

УДК 520.27

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН ПО СИГНАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СИСТЕМ ГЛОНАСС И «NAVSTAR»

Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева, А. А. Антипенко, А. Ф. Дементьев, Ю. В. Тихомиров

Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия

Приводятся результаты экспериментов по измерению диаграмм направленности и юстировки антенн радиотелескопов РТ-14 и РТ-15, расположенных в радиоастрономических обсерваториях Нижегородского научно-исследовательского радиофизического института, по сигналам навигационных космических аппаратов глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и «Navstar». Анализируется эффективность применения сигналов навигационных космических аппаратов для измерения ряда параметров антенных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Антенные системы нашли широкое применение в радиолокации, навигации, связи, а также в радиоастрономии. Размеры зеркал полноповоротных антенн радиотелескопов достигают 100 м, рефлектор антенны переменного профиля РАТАН-600 имеет диаметр 600 м, «земляной чаши» в Аресибо — 300 м. В последнее время производится значительное количество антенн с диаметрами зеркал $5\div 20$ м, в том числе имеющих опорно-поворотные устройства с ограниченными возможностями по скорости вращения и углам поворота.

При подготовке антенных систем к регулярной работе после монтажа конструкций или модернизации и установки облучающей системы необходимо провести тестовые испытания на соответствие параметров всех её элементов проектным техническим требованиям, а в процессе эксплуатации необходим оперативный контроль стабильности параметров, особенно при работе в экстремальных условиях. Основными измеряемыми параметрами обычно являются коэффициент усиления или эффективная площадь, шумовая температура антенны, диаграмма направленности, совмещение электрической и геометрической осей антенны (разъюстировка), точность наведения и сопровождения источника излучения. Разъюстировка антенны (отклонение электрической оси от геометрической) вызывается неточностью исполнения и установки облучателя или контррефлектора, перекосами несущих тяг, механическими или тепловыми деформациями зеркала.

Методы измерений параметров антенн разработаны достаточно хорошо (см. например, работы [1–3]), однако, крупные и средние антенны являются в большинстве случаев уникальными сооружениями для решения конкретных задач, и требуется выбор вполне определённых методов измерения и контроля параметров с точки зрения оптимальности затрат средств на дополнительную аппаратуру, длительности и периодичности калибровок, внедрения в «штатную» аппаратуру и т. д. Наиболее полной работой, посвящённой методам измерений характеристик сверхвысокочастотных антенн, можно считать работу [1], где значительное место уделено радиоастрономическим методам измерений, в разработку и внедрение которых значительный вклад внесён сотрудниками НИРФИ [2].

Радиоастрономические методы измерений параметров антенн являются наиболее простыми и эффективными для антенных систем средних и больших размеров. Основной проблемой при применении радиоастрономического метода является выбор интенсивных источников с известной плотностью потока радиоизлучения и простой структурой, желательно близкой к точечной.

Н. А. Дугин, М. Б. Нечаева, А. А. Антипенко и др.

177

Вместе все эти требования выполняются редко, большинство внеземных радиоисточников имеют малую интенсивность излучения, что требует применения приёмников с предельно возможной чувствительностью.

Большая мощность сигнала, позволяющая уверенно проводить измерения, является главным и едва ли не единственным преимуществом облётного метода, но такие недостатки, как требование точного определения координат излучателя на момент измерений, в ряде случаев узкая зона обзора и нахождение передатчика в ближней зоне исследуемой антенны, делают этот метод одним из самых дорогостоящих и технически трудоёмких при применении воздушных летательных аппаратов и искусственных спутников Земли на низких орбитах.

Однако, появление в ближнем космосе большого числа ретрансляционных и навигационных космических аппаратов на геостационарных и высокоэллиптических орбитах позволяет проводить измерения ряда требуемых параметров антенны. При этом методика измерений и обработки данных близка к радиоастрономической, т. к. скорости движения искусственных объектов на высоких орбитах сравнимы со скоростями естественных источников излучения. Кроме того, космические аппараты практически всегда находятся в дальней зоне антенны и являются «точечными» излучателями. Объекты на геостационарной орбите достаточно часто используются для измерения, в основном, диаграмм направленности антенн, но тем не менее они не всегда удобны из-за небольшой высоты над горизонтом в средних широтах и практической неподвижности, ограничивающей их применение для неполноповоротных антенн. Навигационные аппараты спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и «Navstar» (GPS) распределены на небесной сфере достаточно равномерно, в любом пункте должны быть видны одновременно не менее четырёх аппаратов каждой из систем. Главная трудность их использования — узкий частотный диапазон. Но в связи с тенденцией расширения полосы приёмных частотных диапазонов, например радиоастрономических телескопов, этот фактор не будет определяющим. В работе [4] рассматривается проект создания комплекса радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ) на основе малых быстровращающихся антенн для измерения параметров вращения Земли Государственной службой частоты и времени (аналог европейской VLBI2010 [5]). Предположительно антенны будут иметь диаметр 12 м и работать в диапазоне частот $1 \div 18$ ГГц. При малой эффективной площади антенн и требованиях быстрой калибровки комплекса вопрос применения методов измерений по сигналам спутников в ближнем космосе может быть включён в технические условия на создание системы.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Радиотелескопы РТ-14 и РТ-15, имеющие полноповоротные зеркальные антенны с диаметром 14 и 15 м соответственно, разнесены на расстояние 70 км и входят в состав радиоинтерферометра со сверхдлинной базой с приёмными пунктами в радиоастрономических обсерваториях «Старая Пустынь» и «Зимёнки» [6]. Радиоинтерферометр НИРФИ, работающий на частотах 327 и 610 МГц, в 2010 году был дооснащён приёмной аппаратурой на частотный диапазон 1,6 ГГц с шумовой температурой неохлаждаемых маломощных усилителей порядка 100 К. Первые эксперименты по вводу в действие приёмного комплекса и антенн на этой частоте проводились по мощным сигналам навигационных спутников ГЛОНАСС и «Navstar». Отрабатывались методики работы по аппаратам глобальных навигационных систем, основными среди которых были: процедура выбора требуемого объекта и определения целеуказания антенн, измерение диаграммы направленности, отработка методики определения разъюстировки антенн, оснащённых трёхчастотными облучателями, определение параметров аппаратного комплекса РСДБ-инструмента [7].

Приёмники радиотелескопов имеют возможность перестройки частотных поддиапазонов на

1665 ± 20 МГц (радиоастрономическая частота) и на 1565÷1615 МГц (один из рабочих диапазонов ГЛОНАСС и «Navstar»). Возможность работы по сигналам навигационных космических аппаратов закладывалась с целью проведения экспериментов по высокоточному определению положения (координат) спутника с помощью РСДБ. В первых экспериментах работа по мощным сигналам существенно упрощала процедуру определения параметров приёмного комплекса, в том числе готовности приёмных антенн к работе на высокой частоте.

Основной проблемой при работе на частоте 1,6 ГГц являлось то, что приводные системы антенн РТ-14 и РТ-15 рассчитывались по точностным характеристикам на низкочастотные диапазоны, а частота 1,6 ГГц близка к предельной, что затрудняло точное сопровождение источника в течение длительного времени. Поэтому применялся широко распространённый в радиоастрономии метод измерений «на прохождение», когда антенна устанавливается в упреждающую точку по ходу движения источника излучения и остаётся неподвижной в течение прохождения источника через диаграмму направленности (оптимальная скорость движения источника должна быть такой, чтобы время записи диаграммы направленности было в пределах 1÷10 мин).

В табл. 1 приводятся график наблюдений аппаратов ГЛОНАСС и «Navstar» 26 октября 2010 года с указанием номеров объектов по международной классификации (С — обозначение спутников системы ГЛОНАСС (Cosmos) с соответствующим номером, N — аналогичное обозначение спутников системы «Navstar»), время прохождения через максимум диаграммы направленности, горизонтальные координаты объекта для РТ-14 на начальный момент записи, уровень выходного сигнала, полуширина диаграммы направленности $\Delta\theta_{0,5}$, скорость движения космического аппарата по азимуту V_A и высоте V_H и расстояние до него R . Видно, что скорость перемещения объекта относительно приёмных антенн сравнима со скоростью вращения Земли (15 угл. мин/мин), а направления движения космических аппаратов могут быть любые. Это означает, что суммарная скорость относительного движения аппарата может изменяться в достаточно больших пределах. Скорости по отдельным координатам также сильно меняются, начиная с близкой к нулевой. Широкий диапазон векторов скорости даёт возможность выбора условий для наилучшего измерения какого-либо параметра антенн.

Сигналы спутников каждой навигационной системы принимались отдельно с подстройкой входного фильтра на нужный диапазон частот. Полоса приёма равнялась 8 МГц. При длительности записи 10÷15 мин антенны дважды устанавливались в упреждающую точку на траектории движения спутника в 0-ую и 6-ую минуты, и записывалось прохождение его через диаграмму направленности антенны, при этом уверенно прописывались 2–3 первых боковых лепестка диаграммы направленности. Время, приведённое в табл. 1, соответствует максимуму сигнала; по разнице с целой минутой, на которую устанавливались антенны, можно «визуально» оценить величину разъюстировки. Приведены результаты для 0-ых минут, различие времени прохождения источника излучения через максимум диаграммы для двух последовательных замеров было в пределах нескольких секунд, но в ряде случаев достигало 20÷30 с. Изменение суммарной скорости движения объекта за 6 мин было в пределах 0÷1,1 угл. мин в минуту.

Следует отметить некоторые особенности структуры сигналов навигационных космических аппаратов и влияние условий приёма на величину измеряемого сигнала.

В системе ГЛОНАСС используется частотное разделение излучаемых каждым спутником фазоманипулированных сигналов, ширина спектра около 10 МГц, но значительная доля мощности сосредоточена в узкой полосе 0,5÷1 МГц. В настоящее время спутники ГЛОНАСС работают на центральных частотах в диапазоне L1 в полосе 1598÷1606 МГц [8]. Это требует частотной подстройки приёмного РСДБ-комплекса под каждый аппарат. При использовании обычного радиометра с широкой полосой приёма на соотношении величин принимаемых от разных спутников сигналов будет сказываться также неравномерность амплитудно-частотной характеристики при-

Таблица 1

Объект	Время (UT) 26.10.2010	Азимут A , град	Угол места H , град	Уровень, отн. ед.	$\Delta\theta_{0,5}$, град	V_A , угл. мин/м	V_H , угл. мин/м	V_Σ , угл. мин/м	R , км
C 32276	06:19:55	23	51	108	1,13	10	35	36,4	20 215
C 32395	06:41:45	138	33	111	1,09	0	30	30,0	21 527
C 32275	06:59:06	227	46	200	0,92	0	31	31,0	20 588
C 33379	07:19:52	47	31	219	1,03	17	30	34,5	21 719
N 29601	09:31:03	329	51	152	0,98	4	-29	29,3	21 420
N 35752	09:49:40	305	25	170	0,92	-18	22	28,4	23 219
N 23953	10:09:41	244	31	84	0,87	-30	-2,5	30,2	22 519
N 28474	10:29:22	240	30	122	1,04	-2	-25	25,1	22 708
N 34661	10:50:44	128	30	161	0,96	-11	23	25,5	22 717
N 29486	11:09:15	83	21	132	0,86	-21	-18	27,7	23 828
N 27663	11:31:18	131	29	87	0,80	-13	22	25,6	22 951
N 27704	11:49:44	52	56	125	1,18	7	27	27,9	21 500
N 24320	12:09:55	8	23	75	1,06	-5	-26	26,5	23 458
N 26690	12:29:54	3	29	83	0,95	-3	27	27,2	23 139
C 36400	13:30:26	308	20	51	0,96	16	-28	32,2	22 721
C 36111	13:49:55	18	36	431	1,20	8	33	34,0	21 299
C 36402	14:10:40	323	52	270	0,96	16	-33	36,7	20 192
C 33467	14:49:07	228	51	234	1,25	-6	-32	32,6	20 259

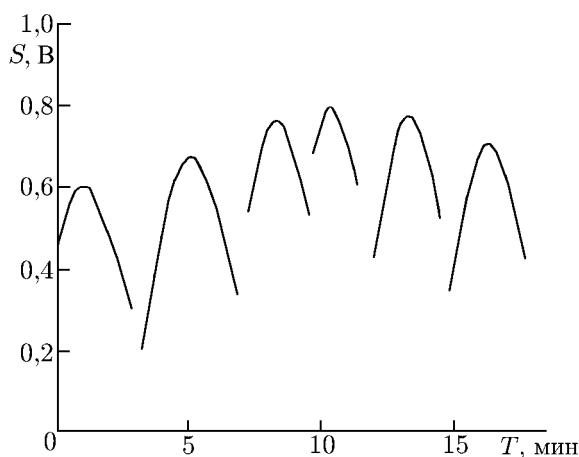


Рис. 1. Измерение разъюстировки антенны по сигналам космических аппаратов

ёмника.

В отличие от системы ГЛОНАСС все аппараты «Navstar» работают на одной несущей частоте в каждом из двух поддиапазонов: 1 227 и 1 575 МГц. Идентификация космических аппаратов осуществляется по кодовому сигналу. Полоса частот всех излучаемых сигналов составляет 20 МГц. Интенсивность сигнала любого из космических аппаратов обеих систем у поверхности Земли может меняться в зависимости от его высоты над горизонтом (дальности до аппарата) в пределах 2 дБ. Это обстоятельство существенно усложняет применение этих космических аппаратов для измерения коэффициента усиления антенн.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ И РАЗЪЮСТИРОВКИ

На рис. 1 показаны фрагменты записей последовательного прохождения источника через главный максимум диаграммы направленности по азимуту при варьировании поправок по углу места в пределах $\pm 30'$ с шагом $5 \div 10'$ (здесь S — амплитуда сигнала). Это процедура определения разъюстировки антенны — величины несовмещения электрической и геометрической осей зеркала с данным облучателем.

На рис. 2 представлены две разных записи сечений диаграммы направленности; уровень первых боковых лепестков можно считать немного меньшим теоретического уровня $-(17 \div 22)$ дБ, форма различна в разных сечениях, что даёт информацию о качестве поверхности и характере облучения антенны. По естественным радиоисточникам измерить боковые лепестки диаграммы направленности антенн среднего размера обычно не удастся. Как одну из особенностей измерений следует отметить возникавшую в ряде случаев небольшую асимметрию записи главного максимума диаграммы направленности, вызываемую изменением скорости движения источника

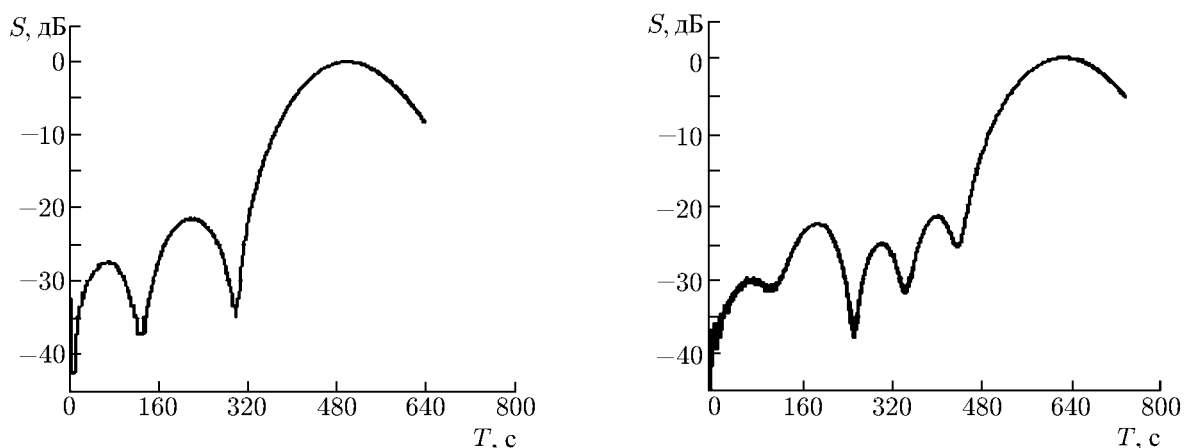


Рис. 2. Диаграммы направленности антенны РТ-14 в разных плоскостях, измеренные по сигналам космических аппаратов

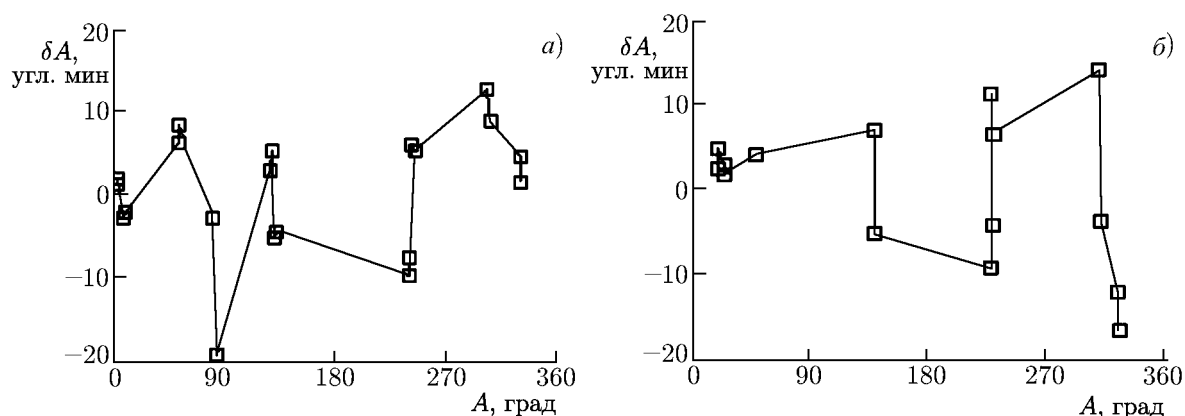


Рис. 3. Величина разъюстировки антенны РТ-14, измеренная по сигналам космических аппаратов глобальных навигационных систем «Navstar» (а) и ГЛОНАСС (б)

излучения за время записи сигнала. Данное обстоятельство требует точного знания траектории движения космических аппаратов для правильного расчёта ширины и формы диаграммы направленности.

На рис. 3 приведены графики величины разъюстировки антенны телескопа РТ-14 в зависимости от азимута δA отдельно для космических аппаратов двух навигационных систем. При установке антенны в упреждающую точку учитывалась разъюстировка по двум координатам с учётом угла места антенны, измеренная по Солнцу на частотах 327 и 610 МГц; на графике приводится суммарная величина отклонения электрической оси антенны от геометрической. Средняя величина разъюстировки РТ-14 равна $\Delta\theta_{ю} = 0,33' \pm 8,32'$ по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и $\Delta\theta_{ю} = 0,59' \pm 7,29'$ по сигналам космических аппаратов «Navstar», т. е. среднее отклонение близко к нулю, что подтверждает правильность измерений разъюстировки на частотах 327 и 610 МГц, полученной по Солнцу, и её постоянство для всех рабочих частот совмещённого облучателя. Погрешности измерений лежат в пределах точности наведения антенны, определяемой приводными и отсчётными системами ($\pm 5'$ по обоим координатам и соответственно с суммарной погрешностью $7' \div 10'$). Тем не менее, есть отдельные отклонения более $10'$, что требует более подробного анализа результатов и проведения дополнительных измерений.

Ширина диаграммы направленности РТ-14 на уровне половинной мощности равна $\Delta\theta_{0,5} = 1,04^\circ \pm 0,07^\circ$ по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и $\Delta\theta_{0,5} = 0,97^\circ \pm 0,07^\circ$ по сигналам

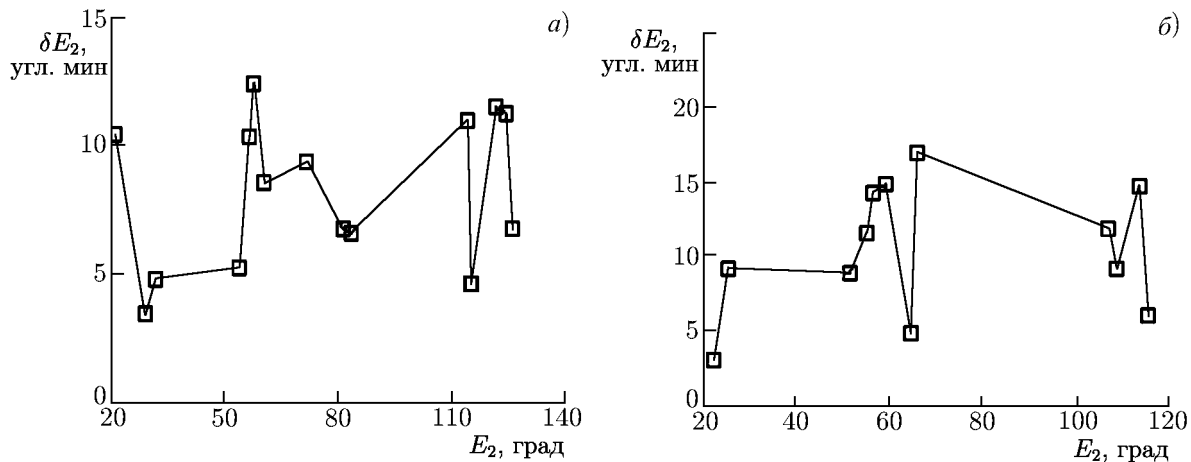


Рис. 4. Величина разъюстировки антенны РТ-15, измеренная по сигналам космических аппаратов глобальных навигационных систем «Navstar» (а) и ГЛОНАСС (б)

космических аппаратов «Navstar» при оценочном расчётном значении $0,9^\circ$. Уширение диаграммы направленности примерно на 10 % можно объяснить недооблучением антенны. Следствием этого является потеря эффективной площади и усложнение работы по слабым внеземным радиоисточникам. Погрешность измерения полуширины диаграммы направленности около 7 %.

В отличие от РТ-14 с азимутально-угломестной монтировкой, антенна телескопа РТ-15 имеет устаревшую схему монтировки с осями вращения, ориентированными под углами E_1 и E_2 , связанными с азимутом A и высотой H следующими соотношениями:

$$\operatorname{tg} E_1 = \operatorname{tg}(H) / \sin(A) \quad \cos E_2 = -\cos(H) \cos(A).$$

На рис. 4 приведены графики величины разъюстировки δE_2 антенны РТ-15 в зависимости от ориентации оси E_2 отдельно для космических аппаратов двух навигационных систем. При установке антенны в упреждающую точку учитывалась только постоянная поправка 2° по оси E_2 ; на графике приводится суммарная величина отклонения электрической оси антенны от геометрической. Средняя величина разъюстировки РТ-15 равна $\Delta\theta_{ю} = 10,41' \pm 4,16'$ по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и $\Delta\theta_{ю} = 7,94' \pm 2,86'$ по сигналам космических аппаратов «Navstar», т. е. среднее отклонение равно примерно $9'$, что указывает на возможность потерь сигнала при проведении измерений из-за неточного наведения на источник. Погрешности измерений лежат в пределах точности наведения антенны для космических аппаратов «Navstar», определяемой приводными и отсчётными системами ($\pm 1'$ по обеим координатам и с суммарной погрешностью, оцениваемой как $\pm(2 \div 3)'$) и несколько завышены для космических аппаратов ГЛОНАСС. Также, есть отдельные отклонения более $10'$.

Ширина диаграммы направленности РТ-15 на уровне половинной мощности равна $\Delta\theta_{0,5} = 0,85^\circ \pm 0,03^\circ$ по сигналам космических аппаратов ГЛОНАСС и $\Delta\theta_{0,5} = 0,88^\circ \pm 0,03^\circ$ по сигналам космических аппаратов «Navstar» при оценочном расчётном значении $0,84^\circ$. Уширения диаграммы направленности в пределах ошибок измерений практически нет. Погрешность измерения полуширины диаграммы направленности около 3,5 %.

3. ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Важное место при обработке данных занимал вопрос о величине и стабильности выходного сигнала приёмного устройства для разных космических аппаратов, в основном с точки зрения

возможности измерения коэффициента усиления антенны. Основа методики измерения коэффициента усиления при облётом методе рассмотрена в работе [1] и может использоваться при работе по космическим аппаратам. Оценка коэффициента усиления возможна при измерении полной диаграммы направленности антенны, что, как показано выше, осуществимо с достаточной степенью точности. С помощью метода сравнения с эталонной антенной можно измерять коэффициент усиления по космическим аппаратам, используя серийную эталонную антенну Пб-23А, размеры которой позволяют высокочувствительными радиометрами измерять сигналы от космических аппаратов. Кроме того, актуальна задача измерения изменений коэффициента усиления при повороте антенн с диаметрами зеркал $60 \div 100$ м, вызываемых весовыми деформациями несущих конструкций и поверхности; в этом случае относительные измерения можно провести с большей точностью.

Из табл. 1 видно, что величина сигналов от космических аппаратов «Navstar» меняется не более, чем в 2 раза, от аппаратов ГЛОНАСС — до $5 \div 10$ раз. Последнее обстоятельство объясняется тем, что все космические аппараты ГЛОНАСС работают на разных центральных частотах, а во время измерений подстройка приёмного устройства под каждый аппарат не проводилась. При этом приём сигнала осуществлялся на частоте 1601 МГц, поэтому на величину сигналов оказывала влияние неравномерность амплитудно-частотной характеристики приёмников ($2 \div 3$ дБ). Из-за изменения расстояния до аппаратов спад сигналов не должен превышать 30 %, и при анализе не обнаружено явной зависимости амплитуды принимаемых сигналов от изменения расстояния до космических аппаратов. Таким образом, основной причиной больших колебаний амплитуды можно считать неточное наведение антенн на источник излучения, хотя для экспериментально полученных значений разъюстировок антенн величина спада должна быть меньше. Кроме того, пока не исследована зависимость распределения интенсивности сигнала в полосе от времени излучения, т. е. от структуры кадра навигационного сообщения, который равен 2,5 мин для ГЛОНАСС и 12,5 мин для «Navstar».

Расчёт целеуказаний осуществлялся с помощью программы Heavensat [9] на основе параметров орбит космических аппаратов, полученных с сайта celestrak.com. По-видимому, для прецизионных измерений необходимо проанализировать ошибки пересчёта координат (азимута и угла места) из параметров орбит космических аппаратов, даваемые этой программой, а также определить величины поправок к координатам космических аппаратов при обновлении данных альманаха и периодичность их обновления в системе CELESTRAK. Для более оперативного контроля положения аппаратов можно использовать приёмники типа «Prego-2», которые позволяют определить координаты аппарата систем «Navstar»/ГЛОНАСС, находящегося в зоне видимости, из его служебного сообщения. Однако это не исключает использования устаревшего альманаха данных, закладываемого в текущую информацию навигационных спутников.

Таким образом, при первых измерениях стабильность амплитуды принимаемых от космических аппаратов сигналов исследована недостаточно, и требуется провести дополнительные измерения, вплоть до построения графиков изменения величины измеряемого сигнала от каждого аппарата по всей видимой траектории его полёта.

ВЫВОДЫ

Показана возможность и эффективность измерения ряда параметров антенн по сигналам космических аппаратов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и «Navstar», причём погрешности измерения диаграммы направленности и юстировки антенн для обеих систем примерно одинаковы. Тем не менее, для повышения точности и оперативности измерений требуется доработка методик калибровки антенн и радиоинтерферометров по сигналам околоземных космиче-

ских аппаратов, а также желательны дополнительные исследования по возможности включения космических аппаратов спутниковых навигационных систем в каталоги калибровочных источников излучения, аналогичные радиоастрономическим каталогам.

Авторы благодарят В. А. Разина, Т. С. Подстригача и сотрудников радиоастрономических обсерваторий «Старая Пустынь» и «Зимёнки» за помощь в осуществлении экспериментов.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № П683 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и частично при поддержке РФФИ (гранты 09–02–01078 и 10–02–00875).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Под ред. Н. М. Цейтлина. М.: Радио и связь, 1985. 368 с.
2. Троицкий В. С. // Радиотехника и электроника. 1956. Т. 1, № 5. С. 601.
3. Baars J. W. M. // ESA Scientific Tech. Memeranda-243. Paris: ESA Publ. Div., 1990. 66 p.
4. Красовский П. А., Жаров В. Е., Костромин В. П. и др. Модернизация комплекса средств определения ПВЗ ГСВЧ на основе создания российской РСДБ сети малых высокоскоростных антенн // Труды ВНИИФТРИ. 2009. Вып. 54 (146). 83 с.
5. Petrachenko W., Niell A., Behrend D., et al. Design Aspects of the VLBI2010 System: Progress Report NASA/TM-2009-214180 of the IVS VLBI2010 Committee. 2009. 62 p.
6. Абрамов В. И., Антипенко А. А., Дементьев А. Ф. и др. Радиointерферометр с независимым приёмом для солнечных исследований. Приёмный комплекс: Препринт № 523 НИРФИ. Нижний Новгород, 2008. 28 с.
7. Антипенко А. А., Дементьев А. Ф., Дугин Н. А. и др. Юстировка антенн и калибровка РСДБ НИРФИ по сигналам космических аппаратов СРНС ГЛОНАСС и «НАВСТАР»: Препринт № 536 НИРФИ. Нижний Новгород, 2011. 32 с.
8. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2: Редакция 5.1. Москва, 2008. <http://www.rniikp.ru/>.
9. Heavensat 2.3.0a. <http://www.heavensat.ru/>.

Поступила в редакцию 17 марта 2011 г.; принята в печать 30 марта 2011 г.

MEASUREMENT OF ANTENNA PARAMETERS BY SIGNALS FROM SPACE SATELLITES OF THE GLONASS AND “NAVSTAR” NAVIGATION SYSTEMS

N. A. Dugin, M. B. Nechaeva, A. A. Antipenko, A. F. Dement'ev, and Yu. V. Tikhomirov

We present the results of experiments on measuring the directivity pattern and alignment of the RT-14 and RT-15 radio telescopes located in the radioastronomy observatories of the Radiophysical Research Institute of Nizhny Novgorod by signals from space satellites of the GLONASS and “Navstar” navigation systems. The efficiency of using signals of the navigation satellites to measure a number of parameters of the antenna systems is analyzed.