

А О « К О Н Ц Е Р Н П В О « А Л М А З - А Н Т Е Й »



А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О
« В С Е Р О С С И Й С К И Й Н А У Ч Н О - И С С Л Е Д О В А Т Е Л Ъ С К И Й
И Н С Т И Т У Т Р А Д И О Т Е Х Н И К И » (А О « В Н И И Р Т »)

ул. Б. Почтовая, 22, Москва, 105082
Тел.: (499) 267-66-04; факс: (499) 265-60-38; e-mail: vniirt@vniirt.ru

19.10.2015 № 300/50-2842
На № 406-10-48 от 09.2015

Ученому секретарю
Московского авиационного института
(Национального исследовательского
университета) (МАИ)

Москва, А-80, ГСП-3, 125993,
Волоколамское шоссе, 4.
Тел. 8-(499)-158-43-33

Направляю отзыв к.т.н. Инденбома М. В., утвержденного диссертационным советом Д 212.125.03 в качестве официального оппонента по диссертации Чернецкого Ивана Мирославовича на тему «Антенны и экраны для высокоточного спутникового позиционирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 - «Антенны, СВЧ - устройства и их технологии» (технические науки).

Приложение: Отзыв в 2 экз.

Диссертация - 1 кн.

Зам. генерального директора

В.И. Порсев



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Чернецкого Ивана Мирославовича
на тему: Антенны и экраны для высокоточного спутникового позиционирования
по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии
на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа посвящена исследованию характеристик полупрозрачных экранов и возможности создания на этой основе слабонаправленных антенн для наземных устройств глобальной системы спутниковой навигации с уменьшенной амплитудой принимаемых отраженных от земной поверхности волн, а также полигона для испытаний таких антенн, имитирующего реальные условия приема в лесистой местности.

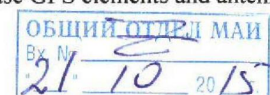
Данная тематика безусловно является актуальной, так как влияние отраженных волн приводит к увеличению погрешности измерения координат фазового центра антенны и является неустранимой составляющей ошибки. Данной тематике уделяется большое внимание в технике спутникового позиционирования, что подтверждается достаточно большим числом публикаций и патентов, например ^[1, 2]. Поэтому уменьшение диаграммы направленности антенны в задней полусфере без уменьшения ее значений и КУ в передней полусфере является актуальной технической задачей, имеющей важное техническое значение, в том числе и для других применений, например в технике связи, радиолокации.

Для разработки таких антенн является важным создание полигона для имитации приема сигналов от спутников в условиях лесистой местности, позволяющего за счет стандартизации условий измерений получить объективное сравнение ошибок измерений для различных испытываемых антенн. Поскольку построение подобных полигонов, насколько известно оппоненту, в технической литературе не описано, данная задача также является актуальной.

Аналитический обзор литературы, проведенный во введении к диссертации, показал, что известные антенны для систем спутниковой навигации либо имеют недостаточное значение отношения низ/верх (т.е. отношение значений диаграммы направленности ниже и выше горизонта) для получения требуемой от высокоточных систем спутникового позиционирования среднеквадратической ошибки порядка 1 мм, либо имеют большие размеры (порядка 10 и более длин волн), затрудняющие их широкое использование, или прямые потери. Для решения задачи уменьшения отношения низ/верх до -20 дБ при углах возвы-

[¹] С.Н. Бойко, А.С. Кухаренко, Ю.С. Яскин. Применение экрана на основе метаматериала для отсечки многолучевости антенн спутниковых систем навигации. "Антенны", 2015, вып. 7 (218), стр. 63-68.

[²] A.R. Lopez et al., Patent US 6,201,510 B1, Mar. 13, 2001/ Self-contained progressive-phase GPS elements and antennas/.



шения около 10° и размерах антенны не более 1,5-2 длин волн в диссертации исследована возможность использования свойств полупрозрачных экранов.

В первой главе разработана упрощенная двумерная математическая модель антенны бегущей волны в виде полубесконечного плоского волновода с полупрозрачными окончаниями боковых стенок. Для этого использован апробированный математический аппарат, основанный на уравнениях электродинамики, импедансных граничных условиях для полупрозрачных стенок и методе моментов с треугольными базисными функциями для численного решения интегрального уравнения электрических и магнитных токов. Достоверность модели проверена сравнением результатов моделирования для частного случая проводящих стенок волновода с известным строгим решением. В результате исследования численного решения показаны возможности требуемого понижения отношения низ/верх и найдены законы изменения емкостного импеданса, реализующие эти возможности. На основе установленных закономерностей предложена, спроектирована и экспериментально исследована четырехзаходная цилиндрическая антенна с сосредоточенными емкостями, периодически впаянными в ветви спиралей. Результаты измерений диаграммы направленности подтверждают основные идеи, заложенные в построение антенны. При длине антенны менее $1,5\lambda$ получено отношение низ/верх менее -20 дБ при углах возвышения более 10° , а среднеквадратическая погрешность позиционирования в полевых условиях – 0,63 мм. Таким образом, в работе убедительно, как теоретически, так и экспериментально, доказана возможность реализации относительно компактных антенн, слабонаправленных в передней полусфере и имеющих низкий уровень диаграммы направленности в задней полусфере. Конструкция такой антенны с круговой поляризацией представляет собой многозаходную цилиндрическую спираль с экраном и сосредоточенными реактивностями, периодически расположенными в ее ветвях. Техническое решение антенны защищено патентами, что свидетельствует о его мировой новизне. Также ранее не были известны приведенные в работе законы распределения импеданса для увеличения прямоугольности формы диаграммы направленности антенны.

Во второй главе с помощью аналогичного математического аппарата разработана упрощенная двумерная математическая модель экрана с полупрозрачными окончаниями боковых стенок для сосредоточенной слабонаправленной антенны. Модель самой антенны выбрана в виде пары бесконечно-протяженных близкорасположенных противофазных электрических или магнитных токов. В методе моментов в зависимости от поляризации использованы треугольные или прямоугольные базисные функции. Результаты моделирования подтверждены экспериментально для частного случая одного экрана с постоянным

значением импеданса на его окончании. В результате численного исследования показаны возможности требуемого понижения отношения низ/верх и найдены законы изменения индуктивного импеданса экранов, реализующие эти возможности. Рассмотрены экраны с одной и несколькими полупрозрачными перегородками. Показано, что применение полупрозрачных окончаний перегородок с оптимизированным законом изменения импеданса приводит к снижению отношения низ/верх на 10-20 дБ по сравнению с проводящими перегородками. Совокупность теоретических и экспериментальных обоснований, приведенных в работе, позволяет рассматривать эти выводы как достаточно обоснованные и достоверные. Насколько известно оппоненту, подобные экраны с полупрозрачными окончаниями, а также приведенные в работе законы распределения импеданса, обеспечивающие прямоугольность формы диаграммы направленности антенны, ранее в технической и патентной литературе не описаны.

В главе 3 разработана математическая модель полусферического резонатора с полупрозрачной импедансной стенкой, расположенного на проводящей полуплоскости и возбуждаемого двумя кольцами магнитного тока, моделирующими испытываемую антенну. Распределение токов по кольцу имеет вид первой азимутальной гармоники, а их фазы выбраны из условия минимизации излучения в обратном направлении полярной оси сферической системы координат. Электромагнитное поле системы представлено в виде разложения по магнитным и электрическим волнам в сферической системе координат, что является строгим математическим решением задачи.

Для замены непрерывной импедансной полупрозрачной оболочки резонатора набором диэлектрических фольгированных листов с прямоугольной сеткой узких щелей в приложении выведены расчетные соотношения для усредненного поверхностного импеданса такой структуры.

В результате численного моделирования и сравнения угломестных зависимостей диаграммы направленности с реальными угловыми зависимостями амплитуд принятых сигналов от спутников при их движении по небу показана возможность создания полупрозрачных полусферических экранов, имитирующих прохождение радиоволн сквозь лес. Сформулированы рекомендации по выбору радиуса экрана, расположения в нем антенны и поверхностного импеданса. Исследование экспериментального образца полусферического полупрозрачного экрана показало, что имитация характеристик естественного препятствия в виде леса имеет место. Таким образом, и в данной главе приведены достаточные теоретические и экспериментальные обоснования выводов, достоверность которых следует из строгости теории и правильности постановки эксперимента. Техническое ре-

шение данного полигона защищено патентами, что говорит о его мировой новизне. Новыми являются и приведенные числовые параметры, рекомендованные для реализации такого полигона.

Приведенное в работе развитие теории дифракции на краю полупрозрачного экрана с переменным импедансом, показывает возможность управления формой диаграммы направленности в области полутени, что представляет интерес с научной точки зрения. Работа стимулирует дальнейшие исследования в области применения полупрозрачных оболочек и экранов в антенной технике.

Практическая значимость полученных автором результатов следует из уникальности характеристик антенн, снижения среднеквадратической погрешности системы спутникового позиционирования, полученной в реальном эксперименте. Практическая значимость полигона, по-видимому, выявится в ближайшем будущем в ходе его опытной эксплуатации.

В целом диссертация является завершенной научно-исследовательской работой. Ее автор, несомненно, проявил себя научным работником, способным самостоятельно решать теоретические и практические задачи в области теории и техники антенн.

В то же время в работе могут быть отмечены и недостатки:

- полученные в результате моделирования на двумерной модели зависимости импеданса от расстояния от конца антенны при проектировании реальной цилиндрической спиральной антенны использованы только качественно, тогда как эффективней было бы на их основе рассчитать распределение номиналов навесных емкостей, хотя бы в качестве начального приближения;

- для оценки согласования спиральной антенны выполнено измерение собственного входного импеданса на входе одной ветви спирали при согласованных нагрузках на остальных входах, тогда как в реальности антенна работает в режиме возбуждения входов всех ветвей спирали и согласование определяется ее действующим импедансом (или коэффициентом отражения);

- в работе не раскрыты использованные алгоритмы оптимизации;

- математическая модель и результаты для "щелевой сетки" не сопоставлены с ранее известными в технической литературе результатами для подобных структур, например в^[3];

- очень много описок и технических неточностей (ошибочные ссылки; обозначение θ одновременно для угла места и угла возвышения на соседних графиках; отсутствие точ-

[3] К.Уолтер, Антенны бегущей волны, М.: Мир, 1970.

ного указания, что автор понимает под Н-поляризацией (стр. 56) и Е-поляризацией (стр. 65), и т.д.);

- автор не всегда следует принятой в отечественной литературе терминологии: Т-волны вместо ТЕМ-волн; применяет понятие проводимости для элементов тензорной функции Грина.

Отмеченные недостатки не велики по сравнению с положительным содержанием работы.

Основные научные результаты диссертации опубликованы и запатентованы. Автореферат соответствует основным тезисам и выводам диссертации.

Таким образом, диссертация Чернецкого Ивана Мирославовича на соискание ученой степени кандидата наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение задачи повышения прямоугольности формы диаграммы направленности слабонаправленных антенн, имеющей существенное значение для систем высокоточного спутникового позиционирования, а также изложены научно обоснованные технические решения антенн, их экранов и полигона для испытаний, имеющие существенное значение для данного вида техники, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент,
начальник сектора, к.т.н., с.н.с.
М.В.


Инденбом
19.10.15

Подпись Инденбома М.В. заверяю

зам. генерального директора
АО "Всероссийский НИИ радиотехники"
д.т.н. Порсев В.И.

