

Сканирующая антенна для двухполяризационной радиометрической системы Р-400 в рамках МЦКП „Природа“

*Тодор Назырски, Георги Димитров,
Чавдар Левчев, Христо Проданов*

Институт космических исследований, БАН

Антенна является одним из основных элементов любой радиометрической системы. Характеристики антенны определяют пространственную разрешающую способность и функциональные особенности системы (возможность работы в режиме сканирования или трассировки, работа в двухполяризационном режиме и т.д.), а также оказывают существенное влияние на чувствительность и шумовые характеристики прибора. Перед антенными устройствами для космических радиометрических систем ставятся еще ряд требований, вызванных ограничениями в габаритах и весу, а также специфическими условиями работы антенны — чаще всего в открытом космическом пространстве.

На основе проведенных научно-теоретических исследований и накопленного практического опыта в разработке космических радиометрических систем были сформулированы следующие основные технические требования к двухполяризационной сканирующей радиометрической системе Р-400, входящей в состав аппаратуры Международного целевого комплексного проекта (МЦКП) „Природа“. Прибор Р-400 должен иметь полосу обзора порядка 350—400 км при высоте орбиты носителя 300—350 км. При этом решено осуществить коническое сканирование с отклонением основного лепестка диаграммы направленности (ДН) на угол 40° относительно надира, что обеспечивает постоянство размеров пикселя на поверхности Земли при движении носителя по орбите и оптимальное соотношение между сигналами с различной поляризацией. Влияние сканирования на трехосевую систему стабилизации носителя должно быть минимально возможным. Антенна должна давать возможность работы на обеих (горизонтальной и вертикальной) линейных поляризациях. Пространственная разрешающая способность сканирующего радиометра определяется размерами пикселя, который должен иметь форму „эллипса“ с ося-

ми порядка 55 и 40 км соответственно. Необходимо также обеспечить постоянство формы ДН с максимально возможной точностью во всем секторе углов сканирования. Кроме того, для повышения точности прибора необходимо принять меры по минимизации бокового и особенно заднего излучения антенны. Конструктивные особенности носителя накладывают ограничения на габариты антенны. Ее диаметр не должен превышать 1100 мм, а высота вместе с облучателем должна быть не больше 500 мм. Рабочая длина волны прибора Р-400 составляет 4 см.

При проектировании антенной системы прибора Р-400 были приняты во внимание результаты, полученные при разработке подобных бортовых сканирующих радиометрических приборов для различных советских и американских космических аппаратов („Skylab“, „Метеор“, „Nimbus 5“ и др.) [1, 2, 3].

С учетом этих результатов для прибора Р-400 решено использовать неподвижную однозеркальную антенну с поворачивающимся облучателем. Для обеспечения покрытия заданной полосы обзора сигналами обеих поляризаций, в приборе используется реверсивное сканирование, т. е. при одном направлении движения луча принимается сигнал с одной поляризацией, а при инверсном направлении — с другой. Реверсивное коническое сканирование осуществляется путем вращения облучателя антенны при помощи специально разработанного сканирующего электродвигателя. Такая концепция позволяет минимизировать инерционный момент, создаваемый движущимися частями сканирующей антенны, что существенно уменьшает влияние на систему стабилизации носителя. Расчеты показывают, что для обеспечения предусмотренных в техническом задании пространственной разрешающей способности и полосы обзора прибора Р-400 необходимо, чтобы ДН антенны имел ширину основного лепестка не превышающую $4^\circ-5^\circ$ (по половинной мощности) и возможность поворота главного максимума диаграммы в пределах порядка $\pm 35^\circ$. Тогда при длительности одной дугообразной строки сканирования порядка 4 с, гарантируется плотное покрытие земной поверхности сигналами радиотеплового излучения Земли обеих поляризаций с необходимым коэффициентом при покрытия. Это дает возможность решить задачу определения геофизических параметров поверхности по интенсивности принимаемых сигналов радиотеплового излучения и по соотношению между сигналами с обеими поляризациями. Как показано в [4], наличие припокрытия позволяет на этапе численной обработки полученных данных (самостоятельно или совместно с другой аппаратурой, входящей в состав МКЦП „Природа“) значительно повысить пространственную разрешающую способность радиометрической системы. Для сохранения постоянства формы основного лепестка ДН при сканировании в достаточно широком секторе углов решено использовать сферическую форму зеркала, которая, в силу симметрии, особенно удобна для решения подобной задачи. Недостатком такой конструкции является пониженное значение коэффициента использования поверхности зеркала и, как следствие, некоторое снижение разрешающей способности радиометрической системы. Влияние этого фактора можно уменьшить при оптимальном выборе фокусного расстояния и ширины сферического зеркала. Геометрические параметры зеркала, обеспечивающие необходимую ширину и сектор сканирования главного максимума ДН, могут быть определены по методике, изложенной в [5, 6]. Ширину a освещаемой облучателем части поверхности зеркала (рис. 1) можно определить из:

$$(1) \quad \theta \approx 70 \frac{\lambda}{a} \quad *$$

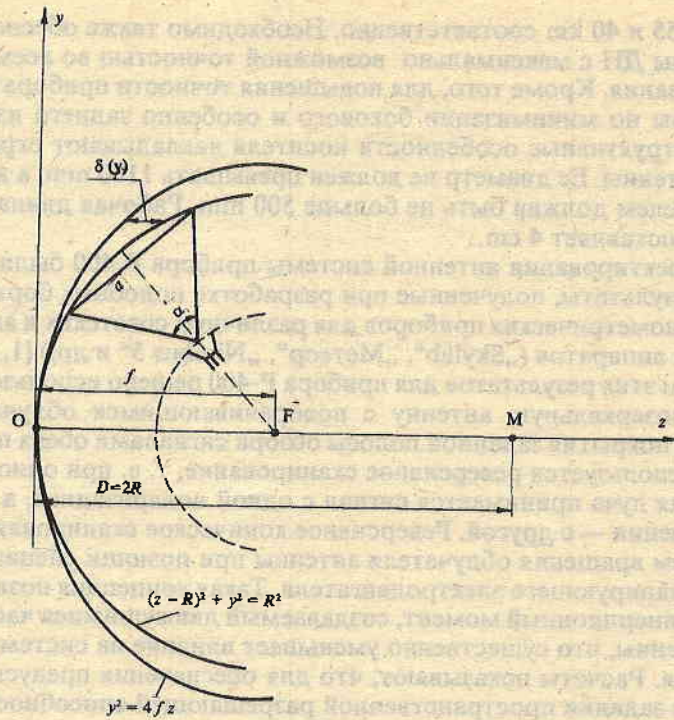


Рис. 1

где θ — известная из предварительных расчетов ширина ДН по половинной мощности в градусах, а λ — рабочая длина волны. Формула (1) справедлива, строго говоря, только для параболической формы зеркала, но при небольших размерах сферического зеркала, в силу близости формы отрезка окружности до параболы, также дает достаточно точные результаты. Радиус сферы R определяется из условия:

$$(2) \quad \left(\frac{a}{\lambda}\right)^4 = 16\left(\frac{R}{\lambda}\right)^3,$$

которое гарантирует, что фазовая ошибка на краях раскрыва не будет превышать $\pi/8$. Оптимальное значение фокусного расстояния f , обеспечивающее наилучшие фазовые характеристики в раскрыве зеркала, определится как:

$$(3) \quad f = \frac{R}{2} - \frac{a^2}{32R}.$$

Ширина ДН облучателя α определена из:

$$(4) \quad \alpha = \arctg \frac{a}{R}.$$

Расчеты по формулам (1) — (4) показали, что необходимое для обеспечения требуемой ширины ДН антенны (с учетом сектора сканирования) значение размера a составляет 560 мм, а диаметр сферы $2R$ — 1070 мм, что входит в

ограничения, накладываемые техническим заданием. Полученное оптимальное значение фокусного расстояния f составляет 250 мм.

В качестве облучателя антенны, в соответствии с рекомендациями в [5] выбран рупор с квадратным сечением раскрыва, диагональ которого расположена в плоскости качания. Размеры раскрыва облучателя подобраны в соответствии с расчетами по формуле (4) таким образом, чтобы во всем секторе углов сканирования главный лепесток ДН облучателя не выходил за пределами зеркала, что обеспечивает уровень бокового излучения антенны, не превышающий — 17 дВ.

Сигнал от облучателя поступает на вход поляризационного селектора, выполненного на основе стандартного квадратного волновода с подходящим образом расположенными штырями. Выход селектора соединяется с СВЧ ключ-модулятором на PIN-диодах, который коммутирует ко входу радиометрического приемника последовательно горизонтально и вертикально поляризованной составляющей принимаемого сигнала. Кроме того ключ-модулятор осуществляет амплитудную манипуляцию СВЧ сигнала с частотой манипуляции 1000 Нз [7]. Модуляция сигнала непосредственно у выхода поляризационного селектора улучшает чувствительность прибора, так как позволяет считаться с потерями сигнала в последующих элементах антенно-фидерного тракта. Далее амплитудно модулированный сигнал поступает на вращающееся волноводное сочленение и через короткий отрезок гибкого волновода на вход радиометрического приемника. Угол отклонения облучателя $\pm 35^\circ$ определяется из соображений обеспечения необходимой ширины полосы обзора 350—400 км, а местоположение облучателя из условия отклонение луча на 40° от надира с целью обеспечения работы в режиме конического сканирования, а также для обеспечения рассчитанной оптимальной величины фокусного расстояния f (рис. 1). Время отклонения луча рассчитано из условия полного покрытия полосы обзора сигналом обеих поляризаций и составляет 4 с. Для выполнения указанных в техническом задании ограничения на габаритах антенны предусмотрен вырез части сферической поверхности, которая не используется в процессе работы зеркала.

Общий вид конструкции сканирующей антенны радиометра Р-400 приведен на рис. 2.

Движение облучателя осуществляется специально разработанным электродвигателем с реверсивным действием. Волноводный тракт антенны проходит непосредственно через ротор электродвигателя. Электронная схема управления электродвигателем вырабатывает 40 стробирующих импульсов на каждой строке сканирования, которые обеспечивают пуск аналого-цифрового преобразователя принимаемого сигнала. Это дает возможность автоматически получить информацию не только об амплитуде, но и о пространственно-временных характеристиках сигнала, т.е. осуществить автоматическую пространственно-временную привязку принимаемого радиотеплового излучения исследуемой поверхности.

Для уменьшения деформации поверхности зеркала вследствие температурных колебаний отражающая поверхность покрывается специальным радиопрозрачным теплоизоляционным материалом. Внешняя поверхность зеркала обшита экранно-вакуумной теплоизоляцией (ЭВИ). Облучатель антенны также покрывается радиопрозрачным теплоизоляционным материалом.

Для контроля температурных деформаций элементов антенной системы предусмотрена установка пяти температурных датчиков. Три из них расположены на отражающей поверхности зеркала: один — в центре, и два — в краях.

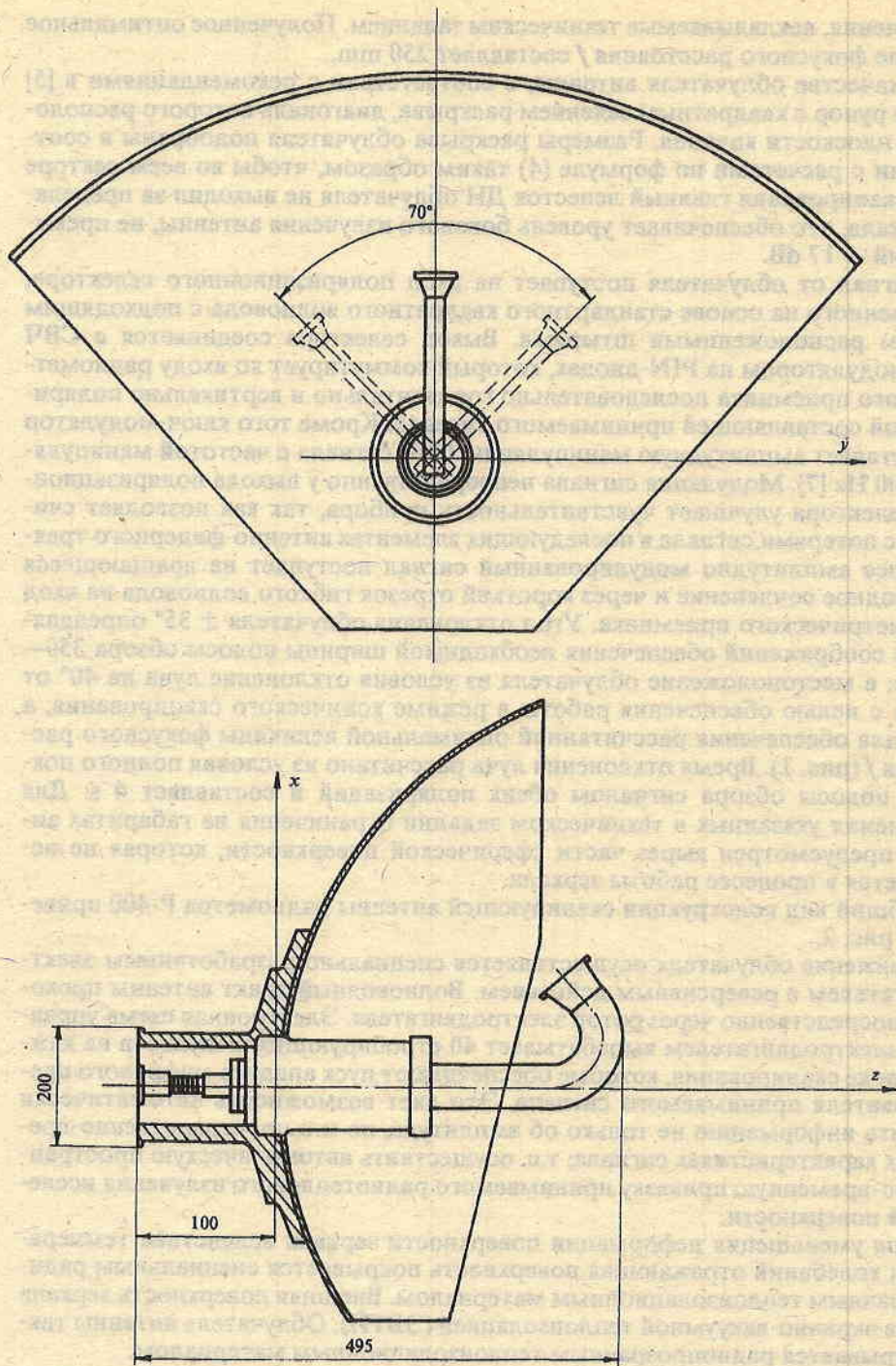


Рис. 2

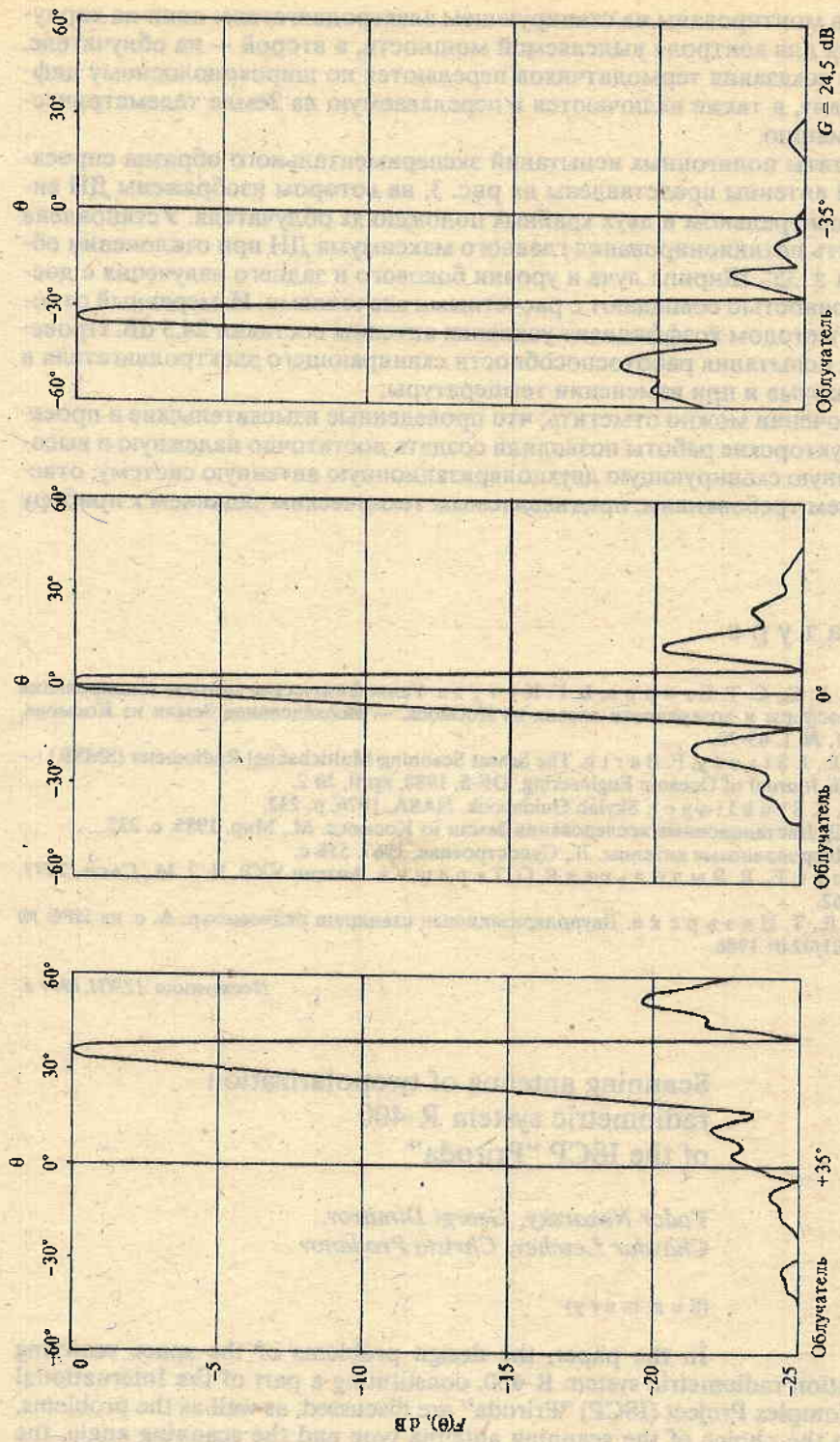


Рис. 3

Два датчика монтированы на сканирующем электродвигателе: один на корпусе двигателя для контроля выделяемой мощности, а второй — на облучателе. Результаты показания термодатчиков передаются по широкополосному цифровому каналу, а также включаются в передаваемую на Земле телеметрическую информацию.

Результаты полигонных испытаний экспериментального образца спроектированной антенны представлены на рис. 3, на котором изображены ДН антенны при центральном и двух крайних положениях облучателя. Установлена правильность позиционирования главного максимума ДН при отклонении облучателя на $\pm 35^\circ$. Ширина луча и уровни бокового и заднего излучения с достаточной точностью совпадают с расчетными значениями. Измеренный относительным методом коэффициент усиления антенны составил 24,5 дВ. Проведены также испытания работоспособности сканирующего электродвигателя в условиях вакуума и при изменении температуры.

В заключении можно отметить, что проведенные изыскательские и проектно-конструкторские работы позволили создать достаточно надежную и высокоэффективную сканирующую двухполяризационную антенную систему, отвечающую всем требованиям, предъявляемым техническим заданием к прибору Р-400.

Л и т е р а т у р а

1. Г у р в и ч, А. С., С. Т. Е г о р о в, Б. Г. К у т у з а. Радиофизические методы зондирования атмосферы и поверхности океана из Космоса. — Исследование Земли из Космоса, 1981, № 1, 63-70.
2. N j o k u g, E., J. S t a c e y, F. B a r t h. The Seasat Scanning Multichannel Radiometer (SMSR). — IEEE Journal of Oceanic Engineering, OF-5, 1980, april, № 2.
3. B e l e w, L., E. S t u h l i n g e r. Skylab Guidebook. NASA, 1976, p. 232.
4. М и ш е в, Д. Дистанционные исследования Земли из Космоса. М., Мир, 1985. с. 232.
5. К ю н, Р. Микроволновые антенны. Л., Судостроение, 1967. 518 с.
6. А й з е н б е р г, Г., В. Я м п о л ь с к и й, О. Т е р е ш и н. Антенн УКВ. Ч. 2. М., Связь, 1977. с. 262.
7. М и ш е в, Д., Т. Н а з ь р с к и. Двуполяризационен сканиращ радиометър. А. с. на НРБ № 41091/02.01.1986.

Поступила 12.XII.1994 г.

Scanning antenna of twopolarization radiometric system R-400 of the ISCP "Priroda"

*Todor Nazarsky, Georgi Dimitrov,
Chavdar Levchev, Christo Prodanov*

(S u m m a r y)

In the paper, the design problems of the space scanning twopolarization radiometric system R-400, constituting a part of the International Scientific Complex Project (ISCP) "Priroda" are discussed, as well as the problems, related with the choice of the scanning antenna type and the scanning angle, the

antenna's functioning in a twopolarization regime and the obtaining of the needed direction diagram.

The antenna system construction is shown and the operation of its major components is considered, such as: the polarization separator, the modulator, the rotating coaxial wave-conducting tract, in combination with the scanning electric motor.

The results from the measurements of the direction diagram and the antenna gain coefficient are presented.

Finally, the antenna system technical parameters are analyzed on the grounds of the requirements for it, defined in the Technical requirements for it, defined in the Technical Requirements for the Radiometric System R-400 and in the "Priroda" project Scientific Program.