

УДК 53.084.2

**БЛОК АНТЕННЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТА “РАДИОАСТРОН”**

© 2014 г. М. С. Турыгин

СКБ Института радиотехники и электроники РАН, г. Фрязино  
tur@sdbireras.ru

Поступила в редакцию 16.12.2013 г.

Приводится описание конструкции и параметров блока антенных облучателей, диапазонов 6 см, 18 см и 92 см. Он разработан и изготовлен для космического телескопа диаметром 10 метров проекта “РадиоАстрон”. Приведены параметры и результаты испытаний.

DOI: 10.7868/S0023420614050112

Блок антенных облучателей (далее БАО) предназначен для работы в составе космического радиотелескопа, однозеркальной осевой параболической антенны, космического аппарата *Спектр-Р* проекта “РадиоАстрон”. БАО осуществляет прием и разделение по двум круговым поляризациям шумовых сигналов с непрерывным спектром, отраженных и сфокусированных параболическим зеркалом.

К конструкции предъявлялись следующие требования: отсутствие неэкранированных диэлектриков, высокая механическая прочность и вибрационная устойчивость, компактность, диапазон рабочих температур 120–350 К, штатная рабочая температура 155–200 К, одновременный прием 2-х ортогональных круговых поляризаций, совмещение приема в нескольких частотных диа-

пазонах, совпадение максимумов диаграмм направленности (далее ДН) на всех частотных диапазонах.

Требование отсутствия неэкранированных диэлектриков связано с тем, что на выходе БАО, находятся высокочувствительные малошумящие усилители (далее МШУ) четырех диапазонов длин волн. Диапазон 1.35 см, входящий в состав БАО в данной статье не рассматривается. Коронный разряд, возникающий на диэлектриках в открытом космосе, является мощным источником шума и может вывести МШУ из строя.

Требования к механической прочности и компактности связаны со спецификой космической аппаратуры. МШУ и облучатель находятся на охлаждаемой, радиационным способом платфор-

Таблица 1

Диапазоны рабочих частот:	
92 см	$324 \pm 8$ МГц
18 см	$1664 \pm 60$ МГц
6 см	$4832 \pm 60$ МГц
Ширина ДН (–10 дБ)	120°
Уровень 1-го и 2-го боковых лепестков	–18 дБ
Поляризация поля	эллиптическая, (одновременный прием на две ортогональные поляризации)
Коэффициент эллиптичности	$\geq 0.9$
КПД	98%
Осевая асимметрия ДН	$< 0.1$ дБ
Величина КСВН на входе МШУ	$< 1.2$
Развязка между поляризационными каналами одного частотного диапазона	23 дБ
Развязка между частотными каналами	15 дБ

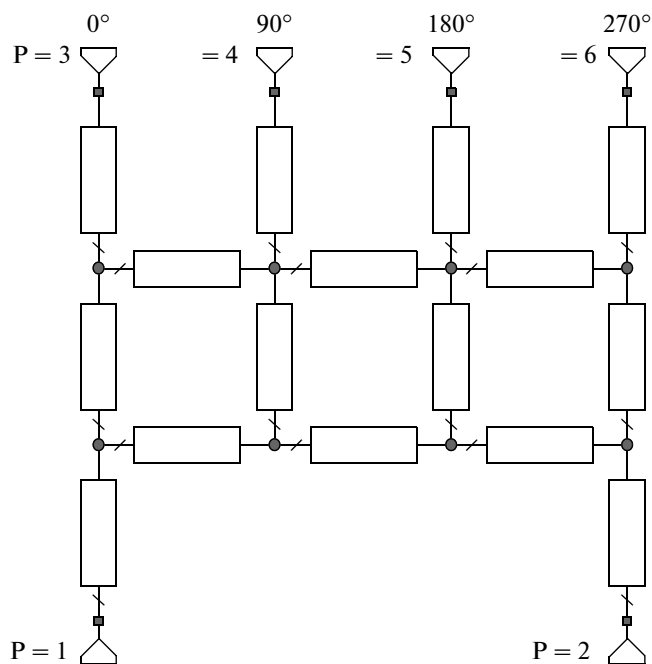


Рис. 1. Схема делителя круговых поляризаций.

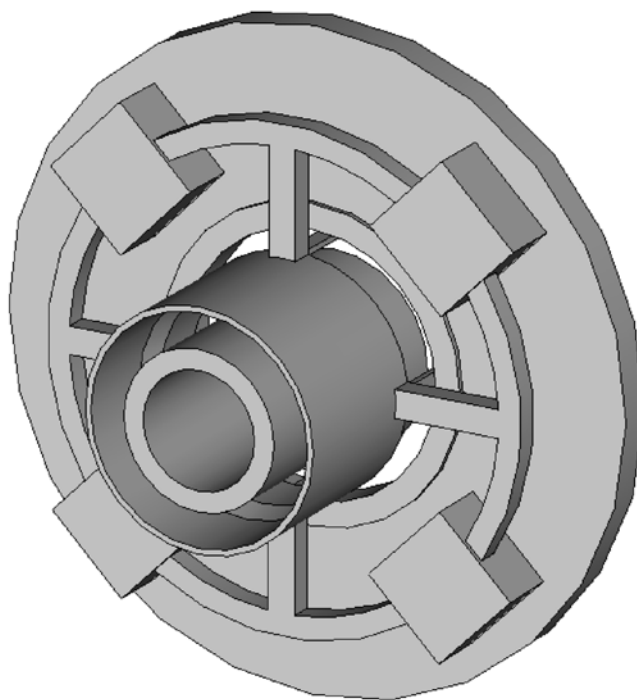


Рис. 2. Приемная часть облучателя диапазона 6 см. Верхний экран снят.

ме с температурой 155–200 К. Требования к техническим параметрам представлены в табл. 1.

Наиболее сложно выполнимым конструкционным требованием является обеспечение механической прочности без использования неэкра-

нированных диэлектриков. Как правило, такие устройства являются устройствами волноводного типа, однако, из-за относительно низких рабочих частот, их размер и масса были бы неприемлемыми для космической аппаратуры.

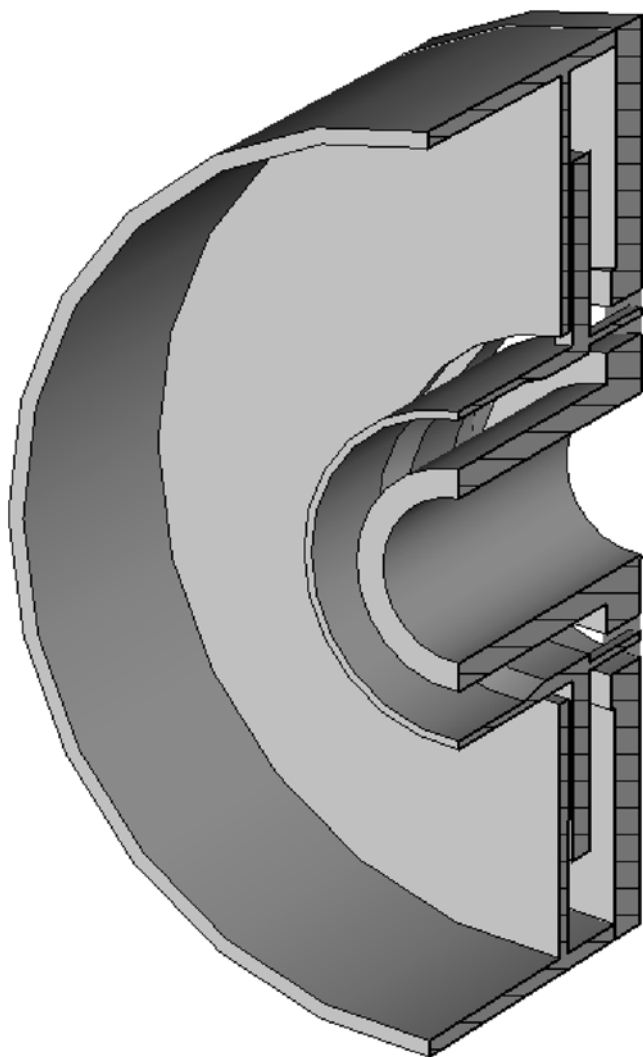


Рис. 3. Приемная часть облучателя диапазона 6 см. Разрез.

Требование работы БАО при штатной температуре 155 К налагает дополнительные ограничения на конструкцию и метод проектирования. Т.к., по понятным причинам, настройка облучателя при такой температуре невозможна, то конструкция либо должна быть устойчивой в смысле температурного ухода параметров и не содержать настроечных элементов, либо уход параметров должен быть точно прогнозируем.

Наиболее сложно реализуемым техническим параметром является обеспечение развязки между поляризационными каналами. Достаточно компактный и широкополосный делитель круговых поляризаций мог быть спроектирован на сосредоточенных элементах (т.н. “квадрифилярах”), однако, такие устройства обладают боль-

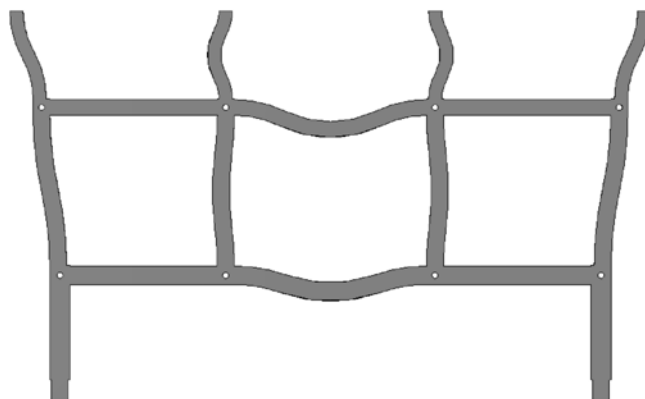


Рис. 4. Делитель круговых поляризаций диапазона 6 см. Толщина 0.5 мм. Развертка.

шими потерями (около 2 дБ), что неприемлемо для маломощнейшей приемной аппаратуры.

Облучатель каждого из рассматриваемых диапазонов можно условно разделить на две части: приемная часть и делитель круговых поляризаций. Исходя из условия совпадения максимумов ДН, наиболее подходящим представляется вариант коаксиального расположения приемных частей. В качестве приемной части диапазонов 6 см и 18 см был выбран четвертьволновый отрезок круглого коаксиального волновода, как обеспечивающий практически требуемую ДН и как согласованный с пространством в достаточно широкой полосе частот.

В качестве делителя поляризаций используется шлейфный мост, схема которого представлена на рис. 1. Все элементы на схеме – четвертьволновые линии передачи, соответствующих импедансов. Фазы коэффициента передачи на портах 3–6 даны относительно порта 1, относительно порта 2 они расположены зеркально. Коэффициенты передачи по мощности между портом 1 и портами 3–6 равны  $\frac{1}{4}$ , аналогично и для порта 2 (в силу симметрии). При подсоединении такого делителя к излучателю кольцевого типа (к которому относится и коаксиальный волновод) на портах 1 и 2 имеем соответствующие круговые поляризации (левую и правую).

Основной проблемой проектирования приемной части является создание конструкции жесткого крепления коаксиального волновода без использования диэлектриков, которое не повлияло бы на параметры излучения. В качестве такого крепления используются четыре металлических изолятора, представляющие собой короткозамкнутые четвертьволновые экранированные шлейфы. В процессе оптимизации эти шлейфы превратились в конструкцию, показанную на рис. 2.

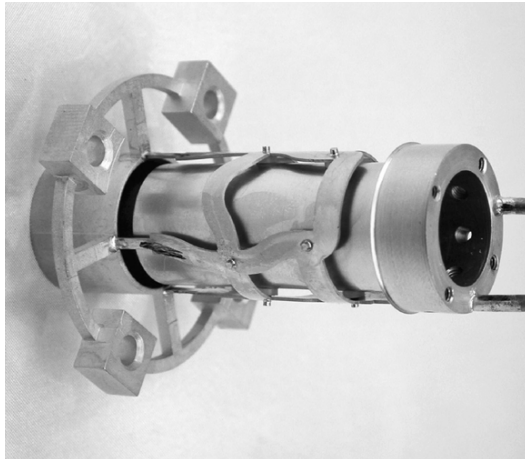


Рис. 5. Делитель поляризаций диапазона 6 см. Наружный экран снят.

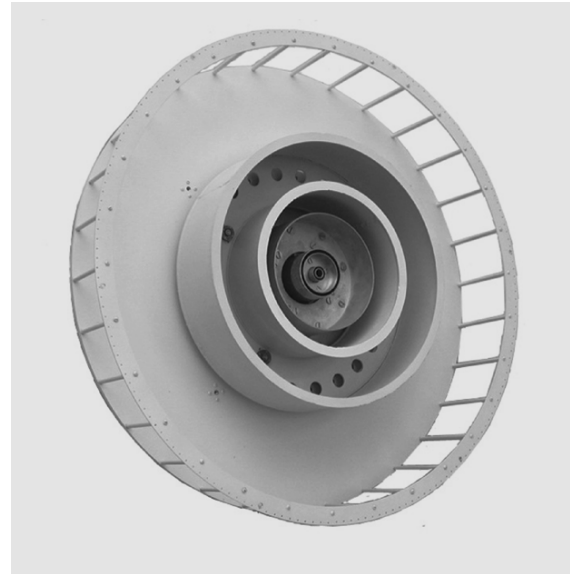


Рис. 6. БАО в сборе.

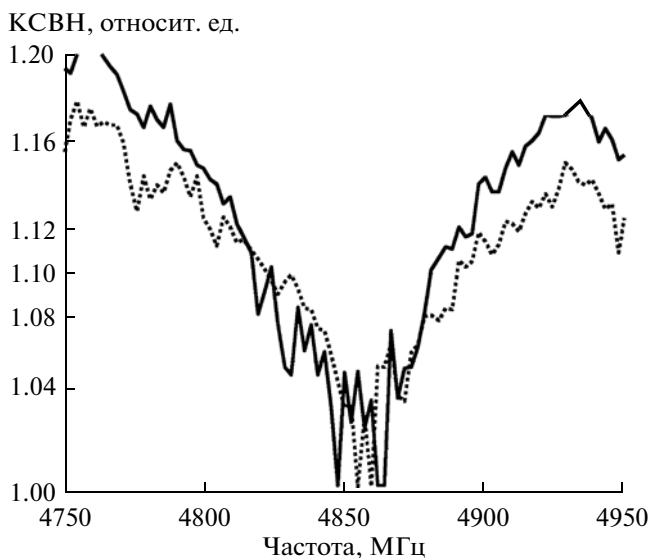


Рис. 7. КСВН облучателя 4832 МГц диапазона 6 см.

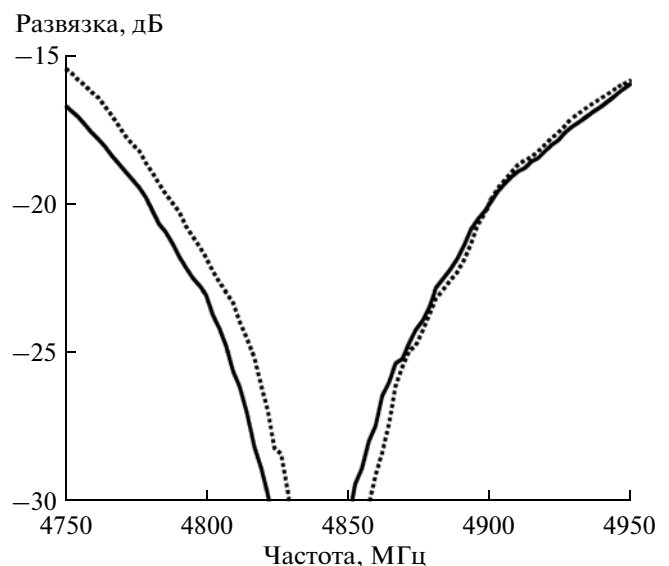


Рис. 8. Развязка облучателя 4832 МГц облучателя диапазона 6 см.

Точки крепления металлических изоляторов одновременно являются точками подсоединения делителя поляризаций. Внутреннее отверстие является входом облучателя диапазона 1.35 см. Полностью приемная часть облучателя диапазона 6 см показана на рис. 3.

Экранирование металлических изоляторов необходимо для нейтрализации их влияния на ДН облучателя. Внешний цилиндр требуется для уменьшения боковых лепестков и, одновременно, служит внутренней частью облучателя диапазона 18 см. Приемная часть облучателя диапазона

18 см устроена аналогично. Приемная часть диапазона 92 см представляет собой обычный кольцевой излучатель, т.к. из-за большой длины волны его конструкцию можно сделать достаточно жесткой без использования металлических изоляторов.

Делитель круговых поляризаций (рис. 1) построен на воздушных симметричных полосковых линиях. Для облучателей диапазонов 6 см и 18 см расстояние между экранами выбрано так, чтобы полоски были достаточно широкими и толстыми для обеспечения необходимой жесткости, пара-

Таблица 2

Диапазоны рабочих частот:	
92 см	$324 \pm 8$ МГц
18 см	$1664 \pm 60$ МГц
6 см	$4832 \pm 60$ МГц
Ширина ДН ( $-10$ дБ)	$120^\circ$
Уровень 1-го и 2-го боковых лепестков	$\leq 18$ дБ
Коэффициент эллиптичности	$\geq 0.9$
Коэффициент полезного действия БАО в диапазонах частот, МГц:	
$324 \pm 8$	$\geq 0.78$
$1664 \pm 60$	$\geq 0.8$
$4832 \pm 60$	$\geq 0.8$
от 18000 до 26000	$\geq 0.8$
Осевая асимметрия ДН	$< 1$ дБ
КСВН на выходе БАО на частотах, МГц:	
$324 \pm 8$	$\leq 1.6$
$1664 \pm 60$	$\leq 1.3$
$4832 \pm 60$	$\leq 1.3$
от 18000 до 26000 вкл	$\leq 1.4$
Развязка между поляризационными каналами одного частотного диапазона в НКУ, МГц:	
$324 \pm 8$	$\geq 14$ дБ
$1664 \pm 60$	$\geq 22$ дБ
$4832 \pm 60$	$\geq 22$ дБ
от 18000 до 26000	$\geq 22$ дБ
Развязка между частотными каналами	$\geq 22$ дБ

метрической устойчивости и малых потерь. В реальном делителе поляризаций длины линий рис. 1. не равны  $\frac{1}{4}$  длины волны в общем случае из-за

компенсации неоднородностей. В процессе оптимизации по ширине полосы и КСВН получена следующая форма делителя поляризаций диапа-

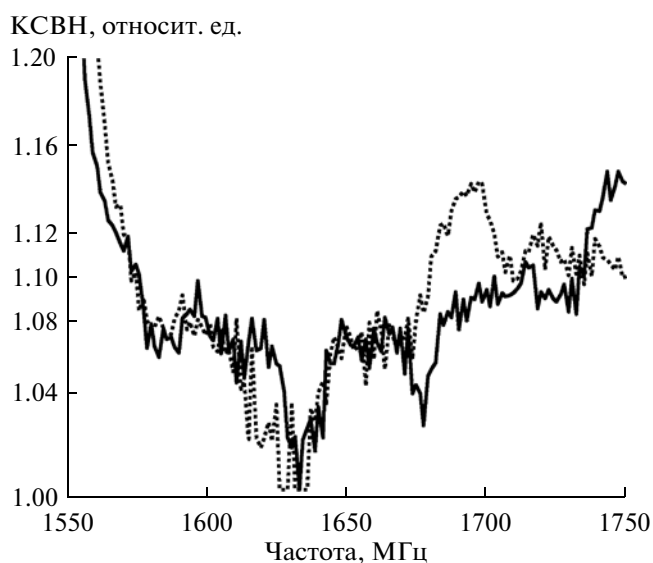


Рис. 9. КСВН облучателя 1664 МГц облучателя диапазона 18 см.

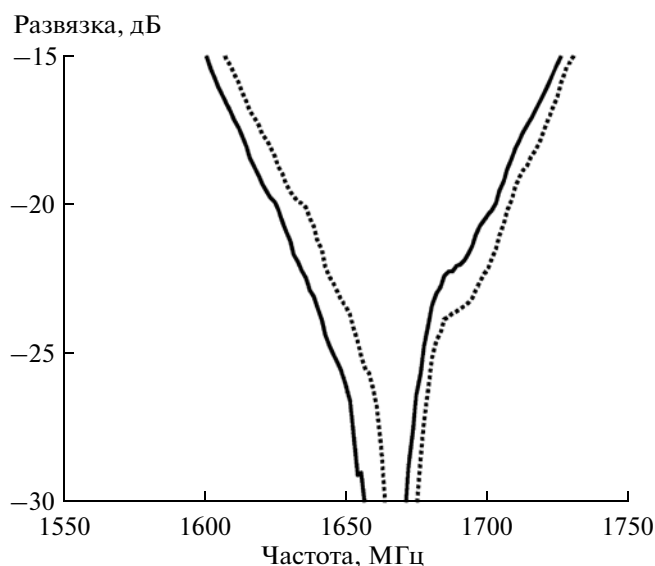
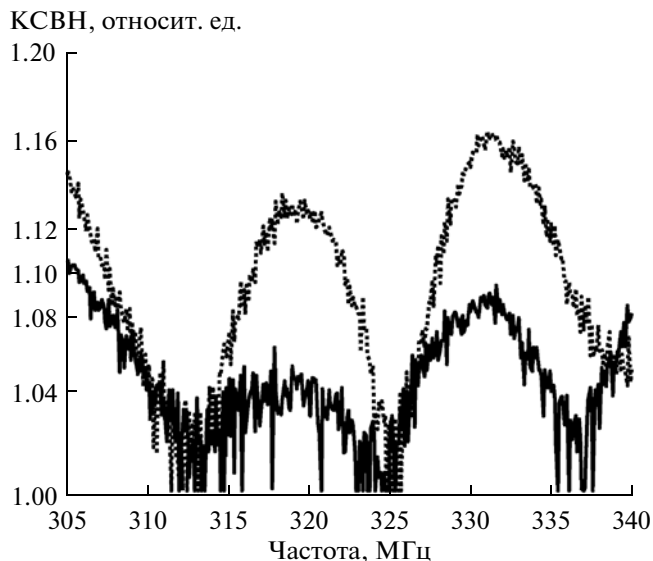
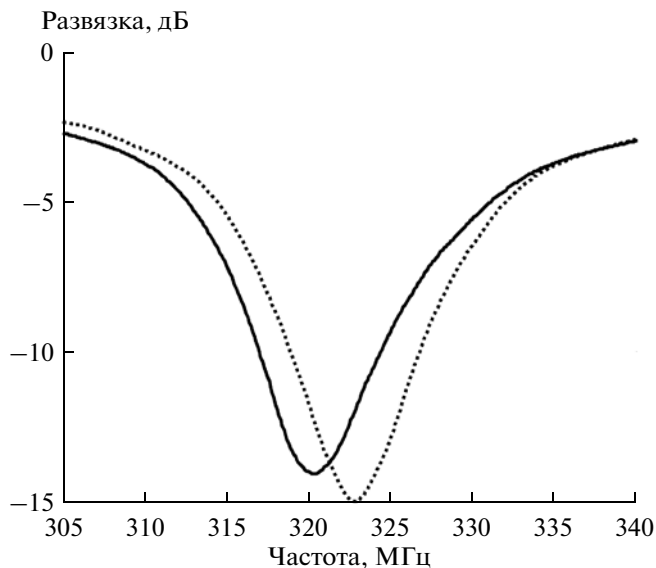


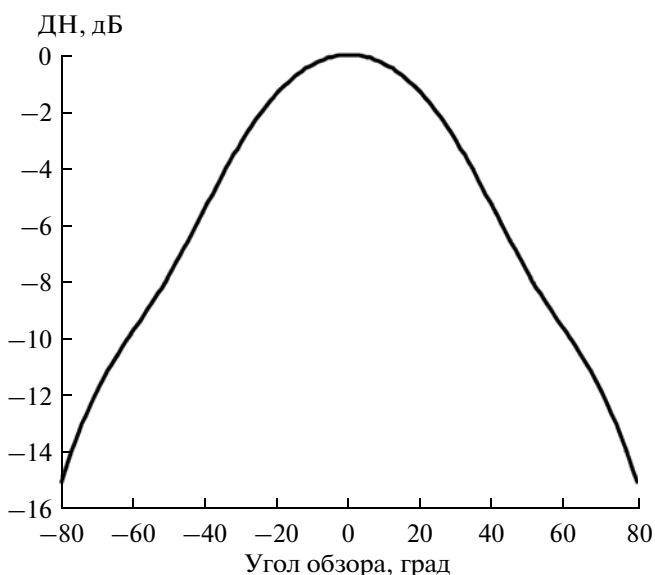
Рис. 10. Развязка облучателя 1664 МГц диапазона 18 см.



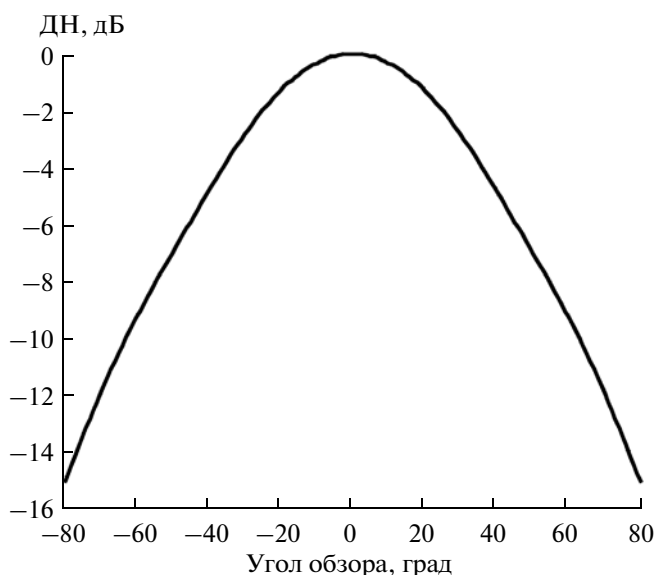
**Рис. 11.** КСВН облучателя 324 МГц облучателя диапазона 92 см.



**Рис. 12.** Развязка облучателя 324 МГц диапазона 92 см.



**Рис. 13.** ДН облучателя диапазона 6 см.



**Рис. 14.** ДН облучателя диапазона 18 см.

зона 6 см (рис. 4). Полосковые структуры помещаются между двумя цилиндрическими экранами (рис. 5) и закрепляются в узлах при помощи небольших диэлектрических вставок. Т.к. вставки находятся достаточно далеко от открытого космоса, экранированы практически со всех сторон и объем их невелик, вероятность возникновения на них коронного разряда, исчезающе мала.

Для делителя поляризаций диапазона 92 см подобная конструкция нереализуема из-за ограничений по габаритам, поэтому на этот диапазон

делитель поляризаций был сконструирован в виде трехслойной экранированной платы.

Конструкция собранного блока антенных облучателей показана на рис. 6.

Поскольку приемная часть облучателей и делители поляризаций стыкуются в плоскости одномодовых линий передач, разумно моделировать эти части отдельно, а общие параметры (КСВН и развязку между поляризационными каналами) считать путем соединения соответствующих S-матриц. Приемная часть моделировалась в программе CST Microwave Studio мето-

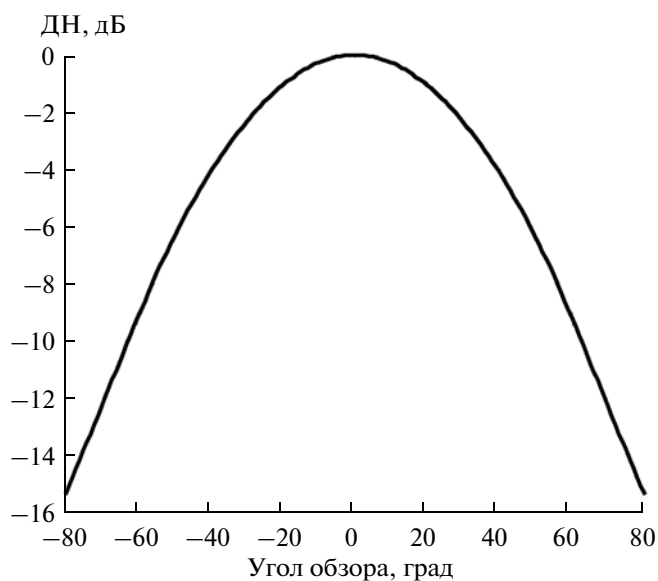


Рис. 15. ДН облучателя диапазона 92 см.

дом конечного интегрирования во временной области. Там же вычислялась ДН. Приемная часть оптимизировалась по КПД излучения и ширине ДН. Один из промежуточных этапов расчета — поверхностная плотность токов. Облучатели диапазонов 6 см и 18 см моделировались как находящиеся над бесконечной идеально проводящей плоскостью. Облучатель диапазона 92 см моделировался как находящийся в полностью открытом пространстве, при этом учитывалось влияние контейнера с аппаратурой.

Делитель поляризаций моделировался и оптимизировался в программе AWR Microwave Office методом соединения матриц симметричных полосковых линий и неоднородностей. Неоднородности и элементы крепления моделировались в программе CST Microwave Studio методом конечного интегрирования во временной области. Делитель поляризаций оптимизировался по КСВН и развязке между поляризационными каналами.

В табл. 2 представлены результаты измерения параметров БАО.

На рис. 7–12 представлены измеренные КСВН и развязки между поляризационными каналами БАО для диапазонов 6, 18 и 92 см при температурах 293 К (сплошная кривая) и 158 К (пунктирная кривая).

На рис. 13–15 представлены соответственно для диапазонов 6, 18 и 92 см расчетные нормированные ДН БАО. ДН приведены для осевых сечений, максимум ДН считается 0 дБ.

Таким образом, по результатам проведенных расчетов был изготовлен технологический образец БАО. Образец прошел механические, тепловые и радиотехнические испытания. Второй изготовленный экземпляр БАО установлен на летной модели космического радиотелескопа.

Проект “РадиоАстрон” осуществляется Астро-космическим центром ФИАН им. П.Н. Лебедева и НПО им. С.А. Лавочкина по контракту с Российским космическим агентством совместно с многими научно-техническими организациями в России и других странах.