

УДК 621.391

РАСЧЕТ МНОГОЛУЧЕВОЙ ДВУХЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАДИОВИДЕНИЯ

В.В. МУРАВЬЁВ, А.А. ТАМЕЛО, Д.В. ЖУРАВЛЁВ, Н.М. НАУМОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 29 мая 2009*

Рассмотрен вариант формирования многолучевой системы радиовидения миллиметрового диапазона, когда фокусирование собственного радиотеплового излучения объекта в фокальной плоскости приемных элементов осуществляется с помощью двухзеркальной антенны. Рассчитаны: геометрические характеристики и характеристики излучения осесимметричной двухзеркальной антенны с одним облучателем и с решеткой облучателей. Рассчитана диаграмма направленности (ДН) двухзеркальной антенны без затенения и с учетом затенения, создаваемого малым зеркалом; максимально допустимое отклонение облучателя в перпендикулярном к оси антенны направлении.

Ключевые слова: система радиовидения, двухзеркальная антенна, решетка приемных элементов, пирамидальный рупор, открытый конец волновода, логопериодическая антенна, диаграмма направленности двухзеркальной антенны.

Введение

Многолучевые антенны образуют парциальные диаграммы направленности, формирующиеся на общем раскрыве. Эти антенны можно строить на базе антенных решеток при помощи специальных многополюсных диаграммообразующих цепей. Другим способом построения многолучевой антенны является применение антенной системы, содержащей двухзеркальную антенну и решетку облучателей, расположенную в фокальной плоскости. Такие антенные системы при использовании в системах радиовидения существенно упрощают построение антенны за счет отсутствия многополюсных диаграммообразующих цепей и позволяют получить радиоизображение исследуемой области.

Принцип работы систем по второму способу основан на фокусировании собственного радиотеплового излучения объекта в фокальной плоскости приемных элементов. Базовым узлом каждого приемного элемента является антенна, геометрия и конструкция которой адаптированы для приема излучения в области рабочих частот системы радиовидения.

Фокусирование собственного радиотеплового излучения может осуществляться с помощью одно-, двухзеркальных либо линзовых антенн [1].

Целью данной работы является расчет и анализ многолучевой антенны, в которой фокусирование собственного радиотеплового излучения объекта в фокальной плоскости приемных элементов осуществляется с помощью двухзеркальной антенны.

Расчет осесимметричной двухзеркальной антенны с одним облучателем

Рассмотрим осесимметричную двухзеркальную антенну, изображенную на рис. 1.

Основными параметрами рассматриваемой антенны являются ДН, ширина ДН, уровень боковых лепестков, КИП и КНД. Проведем расчет этих параметров без затенения и с учетом затенения малым зеркалом, а также для различного типа облучателя. Исходные данные для расчета, а также геометрические характеристики рассматриваемой антенны приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

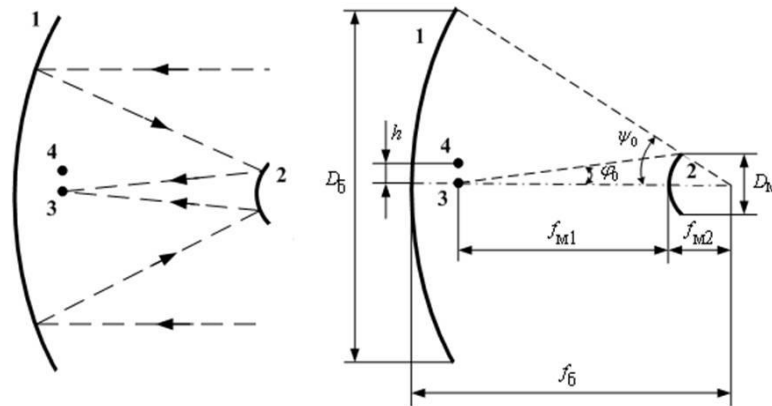


Рис. 1. Осесимметричная двухзеркальная антенна: 1 — основное зеркало; 2 — контррефлектор; 3 — фокус контррефлектора; 4 — вынос облучателя перпендикулярно оси

Таблица 1. Исходные данные для расчета

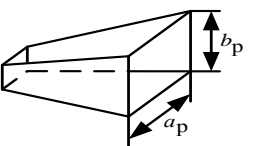
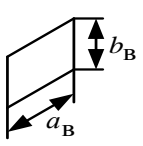
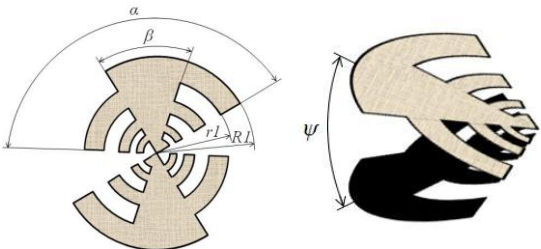
Наименование параметра		Значение параметра	
Длина волны λ , мм		3	
Диаметр большого зеркала D_b , мм		300	
Фокусное расстояние большого зеркала f_b , мм		120	
Диаметр малого зеркала D_m , мм		50	
Ближнее фокусное расстояние малого зеркала f_{m2} , мм		19,86	
Дальнее фокусное расстояние малого зеркала f_{m1} , мм		76,62	
Тип облучателя		Пирамидальный рупор, открытый конец волновода, логопериодическая антенна (ЛПА)	
Размеры рупора $a_p \times b_p$, мм 	Размеры волновода $a_b \times b_b$, мм 	$a_p \times b_p$	$a_b \times b_b$
		16×10,5	2,4×1,2
Размеры ЛПА 		α , град	65
		β , град	30
		$\psi_{\text{опт}}$, град	79
		τ	0,5
		σ	0,7
		$R1$, мм	3,778
		$r1$, мм	2,644

Таблица 2. Геометрические характеристики осесимметричной двухзеркальной антенны

Наименование параметра	Значение параметра
Половина угла раскрытия большого зеркала ψ_0 , рад (град)	1,117 (64)
Эксцентриситет малого зеркала e	1,23
Половина угла зрения на малое зеркало φ_0 , рад (град)	0,13 (7,45)
Ширина ДН антенны по половинной мощности $\Delta\theta_{0,5}$, град	0,7

Как видно из табл. 1 и 2, рассматриваемая осесимметричная двухзеркальная антенна 3-миллиметрового диапазона длин волн имеет диаметр большого зеркала, равный 30 см, угол раскрытия большого зеркала, равный 128 град, диаметр малого зеркала, равный 5 см, эксцентриситет малого зеркала, равный 1,23, угол зрения на малое зеркало, равный 15 град. При таких геометрических размерах ширина ДН по половинной мощности равна 0,7 град. При этом обеспечивается высокая разрешающая способность системы радиовидения.

Диаграмма направленности осесимметричной двухзеркальной антенны без затенения и с учетом затенения малым зеркалом для плоскости Е с облучателем в виде ЛПА изображена на рис. 2.

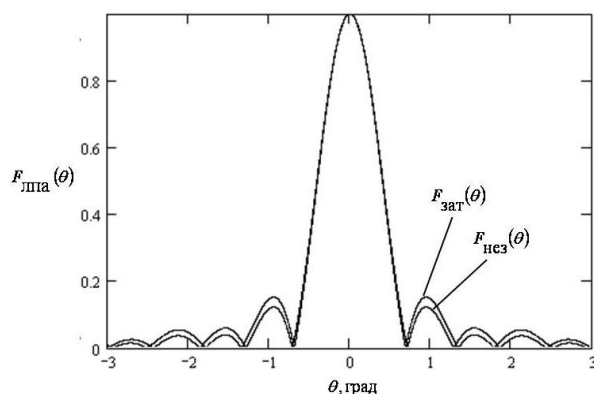


Рис. 2. ДН незатененной и затененной двухзеркальной антенны с облучателем в виде ЛПА

Значения ширины ДН по половинной мощности $\Delta\theta_{0,5}$ и уровня боковых лепестков $\Delta F_{\text{б}}$ без затенения и с учетом затенения малым зеркалом приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры ДН

Тип облучателя		Параметр			
		Ширина ДН $\Delta\theta_{0,5}$, град		Уровень боковых лепестков $\Delta F_{\text{б}}$, дБ	
		Без затенения	С учетом затенения	Без затенения	С учетом затенения
Пирамидальный рупор	E-плоскость	0,84	0,84	-18,711	-17,266
	H-плоскость	0,78	0,78	-15,918	-14,334
Открытый конец волновода	E-плоскость	0,82	0,87	-17,721	-15,972
	H-плоскость	0,8	0,85	-16,478	-14,895
ЛПА	E-плоскость	0,8	0,8	-17,721	-16,027
	H-плоскость	0,8	0,8	-17,721	-16,027

Как видно из рис. 2 и табл. 3, при затенении малым зеркалом увеличивается уровень боковых лепестков. Ширина ДН при затенении малым зеркалом увеличивается только при применении в качестве облучателя открытого конца волновода. С учетом этого факта при выборе типа облучателя предпочтение следует отдать ЛПА.

Рассчитанные значения КИП и КНД осесимметричной двухзеркальной антенны для различного типа облучателя приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расчет КИП и КНД осесимметричной двухзеркальной антенны с одним облучателем

Тип облучателя	Параметр	
	КИП v_d , раз (дБ)	КНД D_0 , раз (дБ)
Пирамидальный рупор	0,597 (2,242)	58890 (47,701)
Открытый конец волновода	0,014 (18,4)	1426 (31,542)
ЛПА	0,031 (15,114)	3040 (34,829)

Как видно из табл. 4, наибольшими значениями КИП и КНД обладает двухзеркальная антенна с облучателем в виде пирамидального рупора. Это объясняется различными размерами облучателей: раскрыв пирамидального рупора больше, чем раскрыв открытого конца волновода и ЛПА. Для увеличения КИП и КНД двухзеркальной антенны с облучателями в виде

открытого конца волновода или ЛПА можно использовать вместо одного облучателя решетку таких облучателей.

Расчет осесимметричной двухзеркальной антенны с решеткой облучателей

ДН двухзеркальной антенны при применении решетки облучателей становится многолучевой. Пример многолучевой ДН затененной двухзеркальной антенны в плоскости E с решеткой 16×16 волноводных облучателей приведен на рис. 3.

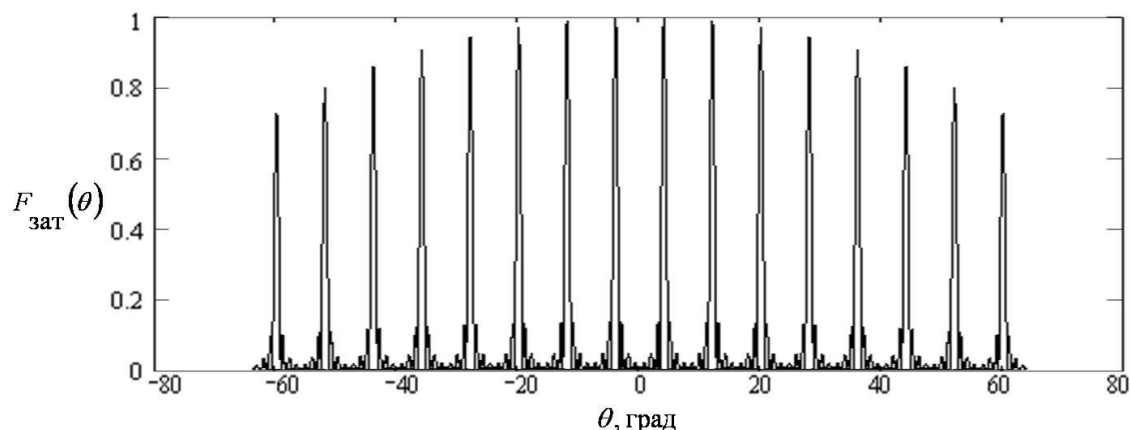


Рис. 3. Многолучевая ДН двухзеркальной антенны

Как видно из рис. 3, ДН двухзеркальной антенны с решеткой облучателей имеет неоднородный характер: плотность потока мощности падающей на антенну электромагнитной волны к краям раскрыва уменьшается по сравнению с центром. Это происходит за счет неравномерного распределения поля по раскрыву антенны.

Рассчитаем КИП и КНД осесимметричной двухзеркальной антенны для различного количества облучателей в решетке. Результаты расчета приведены в табл. 5.

Таблица 5. Расчет КИП и КНД осесимметричной двухзеркальной антенны с решеткой облучателей

Наименование параметра	Значение параметра							
	Открытый конец волновода				ЛПА			
Количество облучателей в решетке $N_x \times N_y$, шт	4×4	16×16	32×32	64×64	4×4	16×16	32×32	64×64
Расстояние между облучателями $d_x \times d_y$, мм	3×1,8	3×1,8	3×1,8	3×1,8	9×9	9×9	9×9	9×9
Длина решетки $L_x \times L_y$, мм	12×7,2	48×28,8	96×57,6	192×115,2	36×36	144×144	288×288	576×576
КИП v_A , раз (дБ)	0,051 (12,944)	0,187 (7,286)	0,346 (4,608)	0,538 (2,692)	0,114 (9,43)	0,371 (4,304)	0,461 (3,362)	0,207 (6,83)
КНД D_0 , раз (дБ)	5011 (36,99)	18440 (42,657)	34160 (45,335)	53100 (47,251)	11250 (40,513)	36640 (45,639)	45510 (46,581)	20460 (43,11)

Из анализа табл. 4 и 5 видно, что обеспечить КИП, равный 0,45, можно несколькими способами: применением одного рупорного облучателя, применением решетки облучателей из 64×64 открытых концов волноводов и применением решетки облучателей из 32×32 ЛПА, т.е. ЛПА позволяют получить тоже значение КИП двухзеркальной антенны, что и открытые концы волноводов, но при меньшем количестве элементов в решетке.

На рис. 4 приведена зависимость КИП от размерности решетки облучателей из открытых концов волноводов и ЛПА.

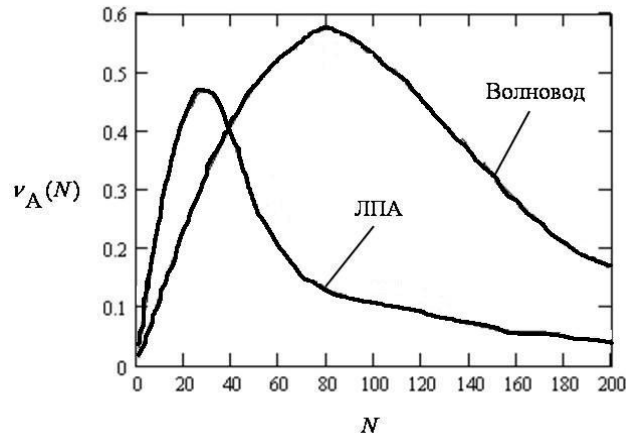


Рис. 4. Зависимость КИП от размерности решетки облучателей

Из рис. 4 видно, что наибольший КИП двухзеркальной антенны с решеткой из открытых концов волноводов равен 0,59 при размерности 75×75 . В двухзеркальной антенне с решеткой из ЛПА наибольший КИП равен 0,46 при размерности 32×32 . Таким образом, ЛПА являются более оптимальными с точки зрения обеспечения минимальной стоимости системы радиовидения при заданных характеристиках.

Падение КИП при количестве облучателей, большем чем 75, для решеток из открытых концов волноводов и 32 для решеток из ЛПА происходит из-за того, что длина решетки при этом становится больше диаметра большого зеркала.

При применении решетки облучателей накладывается ограничение на количество элементов решетки. Оно зависит от длины решетки, которая определяется максимально допустимым отклонением облучателя в перпендикулярном к оси направлении. Вынос облучателя приводит не только к отклонению диаграммы направленности в сторону, противоположную смещению облучателя, но и к ее искажению вследствие нарушения линейного закона изменения фазы поля в раскрытии. Это приводит к расширению главного лепестка и увеличению уровня боковых лепестков, что ведет к снижению коэффициента усиления. Чем мельче зеркало, тем меньше будут искажения при том же угловом смещении облучателя, т. е. тем на больший угол можно отклонить диаграмму направленности, сохраняя, в основном, ее форму. К недостаткам антенн с вынесенным облучателем относится также более высокий уровень кросс-поляризации, приводящий к дополнительным помехам.

В зеркальных антеннах со специальной коррекцией искажения при сканировании (апланатические антенны), форма поверхности которых специально рассчитывается, допускается значительное смещение облучателя, определяемое заданным сектором сканирования. В неапланатических же зеркальных антеннах форма поверхности рассчитывается только из условия фокусировки и смещение облучателя из фокуса на расстояние от оси выше допустимого приведет к искажению формы ДН, и потому такое смещение следует ограничить соответствующим допуском.

Для расчета максимально допустимого отклонения облучателя в перпендикулярном к оси направлении рассмотрим рис. 5.

ДН изменяется незначительно, если угол α отклонения главного лепестка не превышает ширины ДН по уровню половинной мощности, т. е. если

$$\alpha \leq \Delta\theta_{0,5}. \quad (1)$$

Соотношения для определения угла α отклонения максимума ДН от оси антенны в зависимости от величины выноса облучателя h выводятся следующим образом. Величина AB приблизительно равна DC , т. е. $AB = DF = CF \sin(\psi_0)$. Тогда $\text{tg}(\alpha) = AB/AO = h \sin(\psi_0)/R_M$. Обычно $\text{tg}(\alpha) \ll 1$, тогда можно положить что $\text{tg}(\alpha) = \alpha$. В результате получаем угол отклонения максимума ДН $\alpha = h \sin(\psi_0)/R_M$.

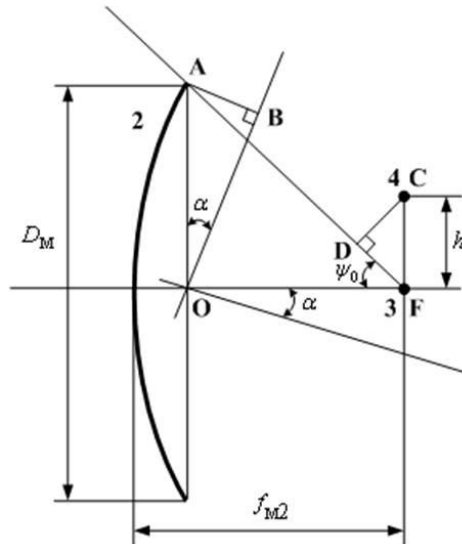


Рис. 5. К расчету максимально допустимого отклонения облучателя: 2 — контррефлектор; 3 — второй фокус контррефлектора; 4 — вынос облучателя перпендикулярно оси

Поскольку $\Delta\theta_{0,5} = 70\lambda/2R_M$, то с учетом неравенства (1) получаем $h\sin(\psi_0)/R_M \leq 70\lambda/2R_M$.

Отсюда максимально допустимое отклонение облучателя в перпендикулярном к оси направлении должно удовлетворять следующему неравенству

$$h \leq \frac{35\lambda}{\sin(\psi_0)}. \quad (2)$$

Для рассматриваемой антенны получаем $h = 0,117$ м.

При применении решетки облучателей ее длина должна быть меньше максимально допустимого отклонения облучателя в перпендикулярном к оси направлении, т. е.

$$L \leq h. \quad (3)$$

Количество элементов решетки при выполнении условия (2) можно рассчитать по следующей формуле:

$$N = \frac{h}{d}. \quad (4)$$

где $d = d_x$ или $d = d_y$ — расстояние между облучателями по оси X или по оси Y .

Результаты расчета количества элементов решетки для различного типа облучателей приведены в табл. 6.

Таблица 6. Расчет количества элементов решетки

Наименование параметра	Значение параметра	
	Открытый конец волновода	ЛПА
Максимально допустимое отклонение облучателя h , мм	117	117
Расстояние между облучателями $d_x \times d_y$, мм	3×1,8	9×9
Количество элементов решетки $N_x \times N_y$, шт	38×64	12×12

Как видно из табл. 6, максимальное количество элементов решетки из открытых концов волноводов, при котором не происходит значительного искажения ДН, равно 38 по оси X и 64 по оси Y . Такое же количество элементов решетки из ЛПА равно 12 и по оси X и по оси Y .

Заключение

Антенная система, состоящая из двухзеркальной антенны и решетки приемных элементов в фокальной плоскости, позволяет обеспечить многолучевой режим работы системы радиовидения.

Анализ результатов расчета КИП и КНД двухзеркальной антенны с одним облучателем показал следующее: наибольшими значениями КИП и КНД обладает двухзеркальная антенна с облучателем в виде пирамидального рупора. Это объясняется различными размерами облучателей: раскрыв пирамидального рупора больше, чем раскрыв открытого конца волновода и ЛПА. Для увеличения КИП и КНД двухзеркальной антенны с облучателями в виде открытого конца волновода или ЛПА можно использовать вместо одного облучателя решетку таких облучателей.

ДН двухзеркальной антенны с решеткой облучателей становится многолучевой и имеет неоднородный характер: плотность потока мощности падающей на антенну электромагнитной волны к краям раскрыва уменьшается по сравнению с центром. Это происходит за счет неравномерного распределения поля по раскрыву антенны. Снижение максимумов ДН отдельных лучей можно уменьшить при "террасном" расположении облучателей в решетке [2].

Анализ ДН двухзеркальной антенны показал, что при затенении малым зеркалом увеличивается уровень боковых лепестков. Ширина ДН при затенении малым зеркалом увеличивается только при применении в качестве облучателя открытого конца волновода. С учетом этого факта при выборе типа облучателя предпочтение следует отдать ЛПА.

ACCOUNT OF THE MULTIBEAM CASSEGRAINIAN AERIAL FOR SYSTEM OF MICROWAVE IMAGING

V.V. MURAVJEV, A.A. TAMELO, D.V. ZHURAVLEV, N.M. NAUMOVICH

Abstract

The alternative of the multibeam system of forming microwave imaging millimeter-wave when the focalizing of an own thermal radio radiation of installation in a focal plan of receiving elements is conducted by means of the Cassegrainian aerial is watched. Geometric performances and radiation characteristics of the axisymmetric Cassegrainian aerial with one feed antenna and with a grate of feed antennas are counted. The directional diagram of the Cassegrainian aerial without a shading and in view of a shading established by a horizon mirror is counted. The permissible variation of a feed antenna in a perpendicular direction to an antenna axis is counted as much as possible.

Литература

1. Муравьев В.В., Тамело А.А., Журавлев Д.В., Наумович Н.М. // Докл. БГУИР. 2008. № 6. С. 40–51.
2. Майорова Е.К., Хайкин В.Б. // Бюлл. спец. астрофиз. обс. 2000. № 50. С. 91–103.