

Антенна Иркутского радара некогерентного рассеяния: математическая модель, методы калибровки

В.П. Лебедев, А.Г. Сетов, В.Ю. Ермаков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук. Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.126А, а/я 291.
E-mail: uzel@iszf.irk.ru, lebedev@iszf.irk.ru*

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) представляет собой моностатический импульсный радиолокатор с частотным сканированием. Антенна радара представляет собой достаточно сложную конструкцию. ДН антенны ИРНР в направлении сканирования (азимутальное направление) формируется линейной решеткой целевых излучателей. Формирование ДН в поперечном направлении (угломестная плоскость) осуществляется с помощью секториального рупора разделенного металлической перегородкой на две равные части (два полурупора), каждая из которых связана со своим приемным и передающим трактом. При этом перегородка несколько короче рупора, и составляет примерно 2/3 его высоты. Для удовлетворения современным требованиям, предъявляемым к точности измерения абсолютной мощности регистрируемой мощности принятого сигнала необходима точная математическая модель антенной системы и приемного тракта. В работе приводится разработанная математическая модель антенной системы ИРНР, которая, тем не менее, содержит параметры, которые точно могут быть определены только экспериментально. Для измерения таких параметров разработаны соответствующие методики. Ключевые слова: антенны, измерение диаграммы направленности, космические радиоисточники.

Antenna of the Irkutsk radar incohering scattering: mathematical model, calibration methods

V.P. Lebedev, A.G. Setov, B.YErmacov

*Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
Russia, 664033, Irkutsk p/o box 291; Lermontov st., 126a*

The Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IRSR) is a monostatic frequency-scanning pulsed radar. The radar antenna is a rather complex structure. The radiation pattern of the IISR antenna in the scanning direction (azimuthal direction) is formed by a linear array of slotted radiators. The formation of the RP in the transverse direction (elevation plane) is carried out using a sectorial horn divided by a metal partition into two equal parts (two half-horns), each of which is connected to its own receiving and transmitting path. In this case, the partition is somewhat shorter than the horn, and is approximately 2/3 of its height. To meet modern requirements for the accuracy of measuring the absolute power of the recorded power of the received signal, it is necessary to have the most accurate mathematical model of the antenna system and the receiving path. The paper presents the developed mathematical model of the IISR antenna system, which, however, contains parameters that can only be accurately determined experimentally. Appropriate techniques have been developed to measure such parameters.

Keywords: antennas, antennas pattern, space radio source.

Антенная система Иркутского радара некогерентного рассеяния.

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) представляет собой моностатический импульсный радиолокатор с частотным сканированием в направлении Север-Юг в секторе $\pm 30^\circ$ путем изменения несущей частоты в диапазоне 154 - 162 МГц. Длительность зондирующего импульса – от 70 до 900 мкс. Частота следования импульсов – 24.4 Гц. На рисунке 1 представлен вид антенной системы ИРНР, которая является двухканальной приемо-передающей антенной. Антенная система состоит из следующих основных узлов:

1. Формирующего рупора с раскрытием 246×12 м.
2. Разделительной перегородки (языка), установленной в формирующем рупоре.
3. Переходных возбуждающих рупоров, установленных в начале и конце каждой линейки.
4. Щелевой панели с двумя рядами щелевых излучателей.
5. Двух линеек замедляющей ребристой структуры, установленных на общей раме.
6. Поляризационный фильтр в раскрытии антенны, состоящий из металлических полос.

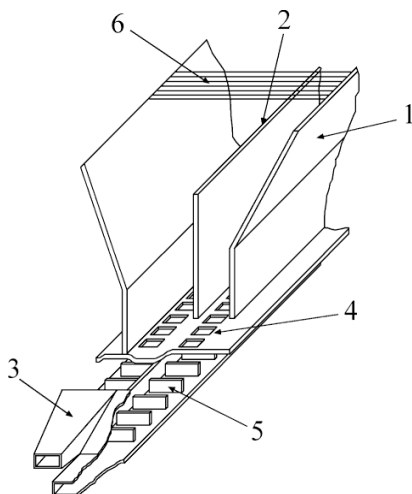


Рис. 1. Структура антенны ИРНР.

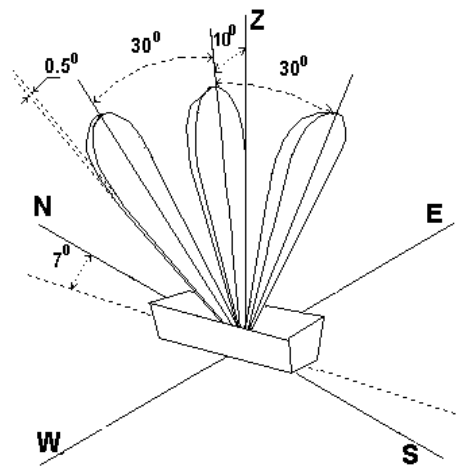


Рис. 2. Ориентация антенной системы радара и характеристики ДН ИРНР.

Диаграмма направленности (ДН) антенны радара вдоль длинной оси (азимутальное направление в антенной системе координат) формируется протяженной линейной решеткой щелевых излучателей и имеет ширину около 0.5° (рисунок 2). Формирование ДН в поперечном направлении (угломестная плоскость) осуществляется с помощью секториального рупора разделенного металлической перегородкой на две равные части (два полурупора), каждая из которых связана со своим приемным и передающим трактом. При этом перегородка несколько короче рупора, и составляет примерно $2/3$ его высоты. Такая конструкция позволяет проводить независимые наблюдения каждым полурупором и измерять фазовый сдвиг сигнала между ними. Характеристики ДН, которую формирует антенная система ИРНР в рабочем диапазоне частот, представлены в таблице 1.

В раскрытии рупора установлен поляризационный фильтр в виде тонких металлических полос шириной 10мм и расстоянием между ними 60мм. Расположение полос фильтра характеризует его затухание для паразитной поляризации (вектор «Е» параллелен полосам) и прозрачность для рабочей поляризации (вектор «Е» перпендикулярен полосам). Для паразитной поляризации фильтр вносит затухание более 30 дБ.

Таблица 1. Характеристики ДН антенны ИРНР.

| Характеристика | Значение |
|---|--|
| Ширина ДН в плоскости частотного сканирования | $2\Delta\varepsilon_{0,5} = 28' \pm 3'$ |
| Ширина ДН в нормальной плоскости каждого полурупора | $2\Delta\gamma_{0,5} = 20^\circ$ |
| Крутизна фаза угломестной характеристики | 15 - 18 электрических градусов на один градус угла в нормальной плоскости в пределах $\pm 10^\circ$ от нормали к антенне |
| Коэффициент усиления каждого из каналов антенны на нормали | не менее 3000 |
| Сектор качания луча ДН в плоскости частотного сканирования | не менее 30° в одну сторону от нормали |
| Уровень первого бокового лепестка в районе главного максимума в плоскости частотного сканирования | не выше -11дБ |

Модель ДН в плоскости частотного сканирования, уравнение сканирования.

Формирование узкой ДН в плоскости частотного сканирования и качание лепестка этой ДН в секторе $\pm 30^\circ$ от нормали происходит при помощи линейной решетки щелевых излучателей и замедляющей системы в виде открытой ребристой структуры. За счет изменения частоты от 154 МГц до 162 МГц лепесток ДН перемещается от 0 до 30° относительно нормали к антенне.

Открытая ребристая структура представляет собой систему прямоугольных ребер, расположенных на плоской металлической подложке. Каждая пара ребер вместе с подложкой образует короткозамкнутый волновод, глубина которого $h < \lambda/4$. Ширина ребристой структуры - 1.36 м. Короткозамкнутый волновод такого размера имеет индуктивное входное сопротивление. Система ребер на металлической подложке представляет систему соединенных индуктивностей. Основным свойством таких импедансных поверхностей является способность замедлять фазовую скорость электромагнитной волны, распространяющейся вдоль этой поверхности в разной степени для разных длин волн.

Волна, проходящая в ребристой структуре, запаздывает относительно волны, распространяющейся в воздухе, на удвоенную величину канавки h . Поскольку суммарный путь запаздывания при распространении волны вдоль поверхности канала составляет величину, меньшую чем $\lambda/2$, то волна, проходящая в ребристой структуре, является замедленной. Степень замедления волны в ребристой структуре характеризуется коэффициентом замедления $\epsilon \in (2,3)$ – отношение фазовой скорости волны в воздухе к фазовой скорости поверхностной волны в ребристой структуре.

В поле поверхностной волны расположена решетка щелевых излучателей. Задача щелевых излучателей – отобрать из поля ребристой структуры мощность и излучить ее. Фактически антенной является система щелей, которая, возбуждаясь от ребристой структуры, формирует ДН в плоскости частотного сканирования. Длина антенны $L = 246$ метров, число щелей $N = 283$, длина щели – 87 см, ширина - 5.7 см.

Для длинной антенны закон распределения поля вдоль антенны можно считать экспоненциальным, непрерывным и записать в виде:

$$E(y) = \exp(\beta \cdot y)$$

где $\beta = \ln \Delta / L$ - коэффициент затухания, Δ - уровень поля в конце антенны в относительных единицах по отношению к уровню на входе. Поле в дальней зоне,

создаваемое решеткой магнитных вибраторов (набором щелей) определяется суммой вкладов от каждой щели:

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\exp(N(i\psi + \alpha d)) - 1}{\exp(i\psi + \alpha d) - 1}$$

где $\psi = kd(g - \sin \varepsilon)$ - разность фаз между соседними щелями, N - число щелей. Тогда выражение для ДН по мощности вдоль плоскости частотного сканирования:

$$F(\varepsilon) = AE\bar{E} = A \frac{\operatorname{ch}(\alpha L) - \cos(\psi N)}{\operatorname{ch}(\alpha d) - \cos(\psi)} \quad (1)$$

где A - коэффициент, нормирующий максимум ДН на единицу.

Уравнение сканирования может быть получено из уравнения (1), согласно которому максимум ДН в выражении достигается при условии $\psi = 2\pi n$, тогда:

$$\sin \varepsilon = g - \lambda/d. \quad (2)$$

Уравнение сканирования (2), определяет угол отклонения максимума ДН от нормали в зависимости рабочей длины волны. Расстояние между щелями $d \approx 87$ см подобранно так чтобы максимум ДН на частоте 154 МГц практически точно совпадал с нормалью к поверхности рупора.

Рёбристая структура является своеобразным волноводом, свойства которого меняются с изменением длины волны поля, возбуждающего его. Величина коэффициента замедления связана с параметрами рёбристой структуры следующим образом:

$$g = \chi(f) \sqrt{1 + \left(\frac{a}{a+b} \operatorname{tg}(kh)\right)^2}$$

где $\frac{a}{a+b}$ - относительный период структуры, $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число;

$a = 13.6$ см - ширина канавки;

$b = 14$ мм - толщина ребра структуры;

$h = 38.4$ см - глубина канавки (высота ребра);

$\chi(f)$ - поправочный коэффициент, учитывающий конечную ширину структуры и радиус закругления ребер.

Модель ДН в угломестной плоскости

Антенна ИРНР представляет собой секториальным \vec{H} плоскостной рупор. Формирование широкой ДН в угломестной плоскости обеспечивает рупор, разделенный металлической перегородкой на две равные части (два полурупора), каждая из которых связана со своим приемным и передающим трактом, имеющих электрический контакт со щелевой панелью. Разделительная перегородка в рупоре одним концом соединена со щелевой панелью и вывешена в рупоре на тонких металлических тросах (рис. 1). Перегородка несколько короче рупора, и составляет примерно 2/3 его высоты. Ширина горла рупора 2.4м, раскрыв рупора $D=12.2$ м, высота рупора ~ 20 м, двугранный угол между боковыми стенками рупора $\phi=32^\circ$.

Механизм формирования амплитудно - фазового распределения электромагнитного поля в раскрыве рупоре следующий, возбужденная щелями волна распространяется в

рупоре между разделительной перегородкой и нижней (западной)/верхней (восточной) плоскостью рупора. За счет резкого и несимметричного изменения размеров рупора за перегородкой, кроме основной волны H_{10} , возникают волны высших типов: H_{20} , H_{40} , H_{80} . Эти волны, распространяясь далее по рупору с разными скоростями, приходят к раскрытию с разными амплитудами и фазами. Таким образом, в раскрытии рупора каждому полурупору соответствует несимметричное амплитудное распределение. Таким образом, в раскрытии рупора каждым полурупором создается несимметричное амплитудное распределение, пример которого приведен на рисунке 3, видно, что максимумы амплитудного распределения H_x^D нижнего и верхнего полурупоров сдвинуты в разных направлениях.

При определении поля в раскрытии рупора необходимо учесть фазовые искажения, связанные с тем, что раскрытие рупора плоское, а волна в рупоре цилиндрическая, рисунок 3.

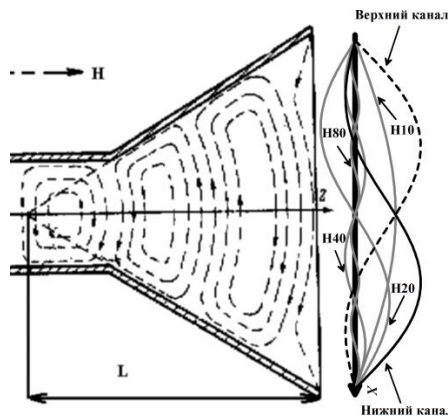


Рис.3. Распределение поля в раскрытии рупора.

На рисунке 3 видно, как плоский волновой фронт переходит в цилиндрический. Дуга NOP окружности с центром в точке O_1 является линией равных фаз, тогда сдвиг фаз между возбуждающими полями в центре раскрытия и в произвольной точке M равен $\psi(x) \cong \pi x^2 / \lambda L$, здесь $L=21.27$ м - эффективная длина рупора. С учетом сделанных приближений, выражение для поля в раскрытии рупора примет вид:

$$H^{D|U}(\zeta) = A_1^{D|U} \left(\underbrace{\cos\left(\frac{\pi}{2}\zeta\right)}_{H_{10}} \pm \underbrace{\sum_{n=1}^4 (-1)^n \alpha_{2n} e^{i\Delta\psi_{2n}} \sin(\pi n \zeta)}_{H_{2n0}} \right) \cdot \exp(-i\vartheta\zeta^2), \quad (3)$$

где $\zeta = 2x/D, D = 12.2$ м - ширина раскрытия рупора, ϑ - фаза возбуждающего поля на краю рупора относительно его центра. В выражении (3) коэффициенты $\alpha_{2n} = A_{2n}^{D|U} / A_1^{D|U}$ определяют отношение амплитуды волны высшего типа H_{2n0} к амплитуде волны основной волны H_{10} в раскрытии рупора, причем амплитуды волн в каналах могут несколько отличаться. Относительная амплитуда волн высших типов уменьшается с ростом номера волны, т.е. $\alpha_{2n} > \alpha_{2m}, m > n$, $\Delta\psi_{2n}$ - фазовое запаздывание волны высшего типа H_{2n0} от волны H_{10} на участке от верхней границы перегородки до раскрытия рупора.

Напряженность поля в дальней зоне в угломестном направлении, создаваемая нижним/верхним рупором:

$$H^{D|U}(\gamma) = \int_{-1}^1 H^{D|U}(\zeta) \cdot \exp(i\zeta u(\gamma)) d\zeta,$$

где $u = k \frac{D}{2} \sin(\gamma)$, γ – антенный угол места в антенной СК, $H_{\zeta}^{D|U}$ – распределение поля в раскрыве рупора (3).

Фазовая диаграмма направленности ИРНР в угломестном направлении

Так как фазовые центры полурупоров разнесены, для измерения угла прихода в угломестном направлении используется фазоразностный метод. Распределение поля, создаваемое каждым полурупором в раскрыве рупора таково, что диапазоне углов $\gamma \in [-10^\circ, 10^\circ]$, фазовая диаграмма направленности каждого полурупора $\arg(E^{D|U}(\gamma))$ близка к линейной, что позволяет использовать разность фаз между верхним и нижним каналами для определения антенного угла места γ :

$$\varphi(\gamma) = \arg(E^U(\gamma)) - \arg(E^D(\gamma)) \cong \kappa_{\varphi} \cdot \gamma,$$

где κ_{φ} – крутизна фазовой диаграммы направленности.

Калибровка ДН антенной системы ИРНР

Представленная выше математическая модель ДН антенной системы ИРНР содержит параметры, которые могут быть определены только в результате проведения калибровочных измерений:

$\chi(f)$ – коэффициент в уравнении сканирования (2), учитывающий конечную ширину структуры и радиус закругления ребер;

β – коэффициента затухания;

ϑ – фаза возбуждающего поля на краю рупора относительно его центра;

α_{2n} – отношение амплитуды волн высших типов к амплитуде волны H_{10} ;

$\Delta\psi_{2n}$ – фазовое запаздывание волн H_{2n0} относительно H_{10} в раскрыве рупора;

κ_{φ} – крутизна фазовой диаграммы направленности в угломестной плоскости.

Исследование ДН можно получить при непосредственных измерениях поля излучения или приема в дальней зоне, например, методом облета. Так как для антенны ИРНР дальняя зона начинается с 35 км такая процедура труднодоступна. Измерения на уменьшенных макетах антенн, также требуют значительных дополнительных затрат и усилий и при этом не всегда дают адекватные результаты. Общая мировая практика показывает, что наиболее эффективным способом получения характеристик ДН является измерение уровня мощности шума при прохождении через диаграмму различных космических радиоисточников.

Методика калибровки, изложенная в работе, основана на измерении уровня мощности шума при прохождении через ДН космических радиоисточников. На участке неба, который покрывает сектор сканирования антенны радара, в разное время проходят три мощных радиоисточника: Крабовидная туманность, «Кассиопея-А», «Лебедь-А». В таблице 2 приведены основные характеристики наблюдаемых радиоисточников.

На ИРНР в пассивном режиме регулярно ведется регистрация радиоизлучения неба в диапазоне частот 149 – 163.2 МГц. На рисунке 4 (ось абсцисс – время (UT), ось ординат – рабочая частота в КГц, ось аппликат – мощность) приведен пример динамики мощности регистрируемых шумов.

Таблица 2. Основные характеристики радиоисточников, наблюдаемых на ИРНР.

| Радиоисточник | Плотность потока на частоте 152-162 МГц | Поляризация | Координаты на эпоху 26 октября 2005г | |
|------------------------|--|----------------------------|--|--|
| | | | Прямое восхождение | Склонение |
| Лебедь-А | 8000 Ян ($8.0 \cdot 10^{-23} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$) | Неполяризованное излучение | 19 ^h 59 ^m 40.93 ^s | 40 ^o 44 ^m 13.88 ^s |
| Кассиопея-А | 12700 Ян ($12.7 \cdot 10^{-23} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$) | Линейная поляризация | 23 ^h 23 ^m 43.58 ^s | 58 ^o 50 ^m 23.56 ^s |
| Крабовидная туманность | 1500 Ян ($1.5 \cdot 10^{-23} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$) | Линейная поляризация | 05 ^h 34 ^m 52.94 ^s | 22 ^o 01 ^m 05.28 ^s |

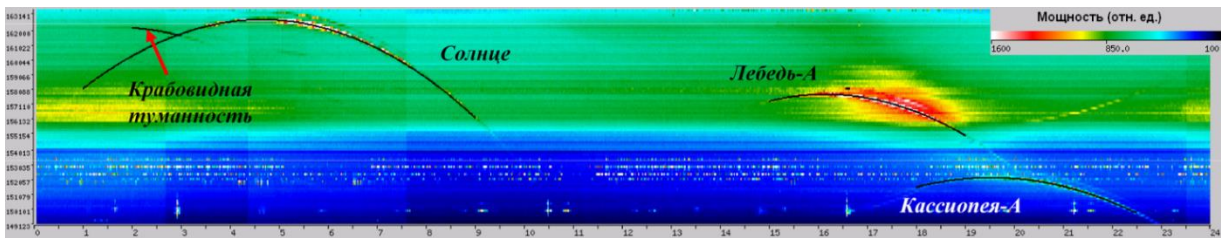


Рис.4. Пример динамики мощности шумов неба в секторе сканирования ИРНР.

Положение радиоисточников известно с точностью до нескольких угловых секунд. Таким образом, в измерениях в каждый момент времени для данной рабочей частоты f можно поставить в соответствие рассчитанный угол ε и провести калибровку уравнения сканирования $\varepsilon = \varepsilon(f)$ и коэффициента замедления $g(f)$ ребристой структуры, рисунок 5.

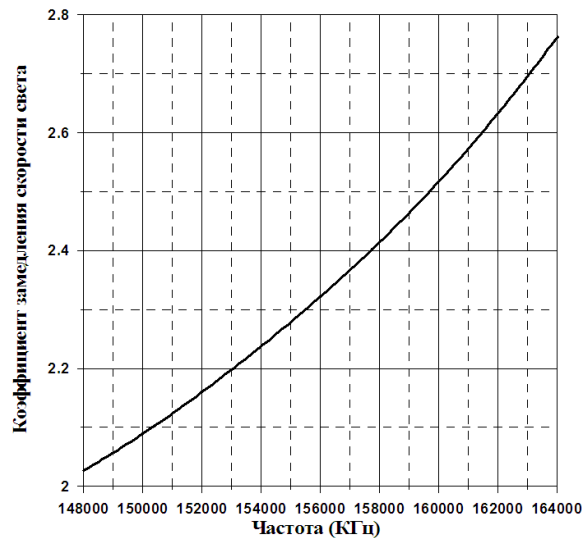


Рис. 5. Зависимость коэффициента замедления скорости света в ребристой структуре от рабочей частоты

Определение коэффициента затухания β

Для ее корректного определения коэффициента затухания необходимо учесть, как свойства антенны, так и приемного тракта. Решение рассматриваемой задачи получено в результате анализа динамики мощности принятого сигнала, при прохождении радиоисточником через ДН, соответствующей рабочей частоте f_0 :

$$P(f_0) = \text{const} \cdot W(f_0) \int F(\varepsilon(f)) \Phi(f - f_0)^2 df, \quad (4)$$

где $W(f_0)$ — спектральная мощность радиоисточника, $\Phi(f-f_0)$ — амплитудно-частотная характеристика приемного тракта (гауссов, ширина полосы 25 КГц), $F(\varepsilon(f))$ определяется выражением (1) с учетом уравнения сканирования (2). В результате численного анализа (4) определены параметры $\Delta=0.15$ и $\beta=-0.0077$, что соответствует ширине ДН $2\Delta\varepsilon_{0.5}=0.45^\circ$. На рисунке серой линией представлена $P(f_0)$, черной линией — восстановленная форма ДН в плоскости частотного сканирования $F(\varepsilon(f))$.

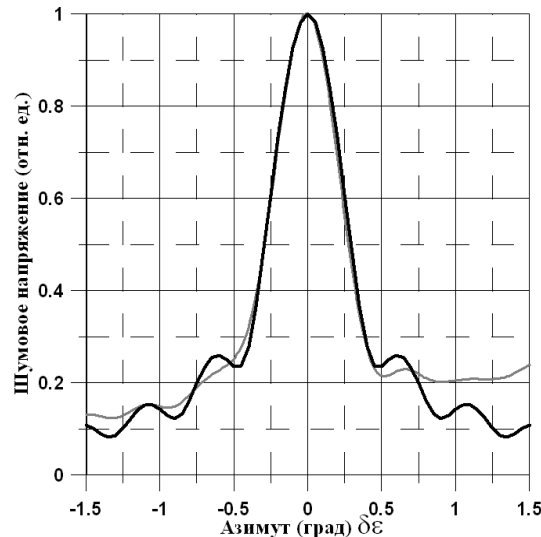


Рис. 6. Серая линия — результаты измерений, черная линия — восстановленная ДН в плоскости частотного сканирования

Калибровка ДН в угломестном направлении

Измерения радиоисточников ведутся в режиме циклического сканирования с использованием собственного перемещения радиоисточника по небесной сфере. Дискретный набор сечений ДН, полученных в режиме циклического сканирования, был аппроксимирован квадратичными В-сплайнами и пересчитан в эффективный одночастотный режим, рисунок 7, в результате был восстановлено пространственное распределение регистрируемой мощности в основном лепестке ДН. На рисунке 8 представлены восстановленные ДН нижнего и верхнего полурупоров, максимумы ДН полурупоров смещены от центра примерно на $\gamma_0 \approx \pm 1.5^\circ$.

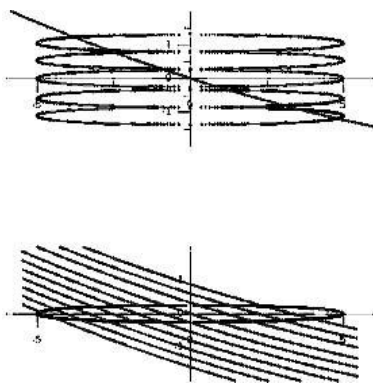


Рис. 7. Сечения ДН на разных частотах, пересчитанные для одночастотного режима наблюдения

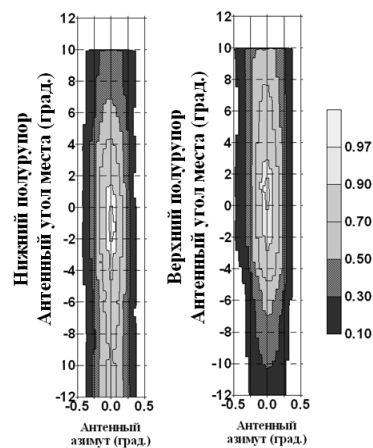


Рис. 8. Пространственное распределение поля для верхнего и нижнего рупоров.

В результате калибровочных измерений показано, что приемлемое, с точностью 10%, согласие между расчетной и измеренной ДН достигается при учете двух мод волн высших типов $H_{20}(\alpha_2=0.813, \Delta\psi_2=14.6^\circ)$ и $H_{40}(\alpha_4=0.3, \Delta\psi_4=250^\circ)$. На рисунке 9 штриховая линия соответствует измеренной ДН, черная и серая линии — расчетным ДН восточного и западного полурупоров для найденных параметров волн высших типов.

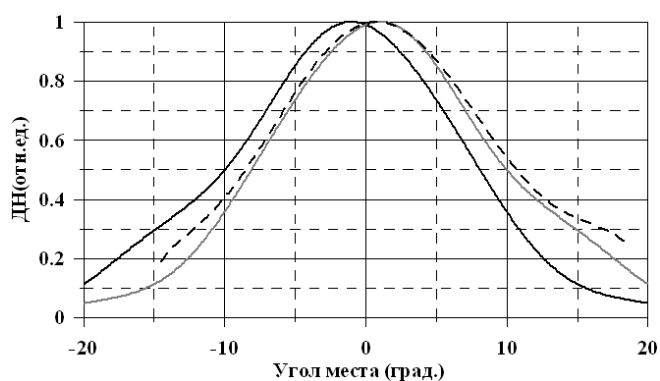


Рис. 9. Черная и серая линии - ДН нижнего и верхнего полурупоров, штриховая линия – результаты измерений

Фазовая характеристика антенны. Синтез ДН в угломестном направлении

Задача точного определения координат в угломестном направлении требует калибровки фазовой ДН $\varphi(\gamma)$. Фазо-угломестная характеристика антенны, представленная на рисунке 10, определялась по результатам наблюдения космических радиоисточников. В диапазоне углов места $\pm 10^\circ$ фазовая характеристика линейна и ее наклон составляет 17.6 электр. град./ 1° угла места, что соответствует интерферометру с базой 5 м. Вне рассматриваемого диапазона зависимость разности фаз от антенного угла места цели более сложная, нелинейная.

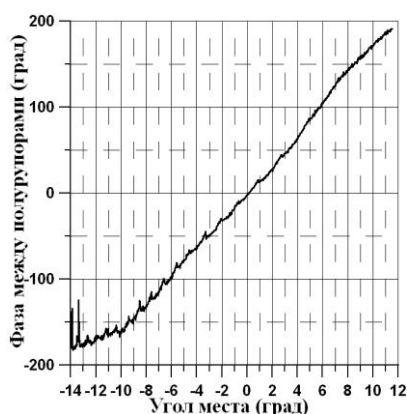


Рис. 10. Фазовая характеристика антенны ИРНР

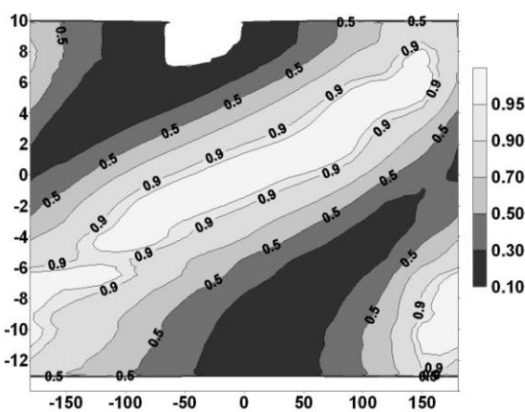


Рис. 11. Форма ДН в угломестном направлении в зависимости от разности фаз между полурупорами (ось абсцисс). По оси ординат — антенный угол места

Возможность задавать разность фаз между каналами верхнего и нижнего полурупоров позволяет управлять формой ДН в угломестной плоскости. На рисунке 11 представлена полученная в результате калибровочных измерений зависимость формы ДН в угломестном направлении от дополнительной разности фаз между каналами. Из рисунка 11 видно, разность фаз между каналами в пределах $-90^\circ \div +90^\circ$ приводит к смещению максимума суммарной ДН от центрального направления в пределах $-5^\circ \div +5^\circ$, что позволяет осуществлять сканирование в угломестной плоскости. При разности

фаз составляет 180° формируется двухлепестковая ДН.

Система телеметрии и управления передатчиками ИРНР

Для расчета формы ДН формируемой при одновременной работе полурупоров, необходима регистрация подводимой мощности от передатчиков к каждому каналу. В процессе модернизации ИРНР создана система, позволяющая оператору управлять работой передатчиков, следить за уровнем выходной мощности и архивировать показания мощности и температуры. Для решения этой задачи разработана система телеметрии и управления передатчиками, в которой используется плата с микроконтроллером, подключаемая к старому пульта управления. Пульт расположен возле передатчиков и имеет аналоговые индикаторы и кнопочные элементы управления. Блок-схема новой системы телеметрии и управления показана на рисунке 12. Всего на станции имеется две группы передатчиков, используемых для излучения на юг (3, 34, 4 передатчики) и на север (1, 12, 2 передатчики). К полурупорам радара подключается по одному передатчику, а третий передатчик — запасной. Новая система расположена непосредственно в пульте и состоит из платы контроллера и интерфейсной платы с усилителями и электронной схемой управления, подключенной параллельно оригинальной схеме, чтобы сохранить возможность работы самого пульта. Интерфейсная плата гальванически развязывает кнопки пульта, переключающие напряжение 27 В, от чувствительных схем контроллера. Усилители подключены к аналоговым индикаторам излучаемой мощности и усиливают сигнал до динамического диапазона АЦП контроллера. Также к контроллеру подключается выносной датчик температуры.

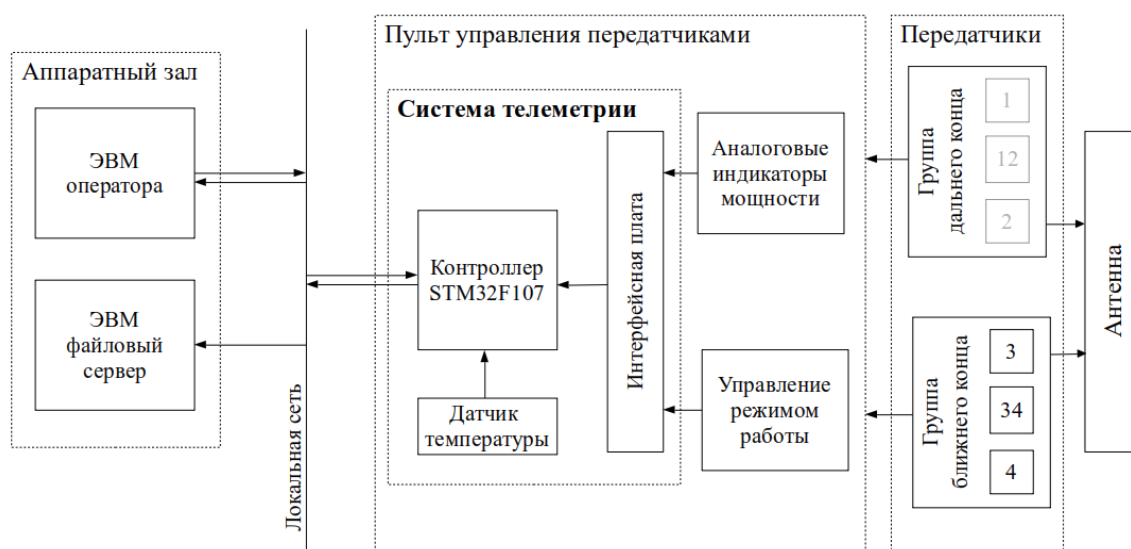


Рис. 12. Блок-схема системы телеметрии и управления передатчиками радара

Контроллер системы телеметрии (STM32F107) усредняет показания мощности и температуры, содержит логику управления, защищающую передатчики от случайного многократного включения/отключения, а также осуществляет связь с локальной сетью радара по витой паре посредством протокола UDP/IP. Аналоговые индикаторы отображают излучаемую мощность передатчиков в диапазоне от 0 до 1.8 МВт. При этом напряжение на индикаторе нелинейно меняется от 0 до 75 мВ, поэтому в контроллере дополнительно производится компенсация нелинейности. Датчик температуры подключается по протоколу 1-Wire. Обмен данным с потребителями

построен по модели клиент/сервер. Клиенты отправляют запросы контроллеру на считывания текущего статуса и включение/отключение передатчиков. При этом, для простоты был выбран транспортный протокол UDP с дополнительной проверкой целостности пакетов.

На стороне оператора в аппаратном зале используется программа с графическим интерфейсом, связывающаяся с контроллером и отображающая текущее состояние передатчиков. Программа позволяет управлять передатчиками и обладает дополнительным уровнем защиты от случайного многократного срабатывания. Параллельно с интерфейсом оператора, с контроллером связывается файловый сервер, который записывает показания мощности каждые 1-2 секунды.

Система контроля и управления передатчиками в масштабе реального времени позволяет оперативно учитывать форму ДН для оценки эффективной площади рассеяния наблюдаемых космических аппаратов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России и РФФИ (проект № 20-05-00580 А). Результаты получены с использованием Уникальной научной установки «Иркутский радар некогерентного рассеяния» <http://ckp-rf.ru/usu/77733>.