

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Бобкова Николая Ивановича

на диссертацию Алшимайсаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем

«РАЗРАБОТКА АНТЕНН ДЛЯ СИСТЕМ 5G»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

### **Актуальность темы исследования**

Диссертация Алшимайсаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем посвящена вопросам построения антенн для систем беспроводной связи 5G. Расширение используемого диапазона частот, повышение скорости передачи данных и ограничения на время задержки сигналов, связанные с переходом на новый стандарт, предъявляют более жесткие требования как к электрическим, так и эксплуатационным характеристикам антенных устройств. Повышение эффективности антенных систем и создание новых конструктивных решений для сверхширокополосных систем связи 5G является актуальной задачей.

Одним из путей, ведущих к снижению затрат при переходе на стандарт 5G, является модернизация существующего оборудования с доведением характеристик до уровня, удовлетворяющего требованиям нового стандарта. В то же время развитие сетей 5G не исключает использование предыдущих стандартов 2G, 3G, 4G. В этой связи модернизация существующих сетей является единственным технически и экономически оправданным способом развития сетей связи, что требует поиска новых конструктивно-технических решений. Планируемый в дальнейшем последовательный переход к системам 5.5G и 6G, обладающим на порядок лучшими характеристиками по сравнению с 5G, также подтверждает актуальность и перспективность исследований, выполненных автором.

Соискателем поставлена **цель работы**, заключающаяся в разработке антенн для систем 5G и модернизации конструкций антенн 4G до уровня систем 5G, и поставлены **задачи**, направленные на достижение поставленной цели.

**Объектом исследования** являются антенны для систем связи 4G, 5G.

**Предметом исследования** является разработка конструкций антенн на основе **полноволнового моделирования** с использованием специализированных САПР СВЧ.

**Достоверность результатов, полученных** в работе, подтверждается верификацией полученных результатов с отдельными данными из публикаций других авторов, полученных с использованием различных методов. Результаты исследования также докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях по теории и технике антенн.

**Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:**

- разработана электродинамическая модель и предложена новая конструкция антенны для систем связи и проведены её численные исследования, показавшие, что предложенная конструкция обеспечивает улучшенные характеристики в диапазонах частот систем связи 2G - 5G;
- разработана электродинамическая модель и проведены исследования ближних электромагнитных полей широкополосной антенны  $2 \times 2$  MIMO для систем связи GSM/3G/LTE/5G с целью выявления возможных путей улучшения их характеристик;
- проведено исследование влияния диэлектрических экранов, радиопоглощающих покрытий и импедансных структур на характеристики излучения антенн;
- предложены конструктивные элементы для антенн 4G на основе диэлектрических призм, радиопоглощающих плоских покрытий и цилиндрических экранов, позволивших улучшить эффективность антенн;
- предложена электродинамическая модель резистивного импедансного покрытия, установленного на поверхности вибратора  $2 \times 2$  MIMO для систем связи GSM/3G/LTE/5G. Предложены варианты резистивных покрытий на конструктивных элементах антенны 4G, обеспечивающих наилучшие характеристики антенны по КСВН в диапазоне частот систем 5G без ухудшения эффективности излучения;
- предложены варианты модернизации антенн 4G, обеспечивающие характеристики, приемлемые для использования в системах связи 5G.

### **Практическая значимость.**

Практическая значимость научных результатов, полученных в ходе исследования, заключается в следующем.

1. Предложены новые конфигурации антенн за счет введения дополнительных радиопоглощающих и импедансных конструктивных элементов, позволивших расширить рабочую полосу с целью использования антенн 4G для эффективной работы в системах 5G.

2. Разработаны две новые малогабаритные микрополосковые антенны для работы на частотах 5G на основе ранее разработанных антенн 4G.

3. За счет использования в конструкции дополнительных элементов на основе радиопоглощающих материалов и импедансных поверхностей, создана 2x2 MIMO-антенна на основе антенны 4G, имеющая широкую полосу пропускания, включая диапазон 5G и обеспечивающая низкие значения КСВН.

4. Разработаны две новые конструкции 2x2 MIMO-антенны, имеющие широкую полосу пропускания, включая диапазон 5G, с уменьшенным значением КСВН, путем использования дополнительных конструктивных элементов на основе радиопоглощающих материалов.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Конструкция двухдиапазонной микрополосковой патч-антенны для устройств связи 5G диапазонов частот 2,3046 – 2,5103 ГГц и 3,1969 – 3,6618 ГГц и результаты ее численного моделирования.

2. Конструкция трехдиапазонной микрополосковой патч-антенны для устройств связи 5G диапазонов волн 0,4 – 3,4096 ГГц, 43,5 – 64 ГГц и 81 – 95 ГГц и результаты проведенных численных экспериментов и анализа характеристик антенны.

3. Результаты исследований ближних электромагнитных полей MIMO-антенн систем связи 4G с целью усовершенствования их характеристик до требований систем 5G.

4. Результаты исследований влияния диэлектрических конструкций и радиопоглощающих материалов на характеристики модернизированной антенны 4G MIMO 2x2 TONGYU. Результаты численного анализа её

характеристик излучения, направленные на определение возможности их применения в системах связи 5G.

5. Конструкция модернизированной антенны 4G MIMO 2×2 TONGYU с резистивными импедансными покрытиями на нижних сторонах плеч вибраторов, улучшивших характеристики антенны до уровня систем 5G и результаты численного анализа характеристик антенны.

6. Результаты анализа ближних полей трехдиапазонной двухэлементной антенной решетки MIMO 2×2.

7. Конструкция модернизированной антенны с включенными конструктивными элементами из радиопоглощающих материалов. Результаты численного анализа характеристик антенны.

#### **Оценка содержания диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Полный объём диссертации составляет 144 страниц, включая 192 рисунка и 6 таблиц. Список используемой литературы включает 126 наименований. Работа отличается очень большим содержанием иллюстраций, отражающих результаты исследования.

**Во введении** к диссертационной работе обосновывается ее актуальность, приведено обоснование научной новизны и научно-практической значимости работы. Определяются основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния и перспективных тенденций развития антенных систем для 5G. Перечислены виды антенн и подходы, используемые при проектировании широкополосных антенн. Особое внимание уделено антеннам, в конструкциях которых используются радиопоглощающие материалы с целью улучшения их характеристик. Рассмотрены различные способы возможного улучшения характеристик существующих антенных систем.

**Во второй главе** приведены результаты разработки новых конструкций микрополосковых антенн с улучшенными параметрами, пригодными для использования в системах связи 5G. Приведены

электродинамические модели этих антенн и результаты численного исследования их характеристик.

**В третьей главе** приведены результаты разработки электродинамической модели антенной систем  $2 \times 2$  MIMO для 4G. Для улучшения ее характеристик предложены новые конструктивные элементы в виде диэлектрических и импедансных поверхностей и радиопоглощающих покрытий, позволяющих расширить частотную область применения антенных систем, включая диапазоны 5G систем связи.

**Четвертая глава** посвящена разработке электродинамической модели модернизированной двухэлементной антенной решетки  $2 \times 2$  MIMO пятого поколения. Проведено исследование ближних электромагнитных полей, на основании которого даны рекомендации по использованию дополнительных конструктивных элементов различной конфигурации и размеров, выполненных из радиопоглощающих материалов.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы.

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

**Публикации.** По результатам диссертационных исследований опубликовано 7 научных работ. Из них в перечне рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России для публикации материалов диссертаций на соискание учёных степеней кандидата технических наук и доктора технических наук, опубликовано 3 статьи. В изданиях, индексируемых в базе данных «SCOPUS», опубликована 1 статья. В трудах международных научных конференций опубликовано 3 статьи.

**Замечания по содержанию диссертации.**

1 Обширный обзор источников, приведенный в первой главе диссертации, практически полностью основан на публикациях зарубежных авторов, в то время как в нашей стране также ведутся исследования антенн для систем связи 5G и имеются соответствующие публикации.

2 В главе 2 на с. 35-39 приводится описание трехдиапазонной микрополосковой антенны с габаритными размерами  $1,5357 \times 1,5357$  мм<sup>2</sup> с размером экрана 3,0714 мм и указывается, что в полосе частот 0,1-3,4096 ГГц

«коэффициент отражения не превышает -13,2296 дБ, а коэффициент усиления 3,29». Автором не поясняется, за счет чего достигается согласование и эффективность излучения столь малой антенны с размером не более одной тысячной длины волны на частоте 0,1 ГГц.

3. На рисунках 2.11 (а, б, в) для этой же миниатюрной трехдиапазонной антенны приведены расчетные диаграммы направленности и указан коэффициент усиления 131 dBi, 136 dBi и 140 dBi для частот 1,8 ГГц, 2,4 ГГц и 3,0 ГГц соответственно. Автором не поясняется, каким образом достигается столь высокий коэффициент усиления при ненаправленных характеристиках излучения, приведенных на тех же рисунках.

4. На рисунке 3.54 приведены диаграммы направленности на частоте 1,5 ГГц по коэффициенту усиления двух вариантов антенны МИМО 2×2, откуда следует, что применение радиопоглощающего материала повышает коэффициент усиления приблизительно на 0,8 дБ по сравнению с исходной антенной, однако на рисунке 3.53 коэффициенты усиления на этой частоте для обоих вариантов равны. Возможно, рисунок 3.54 является иллюстрацией диаграмм направленности для другой частоты.

5. В тексте диссертации и автореферата имеются грамматические ошибки и опечатки, не приводящие к искажению смысла излагаемого материала.

#### **Оценка диссертации в целом.**

В целом, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Алшимайсаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем является законченным исследованием, содержащим новые научные результаты, имеющие практическую значимость. Содержание диссертации соответствует пунктам 2 и 3 паспорта научной специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

#### **Заключение.**

Считаю, что соискателем достигнута цель диссертационного исследования. Результаты работы отражают научную новизну и практическую значимость проведенного исследования. Диссертация «Разработка антенн для систем 5G», является законченным научным

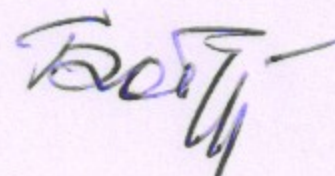
исследованием и удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель Алшимаисаве Ихсан Абдлкарем А. Лмунем заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.14-Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, технические науки.

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, главный научный сотрудник научно-технического сектора разработки и испытаний антенных устройств АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент» (г. Ростов-на-Дону)

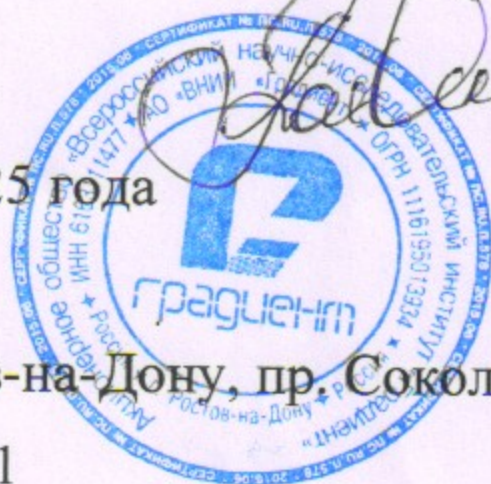
Бобков Николай Иванович



Подпись официального оппонента кандидата технических наук, главного научного сотрудника научно-технического сектора разработки и испытаний антенных устройств АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент» (г. Ростов-на-Дону) Бобкова Николая Ивановича ЗАВЕРЯЮ:

Руководитель аппарата генерального директора АО «ВНИИ «Градиент»

«29» «08» 2025 года



А.Н. Рахимова

Адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, 96

Телефон: (863) 204-20-31

E-mail: rostov@gradient-rnd.ru