

УДК 621.396.677.8

Особенности проектирования и изготовления защитных укрытий антенн

Голубцов М. Е.^{1,*}, Клишин А. Н.²,

Литун В. И.¹, Потехина О. А.¹,

Корниенко В. Н.¹

[*niiretsec62@mail.ru](mailto:niiretsec62@mail.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²ООО «Пром Композит», Москва, Россия

В статье приводятся некоторые результаты исследования влияния однородных оболочечных защитных укрытий (ЗУ) в виде цилиндра с круговой образующей и сферы на характеристики излучения апертурных антенн. Оценка влияния толщины обтекателя проводилась по нескольким параметрам: амплитуда поля, излученного в осевом направлении, приведённая к результатам моделирования антенны без ЗУ; уровень мощности, излучаемая в коническом секторе с углом полуоткрытия 6° ; ширина главного максимума по уровню половины мощности относительно случая без обтекателя. Отмечены особенности приведённых зависимостей. Показаны качественные отличия искажения диаграммы направленности разными типами ЗУ. Дана оценка итогового влияния смещения излучающего раскрытия из центра обтекателя вдоль оси системы на электрические характеристики системы.

Ключевые слова: обтекатель, защитное устройство, обнаружение, диаграмма направленности, антенная система

Введение

Проектирование защитных укрытий крупноапертурных антенн, работающих в сложных климатических условиях эксплуатации, широком диапазоне температур или же при наличии специфических требований по режиму эксплуатации оборудования, сопряжено с выполнением ряда требований, зачастую, уникальным для конкретного применения. Существует большое количество вариантов конструктивно-технологического исполнения ЗУ: от строений их дерева и объёмных плёочно-ферменных конструкций до цельных композитных вариантов. В качестве основных критериев выбора выступают [1, 6]: жёсткость конструкции, рабочий диапазон частот, характеристики по радиопрозрачности, требуемые особенности формы, величина ошибок позиционирования луча вследствие преломления, допустимое затенение апертуры элементами каркаса и т.д.

1. Постановка задачи

Методы анализа влияния антенных укрытий и обтекателей на характеристики излучения антенн варьируются в зависимости от электрического размера и сложности структуры ЗУ [6]. Могут быть применены как строгие методы электродинамического анализа, так и квазиоптические приближения. Первые в большей степени применимы к системам малых и средних электрических размеров [1, 2]. Для крупноапертурных антенн наряду с ними справедливы приближения геометрической и физической оптики [1, 3]. Справедливость такого подхода подтверждена рядом исследований [1, 2, 7]. При этом в подавляющем большинстве случаев приближённые методы существенно выигрывают по времени вычислений у строгих [5, 7, 10]. Результаты вычислений служат основой для определения рабочей полосы частот ЗУ, выбора толщины основного и просветляющих слоёв.

Наиболее часто целью изучения является влияние на электрические характеристики системы таких факторов, как диапазон значений свойства обтекателя и структура электромагнитного поля [8, 9]. Для защитных укрытий больших электрических размеров исследования приоритетно уходят в область материалов электрически малой толщины [4].

Наличие максимумов в зависимости коэффициента прохождения сигнала через защитное укрытие в области толщин порядка длины волны в материале обтекателя является известным фактом [1, 2, 4], следующим для плоско-слоистых структур напрямую из соотношений Френеля.

Целью проведённого исследования являлось уточнение толщин резонансного согласования антенного обтекателя с образующей в виде дуги окружности для апертурной антенны с раскрывом порядка нескольких десятков длин волны в свободном пространстве (λ). Второй задачей было установление взаимосвязи изменения характеристик диаграммы направленности системы со смещением раскрыва антенны относительно центра образующей ЗУ.

2. Модель антенной системы с защитным укрытием (обтекателем)

При реализации модели были применены следующие упрощения:

- излучающий раскрыв аппроксимирован синфазной линейно-поляризованным электромагнитной волной со спадающим к краю амплитудным распределением вида «косинус на пьедестале 0,05»;
- обтекатель – однослойная цилиндрическая (2D) или сферическая (3D) однородная оболочка конечной толщины;
- учёт переотражения волны раскрывом антенны не происходит;
- радиус апертуры антенны – 15λ ;
- радиус образующей внутренней поверхности ЗУ – 20λ ;
- относительная диэлектрическая проницаемость материала ЗУ – 2.

Электрические размеры данной системы можно считать электрически большими и считать справедливым применение приближённых методов расчёта [1, 2, 4, 5]. Величина диэлектрической проницаемости выбрана так, чтобы материал было можно считать по

свойствам достаточно близким к эквиваленту сэндвич-панели А-типа с сотовой основой высокой плотности [1].

3. Влияние толщины обтекателя

Оценка влияния толщины обтекателя проводилась по нескольким параметрам: амплитуда поля, излученного в осевом направлении, приведённая к результатам моделирования антенны без ЗУ; уровень мощности, излучаемая в коническом секторе с углом полураскрытия 6° ; ширина главного максимума по уровню половины мощности относительно случая без обтекателя.

Зависимость нормированной амплитуды поля в осевом направлении показана на рис. 1. Её общий характер согласуется с классическими соотношениями Френеля, но положение максимумов и глубина провалов отличается. Стоит отметить, что при наличии обтекателя амплитуда главного максимума оказывается всегда меньше амплитуды поля антенны в свободном пространстве.

Особый интерес представляют толщины обтекателя, обеспечивающие формирование максимума поля излучения, для уточнения положения экстремумов. Минимальными величинами являются половина длины волны в среде и одна длина волны в среде. В окрестности них было проведено моделирование с малым шагом значения толщины. Доля мощность в коническом секторе для обоих случаев приведена на рис.2, 3.

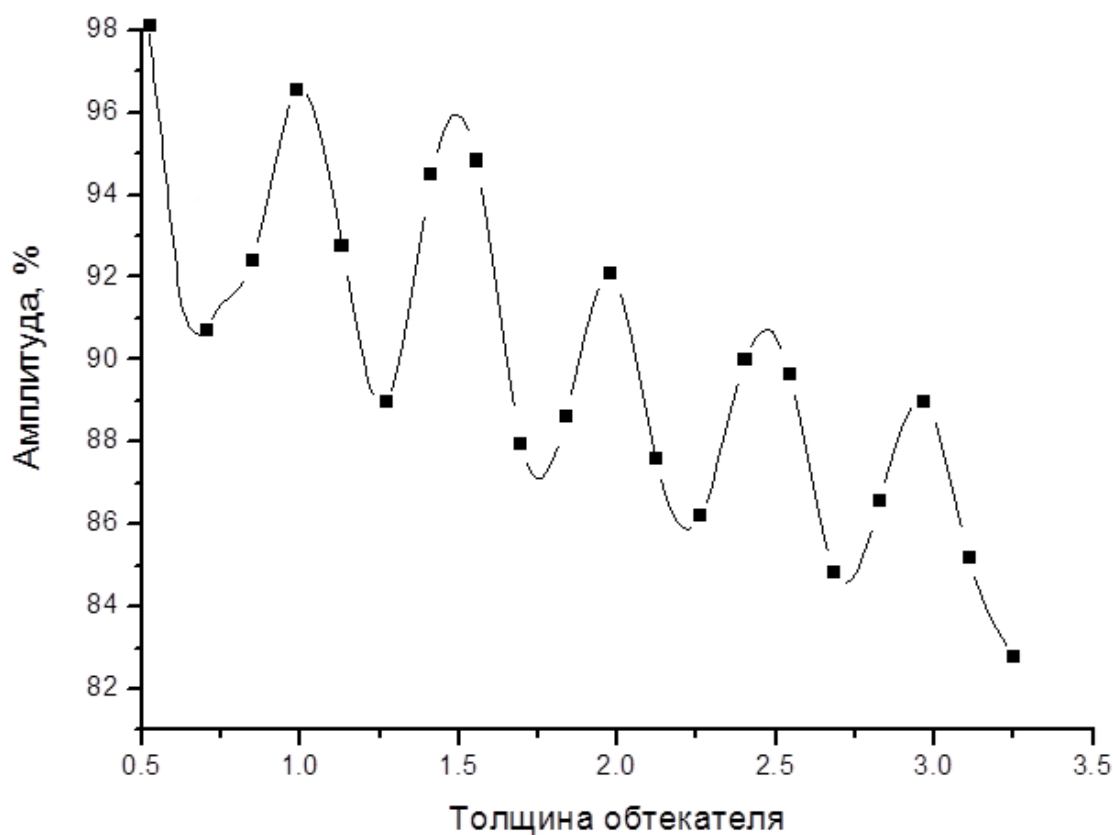


Рис. 1. Зависимость амплитуды электромагнитной волны от толщины ЗУ

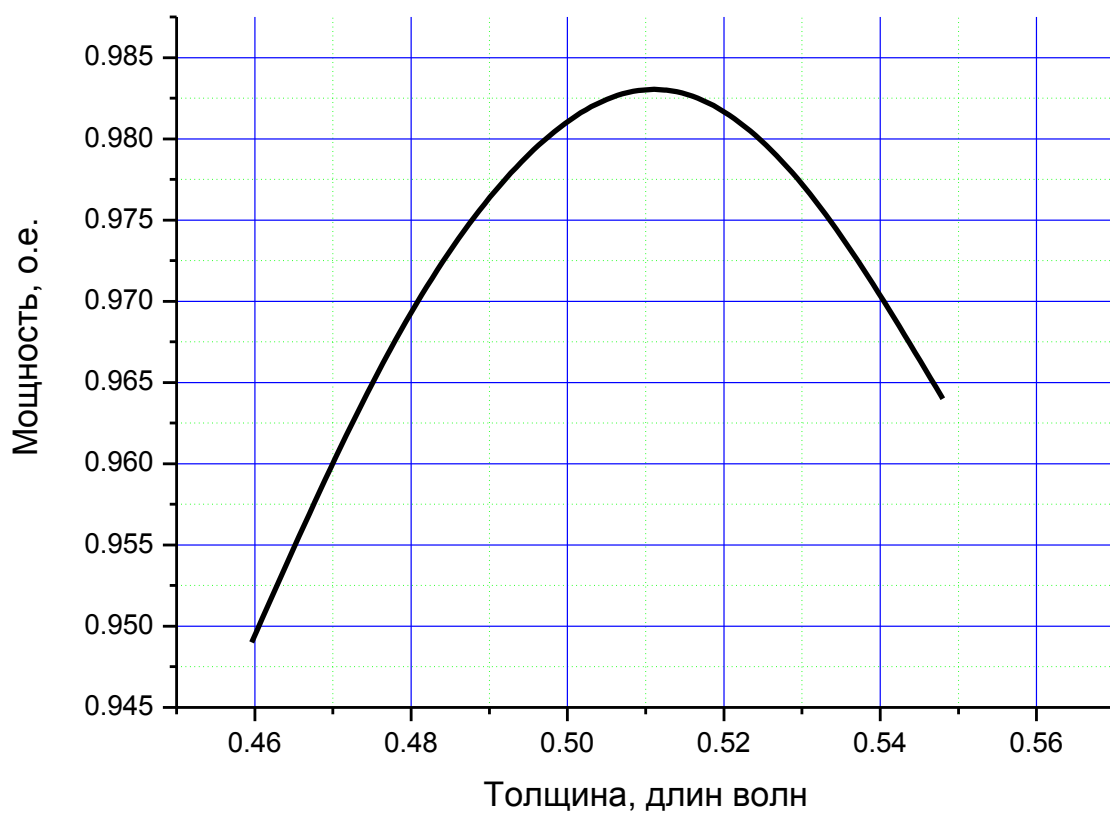


Рис. 2. Нормированная мощность в коническом секторе для обтекателя с толщиной около половины длины волны в материале ЗУ

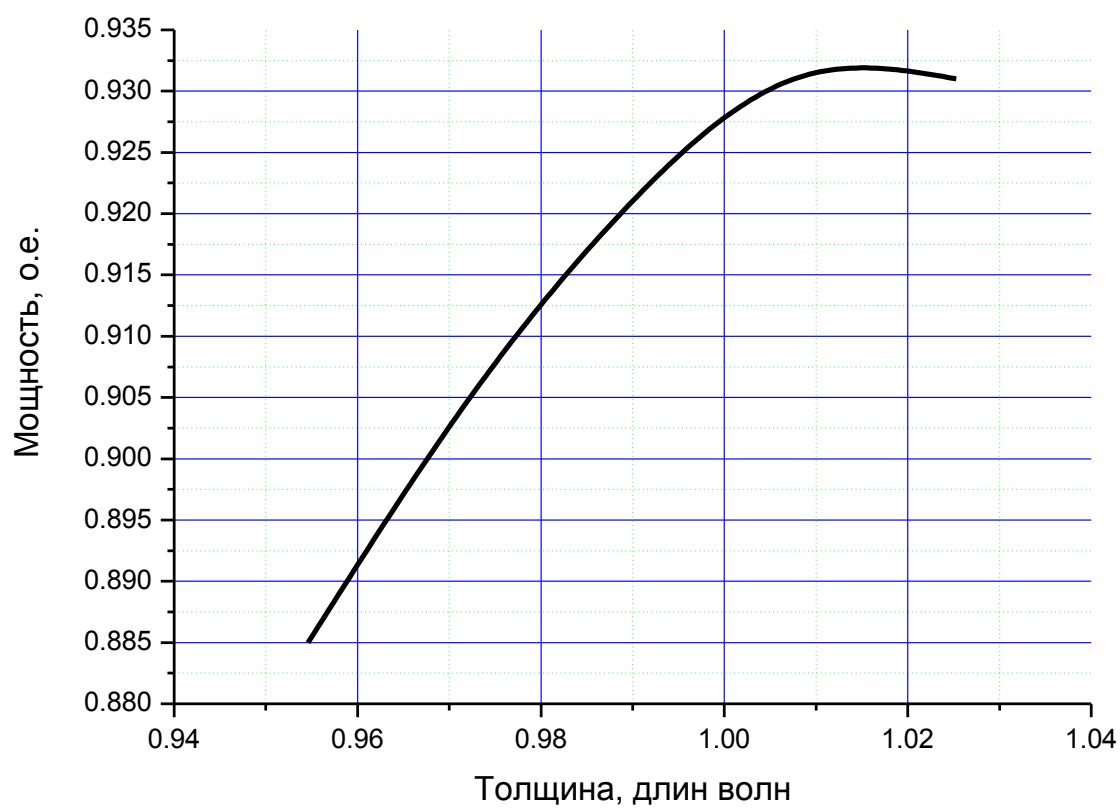


Рис. 3. Нормированная мощность в коническом секторе для обтекателя с толщиной около одной длины волны в материале ЗУ

Как видно из графиков, абсциссы максимума мощности отличается от целого количества полуволн в среде, которое соответствует оптимальному плоскому ЗУ: 0,01 длины волны на каждую полуволну. Данный эффект обусловлен неплоской формой ЗУ, что приводит к различию углов падения на границу ЗУ для лучей, вышедших из центральной и крайних областей апертуры антенны. Величина смещения максимумов может изменяться при сравнении систем с разным амплитудным распределением поля по раскрыву.

С увеличением толщины ЗУ происходит рост ширины главного лепестка диаграммы направленности по уровню половины мощности. График зависимости изменения данного параметра относительно случая антенны без ЗУ показан на рисунке Р4.

Для цилиндрического и сферического ЗУ величины изменения ширины главного максимума и осцилляции амплитуды поля вдоль оси системы отличаются, но общий характер зависимостей близок.

Для иллюстрации качественного отличия влияния 2D и 3D обтекателей на характеристики ДН на рисунках Р5 и Р6 приведены результаты моделирования для цилиндрического и сферического обтекателей при толщине оболочки 6 и 10 полуволн в материале ЗУ. При малых толщинах обтекателя разница заметна мало, поэтому для наглядности выбраны достаточно большие толщины оболочек.

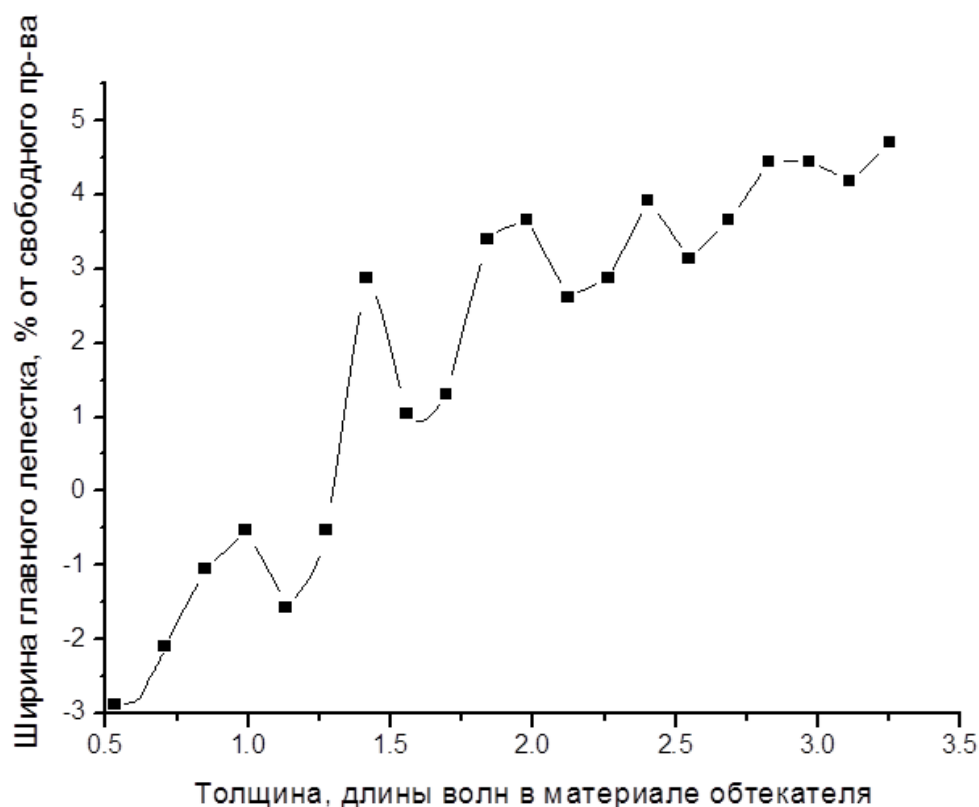


Рис. 4. Зависимость ширины главного максимума от толщины ЗУ

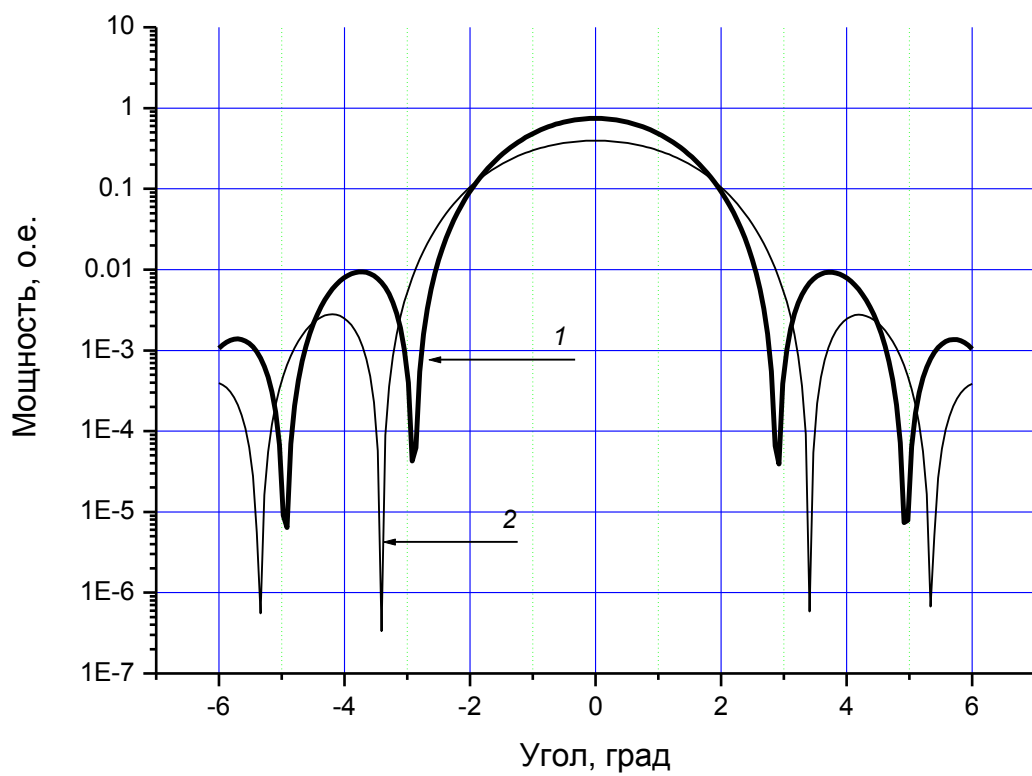


Рис. 5. ДН антенны с обтекателем толщиной 6 полуволны

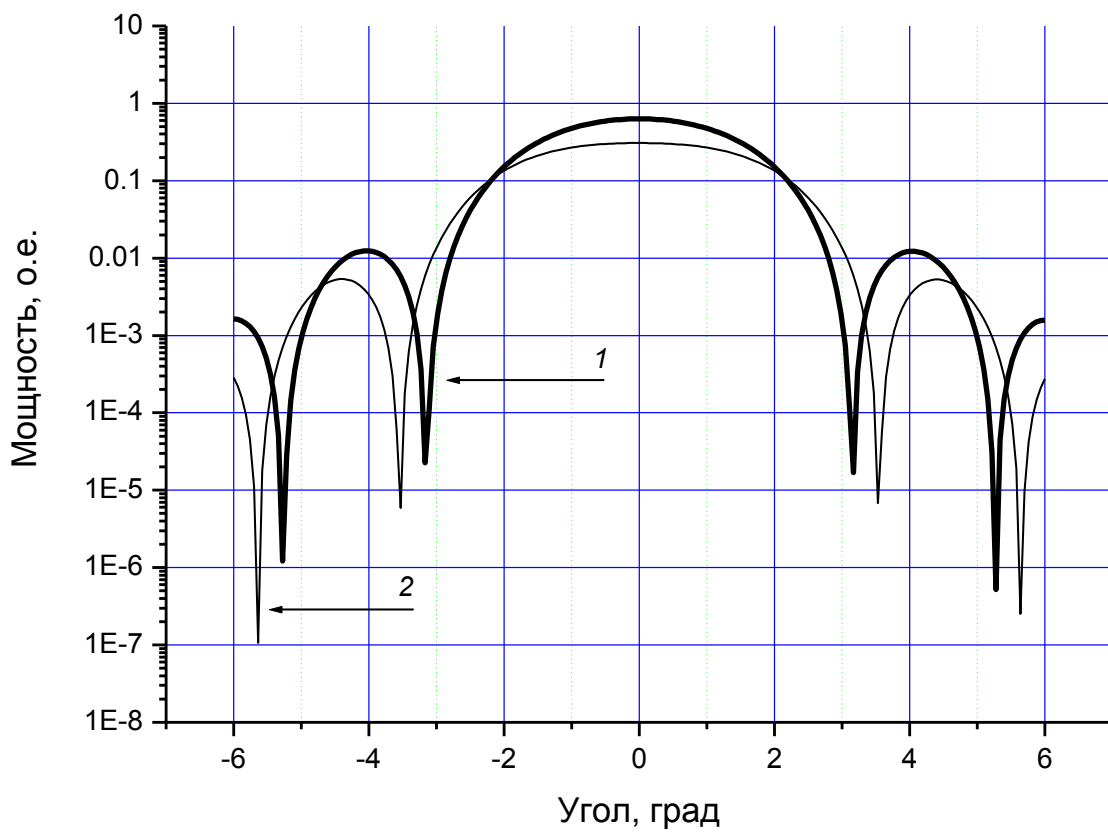


Рис. 6. ДН антенны с обтекателем толщиной 10 полуволны

По зависимостям на рис. 5 и 6 можно сделать вывод, что качественно отличие влияния сферического обтекателя от цилиндрического состоит в уменьшении мощности излучения в осевом направлении, большем искажении формы главного лепестка ДН, изменении углового положения и уменьшении уровня боковых лепестков. С увеличением толщины ЗУ уровень боковых лепестков для обоих случаев практически выравнивается, а соотношение уровня излучения вдоль оси сохраняется.

4. Влияние смещения раскрыва

В рамках данного исследования было рассмотрено смещение излучающей апертуры вдоль оси системы с обтекателем полуволновой и одноволновой толщины. В виду малого визуального отличия ДН, соответствующих различным величинам смещения апертуры, на рис. 7, 8 показаны отличия в диапазоне углов от случая без ЗУ.

Таким образом, показано, что отличие формы ДН составляет доли процента по мощности при смещении вдоль оси системы. Исходя из начальных упрощений, этот факт легко объясним тем, что для параллельных лучей, вышедших из апертуры, условия преломления на границе раздела воздух-ЗУ при смещении раскрыва вдоль оси остаются без изменений за исключением площади сечения лучевой трубки.

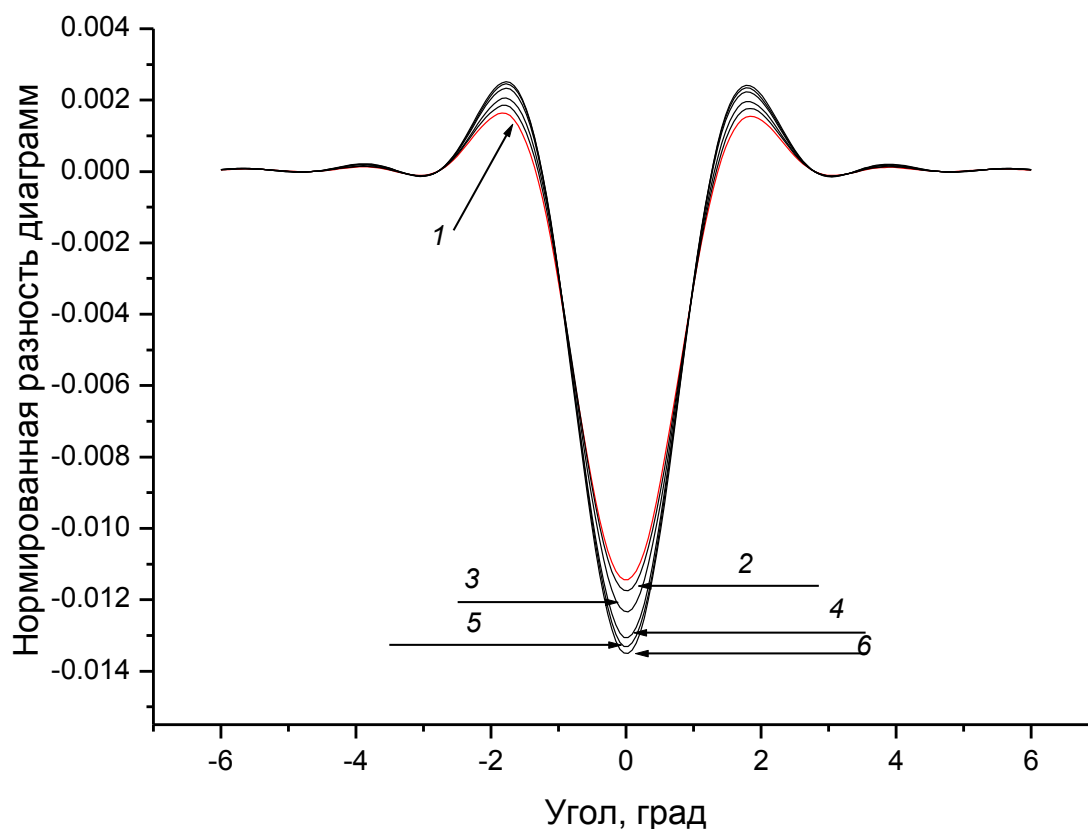


Рис. 7. Отличие ДН для полуволнового ЗУ при величине осевого смещения апертуры 1.0 (1), 2.0 (2), 3.0 (3), 4.5 (4), 5.0 (5), 5.5 (6) длин волн

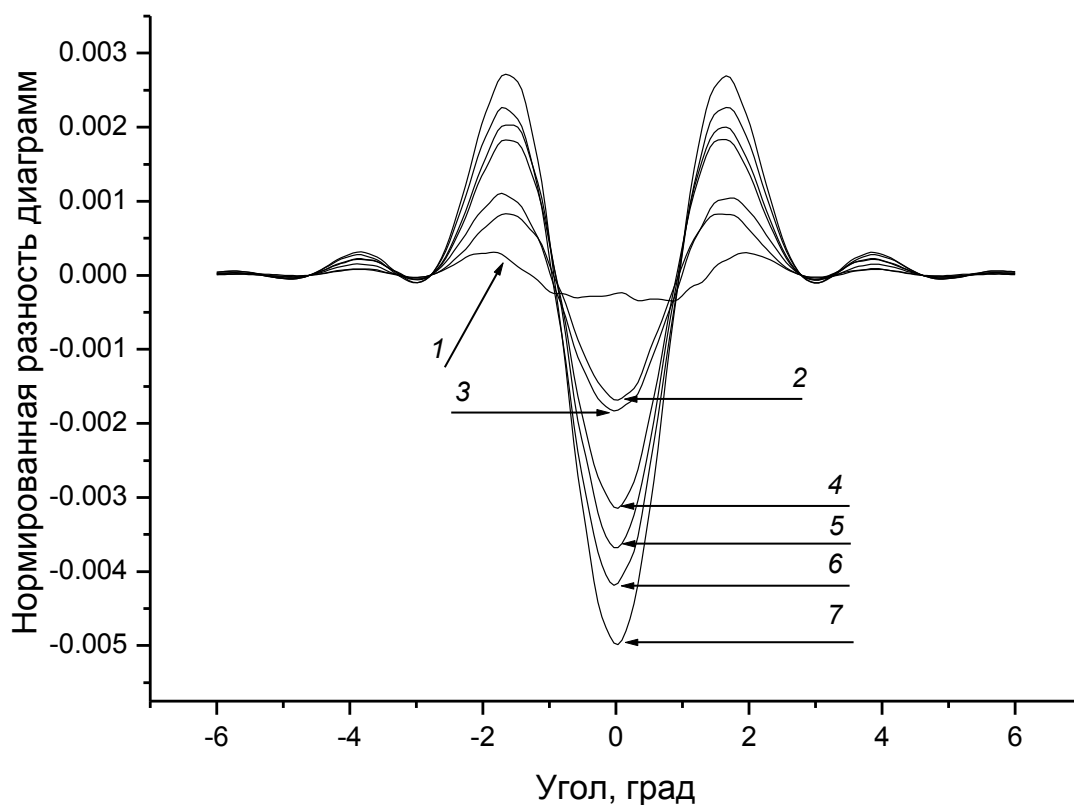


Рис. 8. Отличие ДН для одноволнового ЗУ при величине осевого смещения апертуры 1,0 (1), 2,0 (2), 3,0 (3), 4,5 (4), 5,0 (5), 6 (6), 7 (7) длин волн

Заключение

В результате проведённого исследования:

- продемонстрирован факт отличия оптимальной толщины выпуклого обтекателя, обеспечивающей максимальную амплитуду сигнала в осевом направлении, относительно аналогичной величины для плоского ЗУ;
- приведены зависимости амплитуды излученного сигнала в осевом направлении и зависимость ширины луча от толщины ЗУ;
- показана качественная разница влияния ЗУ цилиндрической и сферической формы на ДН;
- отмечен факт малого влияния смещения плоскости излучающего раскрыва из центра обтекателя вдоль оси системы на характеристики излучения.

Статья выпущена в рамках НИОКТР "Создание высокотехнологичного производства композитных агрегатов" выполняемого МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «НПО «ЛЭМЗ» в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, в целях реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», при

финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Kozakoff D.J Analysis of Radome Enclosed Antennas. 2nd ed. Northwood: Artech House, Inc., 2010. 294 p.
2. Каплун В.А. Обтекатели антенн СВЧ. М.: Советское радио, 1974. 240 с.
3. Карпов А.Г., Князев Н.С., Шабунин С.Н. Анализ влияния сферических укрытий больших зеркальных антенн и антенных решёток на характеристики излучения // 24-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2014) (Севастополь, 7–13 сентября 2014 г.): матер. В 2 т. Т. 1. Севастополь: Вебер, 2014. С. 525-526.
4. Шалгунов С.И., Трофимов А.Н., Соколов В.И., Морозова И.В., Прохорова Ю.С. Особенности проектирования и разработки радиопрозрачных обтекателей и укрытий, работающих в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн // Научный электронный журнал «Новости материаловедения. Наука и техника». 2014. № 3. Режим доступа: <http://materialsnews.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/79.pdf> (дата обращения 01.11.2014).
5. Князева Л.В. Методы расчета характеристик системы антенна-обтекатель // Антенны. 1998. № 1 С. 66-75.
6. Каплун В.А. Антенные радиопрозрачные обтекатели (этапы исследований и разработок) // Радиотехника. 2002. № 11. С. 11-15.
7. Грищенко С.Г. Алгоритм квазиоптического моделирования антенных обтекателей // Антенны. 2007. № 5. С. 40-47.
8. Кабалин С.В. Исследование характера зависимости коэффициента прохождения электромагнитной энергии через радиопрозрачную крышку от частоты радиосигнала и типа поляризации // Антенны. 2013. № 1. С. 41-45.
9. Кабаев А.К. Влияние нестабильности диэлектрических характеристик стеклопластика на радиотехнические параметры радиопрозрачного укрытия. Исследование зависимости коэффициента прохождения электромагнитной энергии от ϵ , $\text{tg}\delta$ и угла падения // Антенны. 2013. № 1. С. 37-40.
10. Колосов Ю.А., Левков Ф.Е. Об использовании метода стационарной фазы в экспресс-оценке влияния обтекателя на параметры антенны // Антенны. 2012. № 1. С. 23-26.

Antenna Protective Shelters' Design and Manufacturing Specificities

M.Ye. Golubtsov^{1,*}, A.N. Klishin²,

niiretsec62@mail.ru

V.I. Litun¹, O.A. Potekhina¹, V.N. Kornienko¹

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²Ltd. "Prom Composite", Moscow, Russia

Keywords: streamlined antenna cover, protection device, detection, antenna pattern, antenna system

A problem of large aperture antenna radomes design, in case of demanded requirements for environmental conditions, wide temperature range or specific application conditions, is stated. Analysis methods for influence of shelters and radomes on antennas' electrical characteristics are varying in dependence on electrical size and structure complexity. Both rigorous and quasi-optical analysis methods are applicable.

Main objective of this research is to disclose an influence of cylindrical or spherical radome thickness on radiation characteristics of aperture antenna with electrical dimensions about tens order of wavelength in free space. Secondary objective is to evaluate far field pattern changing when antenna aperture is displaced from the radome generating line center point.

Estimation of radome thickness influence was executed by a number of parameters: magnitude of a field, radiated in axial direction and normalized to radomeless simulation; power, radiated in conical section with 6° hemi opening angle; main lobe half power beam width in comparison with radomeless simulation result.

It was found, that radome thickness growing leads to main lobe half power beam width increasing. It was detected, that difference between influence of spherical and cylindrical radomes consists in lower axial radiated power level, more distorted radiation pattern's main lobe shape, side lobes displacement and abatement. While radome thickness increase the side lobe level become equal for both cases. It was shown, that varying of far field shape is only a number of percents for wide range of antenna aperture displacement from radome center point. It's simple to be explained in terms of initial model simplification, because for all the parallel beams, outgoing from antenna aperture, the refraction conditions of air-to-radome boundary, excepting beam cross-section, are equal in case of any axial displacement of antenna aperture.

References

1. Kozakoff D.J. *Analysis of Radome Enclosed Antennas*. 2nd ed. Northwood, Artech House, Inc., 2010. 294 p.
2. Kaplun V.A. *Obtekateli antenn SVCh* [Microwave streamlined antenna cover]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974. 240 p. (in Russian).
3. Karpov A.G., Knyazev N.S., Shabunin S.N. The analysis of influence of spherical radomes of large reflector antennas and antenna arrays on their radiation properties. *24th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo), 2014*. IEEE Publ., 2014, pp. 525-526. DOI: [10.1109/CRMICO.2014.6959510](https://doi.org/10.1109/CRMICO.2014.6959510)
4. Shalgunov S.I., Trofimov A.N., Sokolov V.I., Morozova I.V., Prokhorova Yu.S. Design and development of radomes and shelters operating in the centimeter and millimeter wavelength ranges of radio waves. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2014, no. 3. Available at: <http://materialsnews.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/79.pdf> , accessed 01.11.2014. (in Russian).
5. Knyazeva L.V. Methods of calculation of characteristics of antenna-radome system. *Antenny = Antennas*, 1998, no. 1, pp. 66-75. (in Russian).
6. Kaplun V.A. Antenna radomes (stages of research and development). *Radiotekhnika = Radioengineering*, 2002, no. 11, pp. 11-15. (in Russian).
7. Grishchenko S.G. Algorithm for quasi-optical modeling of antenna radomes. *Antenny = Antennas*, 2007, no. 5, pp. 40-47. (in Russian).
8. Kabalin S.V. Study of transmission factor of radio-transparent cap depending on radio wave frequency and type of polarization. *Antenny = Antennas*, 2013, no. 1, pp. 41-45. (in Russian).
9. Kabaev A.K. Effect of instability of dielectric characteristics in radio transparent coverings. Investigation of electromagnetic energy transmission factor depending on ϵ , $\text{tg}\delta$ and strike angle. *Antenny = Antennas*, 2013, no. 1, pp. 37-40. (in Russian).
10. Kolosov Yu.A., Levkov F.E. About the stationary phase method use for express-evaluation of radome effect on antenna parameters. *Antenny = Antennas*, 2012, no. 1. pp. 23-26. (in Russian).