \Delta D_{\text{обр}} \text{IQQ},$$

$$\text{IQ} = \begin{cases} I, & \text{если } i \text{ кратно } Q, \\ 0 & \end{cases}$$

$\Delta D_{\text{обр}}$ - время обработки одного сечения

$$\Delta D_{4i} = \Delta D_{\text{всп}} + \Delta D_{\text{сеч } i} + \Delta D_{\text{ист } IK},$$

$$IK = \begin{cases} I, & \text{если } i \text{ кратно } K_1, \\ 0 & \end{cases}$$

$$\Delta D_1^{\text{нач}} = D_3 + \Delta D_{\text{вч}} + \Delta D_{\text{ист}} + \Delta D_{\text{пш}} \cdot 2 \times \text{пш}, \quad \text{если } D < D_3,$$

$$\Delta D_1^{\text{нач}} = D + \Delta D_{\text{вч}} + \Delta D_{\text{ист}} + \Delta D_{\text{пш}} \cdot 2 \times \text{пш}, \quad \text{если } D > D_3.$$

Возможные значения $\Delta D_{\text{всп}}$ ($\Delta D_{\text{всп } 1,2,3}$) для каждого из трех вариантов параметров вычислены в п. 4.2. ($IM = I$).

Примечание: если для варианта № 3 не выполнено условие (з), то при оценке $\Delta D_{\text{ц}}$ считать $\Delta D_{\text{всп}} = \Delta D_{\text{всп } 2}$. О результатах проверки реализуемости заданной программы измерений выдается на АИД следующая информация:

а) если не выполнено (а), то выдается $n(Q_0) = \Delta F_{0,5}^{(\text{апр})} / Q_0 \Delta t$ (символьное обозначение и числовое значение),

б) оценка величины $\Delta D_{\text{сеч}}$, в минутах,

в) как будет измеряться сечение ДН: с переключением ослаблений (если так задано в ИП и выполнено (в) для $\Delta \xi_3^{\max}$) или без переключений (задан вариант № 2, либо не выполнено (в) для варианта № 3, но выполнено (в) для $\Delta \xi_2^{\max}$); оценка величины $\delta \theta_{\max}(N_k)$ и $\delta \theta_{\max}(N_k^{\min})$ для варианта № 1,

г) границы временного интервала, в течение которого источник и опорные находятся в сектора измерений, оценка величин $\Delta D_{\text{ц}}$ для двух значений ИК (символьное обозначение, числовое значение, размерность, $\Delta D_{\text{ц}}$ в минутах), последнее из значений, для которого выполняется (г).

Оператор имеет возможность:

1) Отпечатать это сообщение в протоколе испытаний,

2) "Продолжить действия по программе" (например, если все условия реализуемости выполнены, либо полученные значения $\delta \theta_{\max}$ или i удовлетворяют оператора), причем $D_1 := D_3$, $D_2 := D_4$.

В данном случае (п. 4.1) по команде оператора "Продолжить действия по программе" выполняется "Переход к измерениям":

а) если $D \geq D_1$, то начинается выполнение эксперимента (п. 5, см. разд. 3),

б) если $D_1 - \Delta D_{\text{тк}} < D < D_1$, то выполнение п. 5 начинается с момента D_1 ,

в) если $D < D_1 - \Delta D_{\text{тк}}$, то, начиная со времени $D_1 - \Delta D_{\text{тк}}$, проводится начальная "тепловая калибровка", а затем начинается выполнение эксперимента (п. 5).

3) Снять задачу со счета.

4) Провести коррекцию некоторых параметров из массива ИП (в зависимости от выполнения условий реализуемости):

а) после коррекции оператором каких-либо из параметров: $x_{\text{спл}}$, N_0 , N_k , $\Delta D_{\text{сеч}}^{\max}$, ИП , Q , K_1 по команде оператора повторяются вычисления, начиная с п. 4.3, с новыми параметрами,

б) после коррекции, кроме вышеперечисленных, каких-либо из следующих параметров: $\xi_{1,2}$ ($\alpha_{1,2}$, $\beta_{1,2}$), θ_0 , D_1 , D_2 по команде оператора повторяется выполнение п. 4.4 (с начала) с новыми параметрами,

в) после коррекции любого другого параметра из массива ИП (например, набора параметров, определяющего источник) по команде оператора $D_0 := D$ (текущее время) и повторяются все действия, начиная с п. 3, с новым набором ИП.

Коррекция параметров должна быть отражена в протоколе испытаний.

Измерение КУ.

4.4.3. Входные параметры: $D_1, D_2, D'_2, \Delta D_{\text{ист}}, \Delta D_{\text{пш}}, \Delta D_{\text{вч}}$

4.4.3.1. Оценка возможного числа циклов измерений

$$M_1 = \text{entier} \left(\frac{D_2 - D_1 - 2 \Delta D_{\text{пш}} - \Delta D_{\text{вч}}}{\Delta D_{\text{ист}}} \right),$$

если $D'_2 > D_2$, то считается еще значение

$$M_2 = \text{entier} \left(\frac{D'_2 - D_1 - 2 \Delta D_{\text{пш}} - \Delta D_{\text{вч}}}{\Delta D_{\text{ист}}} \right).$$

4.4.3.2. Сообщение для оператора на АПД: значения M_1 и M_2 - символическое обозначение, числовое значение. Возможные действия оператора описаны выше.

Угломерные и азимутальные сечения ДН.

4.4.4. Входные параметры:

а) данные из массива ИП: $\lambda, D_a, \tau, \Delta t, \Delta D_{\text{сеч}}^{\text{max}}, \theta_0, \tau_{\text{нав}}$, шифр источника, $S_D, \epsilon_{\text{геом}}$, метод обработки (и соответствующие ему параметры: $\mathcal{X}_{\text{спл}}, N_k, N_0$) режим работы программы (и соответствующие ему параметры: вид сечения, $M_0, \alpha_{1,2}, \beta_{1,2}$ и т.п.);

б) угловые координаты источника ($A_{\text{ист}}, h_{\text{ист}}$), угловые скорости движения источника по каждой из координат для предполагаемого времени измерений;

в) данные о времени: $D_1, D_2, \Delta D_{\text{вч}}, \Delta D_{\text{ист}}, \Delta D_{\text{пш}}, \Delta D_{\text{всп}}$,

г) $P_2, \Delta T_1$.

4.4.5. Порядок действий.

4.4.5.1. Вычисление начальных данных:

азимутальное сечение (проходящее через максимум ДН)

$$\beta_{\text{сеч}_i} = \beta_{\text{max}}, \quad \alpha_{\text{он}_1} = -\theta_0 \text{sign} \bar{\Omega}_A, \quad \alpha_{\text{он}_2} = \theta_0 \text{sign} \bar{\Omega}_A,$$

$$\alpha_{\text{нач}_i} = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 + (\alpha_1 - \alpha_2) / 2 \text{sign} \bar{\Omega}_A, \quad (4.6)$$

$$\alpha_{\text{кон}_i} = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 - (\alpha_1 - \alpha_2) / 2 \text{sign} \bar{\Omega}_A$$

угломерное сечение (проходящее через максимум ДН)

$$\alpha_{\text{сеч}_i} = \alpha_{\text{max}}, \quad \beta_{\text{он}_1} = -\theta_0 \text{sign} \bar{\Omega}_n, \quad \beta_{\text{он}_2} = \theta_0 \text{sign} \bar{\Omega}_n, \quad (4.7)$$

$$\beta_{нач_i} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} - \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \text{sign} \bar{\Omega}_n,$$

$$\beta_{кон_i} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} + \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \text{sign} \bar{\Omega}_n,$$

$\bar{\Omega}_A$ ($\bar{\Omega}_n$) - средняя угловая скорость движения источника по азимуту (углу места) за предполагаемый интервал времени измерений, $i = i_{нач}, \dots, i_{кон}$, $i_{кон}$ (в зависимости от режима), $i_{нач} > 1$ при возобновлении измерений после сбоя, если $D > D_2$ (по указанию оператора)

4.4.5.2. Проверка выполнения условий наличия опорных областей сечения в секторе измерений:

$$h_1 \leq h_{оп_{1,2}}^{сеч}(D) \leq h_2,$$

$$A_1 \leq A_{оп_{1,2}}^{сеч}(D) \leq A_2, \quad (4.8)$$

где $h_{оп_{1,2}}^{сеч}(D)$, $A_{оп_{1,2}}^{сеч}(D)$ координаты опорных областей сечения, которые определяются по следующим формулам:

азимутальное сечение

$$h_{оп_1}^{сеч}(D) = h_{оп_2}^{сеч}(D) = h_{ист}(D) - \beta_{сеч_i},$$

$$A_{оп_{1,2}}^{сеч}(D) = A_{ист}(D) - \frac{\alpha_{max} + \alpha_{оп_{1,2}}^{сеч}}{h_{оп_{1,2}}^{сеч}(D)}, \quad (4.9)$$

углоэстное сечение

$$A_{оп_{1,2}}^{сеч}(D) = A_{ист} - \frac{\alpha_{сеч_i}}{\cos h_{оп_{1,2}}^{сеч}(D)},$$

(4.10)

$$h_{оп_{1,2}}^{сеч}(D) = h_{ист} - (\beta_{max} + \beta_{оп_{1,2}}^{сеч}).$$

Для сечений, проходящих через максимум ДН $\beta_{сеч_i} = \beta_{max}$ ($\alpha_{сеч_i} = \alpha_{max}$).

Примечание: для режима "встировка" наличие опорных областей сечения в секторе измерений проверяется при $\alpha_{max}, \beta_{max} = -\frac{\lambda}{2D_a}, 0, \frac{\lambda}{2D_a}$.

Результующие параметры - границы временного интервала, где выполняются условия (4.8) - D_3, D_4 .

4.4.5.3. Вычисление $\omega_{\alpha, \beta}^{min}$; $\omega_{1,2,3}^{max}$ - минимальной и максимальной (допустимых по условиям эксперимента) угловых скоростей движения

антенны относительно источника:

$$а) \omega_{\alpha}^{\min} = (\alpha_2 - \alpha_1) / \Delta D_{\text{сеч}}^{\max} - \text{для азимутального сечения,} \quad (4.10)$$

$$б) \omega_{\beta}^{\min} = (\beta_2 - \beta_1) / \Delta D_{\text{сеч}}^{\max} - \text{для угломестного сечения,}$$

$$\omega_3^{\max} = \frac{x_{\text{спл}}}{5\tau + \Delta t}, \quad \omega_2^{\max} = \frac{x_{\text{спл}}}{\Delta t},$$

$$\omega_1^{\max} = \frac{\Delta F_{0,5}^{(\text{анр})}}{N_k \Delta t} \left(\frac{\Delta T_{\alpha}^{(\text{анр})}}{27 \Delta T_1} \right)^2, \quad (4.12)$$

где

$$\Delta F_{0,5}^{(\text{анр})} = \lambda / D_a \text{ [рад.]} ,$$

$$\Delta T_{\alpha}^{(\text{анр})} = S_{\gamma} \epsilon_{\text{геом}} / 6900 \text{ [К]} ,$$

ω_1^{\max} - получено из условия на допустимую ошибку определения параметров ДН при обработке МПО: $\delta\theta(\omega_1^{\max}) = 0,1$.

Для соответствующего варианта параметров проверяется выполнение условий

$$\omega_{\alpha,\beta}^{\min} \leq \frac{\Delta F_{0,5}^{(\text{анр})}}{N_0 \Delta t}, \quad (4.13)$$

$$\omega_{\alpha,\beta}^{\min} \leq \omega_{1,2,3}^{\max} .$$

Если эти условия выполняются - переход дальше по программе ("Выбор скорости движения антенны"). Если какое-либо из условий (4.13) не выполняется, то на АЦД появляется сообщение об этом, а также значения:

Вариант № 3: $\Delta D_{\text{сеч}}^{\max}(\omega_3^{\max})$, $x_{\text{спл}}(\omega_{\alpha,\beta}^{\min})$, информация о соотношении ω_2^{\max} и $\omega_{\alpha,\beta}^{\min}$.

Вариант № 2: $\Delta D_{\text{сеч}}^{\max}(\omega_2^{\max})$, $x_{\text{спл}}(\omega_{\alpha,\beta}^{\min})$.

Вариант № 1: $\Delta D_{\text{сеч}}^{\max}(\omega_1^{\max})$, $\delta\theta(\omega_{\alpha,\beta}^{\min})$, $\delta\theta(\omega_{\alpha,\beta}^{\max}(N_k^{\min}))$, если не выполнено второе из условий (4.13), $N_0(\omega_{\alpha,\beta}^{\min})$, если не вы-

полнено первое из условий.

Передача управления оператору. Возможные действия оператора описаны выше (I). По команде "Продолжить действия по программе" - переход к "Выбору скорости движения антенны".

Примечание: Если в ИП задан 3-й вариант параметров, но не выполнено второе из условий (4.13) и дана команда продолжить действия по программе, то сечение будет измеряться без переключения шкал РДМ (соответственно должны измениться параметры и переменная, определяющая номер варианта, и это должно быть отражено в протоколе испытаний); при измерениях по Солнцу $\Pi_{III} = 0$

4.4.5.4. Выбор угловой скорости движения антенны при измерении азимутального (v_A) и угломестного (v_h) сечения ДН:

$$\begin{aligned} v_A^+ &= \bar{\Omega}_{A_i} - \frac{\omega_i}{\cos h_{ист i}} \operatorname{sign} \bar{\Omega}_A, \\ v_{A_i}^- &= \bar{\Omega}_{A_i} + \frac{\omega_i}{\cos h_{ист i}} \operatorname{sign} \bar{\Omega}_A; \\ v_{h_i}^+ &= \bar{\Omega}_{h_i} - \omega_i \operatorname{sign} \bar{\Omega}_h, \\ v_{h_i}^- &= \bar{\Omega}_{h_i} + \omega_i \operatorname{sign} \bar{\Omega}_h, \end{aligned} \quad (4.14)$$

где $v_{A_i}^+$ ($v_{h_i}^+$) - скорость движения антенны при измерении сечения от $00_1^{сеч i}$ к $00_2^{сеч i}$, $v_{A_i}^-$ ($v_{h_i}^-$) - скорость движения антенны при

измерении сечения в обратном направлении: от $00_2^{сеч i}$ к $00_1^{сеч i}$, $\bar{\Omega}_{A_i}$ ($\bar{\Omega}_{h_i}$) - средняя угловая скорость движения источника по азимуту (углу места), $h_{ист i}$ - среднее значение координаты за предполагаемый интервал времени измерения сечения i : $[D_i^{нач}, D_i^{кон}]$ (см. ниже), ω_i - угловая скорость движения антенны относительно источника при измерении сечения ДН (в частности, все ω_i могут получиться одинаковыми, если измеряются сечения одного вида).

должны быть таковы, чтобы выполнялись следующие условия реализуемости измерений:

$$a) \frac{\Delta F_{0,5}^{(анр)}}{\Delta \xi} \geq N_0, \quad (4.15)$$

$\Delta \xi = \omega_i \Delta t$ - среднее угловое расстояние между замераи;

$$б) \omega^{\min} \leq \omega_i \leq \omega^{\max}, \quad (4.16)$$

где $\omega^{\min} = \omega^{\min}$ - для азимутального сечения,

$\omega^{\min} = \omega^{\min}$ - для угломестного сечения,

$\omega^{\max} = \omega_{1,2,3}^{\max}$ - соответственно для вариантов № 1, 2, 3;

в) угловая скорость движения антенны при измерении сечения ДН не должна превышать максимальную скорость (при которой реализуется заданная точность движения по траектории):

$$|v_{A_i}^+| \leq v_A^{\max},$$

$$|v_{h_i}^{\pm}| \leq v_h^{\max};$$

г) реализуемость заданной программы измерений в заданное время

$$D_{i_k}^{\text{кон}} \leq D_4, \quad (4.17)$$

где $D_{i_k}^{\text{кон}}$ - предполагаемое время окончания измерений по заданной программе

$$i_k = \begin{cases} M_0 & - \text{"одно сечение"} \\ 2M_0 & - \text{"два ортогональных сечения"}, \\ i_k \geq 4 & - \text{"вставка"}, \end{cases}$$

Границы предполагаемого интервала времени измерения сечения можно оценить, исходя из оценки времени выполнения вспомогательных измерений, времени измерения сечения и времени начала измерений ($D_0^{\text{нач}}$):

$$D_0^{\text{нач}} = \begin{cases} D_3 & , \text{ если } D < D_3, \\ D & , \text{ если } D \geq D_3, \end{cases}$$

$$D_1^{\text{нач}} = D_0^{\text{нач}} + \Delta D_{\text{пш}} 2\Pi\omega + \Delta D_{\text{вч}} + \Delta D_{\text{ист}},$$

$$D_{i_k}^{\text{кон}} = D_{i_k}^{\text{нач}} + \Delta D_{\text{ч}i},$$

$$D_{i_k}^{\text{нач}} = D_{i_k-1}^{\text{кон}} + Q I Q I M \Delta D_{\text{обр}},$$

$$IQ = \begin{cases} I, & \text{если } i \text{ кратно } Q \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$\Delta D_{обр}$ - время обработки одного сечения,

$$\Delta D_{ц_i} = \Delta D_{всп} + \Delta D_{сеч_i} \text{ IM} + \text{IK} \Delta D_{ист},$$

$$\text{IK} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{ кратно } K_1, \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$$\text{IM} = \begin{cases} 2, & \text{если измеряются два сечения в цикле } i \\ & \text{(при движении от } OO_1^{сеч_i} \text{ к } OO_2^{сеч_i} \text{ и обратно)}, \\ 1, & \text{если одно сечение, со скоростью } v_{A,h}^+ \end{cases}$$

$$\Delta D_{сеч_i} = \frac{\theta_{изм_i}}{\omega_i},$$

$$Q_{изм_i} = \begin{cases} \alpha_1 - \alpha_1 & - \text{азимутальное сечение} \\ \beta_2 - \beta_1 & - \text{угломестное сечение} \end{cases}.$$

Для каждого цикла измерений m проверяется выполнение условия

$$D_m^{кон} \leq D_4,$$

в частности, в режиме "одно сечение" $m=i$, в режимах "два сечения" и "фризозна" в цикл измерений входят циклы измерений по каждой координате, $i = m_A + m_h$.

Алгоритмы выбора ω_i :

1) $\omega_{\alpha,\beta}^{min} = \omega_{1,2,3}^{max}$, либо $\omega_{\alpha,\beta}^{min} > \omega_1^{max}$ но оператора устраивает значение $\theta(\omega^{min})$ и дана команда "Продолжить действия по программе", либо $\omega_{\alpha,\beta}^{min} = \Delta F_{0,5}^{(анр)} / N_0 \Delta t$.

Проверяется выполнение условий реализуемости (α, β, γ) для $\omega_i = \omega_{\alpha,\beta}^{min}$.

Если эти условия выполняются, то на АЦД появляется для оператора сообщение об этом. Возможные действия оператора описаны выше (п.1) (например, отпечатать это сообщение в протоколе испытаний и перейти к измерениям: $D_1 := D_3, D_2 := D_4$). Если какое-либо из условий не выполняется для данного ω_i , то появляется сообщение, какие из условий не выполнены, например, значение $n(\omega_i)$ (число замеров в пределах лепестка ДН при данной скорости движения антенны относительно источника); $v_{A_i}^+$ или $v_{A_i}^-$ или $v_{h_i}^+, v_{h_i}^-$ (если не выполнено (в)), последнее из значений i , для которого $D_i^{кон} \leq D_4$.

Передача управления оператору. Действия оператора описаны выше (например, $IM = I$, если для $\psi_{A,h}^-$ не выполнено (в) и снова повторить проверку реализуемости (4.3)).

$$2) \omega_{\alpha,\beta}^{\min} < \omega_{1,2,3}^{\max}, \quad \omega_{\alpha,\beta}^{\min} < \frac{\Delta F_{0,5}^{(a, \text{пр})}}{N_0 \Delta t}, \quad \omega_i^{(0)} = \omega_{\alpha,\beta}^{\min},$$

либо $\omega_{1,2,3}^{\max}$, либо $(\omega_i^{\min} + \omega_i^{\max})/2$ вариант $\omega_i^{(0)}$ задает оператор (для всех i сразу). Если все условия реализуемости выполнены для данного набора ω_i , то для оператора появляется сообщение об этом. Оператор должен иметь возможность

- проверить условия реализуемости для другого варианта $\omega_i^{(0)}$,
- перейти к измерениям с данными ω_i ; $D_1 := D_3$; $D_2 := D_4$.

Если не выполняется только (а) и(или) (в) для большей (по модулю) из скоростей ψ^+ , ψ^- ($IM = 2$), то

$$\omega_i^{(k+1)} := (\omega_i^k + \omega_i^{\min})/2$$

для всех i , соответствующих сечению данного вида. Для остальных

$$\omega_i^{(k+1)} = \omega_i^{(k)}.$$

Если не выполнено только (в) для обеих скоростей ($IM = 2$) либо (а) и (в), то на АЦД появляется сообщение об этом. Действия оператора описаны выше (оператор корректирует параметры).

Если для какого-либо $\omega_i^{(k)}$ не выполнено (в) ($IM = I$), то для всех i соответствующих сечению данного вида

$$\omega_i^{(k+1)} := \frac{\omega_i^{(k)} + \omega_i^{(k+1)}}{2}.$$

Если не выполнено только условие (г), то на АЦД появляется сообщение об этом и значение i (либо m_A , m_H , m), для которого $D_i^{\text{кон}} \leq D_4$.

Оператор должен иметь возможность:

- а) отпечатать это сообщение в протоколе испытаний;
- б) продолжить выбор ω_i , в этом случае

$$\omega_i^{(k+1)} := \frac{\omega_i^{(k)} + \omega_i^{\max}}{2};$$

в) начать измерения с данным набором ω_i ($D_1 := D_3$; $D_2 := D_4$) по команде оператора - "переход к измерениям";

г) провести коррекцию параметров (и далее - как описано выше - п. I).
Возможны другие алгоритмы выбора ω_i

5. УСТАНОВКА УРОВНЯ ПОДДУМЛИВАНИЯ^{†)}

Внешние устройства РДМ, САУ, СИНХ, ТМ.

Установка уровня состоит из следующих этапов:

5.1. Наведение антенны на область неба (САУ).

5.2. Сопровождение области неба (САУ)

Одновременно с "сопровождением" выполняются:

5.3. Измерение уровня поддумливания (РДМ, ТМ) - "Измерение сигнала" при 3-х различных состояниях РДМ.

5.4. Статистическая обработка данных измерений.

5.5. Тепловая калибровка РДМ (РДМ, ТМ).

5.6. Проверка отсутствия дрейфа усиления.

5.7. Проверка отсутствия помехи.

5.8. Вычисление кода установки уровня поддумливания.

Описание процедур "Тепловая калибровка", "Измерение сигнала" см. выше.

5.1. Наведение антенны на область

Внешние устройства: САУ, СИНХ.

5.1.1. Входные параметры:

а) режим функционирования САУ,

б) данные о координатах области,

в) данные об исходной ориентации антенны.

5.1.2. Порядок действий.

При режимах функционирования САУ "САУ-1" и САУ-0,5" - взаимодействие с САУ. В САУ поступают данные об ориентации антенны и траектории движения области: $h_{обл}(D)$, $A_{обл}(D)$ и скорости движения по каждой из координат Ω_h , Ω_A - либо рассчитанные заранее на весь интервал времени последующих измерений (в этом случае $h_{обл}(D_p)$, $A_{обл}(D_p)$, Ω_{hp} , Ω_{Ap} указываются во входных данных), либо рассчитываются по мере надобности согласно формулам

$$h_{обл}(D) = h_{ист}(D + t_{обл}) - (\Delta\beta_{обл} + \beta_{max}), \quad (5.1)$$

^{†)} Измерение главного лепестка ДН по Солнцу проводится без поддумливания: $\text{III} = 0$ (пп. 5 и 16 разд. 2.1 не выполняются, если $\text{III} \neq 0$).

$$A_{\text{обл}}(D) = A_{\text{ист}}(D+t_{\text{обл}}) - \frac{\Delta\alpha_{\text{обл}} + \alpha_{\text{max}}}{\cos h_{\text{обл}}(D)},$$

где $h_{\text{ист}}$, $A_{\text{ист}}$ - рассчитываются по программе расчета угловых координат внеземных источников радиоизлучения (см. Приложение I). В этом случае во входных параметрах к п. 5.I указываются в качестве данных о координате области:

- шифр источника,
- список параметров, задающих его координаты, $(\alpha_{\text{ист}}, \delta_{\text{ист}}, S_0, \lambda_E,$
 $\varphi, N, N_\Delta)$ - для звездного источника, $(E_0^{0,+1}, \delta_0^{0,+1}, S_0, \lambda_E,$
 $\varphi, N, N_\Delta)$ - для Солнца,
- данные о времени измерений,
- $\alpha_{\text{max}}, \beta_{\text{max}}$ - данные о разъюстировке,
- $\Delta\alpha_{\text{обл}}, \Delta\beta_{\text{обл}}$ - угловое расстояние области от источника по каждой из координат,
- $t_{\text{обл}}$ ($t_{\text{обл}} \neq 0$, если требуется навестись на некоторую упреждающую точку).

Данные $\Delta\alpha_{\text{обл}}, \Delta\beta_{\text{обл}}$ для каждой из опорных областей сечения рассчитываются в п. 4.

При наведении антенны на источник $\Delta\alpha_{\text{обл}} = \Delta\beta_{\text{обл}} = 0$, при отведении на опорную область по азимуту $\Delta\beta_{\text{обл}} = 0$, а $\Delta\alpha_{\text{обл}} = \pm \theta_0$, либо $\pm \theta_m$; при наведении антенны на начальную точку сечения $\Delta\alpha_{\text{обл}} = 0$; $\Delta\beta_{\text{обл}} = \beta_{\text{нач}i} - \beta_{\text{max}}$ (угломестное сечение), $\Delta\beta_{\text{обл}} = 0$; $\Delta\alpha_{\text{обл}} = \alpha_{\text{нач}i} - \alpha_{\text{max}}$ (азимутальное сечение). Во всех этих случаях $t_{\text{обл}} = 0$, а сечения проходят через максимум ДН. $t_{\text{обл}} \neq 0$ и рассчитывается заранее (см. разд. 4) в том случае, если нужно выставить антенну в упреждающую точку траектории движения источника (для измерения сечения ДН по траектории), но в этом случае $\Delta\alpha_{\text{обл}} = \Delta\beta_{\text{обл}} = 0$. Для отведения в опорные области по траектории источника $t_{\text{обл}} = \pm t_{\text{оп}}$ в начальную точку сечения $t_{\text{обл}} = t_0$ ($t_{\text{оп}}, t_0$ - вычисляются в разд. 4).

Формула (5.1) и различные варианты входных параметров исчерпывают все случаи, предусмотренные различными режимами программы измерений РТХ антенны. При проведении юстировки последовательными приближениями после каждого шага должны меняться значения $\alpha_{\text{max}}, \beta_{\text{max}}$. В остальных режимах эти величины не меняются в ходе измерений и равны заданным в ИП значениям $\alpha_{\text{max}}^{(0)}, \beta_{\text{max}}^{(0)}$.

При совпадении ориентации антенны, наводимой САУ на заданную область, с координатами $h_{обл}$, $A_{обл}$ (с точностью, обеспечиваемой координатным устройством антенны) от САУ поступает команда к началу выполнения следующей операции.

Дальнейшие возможные действия САУ: "Сопровождение области", обеспечение постоянной ориентации антенны, выставленной в упреждающую точку траектории источника, "Ведение по траектории" - будут описаны ниже.

В данном случае наведение происходит на опорную область (см. Примечание к п. 5), а следующие операции - это проводимые одновременно "Сопровождение области" и "Измерение уровня поддумливания".

5.2. Сопровождение области

Внешние устройства: САУ, СИХ.

Требования:

САУ обеспечивает сопровождение антенной некоторой области, координаты которой на каждый момент времени рассчитываются по формулам, приведенным в п. 5.1.

5.3. Измерение уровня поддумливания

Внешние устройства: РДМ, ТМ.

Измерения состоят из трёх последовательно проводимых процедур "Измерение сигнала" при различной коммутации входа РДМ (остальные параметры, в том числе определяющие состояние РДМ во всех трех случаях одинаковы

- фаза модуляции (Φ^+),
 - поддумливание (отсутствует, $U_{ш} = 0$),
 - состояние ПШ (выкл., $I_1 = 0$),
 - ослабление (по ПЧ и НЧ - соответствует положению переключателей ПЧ₃, П₃),
 - число замеров ($P = P_1$, интервал между выборками Δt):
- 1) Коммутация входа - опорная нагрузка ($I_2 = I_2(ОН)$); состояние РДМ обозначим $R_{4п}$.

Результирующие данные - массив $u_1 [1: P_1]$.

2) $I_2 = I_2(ВХ)$ (РДМ - $R_{3п}$)

Результирующие данные - $u_2 [1: P_1]$.

3) $I_2 = I_2$ (ОН) (повторные измерения в состоянии $R_{4п}$).

Результирующие данные - \bar{U}_3 [1; P_1].

Полученные данные подвергаются обработке с целью определения их средних значений $\bar{U}_{1,2,3}$ и среднеквадратичных отклонений $\Delta_{1,2,3}$.

5.4. Проверка отсутствия дрейфа усиления РДМ

(см. также программу "КПД")

5.4.1. Входные данные: $\Delta U_{гш1}$, $\Delta U_{гш2}$, ϵ

Проверяется выполнение условия $WУ \leq \epsilon^2$, где $WУ = \left| \frac{\Delta U_{гш1}}{\Delta U_{гш}} - 1 \right|$,

$\Delta \bar{U}_{гш} = \frac{1}{2} (\Delta U_{гш1} + \Delta U_{гш2})$, $\Delta U_{гш1,2}$ - результаты двух тепловых калибровок (в данном случае п. 3 и п. 5.5), проводимых до ($\Delta U_{гш1}$) и после ($\Delta U_{гш2}$) измерений с подключением антенного тракта. При выполнении условия $WУ \leq \epsilon$ - индикация наличия сбоя (подробнее см. "Сб. ситуации").

5.5. Проверка отсутствия помехи

Проверяется выполнение условия $WП \leq 0,3$, где $WП = \left| \frac{\Delta_2^2}{\Delta^2} - 1 \right|$,
 $\Delta^2 = \frac{1}{2} (\Delta_1^2 + \Delta_2^2)$, $\Delta_{1,2,3}$ - данные п. 5.4 (статистическая обработка).

Если условие отсутствия помехи не выполняется - повторяют измерения уровня поддумливания еще раз.

Если при повторных измерениях также отмечено появление помехи - производится индикация (печать) наличия сбоя, передача управления оператору (см. "Сбойная ситуация").

5.6. Вычисление кода установки уровня поддумливания

5.6.1. Входные параметры: $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \gamma_3, ТК_2, T_{гшп}$, где $\bar{U}_{1,2,3}$ - средние уровни сигналов ОН и опорной области (п. 5.3), γ_3 - пересчетный коэффициент, $ТК_2$ - результат последней тепловой калибровки.

5.6.2. Порядок действий.

5.6.2.1. $\Delta U_{ш} = (\bar{U}_{он} - \bar{U}_{оп}) \gamma_3 = \left[\frac{1}{2} (\bar{U}_1 + \bar{U}_3) - \bar{U}_2 \right] \gamma_3$,
 $\Delta T_{ш} = ТК_2 \Delta U_{ш}$ - уровень поддумливания в [К].

5.6.2.2. Вычисление кода установки поддумливания по данным о требуемой температуре поддумливания $\Delta T_{ш}$ и температуре ГШП $T_{гшп}$.

Поддумливание определяется один раз для всего времени измерений (либо до появления сбоя) по среднему уровню сигнала опорных областей. Для этого процедура "Установка уровня поддумливания" проводится дважды для каждой из опорных областей первого из измеряемых сечений. Если коды установки поддумливания получились разными для двух опорных областей, то устанавливается средний уровень поддумливания, соответствующий

$$\overline{\Delta T_{ш}} = \frac{1}{2} (\Delta T_{ш1} + \Delta T_{ш2}).$$

Координаты для опорных областей сечения вычисляются в п.4.

В ходе выполнения эксперимента уровень поддумливания корректируется по изменению среднего уровня сигнала опорных областей (без дополнительных измерений).

Л и т е р а т у р а

1. Турчин В.И., Цейтлин Н.М. Радиотехника и электроника, 1979, т. 24, № 12.
2. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. - М.: Сов. радио, 1976.
3. Гудман С., Хидешниами, С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. - М.: Мир, 1981.

Дата поступления статьи
3 декабря 1984 г.

Валерия Викторовна Снегирева
Юрий Иванович Белов
Николай Александрович Дугин
Ольга Аркадьевна Зорина
Виктор Игоревич Турчин

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН
(алгоритмы управления измерениями и вычисления характеристик)
. Ч а с т ь 1

Подписано в печать 29.05.85 г., МШ 01611. Формат 60 x 84 1/16
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 2,98 усл. л. л. Тираж 120.
Заказ 4180. Бесплатно.

Отпечатано на ротационной НРФИ