

УДК 621.396.67(621.37)

DOI: 10.52531/1682-1696-2023-23-1-33-37

Научная статья

БЛОК АНТЕННЫЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ОСНОВЕ АНТЕННЫ ПРОДОЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОТКРЫТЫЙ ВОЛНОВОД

В.А. Ходунов, Т.А. Чалкина,
Е.М. Снытко

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

В статье представлены результаты работы по модернизации блоков антенных аппаратуры постановки помех техники РЭБ высокоскоростных летательных аппаратов.

В результате проведенной модернизации разработан блок антенный, превосходящий применяющийся, с улучшенными электродинамическими и конструктивными характеристиками, выполненный полностью на отечественных материалах.

Ключевые слова: антенна вытекающей волны; антенна поверхностных волн; широкополосная антенна; линейная и круговая поляризация; диэлектрическая проницаемость

Современная бортовая аппаратура постановки помех высокоскоростных летательных аппаратов должна обеспечивать преодоление противоракетной обороны (ПРО) противника. Эффективность бортовой аппаратуры РЭБ заключается в учёте тактико-технических характеристик (ТТХ) средств ПРО противника, а также модели действий этих средств по перехвату летательных аппаратов.

В связи с охраняемыми режимом сведениями относительно значений диапазонов рабочих частот антенн вводится условное их обозначение.

Тактико-технические характеристики блоков антенных:

– условный диапазон рабочих частот: $x+0.6 \div y-6.2$, $x+4.4 \div y-1.2$ ГГц;

Original article

ANTENNA ASSEMBLY WITH THE IMPROVED CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF THE ANTENNA OF LONGITUDINAL RADIATION THROUGH THE DIELECTRIC OPEN WAVE GUIDE

V.A. HODUNOV,
T.A. CHALKINA, E.M. SNYTKO
JSC «CENTRAL RESEARCH INSTITUTE
OF RADIO ENGINEERING NAMED AFTER
ACADEMICIAN A.I. BERG»

Results of work on upgrade of antenna assemblies of the equipment of setting of noises of the REB equipment of high-speed aircraft are presented in article.

As a result of the carried-out upgrade the antenna assembly surpassing applied with the improved electroresponse and constructive characteristics, executed completely on domestic materials is developed.

KEYWORDS: the antenna of the following wave; antenna of surface waves; wideband antenna; linear and circular polarization; dielectric permittivity

– КСВН – не более 1.8, в диапазонах $x+0.6 \div y-6.2$, $x+4.4 \div y-1.2$ ГГц;

– КСВН – не более 2.5, в диапазоне $x+0.6 \div y-1.2$ ГГц;

– КУ – не менее 6 дБ в диапазонах $x+0.6 \div y-6.2$, $x+4.4 \div y-1.2$ ГГц;

– диаграмма направленности по углу места ($5^\circ \div 30^\circ$) относительно плоскости обтекателя, по азимуту не менее $\pm 25^\circ$;

– формирование максимума ДН совпадает с направлением оси излучателя.

Для модернизации группой разработчиков рассматривались и прорабатывались в среде электродинамического моделирования основные типы антенны поверхностных волн: плоские, линейные, стержневые и дисковые, как наиболее подходящие для реализации требований по направлению излучения – вдоль объекта-носителя.

При расчетах антенн поверхностных волн применялась представленная ниже теория определения поля

излучения диэлектрической антенны и электромагнитного поля внутри и вне диэлектрической вставки конечной длины [1]:

При возбуждении диэлектрической антенны вибратором или волноводом с волной H_{11} во вставке при правильном выборе его размеров возбуждается основная волна HE_{11} . Линии вектора напряженности электрического поля E в поперечном сечении вставки имеют одно преимущественное направление, перпендикулярное оси антенны.

Возникающие в стержне волны вызывают поляризацию диэлектрика вдоль силовых линий электрической составляющей поля в поперечных плоскостях диэлектрической вставки, т.е. возбуждаются электрические токи поляризации, которые в основном являются поперечными. Эти токи смещения могут рассматриваться как излучатели с равномерным распределением амплитуд в направлении оси антенны и линейным распределением фаз. Таким образом, антенну с диэлектрической вставкой можно рассматривать как антенну бегущей волны осевого излучения с замедленной фазовой скоростью [2]. Следовательно, диаграмма направленности (ДН) диэлектрической антенны в E и H плоскостях рассчитывается по формулам:

– в плоскости E :

$$F_E(\theta) = F_1(\theta) F_2(\theta) F_3(\theta); \quad (1)$$

– в плоскости H :

$$F_H(\theta) = F_1(\theta) F_2(\theta); \quad (2)$$

Множитель $F_E(\theta)$ является функцией направленности линейки бегущей волны и определяется по формуле

$$F_1(\theta) = \frac{\operatorname{sh} \left| \frac{\alpha L}{2} + j \xi \right| \left| \frac{\alpha L}{2} + j \xi_0 \right|}{\left| \frac{\alpha L}{2} + j \xi \right| \operatorname{sh} \left(\frac{\alpha L}{2} + j \xi_0 \right)},$$

$$\text{где } \xi = \frac{kL}{2} \left(\frac{c}{V_\phi} - \cos(\theta) \right); \quad \xi_0 = \frac{kL}{2} \left(\frac{c}{V_\phi} - 1 \right);$$

α – коэффициент затухания, который определяется экспериментально. При расчете ДН антенны из полистирола, люцита и других диэлектриков с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,5 \dots 2/6$ можно принять, что: $\alpha L/2 = 0,5$. $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, θ – угол между осью антенны и направлением на точку наблюдения, c/V_ϕ – коэффициент замедления волны в диэлектрическом волноводе. На рисунке 1 показаны зависимости $F_1(\xi)$ от ξ для различных значений $\alpha L/2$. Из рисунка видно, что чем больше $\alpha L/2$ (чем быстрее убывает амплитуда поля от начала антенны к ее концу), тем шире главный лепесток ДН и больше боковые лепестки. Основная особенность

ДН при $\alpha > 0$ заключается в отсутствии нулевых значений поля, т.е. в слиянии главного и боковых лепестков в кривую со слабо выраженными экстремумами. Чем больше α , тем слабее выражены экстремальные точки [5]. Полагая, что затухания в диэлектрической вставке пренебрежимо малы, $F_1(\theta)$ получается для $F_1(\theta)$ выражение:

$$F_1(\theta) = \frac{\sin \left| \frac{kL}{2} (c/V_\phi - \cos(\theta)) \right|}{\frac{kL}{2} (c/V_\phi - \cos(\theta))}. \quad (4)$$

Множитель $F_2(\theta)$ характеризует влияние на ДН поперечного размера диэлектрической вставки, т.е. определяет направленность элементарного объемного участка, имеющего форму плоского поперечного слоя определённого сечения [4]. Например, ДН элемента длины стержня круглого сечения определяется по формуле

$$F(\theta) = \Lambda_1 \left(\frac{kd}{2} \sin(\theta) \right), \quad (5)$$

где Λ_1 – лямбда-функция первого порядка; d – средний диаметр диэлектрического стержня.

Наличие множителя $F_2(\theta)$ приводит к тому, что ДН стержневых антенн более направлены, чем плоскостных.

Однако множитель $F_2(\theta)$ заметно влияет на ДН антенны лишь при коротких стержнях большого диаметра (порядка $\alpha \lambda$ и более).

Множитель $F_3(\theta) = \cos(\theta)$ характеризует влияние на ДН одиночного элемента тока, относится только к

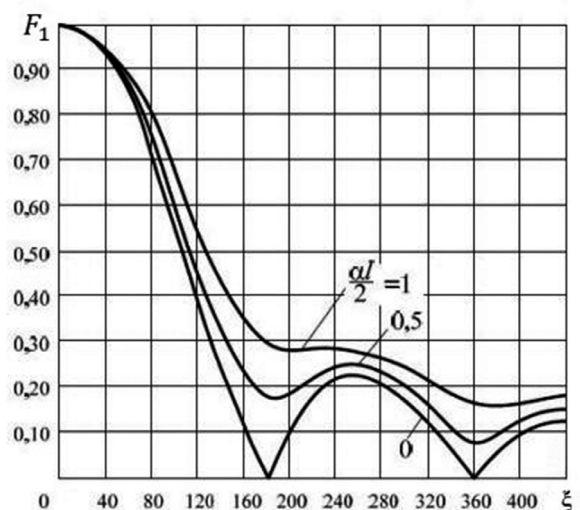


Рис. 1.

Зависимости множителя F_1 , входящего в выражение для диаграммы направленности диэлектрической антенны, от параметра α

плоскости E и в пределах $\theta = 0...45^\circ$ слабо изменяется.

Более быстрое убывание функции $F_3(\theta)$ с увеличением угла θ начинается при углах $\theta = 0...45^\circ$.

Таким образом, наличие множителя $F_3(\theta)$ мало сказывается на форме основного лепестка ДН антенны. Основное отличие ДН в E и H плоскостях у диэлектрических антенн заключается в том, что в H -плоскости боковые лепестки ДН заметно больше [3].

Ширина основного лепестка в обеих плоскостях почти одинакова.

ДН диэлектрических антенн малого диаметра определяется в основном функцией $F_1(\theta)$ а большего диаметра – произведением функций $F_1(\theta)$ и $F_2(\theta)$.

Применяя теорию расчёта антенн поверхностных волн, в САПР была разработана антенна для модернизации блока антенного, обеспечивающая улучшенные характеристики. Для решения проблемы, связанной с постановкой помех, в строго определённых направлениях аппаратурой РЭБ на высокоскоростных летательных аппаратах со строгими требованиями по аэродинамике взамен ранее применяемого блока антенного, разработан модернизированный блок антенный с улучшенными электродинамическими и конструктивными характеристиками (рис. 2–6).

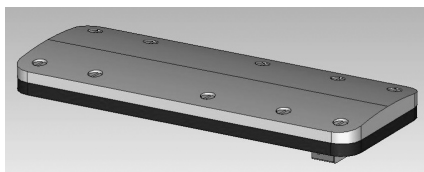


Рис. 2. Общий вид модернизированного блока антенного

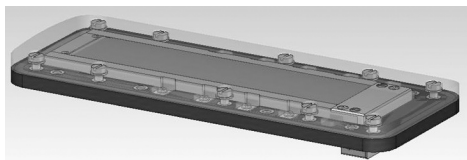


Рис. 3. Общий вид модернизированного блока антенного под обтекателем



Рис. 4. Модернизированный блок антенный в разрезе

Модернизированный блок антенный состоит из элементов:

- антенна (резонатор, диэлектрическая вставка, возбуждатель с центральной жилой разъема, диэлектрическая вставка разъема и разъем);
- металлический лоток;
- диэлектрическая рамка с прокладками;
- обтекатель.

Блок антенный не выступающего за поверхность размещения герметичен и на основе антенны продольного излучения через диэлектрический открытый волновод формирует требуемую диаграмму направленности вдоль объекта-носителя в широкой полосе частот.

С учётом введённых обозначений, график КСВН для модернизированного блока антенного имеет вид (рис. 7).

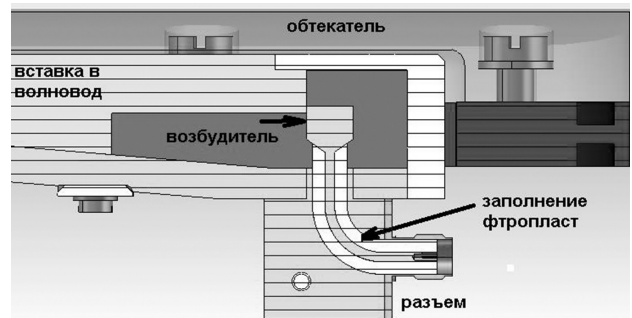


Рис. 5. Состав антенны модернизированного блока антенного

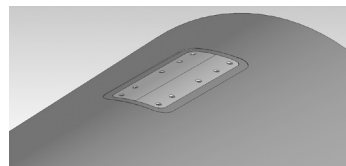


Рис. 6. Общий вид модернизированного блока антенного на фрагменте объекта-носителя

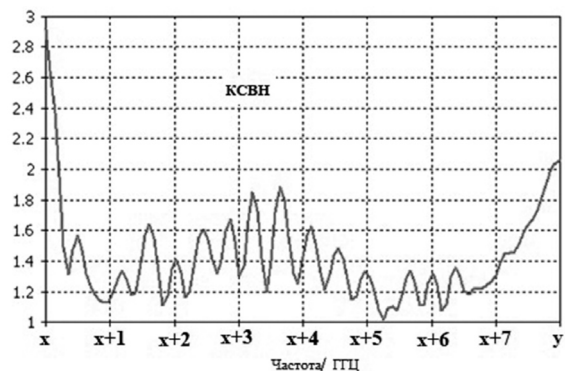


Рис. 7. График КСВН антенны модернизированного блока антенного

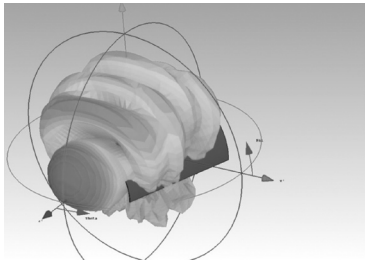


РИС. 8.

Диаграмма направленности на частоте $x+0.6$

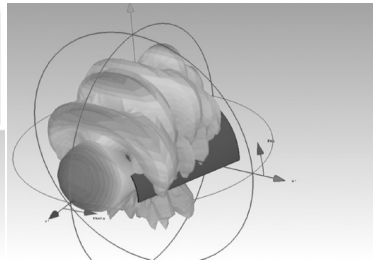


РИС. 9.

Диаграмма направленности на частоте $x+1$

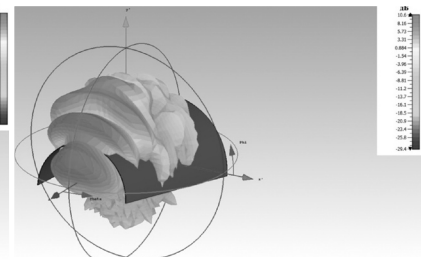


РИС. 10.

Диаграмма направленности на частоте $y-6.2$

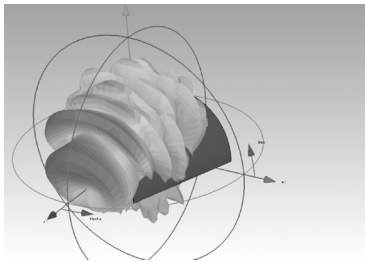


РИС. 11.

Диаграмма направленности на частоте $x+4.4$

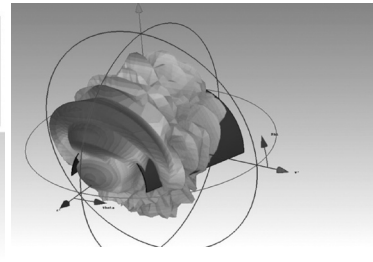


РИС. 12.

Диаграмма направленности на частоте $x+6$

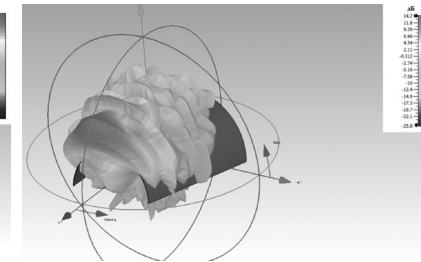


РИС. 13.

Диаграмма направленности на частоте $y-1.2$

ТАБЛИЦА 1.

Данные сравнения основных характеристик блоков антенных

Наименование блока антенного	Блок антенный модернизированный	Блок антенный исходный	Эффективность модернизированного относительно исходного блока антенного, %
Основная характеристика			
КСВН в 1 поддиапазоне ($x+0.6, y-6.2$)	Менее 1.7	Менее 2.8	65
КСВН во 2 поддиапазоне ($x+4.4, y-1.2$)	Менее 1.5	Менее 2.3	53
КУ в максимуме ДН в 1 поддиапазоне на частоте $x+0.6$, дБ	10.3	6.5	139
КУ в максимуме ДН в 1 поддиапазоне на частоте $x+1.2$, дБ	10.8	9.2	44
КУ в максимуме ДН в 1 поддиапазоне на частоте $y-6.2$, дБ	10.6	10.3	7.2
КУ в максимуме ДН во 2 поддиапазоне на частоте $x+4.4$, дБ	11.7	9.89	52
КУ в максимуме ДН во 2 поддиапазоне на частоте $x+5.6$, дБ	10.8	10	20
КУ в максимуме ДН во 2 поддиапазоне на частоте $y-1.2$, дБ	14.2	11.1	104
Герметичность	Есть	Нет	+

Диаграмма направленности для модернизированного блока антенного на фрагменте объекта-носителя в диапазонах $(x+0.6, y-6.2)$ ГГц и $(x+4.4, y-1.2)$ ГГц представлена на рисунках 8 – 13.

Разработка решает проблему исключения выступающих за поверхность летательных аппаратов конструкций антенн с повышением эффективности, улучшением их электродинамических характеристик, относительно имеющихся в настоящее время на издании блоков антенных.

В таблице 1 представлены характеристики и их сравнение исходного и модернизированного блоков антенных.

В результате проведенной работы по модернизации разработан блок антенный на 61% по усредненным основным характеристикам (таблица 1) превосходящий применяющийся, с большим коэффициентом усиления в заданном секторе направлений и меньшим значением КСВН в рабочем диапазоне частот, имеющий меньший вес и внутренние габариты, обладающий герметичностью, лёгким доступом к разъёму подключения антенны и полностью выполненный на отечественных материалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **БАХРАХА А.Д., ЗЕЛКИНА Е.Г., ФЕЛЬДА Я.Н.** Справочник по антенной технике: в 5 т. М.: ИПРЖР, 1997. Т. 1. 256 с.
2. **БЕНЕНСОН Л.С., ФЕЛЬД Я.Н.** Основы теории антенн: 2-е изд., перераб. М.: Дрофа, 2007. 491 с.
3. **ВОЛАКИС ДЖ.** Руководство по разработке антенн, Волакис Дж. 4-е изд., МакГроу-Хилл, 2007. 1800 с.
4. **КРЮС М.Р., ТИЛЕ Г.А.** О конструкции щелевых антенн с Т-образным стержнем малой глубины. ИИЭИЭ, Транзакции по антеннам и распространению. Изд. Апрель, 25. 1977. № 6. С. 833–836.
5. **НЬЮМАН Э.Х., ТИЛЕ Г.А.** Некоторые важные параметры конструкции щелевых антенн с Т-образным питанием, ИИЭИЭ, Транзакции по антеннам и распространению. Изд. Апрель. 1975. 23. № 1. С. 97–100.

REFERENCES

1. **BAKHARAKH L.D., ZELKIN E.G., FELD YA.N.** Handbook of antenna technology, in 5 vols. Moscow: IPRZnR. 1997;(1):256. (In Russian).
2. **BENENSON L.S., FELD YA.N.** Fundamentals of antenna theory, 2-edition, Moscow:Drofa. 2007:491. (In Russian).
3. **CREWS M.R., THIELE G.A.** On the Design of Shallow Depth T-Bar Fed Slot Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. April 25, November 1977;(6):833–836. (In Russian).
4. **NEWMAN E.H., THIELE G.A.** Some important parameters in the design of T-bar fed slot antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. April 23, January 1975; (1):97–100. (In Russian).
5. **VOLAKIS J. (Ed.)** Antenna Engineering Handbook, 4th Edition, McGraw-Hill, Ch. 37–10. (In Russian).

Ходунов Валентин Алексеевич, инженер 1 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ тел.: +7-499-267-99-06, e-mail: hodunov_valentin@mail.ru.

Чалкина Татьяна Александровна, инженер 3 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ тел.: 8-499-267-99-04, e-mail: t-ch08@mail.ru.

Снытко Елизавета Михайловна, инженер 3 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, 20/9, 107078, Moscow, st. New Basmannaya, b. 20, p. 9, тел.: +7 (499) 267-95-47, e-mail: esnitko2011@mail.ru.