

Разработка и лабораторные исследования конических антенн для систем с высокой излучаемой мощностью.

И.А. Богачев, В.В. Демшевский, В.В. Лободин, А.Д. Баженов, С.С. Сидоренко

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: В статье рассмотрена одна из основных проблем антенн при излучении полезных сигналов высокой мощности - высокие температуры нагрева в точках конструкции, что приводит к уменьшению реальной излучаемой мощности в следствии снижения КПД антенн, а также разрушению их составных частей таких как СВЧ-соединители, коаксиальные кабели и точки паяных соединений. В работе было проведено исследование биконической антенны, используемой в системах с высокой излучаемой мощностью. Выполнены аналитические расчёты конических антенн, проведена модернизация и улучшения параметров характеристик, в частности расширение полосы рабочих частот и эффективности излучения.

Ключевые слова: КПД, биконическая антенна, излучаемая мощность, эффективность излучения, широкополосная антенна

1. Введение

В современных системах всё больше и больше возникает потребность в увеличении дальности передачи и приёма полезного сигнала, при этом не ограничиваясь в направленности. Такие требования влекут за собой увеличение мощности передаваемого сигнала, который будет обеспечивать достаточный уровень сигнала на больших расстояниях. При этом всё чаще возникают потребности в ограничении таких систем по массогабаритным параметрам, уменьшения конструктивной сложности и стоимости материалов и компонентов.

Одной из основных проблем при использовании антенн, не имеющих возможности излучать высокие полезные сигналы высокой мощности, являются высокие температуры нагрева в отдельных точках конструкции, что приводит к уменьшению эффективности излучения в следствии снижения их КПД, а также разрушению отдельных частей, таких как СВЧ-соединители, коаксиальные кабели и точки паяных соединений. Всё это в совокупности приводит к критическому снижению эффективности передачи полезного сигнала с заданным уровнем и фактически уменьшает дальность работы канала радиосвязи.

В представленной работе за основу исследования была рассмотрена сверхширокополосная биконическая антенна. Благодаря своей симметрии и геометрии биконическая антенна имеет всенаправленную в азимутальной плоскости диаграмму направленности, благодаря чему они имеют широкое распространение и применение в ряде широкополосных систем радиосвязи.

Биконические антенны могут быть реализованы в различных вариациях, а их незначительные модификации, в процессе разработки обеспечивают их настройку характеристик под определенные задачи и частотную полосу. Они имеют ряд преимуществ, такие как частотонезависимая диаграмма направленности (ДН), относительно небольшие габариты и масса, простота конструкции, широкополосность. Также биконические антенны отличаются хорошей помехоустойчивостью, что подтверждается способностью работать в условиях

сильных электромагнитных помех.

2. Постановка задачи

Для строгой оценки работоспособности исследуемых антенн была разработана и рассчитана электродинамическая модель биконической антенны и на основе достигнутых результатов был изготовлен опытный образец. В работе представлены результаты электродинамического и теплового анализа, изготовления, сборки и измерения характеристик излучения широкополосной биконической антенны, способной излучать мощность более 100 Вт без существенного нагрева. Так же, на основе разработанной модели и проведенных модернизаций удалось осуществить электродинамический анализ моноконусных антенн, способных работать в несколько других частотных диапазонах.

3. Результаты электродинамического моделирования

Решение поставленных задач основано на разработанной строгой электродинамической модели биконической антенны. Модель включает в себя металлические конусы, отрезок коаксиального кабеля, диэлектрический корпус, металлические основание и крышку. В ходе расчетов была подобрана форма конусов, а также ширина и высота диэлектрической проставки между конусами с целью достижения максимально возможного рабочего диапазона частот при минимальных габаритах антенны. На рисунке 1 представлен внешний вид электродинамических моделей биконических антенн.

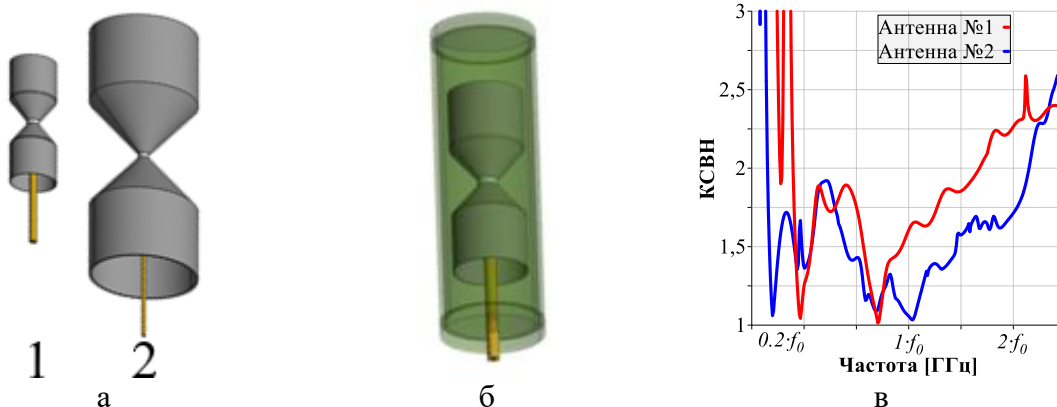


Рисунок 1. Внешний вид биконических антенны (а – электродинамическая модель; б – электродинамическая модель в корпусе; в – характеристики КСВН антенн в полосе частот)

В результате проведенного анализа электродинамических моделей, получены характеристики КСВН (Рисунок 1в) и ДН на различных точках рабочего диапазона частот (Рисунок 2).

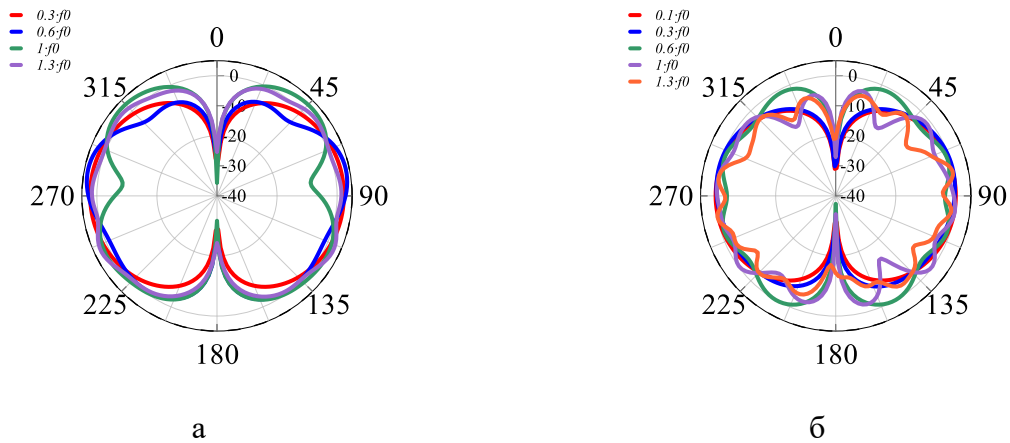


Рисунок 2. Характеристики ДН моделей биконических антенн (а – биконической антенны №1; б – биконической антенны №2)

Второй ключевой задачей разработки антенны является этап оценки температуры нагрева при подаче высокой мощности, чтобы уже на этапе моделирования подобрать технические решения для обеспечения отвода тепла с точек наибольшего нагрева и увеличить ее эффективность излучения. В ходе исследований было проведено расчеты разогрева антенны при подаче 50 Вт (Рисунок 4а) и 100 Вт (Рисунок 4б) на ее вход. По результатам расчета видно, что даже при подаче на вход антенны сигнала мощностью 100 Вт, она разогревается не более 55 градусов Цельсия.

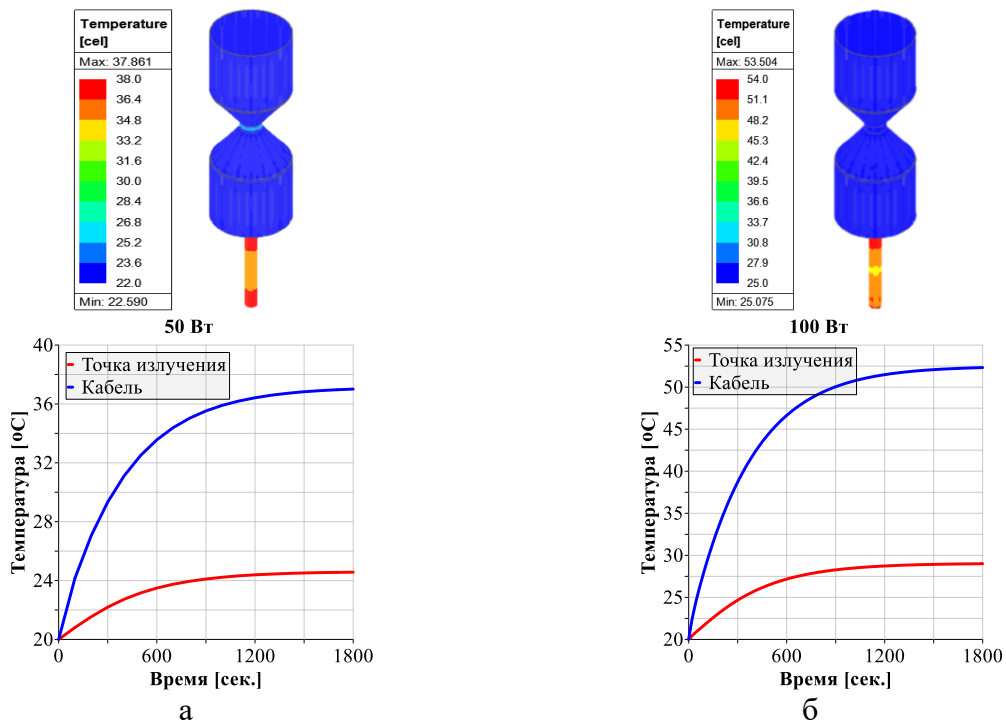


Рисунок 3. Оценка влияния нагрева антенны при подаче различных мощностей (а – внешний вид модели и график нагрева при подаче 50 Вт; б – внешний вид модели и график нагрева при подаче 100 Вт, где 1 – температура нагрева коаксиального кабеля, 2 – температура нагрева точки излучения)

Проведенные исследования позволили использовать полученные наработки для модернизации конструкции, которая заключалась в замене одного из конусов плоским

диском-основанием, что в свою очередь позволило полностью изменить характеристики разработанных антенн. Далее представлены несколько моделей моноконусных антенн и их характеристики.

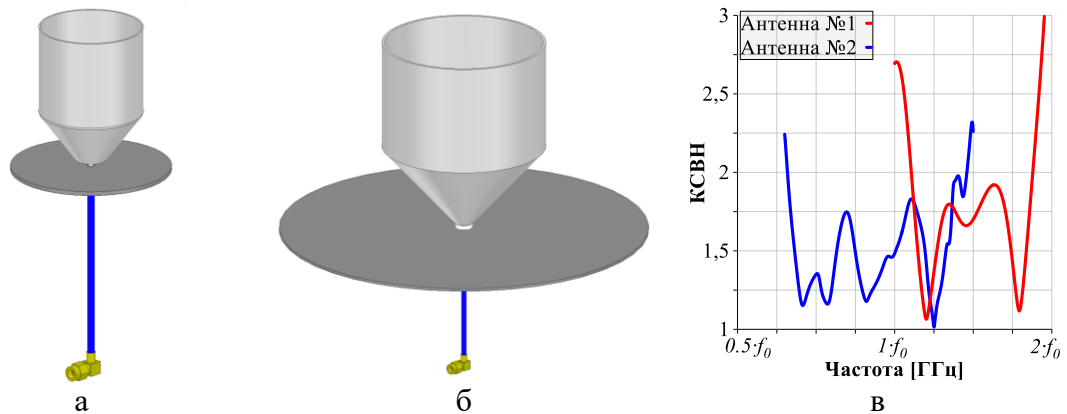


Рисунок 4. Электродинамические модели моноконусных антенн (а – электродинамическая модель антенны №1; б – электродинамическая модель антенны №2; в – характеристики КСВН антенн в полосе частот)

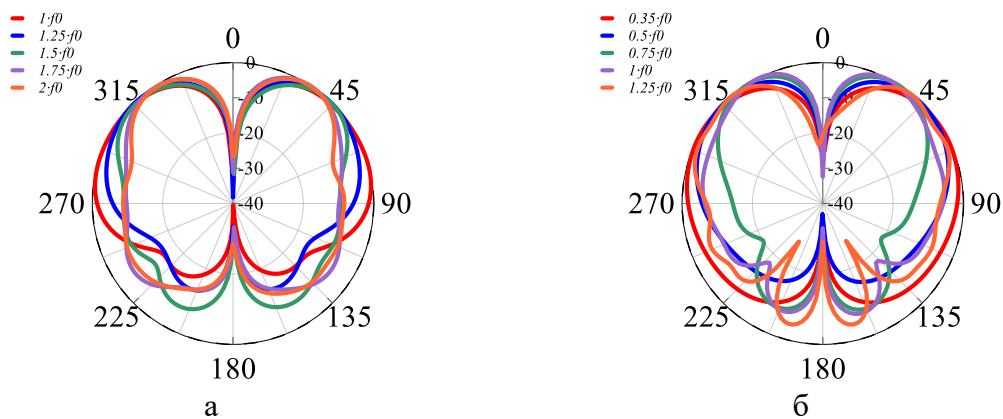


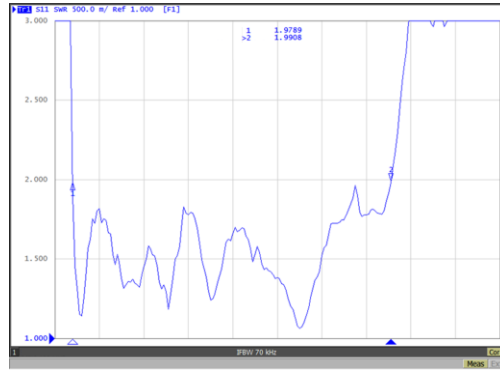
Рисунок 5. Характеристики ДН моделей моноконических антенн (а – моноконической антенны №1; б – моноконической антенны №2)

4. Результаты измерений

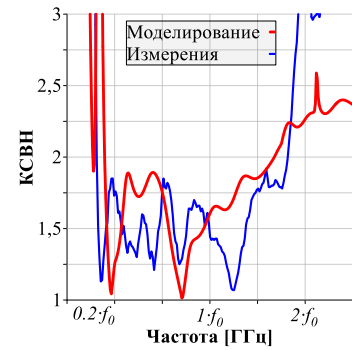
На основе одной из разработанных моделей, на сегодняшний день, изготовлен опытный образец биконической антенны с целью проведения измерений и проверки рассчитанных характеристик на практике (Рисунок 6а). При сборке, для обеспечения высокого уровня КПД отдельное внимание было уделено типу и качеству используемой кабельной сборки и вносимые ей потери и влияние на выходные характеристики биконической антенны, что так же касается и применяемого СВЧ-соединителя.



а



б



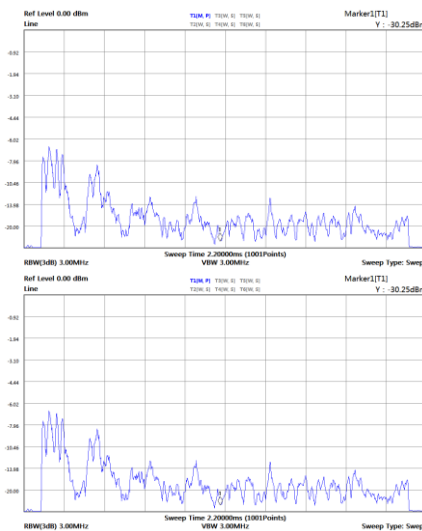
в

Рисунок 6. Макет опытного образца биконической антенны (а – фотография антенны; б – измеренный КСВН антенны на анализаторе спектра; в - сравнение измеренных и расчетных данными)

Характеристики изготовленного макета биконической антенны были проверены в лабораторных условиях при подаче на ее вход постоянного сигнала мощностью 90-100 Вт. На Рисунке 7 представлены фотографии подключения антенны к источнику мощного сигнала и спектр сигнала на различных частотах.



а



б

Рисунок 7. Измерение характеристик антенны при подаче к источнику помеховых сигналов (а – снимок подключения антенны; б – частотные характеристики антенны)

Антенна показала сохранение своей работоспособности при подаче постоянного сигнала мощностью 100 Вт на длительном промежутке времени без искажения своих характеристик и перегрева.

Также, используя уравнение Харальда Фрииса (1), удалось оценить эффективность излучения разработанной антенны через мощность, принимаемую приемной антенной в условиях идеальной среды, находящейся на определенном расстоянии от передающей, при подаче сигнала мощностью 100 Вт.

$$P_r = P_t \times G_t \times G_r \times \left(\frac{\lambda}{4 \times \pi} \right)^2 \quad (1)$$

Согласно проведенным расчетам, применение разработанной в ходе работы антенны в составе систем с высокой излучаемой мощностью, способствует увеличению излучаемой мощности антенной примерно на 60%, в сравнение с рассмотренными аналогами за счет увеличения эффективности излучения (КПД).

5. Выводы

В ходе работы проведены теоретические расчёты биконических антенн, проведена модернизация и улучшения параметров. Осуществлена оценка работоспособности модели при работе на высоких мощностях на продолжительном промежутке времени. На основе полученных в ходе моделирования данных изготовлен и собран опытный образец антенны, характеристики которого были измерены в лабораторных условиях. Осуществлена оценка эффективности излучения разработанной антенны, которая, согласно аналитическим расчетам, показала прирост мощности на 60% в сравнении с аналогами.

Список литературы

1. Пат. RU2022428C1;
2. Kudpik R., Meksamoot K., Siripon N. - «Design of a compact biconical antenna for UWB application». 2011 Int. Symp. On Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), Chiang Mai, Thailand, 2011, pp. 1-6;
3. Uladzimir Keda - «Biconical antenna with dielectric lens». Information radio systems and radio technologies, Minsk, 2020, pp. 337-341;
4. A.M. Bobreshov, A.S. Zhabin, E.A. Seregina, G.K. Uskov - «Biconical antenna whith inhomegeneous dielectric lens for UWB applications», in Electronics Letters, vol. 56, no 17, pp. 857-859, 2020, doi: 10.1049/el.2020.1098;
5. Zhieheng Y., Pengshan R., Debgpan M. - «Design of a compact biconical antenna with asymmetric configuration». 2018 UEEE 4th Int. Conf. on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, People`s Republic of China, 2018, pp. 1022-1026;