

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Тарана Владимира Николаевича на диссертационную работу Рудакова Вячеслава Андреевича «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

Развитие систем мобильной связи выдвигает все более высокие требования к электродинамическим характеристикам антенн базовых станций и частотно-селективным компонентам, входящим в их состав. Стремительно растущий объем передаваемых данных в современных и перспективных поколениях мобильной связи сопровождается расширением рабочего диапазона частот, переходом к многодиапазонным и многолучевым режимам работы. Это позволяет одновременно вести работу в нескольких диапазонах, а один и тот же угловой сектор перекрывать несколькими более узкими лучами, что увеличивает пропускную способность системы.

Решение перечисленных вопросов ведет к необходимости создания двухполяризационных антенных решеток (АР), обеспечивающих работу в одном широком или нескольких частотных диапазонах, обладающих стабильной по ширине диаграммой направленности (ДН) во всем рабочем диапазоне, низким уровнем боковых лепестков, высокой поляризационной развязкой, хорошим согласованием, низким уровнем пассивных интермодуляционных искажений. Такие же высокие требования предъявляются и к диплексерам для базовых станций мобильной связи, которые обеспечивают разделение трактов приема и передачи.

Таким образом, тематика диссертации является весьма *актуальной*.

К наиболее важным *новым результатам* работы, можно отнести следующие:

1. Предложен метод стабилизации ширины луча ДН для двухполяризационных АР с шириной рабочего диапазона до 24% (1710-2170 МГц) и угловым сектором работы 60°. Раскрыв вертикальной антенной

решетки разделяется на три подрешетки. Причем в средней подрешетке каждый горизонтальный ряд имеет два элемента, а в крайних подрешетках – один элемент. Кроме того, в крайних подрешетках применены наклоненные под углом проводящие экраны для улучшения ДН. Показано, что такое решение обеспечивает стабилизацию ширины ДН и низкий уровень боковых лепестков во всем рабочем диапазоне частот.

2. Для широкополосных антенн базовых станций с полосой до 45% (1710-2690 МГц) и угловым сектором работы 60° предложен новый метод стабилизации ДН. В данном случае раскрыв АР сформирован трехэлементными подрешетками с треугольной сеткой расположения элементов. Каждая трехэлементная подрешетка возбуждается отдельным трехканальным частотно-зависимым несимметричным делителем мощности. Для этого создана новая конструкция делителя на микрополосковых линиях, причем на одной компактной плате совмещены два делителя для двух рабочих поляризаций АР. Амплитудно-фазовое распределение на выходах делителя сформировано таким образом, чтобы максимально снизить частотную зависимость ДН и обеспечить стабильную ширину луча и низкий уровень боковых лепестков.

3. Предложена и успешно реализована новая широкополосная конструкция двухдиапазонной антенны для базовых станций диапазона 690-960/1710-2690 МГц. Антенна имеет совмещенный раскрыв, на котором в центре расположена двухэлементная АР излучателей нижнего диапазона, а по краям расположены две четырехэлементные АР верхнего диапазона. Экспериментально подтверждены высокие характеристики направленности, согласования, развязки в обоих диапазонах.

4. Разработан новый тип диплексеров на встречно-штыревых резонаторах для базовых станций. Новизна предложенной конструкции заключается в том, что диплексер состоит из цельнометаллического корпуса и двух металлических крышек, что уменьшает влияние погрешностей изготовления резонаторов на его характеристики. Реализованы и

экспериментально исследованы диплексеры для диапазонов 690-862/880-960 МГц, 2.3-2.4/2.49-2.69 ГГц. Экспериментально подтверждена возможность реализации широких, средних и узких частотных диапазонов, низкие вносимые потери, высокая развязка и согласование при компактных размерах.

Разработана оригинальная комбинированная методика синтеза диплексеров на встречно-штыревых резонаторах, основанная на применении аппарата матриц связи.

5. Найдено новое решение для диплексеров базовых станций с близко расположенными рабочими диапазонами (полоса частот между диапазонами 1-9%). Предложенная конструкция реализована на полосковых линиях с шлейфами в виде плоской спирали и корпусом сложного сечения. Изготовлены и экспериментально исследованы диплексеры для диапазонов 698-806 / 885-960 МГц и 1710-1830 / 1885-2025 МГц. Подтверждены высокие характеристики диплексеров – низкие вносимые потери, высокое согласование и изоляция.

Полученные в диссертации результаты имеют большую *практическую ценность*, которая определяется предложенными новыми решениями для антенных решеток базовых станций мобильной связи и диплексеров. Каждый тип антенн и диплексеров успешно изготовлен и экспериментально исследован, во всех случаях продемонстрировано хорошее совпадение теории и эксперимента. Подтверждены высокие характеристики разработанных антенн и диплексеров. Созданные конструкции характеризуются компактностью, технологичностью и готовы к массовому производству.

Все предложенные решения применимы и в других частотных диапазонах. Важно отметить, что все разработанные типы антенн протестированы с точки зрения вносимых пассивных интермодуляционных искажений, что крайне важно при практическом применении. Исследования показали, что все предложенные конструкции вносят относительно небольшие пассивные интермодуляционные искажения.

Выполненные соискателем разработки были применены индустриальным партнером, который выступал заказчиком данных исследований.

По работе имеются следующие *замечания*.

1. Для широкополосной антенной решетки диапазона 1710–2690 МГц желателен более детальный анализ допустимых отклонений амплитудно-фазового распределения на выходах несимметричного частотно-зависимого трехканального делителя мощности, при котором сохраняется требуемая стабильность ширины диаграммы направленности и уровень боковых лепестков.

2. При исследовании двухдиапазонной антенной решетки 690–960 / 1710–2690 МГц представляет интерес количественная оценка влияния излучателей и элементов нижнего диапазона частот на характеристики высокочастотных излучателей. В работе приведено описание примененных способов уменьшения взаимного влияния, однако более детальное представление результатов такого анализа сделало бы предложенное решение более наглядным.

3. В п. 5 основных результатов, выносимых на защиту, приводится новый класс диплексеров на полосковых линиях, ключевыми элементами которых являются четвертьволновые шлейфы в виде плоской спирали и корпус сложного сечения. Целесообразно было бы исследовать чувствительность характеристик таких диплексеров к технологическим допускам изготовления полоскового проводника со шлейфами и корпуса сложного сечения.

4. В главе 2 все три типа антенных решеток базовых станций имеют защитный диэлектрический обтекатель. Однако в диссертации не приводятся данные о влиянии обтекателя на основные характеристики антенн. В частности, представляет интерес влияние параметров обтекателя на согласование излучателей в составе антенной решетки, характеристики направленности, поляризационную развязку.

Указанные замечания не влияют на общую **положительную оценку** диссертационной работы.

Полученные в работе новые результаты достаточно полно опубликованы в научных изданиях и прошли апробацию на различных конференциях. Достоверность результатов подтверждается сравнением экспериментальных и теоретических данных. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Рудакова Вячеслава Андреевича выполнена на высоком научном уровне, является завершенной квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям п. 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» (приказ ЮФУ № 62-ОД от 27 марта 2026 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук (01.04.03 – радиофизика), профессор кафедры «Связь на железнодорожном транспорте» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», 344038, Ростовская область, городской округ город Ростов-на-Дону, город Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2, тел.: +7 (863) 272-64-39 E-mail: vladitaran@rambler.ru

«29» 09 2026 г.  Таран Владимир Николаевич

Подпись



УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления дел
ФГБОУ ВО РГУПС

«29» 09





Т.М. Канина