

О. Е. Антипов, В. Е. Пониматкин  
А. А. Шпилевой, В. А. Гоглев

## О МЕТОДИКЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

72

*Статья посвящена развитию методики оптимизации конструктивных параметров антенных систем, выполняемой в целях улучшения основных рабочих характеристик. Рассмотрены модели и проведены оценочные расчеты для конструкций, реализуемых при помощи симметричных вибраторов. Сделаны выводы о целесообразности изменения геометрических параметров антенной системы с точки зрения поиска ее оптимальной конфигурации в конкретном диапазоне частот.*

*The article is devoted to the development of methods for optimizing the structural parameters of antenna systems, performed in order to improve the basic performance characteristics. Models are considered and estimated calculations are carried out for structures implemented using symmetric vibrators. Conclusions about the feasibility of changing the geometric parameters of the antenna system, in terms of finding its optimal configuration in a specific frequency range.*

**Ключевые слова:** антенная система, компланарные диполи, входное сопротивление, ортогонально расположенные сегменты, полоса частот.

**Keywords:** antenna system, coplanar dipoles, input impedance, orthogonal segments, frequency band.

Одна из проблем, стоящих перед операторами мобильной радиосвязи при переходе на новые стандарты, — изменение радиуса соты и зачастую потребность в увеличении числа базовых станций. Это, в свою очередь, ведет к росту плотности потока энергии электромагнитного излучения в пределах обслуживаемой территории и общему ухудшению электромагнитной обстановки. Очевидно, что с увеличением частоты излучения возрастает проникающая способность радиоволн (характеризуемая глубиной скин-слоя) и понижается их способность к отражению и огибанию препятствий. Среди способов решения обозначенных проблем в городских условиях — рассредоточенное размещение антенн базовой станции с малой мощностью излучения, а также усовершенствование конструкции самих антенных систем [1; 2].

В качестве антенн базовых станций сотовой связи могут использоваться синфазные системы, состоящие из ортогональных симметричных вибраторов Айзенберга [3]. Для работы в широком диапазоне частот в антенне может использоваться короткозамкнутый симметрич-

ный вибратор с толстыми плечами [4]. Взаимное сопротивление двух компланарных диполей [5], расположенных симметрично под углом  $\alpha$  (рис. 1), определяется выражением

$$R_{12} = 30(kl_1)(kl_2) \left\{ \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\sin kd}{kd} + \frac{(\cos^2 \frac{\alpha}{2} - 2)}{(kd)^2} \cdot \left( \frac{\sin kd}{kd} - \cos kd \right) \right\},$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ;  $\lambda = \frac{c}{f}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .

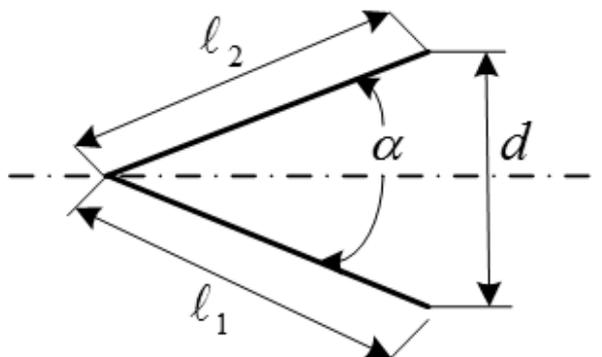


Рис. 1. Схематическое изображение системы двух симметрично расположенных диполей

Используя результаты расчета взаимного сопротивления для двух компланарных диполей, выполним оценку входного сопротивления различных моделей антенных систем в программной среде *MATLAB*. Для расчета задаем полосу частот – 80 МГц, материал антенны – медь, высоту подвеса – от 3 м, модель земли – реальную, с электропроводностью 5,0 мС/м.

В качестве *первой модели* рассмотрена односегментная антенна с углом  $\alpha = 30^\circ$  между диполями при длине проводника 0,02 м (рис. 2, а). В этом случае расчеты показывают линейное изменение активного сопротивления в пределах 5–12 Ом в диапазоне частот 80 МГц, а реактивного – в пределах 80–170 Ом (рис. 3, а), причем последнее носит индуктивный характер, что свидетельствует о низком уровне согласования диполей при использовании данной модели.

В качестве *второй модели* рассмотрена двухсегментная антенна с аналогичными параметрами (рис. 2, б), оценочные значения которой (рис. 3, б) показывают, что использование двух ортогонально расположенных сегментов не изменяет параметры активного и реактивного входных сопротивлений по сравнению с односегментным излучателем. Реактивное сопротивление в исследуемом диапазоне частот также имеет индуктивный характер, что говорит о низком уровне согласования диполей.

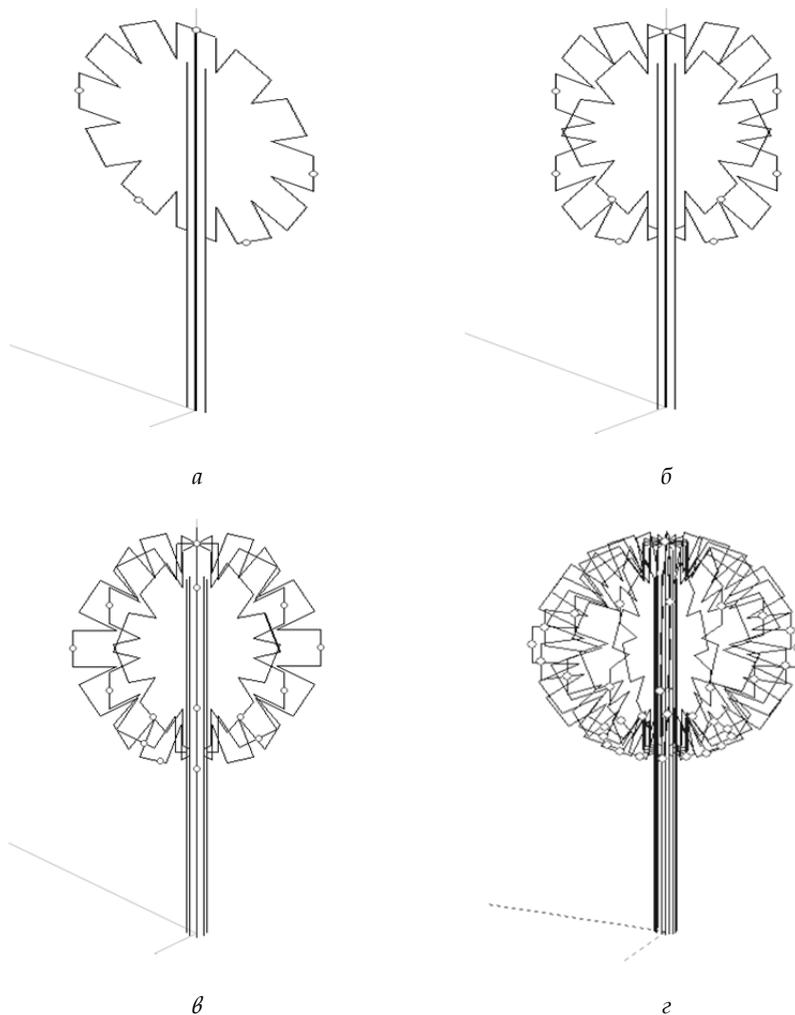


Рис. 2. Модельное представление антенных систем с углом расположения диполей  $\alpha = 30^\circ$

В качестве *третьей и четвертой моделей* выбраны четырех- и восьми- сегментная антенны соответственно (рис. 2, *в, г*). При этом третья модель в изучаемом диапазоне частот имеет резонанс, при котором активное входное сопротивление возрастает до 350 Ом, а реактивное — до 800 Ом (рис. 3, *б*). Очевидно, что использование четырех диполей в модели незначительно изменяет параметры входного сопротивления по сравнению с излучателем в виде одного сегмента.

В то же время использование восьми сегментов в четвертой модели значительно изменяет параметры активного и реактивного входного сопротивлений в сторону их улучшения по сравнению с излучателем в виде одного, двух и четырех сегментов.

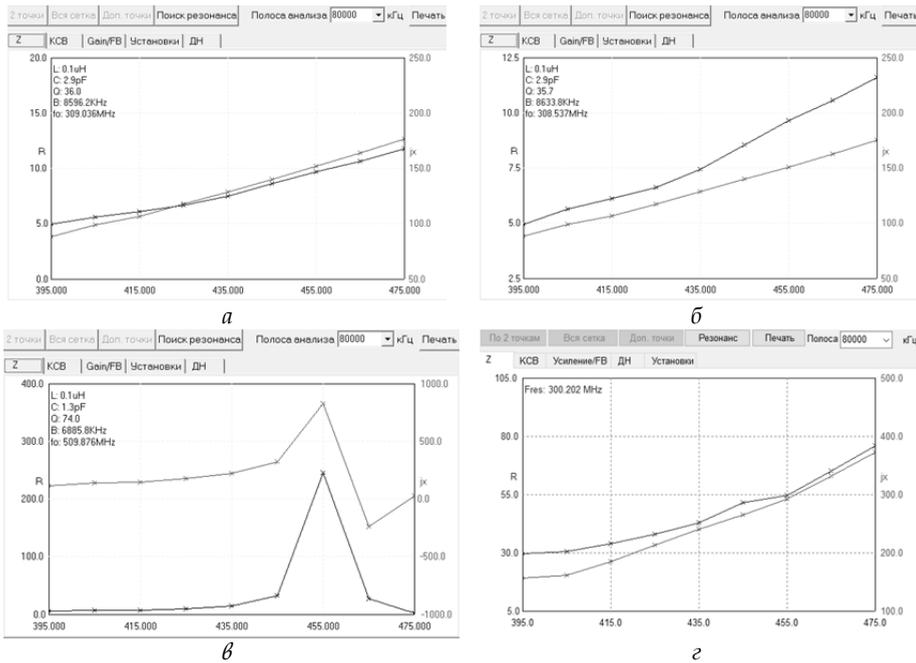


Рис. 3. Графики частотной зависимости активной и реактивной составляющих входного сопротивления моделей антенной системы с диполями, расположенными под углом  $\alpha = 30^\circ$

Основные результаты расчетов входного сопротивления рассматриваемых вариантов антенных систем представлены в таблице.

**Результаты расчетов входных сопротивлений для рассмотренных моделей антенных систем**

Порядковый номер модели	Значение активного сопротивления антенны на границе диапазона, Ом	Значение реактивного сопротивления антенны на границе диапазона, Ом
1	5 – 12	80 – 170
2	5 – 12	80 – 170
3	5 – 50 (резонанс на частоте 460 МГц)	80 – 170 (резонанс на частоте 460 МГц)
4	15 – 75	150 – 380
5	10 – 27	280 – 400
6	10 – 30	280 – 400
7	0 – 0 (резонанс на частоте 460 МГц)	10 – 500
8	3 – 5 (резонанс на частотах 420 и 455 МГц)	120 – 200 (резонанс на частотах 420 и 475 МГц)



Пятая модель представляет собой антенную систему с угловым параметром  $\alpha = 15^\circ$  между диполями при длине проводника 0,02 м (рис. 4, а). Расчеты показывают, что активное сопротивление конструкции в диапазоне исследуемых частот плавно изменяется в пределах 10–27 Ом, а реактивное — в пределах 280–400 Ом и имеет емкостной характер (рис. 5, а). Причем уменьшение углового значения дипольного сегмента в два раза значительно изменяет параметры активного и реактивного входных сопротивлений.

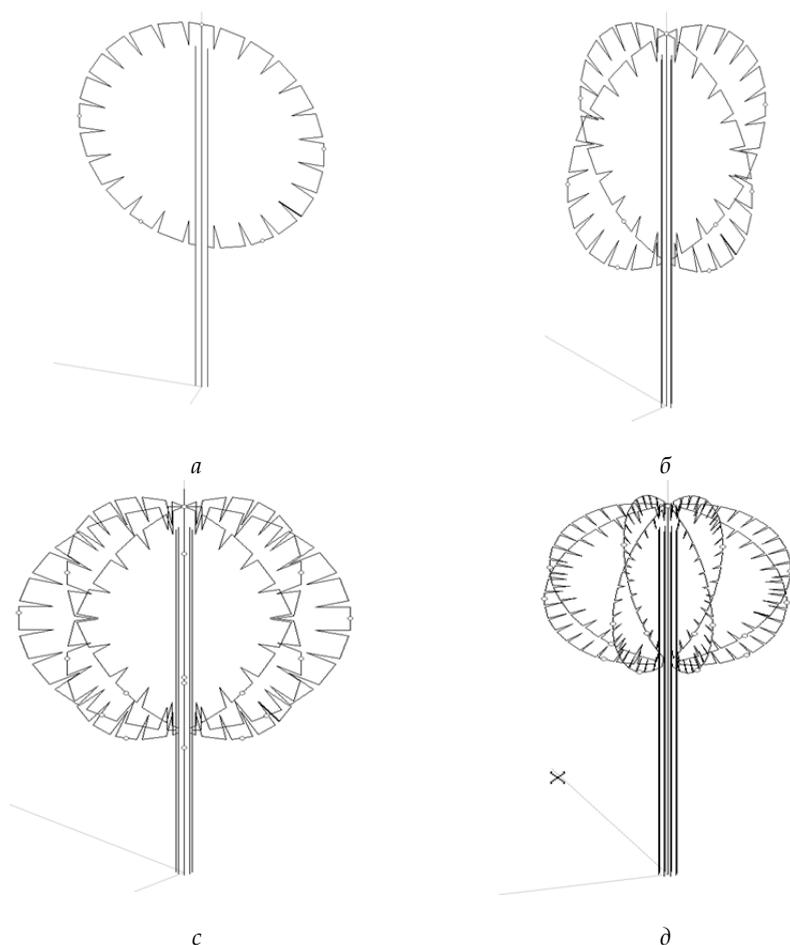


Рис. 4. Модели антенных систем с углами расположения диполей:  
а, б, в –  $\alpha = 15^\circ$ ; г –  $\alpha = 10^\circ$

Шестая модель содержит два сегмента с углом  $15^\circ$  между диполями при длине провода 0,02 м (рис. 4, б). В этом случае активное сопротивление в диапазоне исследуемых частот плавно изменяется в пределах 10–30 Ом, а реактивное — в пределах 280–400 Ом и носит емкостной характер (рис. 5, б). Использование двух сегментов антенны в модели не изменило параметры активного и реактивного входных сопротивлений по сравнению с излучателем в виде одиночного сегмента.

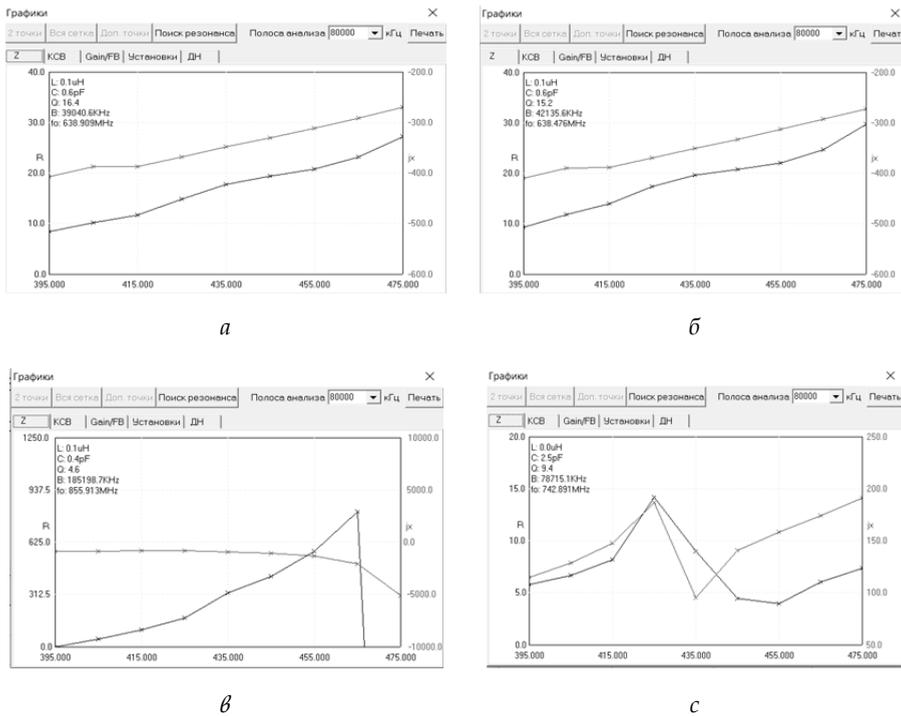


Рис. 5. Графики частотной зависимости активной и реактивной составляющих входного сопротивления моделей антенной системы с диполями, расположенными под углами  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha = 100^\circ$

*Седьмая модель* представляет собой четырехсегментную антенну с угловым размером  $15^\circ$  между диполями (рис. 4, б). Анализ выполненных расчетов (рис. 5, б) показывает, что активное сопротивление в диапазоне исследуемых частот изменяется скачкообразно в пределах двух нулевых значений, причем на частоте 460 МГц модель имеет резонанс и входное сопротивление повышается до 700 Ом; реактивное сопротивление изменяется плавно в пределах 10–5000 Ом и носит емкостной характер, что говорит о низком согласовании диполей. Причем параметры четырехсегментной конструкции существенно отличаются от соответствующих величин антенны с излучателем в виде одного сегмента.

*Восьмая модель* представляет собой конструкцию из четырех сегментов при угле расположения диполей  $\alpha = 10^\circ$  и длине проводников 0,01 м (рис. 4, г). В этом случае активное сопротивление антенны изменяется в пределах 5 Ом, реактивное – в пределах 120–200 Ом и носит индуктивный характер (рис. 5, г). На частоте 420 МГц модель имеет резонанс, когда активное входное сопротивление повышается до 150 Ом, а на частоте 455 МГц падает до 3 Ом; реактивное сопротивление ввиду резонанса на частотах 420 и 475 МГц повышается до 200 Ом. Индуктивный характер говорит о низком уровне согласования, причем дальнейшее увеличение числа сегментов при сокращении угловых значений компланарных диполей и уменьшении их линейных размеров не приводит к улучшению общих характеристик антенной системы.



Апробированная методика может быть полезной при необходимости усовершенствования конструкции антенных систем с целью оптимизации их основных параметров, в том числе при модернизации базовых станций сотовой связи.

### Список литературы

1. *Balanis C. A.* Modern Antenna Handbook. N. Y., 2008.
2. *Вишиченко А. И.* Теория тракта распространения радиоволн линий радиосвязи. Л., 1984.
3. *Пистолькорс А. А.* Антенны. М., 1947.
4. Пат. 167704 Рос. Федерация №2016107852 ; заявл. 03.03.2016 (H01Q 21/06).
5. *Пониматкин В. Е., Шpileвой А. А., Кужелев А. А., Типикин А. А.* Антенный модуль коротковолнового диапазона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2015. Вып. 4. С. 74–81.

### Об авторах

Олег Евгеньевич Антипов – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: freeman\_oleg@mail.ru

Виктор Ефимович Пониматкин – канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шpileвой – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Владислав Алексеевич Гоглев – студ., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

### The authors

Oleg E. Antipov, PhD Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Viktor E. Ponimatkin, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.  
E-mail: freeman\_oleg@mail.ru

Dr Andrey A. Shpilevoy, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.  
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Vladislav A. Goglev, Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.  
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru