

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, доцента

Звездиной Марины Юрьевны

на диссертацию Рудакова Вячеслава Андреевича, выполненную на тему «Широкополосные антенные решетки и диплексеры для базовых станций мобильной связи», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Актуальность темы диссертационных исследований. Цифровизация экономики неразрывно связана с расширением сетей сотовой связи, включая совершенствование оборудования базовых станций, одним из основных элементов которых являются антенные решетки (АР). Повышение требований к сетям нового поколения и дальнейший переход к сетям 6 G делает тему диссертационных исследований Рудакова Вячеслава Андреевича актуальной, поскольку она предусматривает разработку широкополосных антенных решеток и диплексеров для базовых станций мобильной связи. В отличие от существующего в настоящее время оборудования предлагаемое автором решение позволит создавать антенные решетки с совмещенной апертурой для многодиапазонной работы на двух линейных наклонных поляризациях, что, в свою очередь, обеспечит компактные размеры АР, высокую развязку по поляризациям.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена сравнением полученных теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными в результате изготовления и тестирования всех типов исследованных в работе антенных решеток и диплексеров. Проведенное сравнение во всех случаях показывает очень хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных, полученных на векторном анализаторе цепей и в безэховой камере.

Научная новизна результатов работы состоит в следующем:

1. Разработана и реализована новая двухполяризационная АР на основе петлевых вибраторов для работы в угловом секторе 60° в диапазоне 1710-2170 МГц (23,6 %). Предложен новый метод стабилизации ДН данного типа антенн в горизонтальной плоскости, заключающийся в разбиении вертикальной АР на 3 подрешетки. Данная АР обеспечивает ширину ДН в горизонтальной плоскости по уровню половинной мощности $2\theta_{0,5} = 36^\circ \pm 2,3^\circ$, высокие электрические характеристики и более простую конструкцию по сравнению с прототипами.

2. Разработана и реализована новая двухполяризационная АР на основе скрещенных диполей для работы в угловом секторе 60° в диапазоне 1710-2690 МГц (44,5 %). Предложен новый метод стабилизации ширины ДН данного класса АР на основе применения несимметричных трехканальных частотно-

зависимых делителей мощности (ДМ). Разработан новый 3-канальный частотно-зависимый ДМ на микрополосковых линиях. Ширина ДН по уровню половинной мощности $2\theta_{0,5} = 36^\circ \pm 4^\circ$ во всем рабочем диапазоне.

3. Разработана новая двухдиапазонная АР на основе печатных петлевых вибраторов и цельнометаллических скрещенных диполей для работы в угловом секторе 120° в диапазонах 690-960 МГц/ 1710-2690 МГц на двух наклонных поляризациях $\pm 45^\circ$. Экспериментально подтверждены высокие электродинамические характеристики АР.

4. Предложена новая конструкция диплексеров на встречно-штыревых резонаторах. Экспериментально исследованы диплексеры диапазонов 690-862/ 880-960 МГц, 2.3-2.4/2.49-2.69 ГГц, подтверждены их высокие характеристики. Диплексеры имеют низкие вносимые потери, комплексную настраиваемую конструкцию, низкие интермодуляционные искажения.

5. Предложена новая конструкция диплексеров на симметричных полосковых линиях с заполнением в виде вспененного диэлектрика с $\varepsilon = 1,06$. Реализованы и экспериментально исследованы диплексеры в диапазонах 698-860/ 885-960 МГц и 1710-1830/ 1885-2025 МГц. Новизна конструкции определяется использованием четвертьволновых полосковых шлейфов в виде плоской спирали и корпуса сложного поперечного сечения, что обеспечило высокие характеристики диплексеров и компактную технологическую конструкцию.

Практическая значимость результатов диссертационной работы, выражается в следующем:

Практическая значимость работы определяется созданными новыми типами антенн для базовых станций диапазонов 1710-2170 МГц, 1710-2690 МГц, включая двухдиапазонную АР 690-960 МГц. Все антенны изготовлены, успешно экспериментально протестированы, демонстрируют высокие электродинамические характеристики, имеют технологичную конструкцию и готовы к массовому производству. Предложенные конструкции антенны, а также предложенные методы стабилизации ДН в рабочем диапазоне могут быть применены в других диапазонах частот.

Важный практический результат также состоит в разработанных новых типах диплексеров на встречно-штыревых резонаторах (диапазоны 690-862/ 885-960 МГц, 2.3-2.4/2.49-2.69 ГГц) и на полосковых линиях (698-860/ 885-960 МГц и 1710-1830/ 1885-2025 МГц). Диплексеры указанных диапазонов успешно изготовлены и их высокие характеристики подтверждены экспериментально. Предложенные конструкции диплексеров могут быть применены в других частотных диапазонах.

Полученные результаты были использованы в разработках компании Guangzhou Sigtenna Technology CO.Ltd (КНР).

На основе полученных результатов, отражающих научную новизну и практическую значимость, автор правомерно сформулировал следующие **положения, выносимые на защиту:**

1. Метод формирования стабильной ширины диаграммы направленности двухполяризационных антенных решеток базовых станций мобильной связи, работающих в угловом секторе 60° в полосе частот до 24 % (1710-2170 МГц). Разделение раскрыва АР на три подрешетки с одним или двумя элементами в каждом ряду обеспечивает стабильную ширину луча и низкий уровень боковых лепестков при установленном оптимальном соотношении числа рядов средней и двух крайних подрешеток (3,2).

2. Метод стабилизации ширины ДН двухполяризационных антенных решеток базовых станций мобильной связи, работающих в угловом секторе 60° в полосе частот до 24 % (1710-2170 МГц). Раскрыв АР, сформированный из трехэлементных подрешеток, возбуждаемых несимметричным частотно-зависимым 3-канальным делителем мощности, обеспечивает стабильную ширину луча и низкий уровень боковых лепестков. Разработана новая конструкция несимметричного частотно-зависимого делителя мощности на микрополосковых линиях.

3. Новая конструкция двухдиапазонной антенной решетки для работы в угловом секторе 120° в базовых станциях мобильной связи диапазона 690-960/1710-2690 МГц на двух наклонных поляризациях.

4. Новая широкая конструкция диплексеров на встречно-штыревых резонаторах для работы в базовых станциях мобильной связи. Предложенная эффективная комбинированная методика синтеза данного класса диплексеров на основе аппарата матриц связи.

5. Новый класс диплексеров на основе симметричных полосковых линий с близко расположенными рабочими полосами частот и низкими вносимыми потерями. Ключевыми новыми элементами конструкции, обеспечивающими высокую крутизну частотных характеристик, являются высокоомные четвертьволновые шлейфы, реализованные в виде плоской спирали и корпус со сложным сечением.

Апробация диссертации

Результаты диссертационной работы были доложены на международных и всероссийских конференциях: 28th International Crimean Conference “Microwave and Telecommunication Technology” (CriMiCo-2018), 2018 9-15 сентября, г. Севастополь; VI Всероссийская Микроволновая конференция, 28-30 ноября 2018 г., г. Москва; Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW-2019), 24-28 июня 2019г., г. Дивноморское; 7th All-Russian Microwave Conference (RMC-2020), 2020г., г. Москва; Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW-2021), 2021г., г. Дивноморское; Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW-2023), 2023г., г. Дивноморское.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликована 21 работа, в том числе 4 статьи в изданиях, определенных ВАК для публикации научных результатов по специальности 1.3.4 «Радиофизика», 8 работ индексируются в базах данных Web of Science и Scopus, 9 международных патентов (КНР).

Автореферат достаточно полно отражает содержание и основные положения представленной диссертационной работы.

Замечания и рекомендации

Несмотря на достаточно высокий уровень исследований, можно отметить ряд замечаний, относящихся к редакционным:

- 1) Подписи на графиках в автореферате выполнены очень мелким шрифтом, что затрудняет расшифровку информации в выделенных окнах.
- 2) В разделе 1 диссертации отсутствуют выводы по разделу.
- 3) На с.27 в п.п. 2.1.1 Постановка задачи стандартная постановка задачи как таковая отсутствует. Вместо нее приводятся исходные данные для моделирования. Часть текста стандартной постановки задачи перешло на С.32, первый абзац.
- 4) С.29 первый абзац после формулы (2.1). Автор говорит о первом множителе в соотношении (2.1) как о поле излучателя, хотя в формуле первым стоит произвольный множитель A . Аналогичное замечание относится и к С.30, первый абзац. Опять первым сомножителем идет свободный множитель B , а не ДН пары диполей.
- 5) Неудачное название п.п.3.1.1. Постановка задачи и концепция построения диплексера. Вторая часть заголовка раскрывается, первая отсутствует.

Оценка диссертации в целом.

Диссертационная работа Рудакова Вячеслава Андреевича является последовательным, завершённым научным исследованием, в котором изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Новизна технических решений, выводов и рекомендаций подтверждаются полученными результатами. Следует отметить, что высокий уровень исследований определяется взаимоувязанными результатами теоретических исследований, численного моделирования и экспериментальных исследований. Отмеченные замечания не носят определяющего характера и, в целом, не ставят под сомнение достоверность, научную и практическую значимость полученных результатов.

Заключение

Считаю, что Рудаков Вячеслав Андреевич достиг поставленной цели диссертационных исследований. Основные результаты проведённой работы имеют несомненную научную новизну и практическую значимость.

Полученные автором новые научные результаты свидетельствуют о вкладе автора в науку, соответствуют пунктам специальности 1.3.4 – Радиофизика (отрасль науки – физико-математические) по п.3: «Разработка и исследование электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: резонаторов, волноводов, фильтров и антенных систем в радио, оптическом и ИК-диапазоне».

Диссертация «Широкополосные антенные решетки и диплексеры для базовых станций мобильной связи» является завершённым научным трудом и удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» (приказ ЮФУ № 62-ОД от 27 марта 2026г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям. В диссертации решены поставленные автором задачи, направленные на разработку и оптимизацию конструкций низкопрофильных антенн для применения в современных системах связи с обеспечением широкополосности, высокой эффективности и компактности.

Диссертант Рудаков Вячеслав Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону)



Звездина Марина Юрьевна

Подпись официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (г. Ростов-на-Дону) Звездиной Марины Юрьевны ЗАВЕРЯЮ

Заместитель руководителя службы по управлению персоналом – начальник отдела кадров Федерального государственного унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»

Г.Г. Лозун

« 15 » сентября 2026 года

Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, 130

Телефон: +7 (863) 250-89-85

E-mail: zvezdina_m@mail.ru

