

ОТЗЫВ

официального оппонента Ахиярова Владимира Влеровича на диссертацию Сафонова Кирилла Сергеевича «Исследование перспективных путей построения антенных систем для мобильных терминалов высокоскоростной спутниковой связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы диссертации

Развитие систем спутниковой связи как гражданского, так и военного назначения требует постоянного совершенствования антенных систем. Для приема сигналов с высокоорбитальных спутников нужно обеспечить высокий коэффициент усиления, а при работе с низкоорбитальными спутниками необходимо оперативно изменять положение луча в пространстве. Указанные требования делают актуальной разработку фазированных антенных решеток (ФАР) нового поколения, которые способны работать в широкой полосе частот. Для гражданских пользователей широкая полоса означает высокую скорость передачи информации, а для военных – возможность скрытного функционирования систем связи. Кроме того, для гражданского сектора необходимо обеспечить конкурентоспособную цену изделия, поэтому антенные решетки с электрическим сканированием в одной плоскости являются хорошим и грамотным техническим решением. Использование диаграммообразующей схемы на основе плоской линзы Лунеберга для возбуждения волноводно-щелевой решетки позволяет осуществлять сканирование по двум координатам и формировать многолучевую диаграмму направленности.

Таким образом, задача по развитию методологии проектирования антенных систем для мобильных и бортовых терминалов высокоскоростной спутниковой связи является **актуальной** и ее решение соответствует научной специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Научная новизна и практическая значимость диссертации

В диссертации Сафонова К.С. представлены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- разработана методика проектирования печатной линзы Ротмана на основе симметричной полосковой линии с использованием полосковых симметрирующих и согласующих трансформаторов;
- представлены конструкции волноводной линзы Ротмана с ТЕМ- волной и волной H_{10} для Ku- диапазона спутниковой связи, позволяющие существенно снизить потери в диаграммообразующей системе ФАР;
- разработана методика минимизации ослепления решетки при широкоугольном сканировании, основанная на использовании короткозамкнутых карманов в апертуре антенных элементов; для сегментно-параболических элементов решетки предложено использование диэлектрических клиньев;
- показано, что использование интерполяционной «виртуальной» антенной решетки позволяет уменьшить уровень боковых лепестков в режиме приема;

Практическая значимость диссертационной работы заключается в создании прототипа сканирующей антенной решетки из сегментно-параболических элементов, которая возбуждается линзой Ротмана. Показано, что такая конструкция обеспечивает очень высокое перекрытие по частоте.

Обоснованность научных положений и достоверность выводов диссертационной работы

Все полученные автором результаты являются **научно обоснованными и достоверными**. Достоверность полученных результатов обусловлена корректным применением математического аппарата, а также использованием современной программы электродинамического моделирования, которая себя очень хорошо зарекомендовала при решении различных задач, связанных с проектированием и расчетом антенн и СВЧ-устройств.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные автором результаты могут использоваться во всех случаях, когда требуются антенные решетки с широкоугольным сканированием.

Простота конструкции предложенных в диссертации ФАР обусловлена использованием электрического сканирования только по одной координате. В том случае, если не требуется широкополосность, возможно организовать полноценное электронное сканирование по двум координатам с использованием цилиндрической волноводно-щелевой антенной решетки, которая возбуждается линзой Люнеберга. Использование решетки из сегменто-параболических элементов, возбуждаемых линзой Ротмана, позволяет осуществить сканирование по одной координате в широкой полосе частот.

Опубликованные работы и апробация результатов диссертации

Все основные научные положения и полученные в диссертации результаты опубликованы в печати и апробированы на научно-технических конференциях. Результаты диссертации опубликованы в 16 работах (в соавторстве со своим научным руководителем), из них 10 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 работа проиндексирована в международных базах данных Web of Science и Scopus, 5 работ представлено в сборниках трудов международных научно-технических конференций.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертация Сафонова К.С. состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 161 страницу, 160 рисунков и 114 источников в списке литературы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи диссертации, ее научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ современного состояния и перспектив развития мобильных терминалов спутниковой связи.

Во второй главе сформулированы технические требования к антенной системе терминала высокоскоростной системы спутниковой связи. Представлены результаты исследования плоской волноводно-щелевой антенной решетки с частотным сканированием для Ku-диапазона и фазовращателей на основе квадратурного моста с управляемыми емкостными нагрузками на ва-

рикапах. Также представлена математическая модель одномерной антенной решетки из плоских волноводов, которые разделены короткозамкнутыми пазами.

В третьей главе представлены результаты исследований цилиндрической волноводно-щелевой решетки с диаграммообразующей схемой на основе плоской линзы Люнеберга. Такая конструкция позволяет формировать сразу несколько лепестков диаграммы направленности по углу места при стабильном коэффициенте усиления. Также рассмотрена модель линейной ФАР из 8 элементов с диаграммообразующей схемой на основе линзы Ротмана и две конструкции волноводных линз Ротмана для ТЕМ-волны и волноводной моды H_{10} .

В четвертой главе представлены результаты расчетов для антенной решетки из сегментно-параболических антенн как с волноводным питанием, так и при их возбуждении линзой Ротмана. Показано, что предложенная конструкция обеспечивает сканирование в угломестной плоскости в пределах $\pm 45^\circ$ с коэффициентом частотного перекрытия 1,33. Такой коэффициент соответствует отношению полосы к центральной частоте диапазона $\sim 28\%$, т.е. практически можно говорить о сканировании в сверхширокой полосе частот. Для минимизации уровня боковых лепестков автором предложено использовать интерполяционную виртуальную антенную решетку, которая формируется на основе цифровой обработки сигналов, принятых элементами реальной антенной решетки.

В заключении перечислены основные результаты работы и сформулированы выводы по диссертации.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в полной мере представлены основные идеи и выводы по работе, показаны степень новизны и практическая ценность полученных результатов.

К диссертации имеются следующие замечания

1. Рассмотренная автором в третьей главе плоская линза Люнеберга с оболочкой выполнена из материала ФЛАН с $\varepsilon_r = 2,8$ в центре линзы и

$\varepsilon_r = 1,2$ на ее границе. В работе отсутствуют результаты решения задачи синтеза линзы, т.е. зависимость относительной диэлектрической проницаемости от ее радиуса.

2. Рассмотренную в п.2.3 математическую модель одномерной решетки плоских волноводов с короткозамкнутыми пазами было бы хорошо дополнить результатами расчетов. То же самое можно сказать и о волноводной линзе Ротмана из п.3.2: в диссертации представлены конструкции двух волноводных линз, однако отсутствуют какие-либо результаты расчетов. В п.4.3 рассматривается уже изготовленный макет ФАР из сегментно-параболических элементов (рис.4.31), однако результаты его измерений отсутствуют.

3. Заметна некоторая небрежность автора в оформлении работы. Например, во втором абзаце второй главы на стр.50 читаем: «...основной акцент в монографии сделан на разработку и исследование...», хотя понятно, что речь идет не о монографии, а о диссертации.

4. Несмотря на имеющиеся в диссертации патентоспособные решения, у соискателя отсутствуют патенты на изобретения и полезные модели.

Тем не менее, указанные замечания не являются определяющими при общей оценке диссертации, не снижают научной и практической значимости полученных автором результатов и не влияют на общую положительную оценку его работы.

Заключение по диссертационной работе

1. На основании изучения диссертационной работы следует сделать вывод о том, что диссертация Сафонова Кирилла Сергеевича «Исследование перспективных путей построения антенных систем для мобильных терминалов высокоскоростной спутниковой связи» представляет собой **завершенную научно-квалификационную работу**, в которой содержится решение важной научно-технической задачи проектирования антенных систем для терминалов спутниковой связи.

2. Исследования, проведенные в диссертации, соответствуют пунктам 2,

3, 8, 9, 10 паспорта специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

3. Работа **соответствует требованиям** Положения о присуждении ученых степеней, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Сафонов Кирилл Сергеевич, **достоин** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело Сафонова К.С. для их дальнейшей обработки.


Официальный оппонент  Ахияров Владимир Влерович

« 14 » марта 2024 года

Подпись Ахиярова В.В. заверяю

Заместитель начальника управления –
начальник отдела кадров



 Н.А. Ильина
« 14 » марта 2024 года

ФИО: Ахияров Владимир Влерович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Специальность: 05.12.14. Радиолокация и радионавигация

Почтовый адрес: 127083, город Москва, ул. 8 Марта, д. 10 стр. 5

Телефон: +7 (495) 232-00-06 доб. 48-16

Email: vahiyaov@niidar.ru

Наименование организации: Акционерное общество «Научно-производственный комплекс «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи»