

### Оптимизация антенны СКИ РЛС для работы над экраном

А.В. Кочетов, Г.В. Комаров

АО НПП Радар ммс, [orienta@inbox.ru](mailto:orienta@inbox.ru), [komarov\\_gleb@list.ru](mailto:komarov_gleb@list.ru)

*Рассматриваются характеристики согласования сверхширокополосного антенного элемента при его расположении над экраном. Для увеличения полосы согласования антенного элемента с питающим фидером его конструкция выполнена в виде обратного рупора, раскрыв которого обращен в сторону экрана.*

*The characteristics of matching the ultra-wideband antenna element are considered when it is located above the screen. To increase the band alignment of the antenna element with the feeder, its design is made in the form of an inverse horn, opening it facing the screen.*

В антенных системах сверхкороткоимпульсной (СКИ) сверхширокополосной (СШП) радиолокации в качестве приемных и передающих элементов используют излучатели, установленные над экраном. Такая конструкция антенного элемента позволяет сосредоточить излучение электромагнитной волны в заданном направлении. ТЕМ - антенны, традиционно используемых для излучения СКИ сигналов, либо не работоспособны при установке вблизи металлического экрана (например, биконусные [1] или монополюсные [2] антенны), либо имеют большую длину и неудобны при практическом применении, например антенны Вивальди [3] и другие ТЕМ-антенны. В данной работе рассмотрим оптимизацию антенны, способной работать над металлическим экраном при излучении и приеме СКИ сигналов имеющую минимальную высоту над экраном.

В качестве излучателя СКИ РЛС использована антенна, представляющая собой щель сложной формы в экране (рис. 1). Антенна предназначена для излучения импульсов длительностью с центральной частотой в 3 ГГц и полосой в 1 ГГц. Её форма позволяет обеспечить её удобное применение в массовом производстве, как в варианте печатной антенны, так и в виде металлической пластины со щелью. При экспериментальных исследованиях использовался вариант из латунной пластины толщиной в 2 мм, щель в котором была выполнена при помощи гидроабразивной резки. Антенна согласована в очень широких частотных пределах при сохранении рабочей полосы частот в пределах, удовлетворяющих определению сверхширокополосности МСЭ [4].

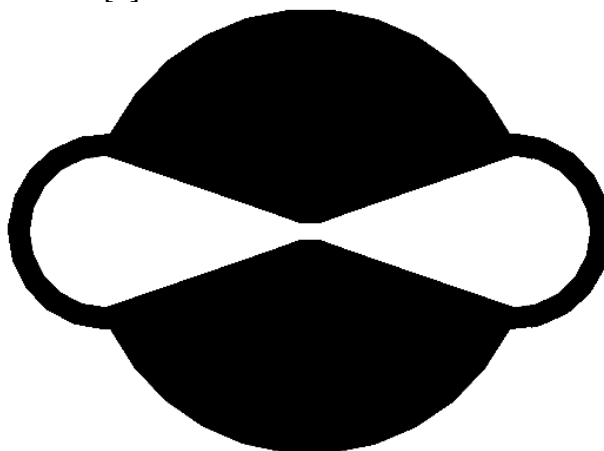
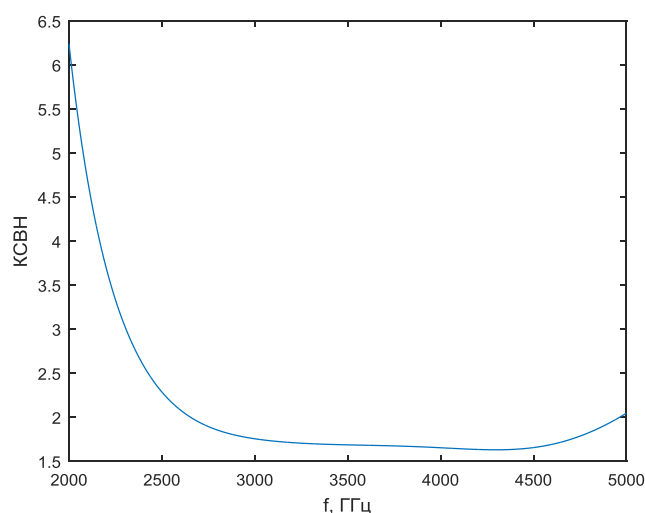


Рис. 1. Внешний вид антенны без экрана.

Основным недостатками такой антенны является: излучение в обоих направлениях, перпендикулярных плоскости антенны, сравнительно небольшой коэффициент усиления (КУ) и широкий основной лепесток диаграммы направленности (ДН). С первым недостатком можно бороться путем установки за антенной металлического экрана (пусть и ценой рассогласования антенны, если её конструктив при такой установке не изменяется), а со вторым и третьим – сборкой нескольких антенн в антенную решетку, что при правильном выборе шага решетки позволяет существенно сузить ширину ДН и повысить КУ.

В качестве среды моделирования антенн и антенных систем использован пакет CST Microwave Studio, для электромагнитного моделирования используется метод конечных интегралов (Finite integration technique), рассмотренный в [5]. На первом этапе проводится оптимизация антенны в свободном пространстве, что позволяет настроить её на рабочий диапазон, связанный со спектром излучаемого импульса. На втором этапе производится модификация конструкции антенны для обеспечения возможности её работы над металлическим экраном. После проведения оптимизации геометрических размеров антенны полоса рабочих частот по КСВН=2 превысила 2 ГГц, зависимость КСВН от частоты приведена на рис.2.

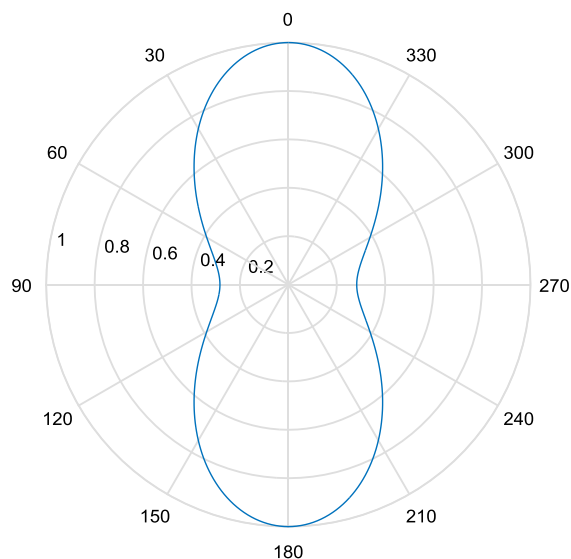


**Рис. 2. Зависимость КСВН от частоты для антенны в свободном пространстве.**

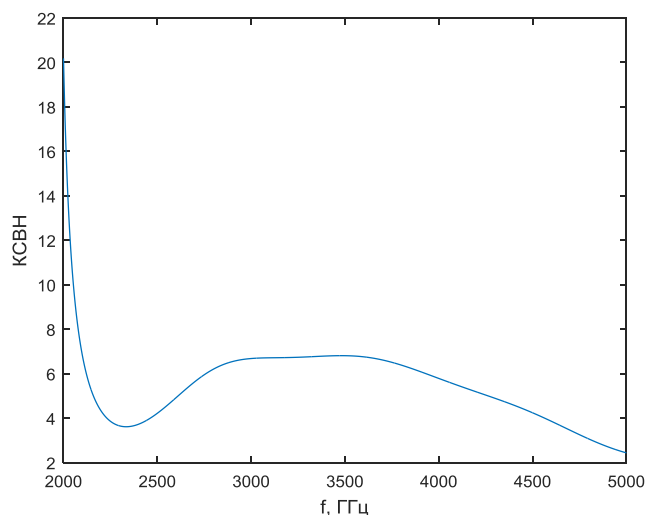
После окончания моделирования антенна была изготовлена «в металле» и было проведено сравнение фактических и расчетных параметров. Таким образом, при нахождении в свободном пространстве данная антенна обладает очень широкой рабочей полосой частот.

Нормированная ДН антенны на частоте 3 ГГц приведена на рис. 3. Как видно из приведенного графика ДН направленные свойства такой антенны весьма слабы, ширина ДН по половинному уровню достигает 85 градусов, а максимальный коэффициент усиления не превышает 4.5 дБ.

Если теперь без дополнительной модификации формы антенны поставить со стороны одного из максимумов ДН металлический экран, то качество согласования существенно пострадает, зависимость КСВН такой антенны от частоты приведена на рис.4, из чего можно сделать вывод: использование такой антенны над экраном невозможно.

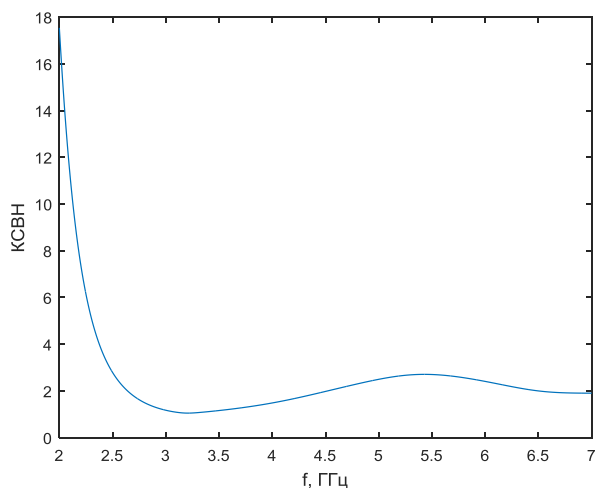


**Рис. 3. Нормированная диаграмма направленности антенны в свободном пространстве.**

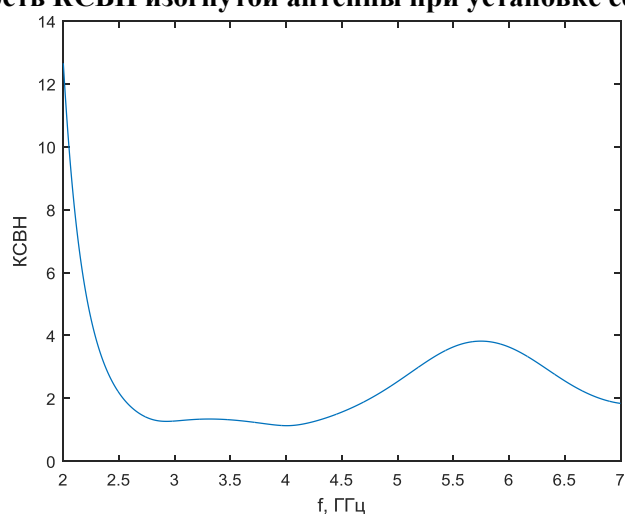


**Рис. 4. График зависимости плоской антенны над металлическим экраном.**

При конструировании широкополосных антеннах широко применяется принцип самодополнения, который позволяет существенно расширить рабочую полосу частот антенны. С учетом того, что в хорошо проводящем экране возникает «копия» антенны за счет наведения вторичных токов от основной антенны для получения самодополненной структуры выберем угол сгиба антенны в 90 градусов, таким образом, что бы реальная антенна и её «копия» в экране образовали крест. Такой вариант размещения антенны предполагает два варианта размещения антенны – углом к экрану и углом от экрана. График зависимости КСВН от частоты при моделировании антенны, развернутой прямым углом от экрана приведен на рис. 5, а аналогичный график для противоположно ориентированной антенны - на рис. 6.

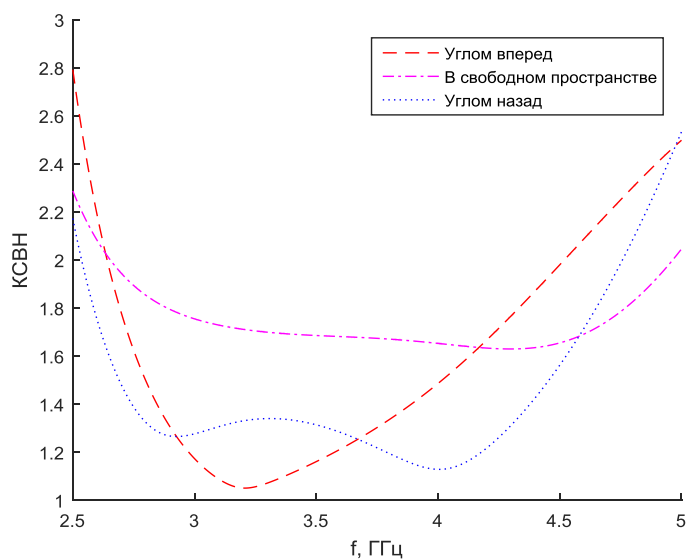


**Рис. 5. Зависимость КСВН изогнутой антенны при установке её углом от экрана.**



**Рис. 6. Зависимость КСВН изогнутой антенны при установке её углом к экрану.**

Для наглядности график КСВ трех вариантов согласованных антенн (в свободном пространстве и двух вариантов изогнутых антенн) приведен в большем масштабе (рис. 7).



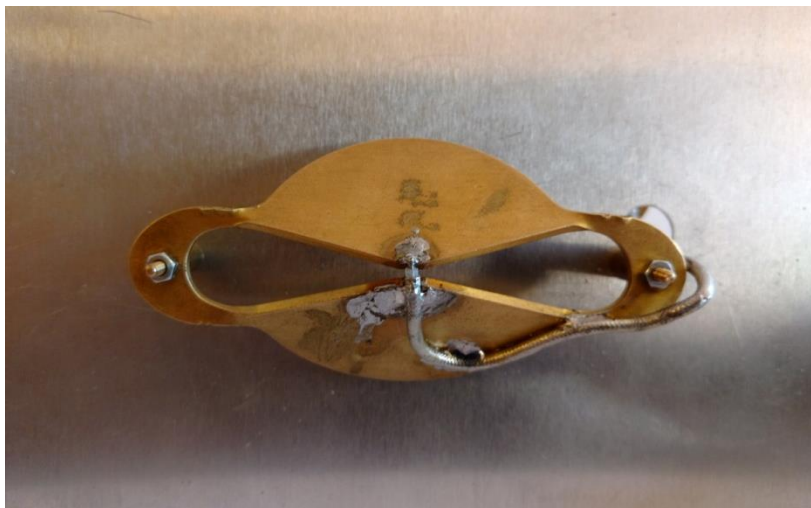
**Рис. 7. Графики КСВН трех антенн в области малых значений КСВН.**

Как можно видеть из рис. 7, антенна вновь стала согласованной в широкой полосе частот, несмотря на наличие металлического экрана на расстоянии всего в 17 мм от ближайшей точки антенны (все графики построены при одинаковом расстоянии от антенны до экрана). При этом важно отметить, что технологичность антенны сохранена – операции изгиба и штамповки являются широко распространенными в промышленности и недорого.

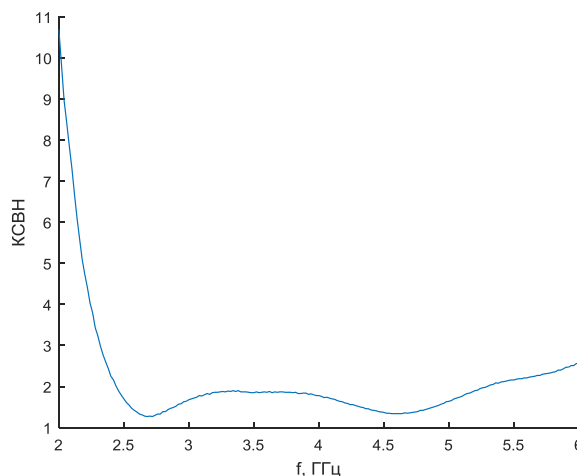
После окончания моделирования был изготовлен опытный образец антенны, внешний вид которого приведен на рис. 8, и была измерена зависимость КСВН от частоты.

Для исследования согласования антенны с линией передачи проведены измерения КСВН при помощи векторного анализатора цепей с полосой анализа 40 ГГц. Антенна исследовалась в режиме излучения в безэховой камере. Результаты измерения приводятся на рис. 9, а экспериментальные данные, наложенные на результаты численного моделирования – на рис. 10.

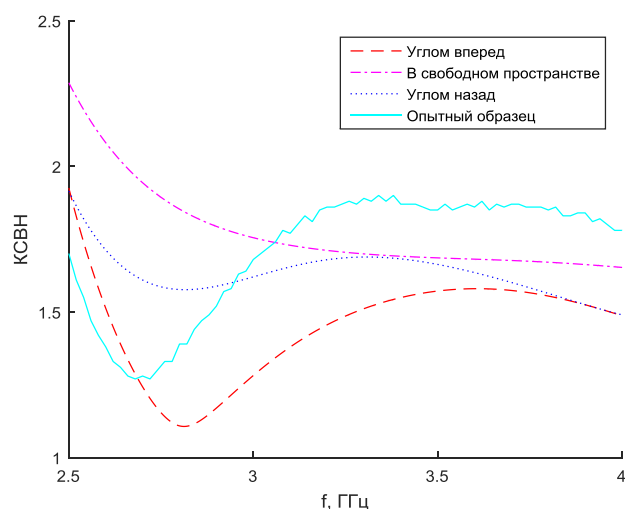
Как можно видеть, результаты моделирования и измерений опытного образца не полностью совпадают, но экспериментальные параметры антенны лежат ниже  $КСВН=2$ . Причиной такого сдвига является введение крепежных элементов и влияние кабеля, который отсутствовал в модели.



**Рис.8. Внешний вид опытного образца антенны.**



**Рис. 9. Результаты измерения КСВН опытного образца антенны.**



**Рис. 10. Сравнение значений КСВН опытного образца антенны.**

### **Заключение**

В численном и реальном эксперименте проведено исследование и подтверждены параметры сверхширокополосной антенны, способной работать над экраном без потери ширины рабочей полосы частот. Разработанная антенна прошла испытания и включена в опытный образец антенной решетки.

### **Литература**

1. D. Ghosh, T. K. Sarkar DESIGN OF A WIDE-ANGLE BICONICAL ANTENNA FOR WIDEBAND COMMUNICATIONS // Progress In Electromagnetics Research B. - 2009. - №16. - 229–245.
2. P. Cao, Y. Huang, J. Zhang and R. Alrawashdeh, "A compact super wideband monopole antenna," 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, 2013, pp. 3107-3110.
3. Chen Xianzhong, Yin Yixin, Hou Qingwen, Li Xiaoli, Zhu Menghui and Liu Kangli, "A design of phased array antenna based on the Vivaldi antenna," 2010 2nd International Conference on Industrial and Information Systems, Dalian, 2010, pp. 334-337.
4. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1755 Характеристики сверхширокополосной технологии
5. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Митры Р.М.: Мир, 1977