

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Нечаева Евгения Евгеньевича на диссертацию и автореферат диссертации Милосердова Александра Сергеевича на тему «Бортовые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи», представленные на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Построение бортовых многолучевых антенн для систем глобальной спутниковой связи, имеющих малый вес и продольные размеры и позволяющих осуществить цифровое диаграммообразование с минимальными вычислительными затратами в пределах требуемого сектора обзора с возможностью адаптации характеристик направленности к помеховой ситуации, является **важной и актуальной задачей** в настоящее время.

Для обоснования цели диссертационной работы автором проведен аналитический обзор антенных устройств современных и перспективных глобальных и региональных систем спутниковой связи, использующих зеркальные антенны, двухзеркальные антенны, гибридно-линзовые антенны и многолучевые антенные решетки (АР), а также проанализированы возможности использования фазированных антенных решеток в системах глобальной спутниковой связи.

На основе этих данных автором установлено, что перспективным направлением разработки антенных устройств для систем глобальной спутниковой связи является разработка многолучевых АР с коническим сектором обзора (с углом при вершине  $8,7^\circ$ ), с коэффициентом усиления (КУ) в пределах этого сектора от 35 до 60 дБ. Эти антенны должны обладать минимально возможными массогабаритными характеристиками, иметь минимальное количество антенных элементов и формировать многолучевые диаграммы направленности (ДН). При этом срок эксплуатации бортовой

антенной системы для глобальной спутниковой связи должен составлять не менее 15 лет.

Так как разработанные на данный момент многолучевые зеркальные и линзовые антенны не в полной мере удовлетворяют вышеперечисленным требованиям, особенно в плане обеспечения заданного сектора обзора и минимальных массогабаритных параметров, автором было предложено использование многолучевых АР, построенных по двухступенчатой схеме на основе крупноапертурных излучателей, которые в большей степени удовлетворяют указанным требованиям.

В диссертации проведены исследования характеристик направленности многолучевой АР и обосновано её построение в  $X$ - и  $K\alpha$ -диапазонах частот. В качестве крупноапертурного излучателя автором рассматривались зеркальные и линзовые антенны с многоэлементным облучателем. Линзовые излучатели выполнялись как диэлектрические и волноводные апланатические линзы.

Во **второй главе** диссертации автором проведена оптимизация многолучевого зеркального крупноапертурного излучателя. В процессе оптимизации излучателя особое внимание было уделено минимизации количества элементов в облучателе, что позволило выбрать крупноапертурный излучатель с 7-и элементным облучателем, а с целью снижения падения усиления в направлении пересечения соседних лучей ДН в диссертационной работе был предложен и обоснован алгоритм оптимального возбуждения облучателя.

Методом численного моделирования в программном пакете FEKO автором была проведена оптимизация геометрии зеркального и линзового крупноапертурного излучателя с целью получения наибольшего КУ в пределах конического сектора обзора с углом при вершине  $8,7^\circ$  и получены оптимальные размеры фокусного расстояния и радиуса теневой поверхности для линзового крупноапертурного излучателя.

Несмотря на то, что зеркальный крупноапертурный излучатель способен формировать достаточно равномерный рельеф КУ в требуемом секторе обзора, из-за значительных габаритов 7-и элементного облучателя возникает высокий уровень затенения зеркала, что приводит к ухудшению характеристик направленности.

Для линзовых крупноапертурных излучателей проблемы затенения отсутствуют. Рассмотренный в **третьей главе** диссертации оптимальный линзовый диэлектрический излучатель обладает наибольшим КУ по сравнению с зеркальным и линзовым волноводным, но имеет крайне небольшой срок эксплуатации в условиях космоса (порядка 3 – 5 лет). Поэтому, наиболее перспективным является линзовый волноводный излучатель, в котором не используются диэлектрические компоненты и отсутствует проблема затенения. Автор привел в своей работе возможную структурную схему построения приемной и передающей многолучевой АР и соотношения, позволяющие моделировать характеристики её направленности для 7-и и 37-и ( $X$ - и  $K\alpha$ -диапазон, соответственно) излучателей.

В **четвёртой главе** диссертационной работе приведены рассчитанные ДН многолучевой АР, состоящей из линзовых диэлектрических излучателей  $X$ - и  $K\alpha$ - диапазона частот.

Все задачи, поставленные в диссертационной работе, решены. Математическое моделирование, выбранное автором в качестве основного метода исследования, обеспечило достоверность полученных результатов.

Использование численного моделирования в программном пакете ФЕКО для выбора наилучшей геометрии и конфигурации многолучевого крупноапертурного излучателя позволили получить требуемые параметры исследуемой структуры, поэтому можно считать, что основные положения, выносимые на защиту (с. 6 автореферата, с. 11-12 диссертации), являются **достаточно обоснованными и достоверными.**

### **Научная новизна работы.**

Прикладные научные исследования, проведенные в диссертации, направлены на решение конкретной задачи по обоснованию и выбору структуры многолучевой антенной решетки, обеспечивающей заданный сектор обзора при минимальном числе излучателей, на разработку алгоритма оптимального возбуждения крупноапертурных излучателей, обеспечивающих максимальный КУ в секторе обзора.

Автором предложена двухступенчатая структура многолучевой антенной решетки, которая защищена патентом на изобретение РФ №2509399 от 05.07.2012 г.

**Практическая значимость** результатов работы состоит в том, что при использовании предложенной многолучевой антенной решетки в системе спутниковой связи можно обеспечить устойчивую связь между абонентами, расположенными в произвольных точках земной поверхности, увеличить абонентскую емкость сети связи, повысить пропускную способность каналов связи при их высокой надежности и помехозащищенности.

**Внедрение результатов работы.** Полученные результаты вошли в составную часть эскизного проекта ОКР «Сфера» по построению бортовых многолучевых антенн, проведенной на предприятии «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации диссертации **опубликованы** в 14 печатных работах, в том числе, в 1 коллективной монографии, 6 научных статьях (из них, 4 - в журналах, включенных в перечень ВАК РФ), 7 тезисах докладов (из них, 4 - на международных конференциях).



Содержание диссертации **соответствует** содержанию опубликованных работ. Существенных замечаний к качеству оформления диссертации и изложению материала нет.

Содержание автореферата **соответствует** содержанию диссертации.

Тема диссертации **соответствует** заявленной научной специальности.

**Достоинством работы** является то, что полученные результаты, позволят улучшить характеристики направленности современных антенных устройств систем спутниковой связи и снизить требуемые для обработки сигналов вычислительные мощности.

#### **Замечания** по работе.

1. Автором не дано обоснование выбранного метода оптимизации для многолучевой антенной решётки.

2. В процессе электродинамического моделирования в работе не учитывалось влияние элементов конструкции зеркальных и линзовых крупноапертурных излучателей и всей многолучевой антенной решётки на характеристики направленности.

3. Большая часть результатов получена автором при помощи численного моделирования. Для полного подтверждения достоверности результатов необходимы экспериментальные исследования.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной **решению актуальной прикладной научной задачи** – разработка бортовой приемной многолучевой антенной решетки  $X$ - или  $Ka$ - диапазона, состоящей из многолучевых крупноапертурных излучателей, для систем глобальной геостационарной спутниковой связи.

Диссертационная работа **соответствует требованиям** положения «О присуждении учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержит научно обоснованные технические решения,

внедрение которых имеет существенное значение для страны, и соответствует профилю специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (технические науки), а её автор – Милосердов Александр Сергеевич, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

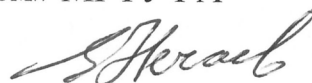
Рабочий адрес: 125993 г. Москва, Кронштадтский б-р, д. 20, МГТУ ГА

Рабочий телефон: 8(499) 457-70-59

Адрес электронной почты: [eenetchaev@mail.ru](mailto:eenetchaev@mail.ru)

Заведующий кафедрой

«Управление воздушным движением» МГТУ ГА



Е.Е. Нечаев

Подпись Е.Е. Нечаева заверяю

Проректор МГТУ ГА по НР и И



В.В. Воробьев