

УДК 681.758

А. С. Набатов¹, А. Г. Петренко¹, А. М. Цюх², В. Н. Нестерук²,
В. Н. Пранцузов², В. П. Власенко², Р. Н. Залужный², О. Н. Пискун²

¹Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України, Харків
asna@evpatoria.com

²Національний центр управління та випробувань космічних засобів Національного космічного агентства України, Євпаторія
tsyukh@evpanet.com

Измерения погрешностей наведения антенны радиотелескопа РТ-70 с помощью источников естественного радиоизлучения

Надійшла до редакції 17.10.05

У 2004 р. досліджувались похибки наведення антени радіотелескопа РТ-70 (Євпаторія), для чого була розроблена методика їхнього визначення з використанням природних радіоджерел. Досліджено залежність помилок наведення антени від кутомірних координат. Розроблено програмний комплекс, що дозволяє автоматично враховувати похибки наведення ще на етапі указання цілі.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших условий успешного проведения радиоастрономических, радиофизических измерений и сеансов связи с космическими аппаратами является точное движение антенны по заданной программе. Особенно это актуально для крупногабаритных антенн в диапазонах длин волн, где ширина диаграммы направленности сравнима с ошибками системы наведения. При таких условиях возможно существенное уменьшение уровня принимаемого сигнала за счет неточности наведения [1, 3]. Так на радиотелескопе РТ-70, расположенном в районе г. Евпатория, ошибки наведения достигают нескольких угловых минут при ширине диаграммы направленности в диапазонах длин волн 6 и 3.5 см соответственно 3' и 2' [6]. В связи с этим возникла необходимость проведения цикла экспериментальных исследований погрешностей наведения антенны радиотелескопа РТ-70, что, в свою очередь, привело к разработке методики измерений.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАВЕДЕНИЯ АНТЕНН

Ошибка наведения антенны на радиоисточник определяется по отклонению направления максимума диаграммы направленности от программных значений в используемой системе координат [5]. Для ее измерения антенну отклоняют на заданный угол по одной координате и по положению максимума принимаемого сигнала определяют погрешность наведения. Аналогично проводятся измерения по другой координате. Для крупногабаритных антенн преимущественно используется топоцентрическая система координат [2], осями которой являются азимут A и угол места h (высота), которую мы в дальнейшем и рассматриваем. Для измерений используются точечные источники радиоизлучения, например квазары и космические аппараты. Набор статистических данных для различных положений по углу места h и азимуту A позволяет вычислить систематические ошибки по обеим координатам и дисперсию случайных ошибок.

Проведение такого цикла экспериментальных исследований требует значительных временных затрат. В связи с этим для измерений необходимо использовать различные режимы работы антенны, одним из которых является режим сканирования, когда антенна при движении по программе поочередно отклоняется в одну и другую сторону на заданный угол в азимутальной или угломестной плоскостях.

Погрешность сопровождения определяется по сдвигу отклика принимаемого сигнала относительно расчетного положения антенны, для чего записываются временные метки и метки скана, выдаваемые через заданное дискретное значение отклонения антенны от программы и градуирующие ее угловое положение. Причем при движении в одном направлении максимум отклика находится по одну сторону центральной метки скана, а при движении обратно — по другую. Одновременно можно находить погрешность по второй координате по изменению амплитуды отклика, однако определить при этом знак невозможно. В результате измерений можно получить оценки случайной и систематической погрешности наведения.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАВЕДЕНИЯ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ КВАЗАРОВ

Методика была реализована на антенне радиотелескопа РТ-70 в диапазонах длин волн 6 и 3.5 см. Измерения проводились с использованием сканирования по углу места при программном сопровождении квазаров ЗС147 и ЗС295 в течение трех дней. Диапазон охваченных углов исследований представлен на рис. 1 в полярной системе координат, где вдоль осей отложен угол места h , а полярные углы определяют азимуты A наблюдаемого радиисточника. Видно, что измерения выполнены практически на всех углах места, что позволяет построить адекватные зависимости для ошибок наведения антенны на радиисточники. Из опыта эксплуатации известно, что погрешности наведения антенны по азимуту стабильны на всех углах, поэтому проведенных измерений достаточно для их оценки.

Схема измерений представлена на рис. 2. Вычислительно-управляющий комплекс обеспечивает программное сопровождение радиисточ-

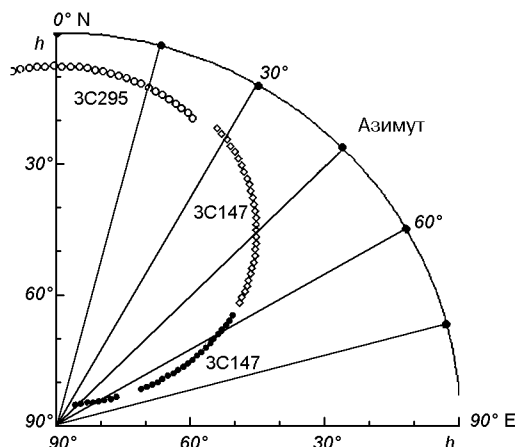


Рис. 1. Диапазон исследованных углов места h и азимутов A

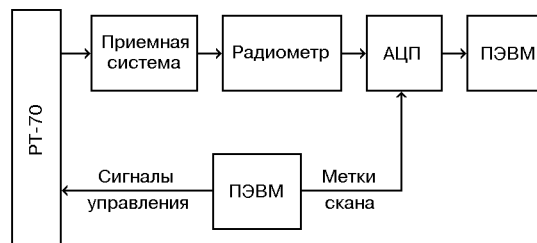


Рис. 2. Схема измерений погрешностей наведения антенны

ника и сканирование по заданной координате путем выдачи соответствующих сигналов на исполнительный привод. Принимаемый антенной сигнал поступает в высокочувствительную криогенную приемную систему, где происходит его усиление и перенос на промежуточную частоту. Далее он детектируется радиометром и через аналогово-цифровой преобразователь вводится в ПЭВМ. Синхронно с принимаемым сигналом регистрируются метки скана, поступающие на цифровой вход АЦП из вычислительно-управляющего комплекса (цифровые импульсы, которые выдаются при отклонении антенны от программного значения с заданным интервалом). Таким образом можно привязать уровень принимаемого сигнала к отклонению антенны от программного значения.

При сопровождении радиисточников ЗС147 и ЗС295 задавались следующие параметры скана: амплитуда — $5'$, скорость — $5''/с$, каждая метка скана выдавалась один раз в 12 с, т. е. метки

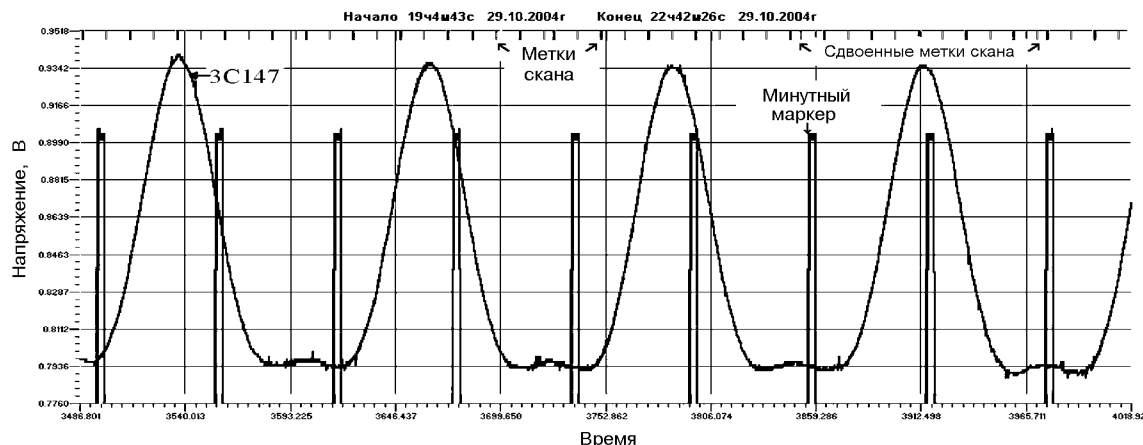
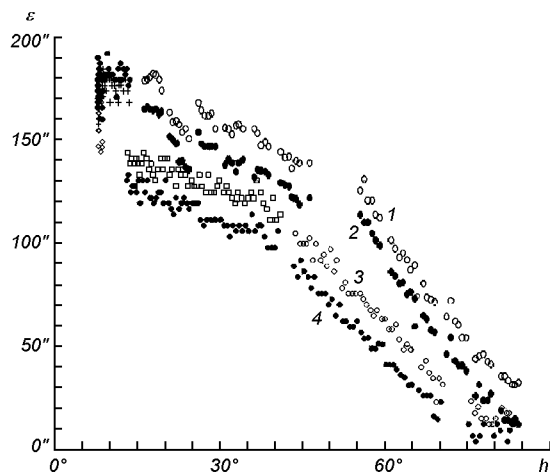


Рис. 3. Образцы сканов

Рис. 4. Зависимость измеренных значений погрешностей наведения антенны от угла места h

следовали через $1'$. Максимальным отклонениям в одну и другую сторону соответствуют сдвоенные метки. Образцы сканов радиоисточника 3C147 на длине волны 6 см представлены на рис. 3. По смещению основного лепестка диаграммы направленности относительно центральной метки скана (относительно сдвоенных меток) определялась динамическая погрешность наведения антенны по углу места.

Анализ полученных данных показал, что случайная ошибка не превышала $10''$, а систематическая изменялась от нескольких угловых секунд на больших углах места h до $3'$ в десяти-

градусной угломерной зоне. Результаты измерений погрешностей наведения антенны с помощью естественных радиоисточников представлены на рис. 4.

Два нижних ряда точек (3, 4) соответствуют измерениям погрешностей наведения антенны на длине волны $\lambda = 6$ см, два верхних (1, 2) — $\lambda = 3.5$ см, причем ряды 2, 4 соответствуют движению антенны вниз, а ряды 1, 3 — вверх. В целом зависимость систематической ошибки линейна по косинусу угла места, который пропорционален моменту силы тяжести. Но в области углов места $h = 45\text{--}50^\circ$ отмечается нелинейность, обусловленная перевесом центра масс антенны в сторону зеркальной части. Разрыв данных для длины волны 3.5 см в районе $h = 50^\circ$ обусловлен отсутствием измерений. Согласно опыту эксплуатации антенны это не должно повлиять на общие результаты исследования.

Полученные ошибки наведения на разных длинах волн в принципе повторяют друг друга, однако между ними наблюдается систематическая разность около $40''$. Это можно объяснить конструктивными особенностями построения зеркальной системы радиотелескопа РТ-70 [4], прежде всего погрешностью установки облучателей 6 и 3.5 см.

Для устранения ошибок наведения антенны на радиоисточники разработано программное обеспечение, которое учитывает полученные экспериментальным путем результаты измерений погрешностей на этапе подготовки целеуказаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для успешного решения задач радиоастрономии и управления космическими аппаратами необходимо точное движение антенны по заданной программе. При этом необходимо учитывать возникающие при этом ошибки наведения.

Разработанная авторами методика измерения погрешностей наведения антенн с помощью источников естественного радиоизлучения и радиосигналов космических аппаратов позволяет определить ошибки, а полученные с ее помощью результаты используются при введении поправок на этапе подготовки целеуказаний.

Полученные результаты позволили с высоким качеством выполнить, в частности, прием сигналов в X-диапазоне (3.5 см) от европейских космических аппаратов «Mars Express» и «Rosetta», радиолокационные исследования космического мусора [7] и др.

Данная методика может быть введена в штатную подготовку антенн к измерениям и стать базой для создания модели механических деформаций антенны.

1. Асланян А. М., Гулян А. Г., Козлов А. Н. и др. Измерения основных параметров антенны RT-70 // Изв. вузов. Радиофизика.—1984.—27, № 5.—С. 543—549.
2. Белянский П. В., Сергеев Б. Г. Управление наземными антеннами и радиотелескопами. — М.: Сов. радио, 1980.—280 с.

3. Власенко В. П., Крижанівський Є. А., Сорокін О. Ф., Цюх О. М. Система моніторингу навколосемного космічного простору // Наука і оборона.—2003.—№ 4.—С. 50—53.
4. Козлов А. Н., Тарасов В. Б., Титов В. Н. и др. Зеркальная система радиотелескопа RT-70 // Изв. вузов. Радиофизика.—1973.—16, № 12.—С. 1909—1913.
5. Кузьмин А. Д., Саломонович А. Е. Радиоастрономические методы измерений параметров антенн. — М., 1964.—184 с.
6. Цюх А. М. Применение цифровой обработки в системе обратной связи радиотелескопа // 3rd International conference and Exhibition on Digital Signal Processing and its Applications, Proceedings-2. — Moscow, 2000.—P. 47—48.
7. Molotov I., Konovalenko A., Agapov V., et al. Radar interferometer measurements of space debris using the Eupatoria RT-70 transmitter // Adv. Space Res.—2004.—34, N 5.—P. 884—891.

MEASUREMENTS OF AIMING ANTENNA ERRORS OF THE RADIO TELESCOPE RT-70 BY SOURCES OF NATURAL RADIO RADIATION

A. S. Nabatov, A. G. Petrenko, A. M. Tsyukh,
V. N. Nesteruk, V. N. Prantsuzov, V. P. Vlasenko,
R. N. Zaluzhny, O. N. Piskun

The cycle of measurements of antenna aiming errors of the radio telescope RT-70 was conducted in 2004 and the method for error determination with the use of natural radio sources was developed for that purpose. The results of measurements of antenna aiming errors and their dependence on elevation coordinates are given. The program complex for automatic taking into account aiming errors at the stage of preparation of target designation is developed.