

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело N 6224/2
решение диссертационного совета от 18 марта 2022 г., № 2

О присуждении Уварову Антону Владимировичу, гражданину России ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация на тему **«Сверхширокополосные печатные ненаправленные интегральные антенны для устройств беспроводной радиосвязи»** принята к защите 26 ноября 2021, протокол № 21, диссертационным советом 24.1.111.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397–1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Уваров Антон Владимирович, 1987 года рождения, в 2010 году окончил ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», факультет физической и квантовой электроники (ФФКЭ) по специальности 010900 «Прикладная математика и физика», специализация «Открытые информационные технологии», диплом магистра.

С 01.09.2010 по 31.08.2013 проходил обучение в аспирантуре ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет) по специальности 03.06.01 «Физика и астрономия», специализация 01.04.03 «Радиофизика». Во время обучения сдал кандидатские экзамены по иностранному языку и истории философии науки.

В период 02.06.2021 г. – 02.07.2021 г. был прикреплен к аспирантуре Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, в качестве экстерна сдал кандидатский экзамен по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

В период подготовки диссертации соискатель Уваров Антон Владимирович работал в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН (лаб. № 341) в должности инженера. В этот же период Уваров А.В. проходил обучение в магистратуре, а затем в аспирантуре Московского физико-технического института.

На данный момент работает руководителем направления развития продуктов в ООО «Яндекс Доставка Холдинг».

Научный руководитель – Дмитриев Александр Сергеевич, профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаб. 341 «Информационные технологии на основе принципов динамического хаоса и твердотельной функциональной электроники» Федерального государственного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Официальные оппоненты:

Комаров Вячеслав Вячеславович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры "Радиоэлектроника и телекоммуникации" Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А

Чистюхин Виктор Васильевич, кандидат технических наук, профессор Института микроприборов и систем управления имени Л.Н.Преснухина (Институт МПСУ), НИУ МИЭТ,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, в своем **положительном отзыве**, подписанном первым проректором федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» С.А. Кащенко, подготовленным д.т.н., профессором Л.Н. Казаковым, на основании обсуждения на расширенном заседании кафедры Радиотехнических систем, отметил, что тема диссертации А.В. Уварова актуальна, представляет завершённую научную работу, получены новые научно обоснованные и практически значимые результаты, связанные с фундаментальными физическими ограничениями печатных СШП антенн непосредственно применимые к проектированию такого класса антенн, содержится решение научной задачи разработки и исследованию технологий построения широкополосных и сверхширокополосных печатных антенн интегрально-реализуемых с цепями приёмопередатчика. Полученные результаты достоверны, обладают научной значимостью и новизной.

По теме диссертации опубликована 22 печатные работы, 7 – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (Радиотехника и электроника, Успехи современной радиоэлектроники, Письма в журнал технической физики, Физические основы приборостроения и др.), из них 7 – в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, и 14 тезисов докладов конференций, а также в главах книги «Процессы передачи и обработки информации в системах со сложной динамикой». Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 145 печ.л. Из них:

1. Уваров А.В., Герасимов М.Ю., Уваров А.В. О фундаментальных ограничениях сверхширокополосных антенн // Радиотехника и Электроника, 2019, Т. 64, № 3, С. 268–273, DOI: 10.1134/S1064226919030185

Найдено электродинамическое ограничение на характеристики антенн с полубесконечным диапазоном, как предельным случаем сверхширокополосных (СШП) антенн, связывающее направленные свойства антенны, ее коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент отражения по входу, нижнюю частоту рабочего диапазона, габаритный размер антенны и учитывает ее геометрическую форму. Получено выражение для оценки нижней частоты рабочего диапазона антенн с заданным размером и формой. Выведены выражения для оценки минимально достижимого размера и нижней частоты рабочего диапазона печатных СШП-антенн прямоугольной формы с линейной поляризацией.

2. Уваров А.В. Физические ограничения сверхширокополосных антенн // Физические основы приборостроения. 2021. Т. 10. №2 (40), С. 66–75, DOI: 10.25210/jfor-2102-064073

Представлено решение задачи вывода и анализа соотношений, определяющих предельные характеристики антенн для сверхширокополосного случая. Выведено электродинамическое ограничение на характеристики антенн с диапазоном рабочих частот (f_b/f_a) , учитывающее

геометрическую форму и связывающее нижнюю частоту рабочего диапазона, отношение верхней частоты рабочего диапазона к нижней, коэффициент направленного действия и коэффициент отражения по входу с геометрическим размером антенны. Получено выражение для ограничения снизу на волновое число, которое эквивалентно ограничению на нижнюю частоту рабочего диапазона. Показана зависимость предельного значения электрического размера антенны от отношения граничных частот рабочего диапазона и, что для сверхширокополосных антенн существует ограничение снизу на электрический размер. А также проведено сравнение с ранее известными соотношениями физических ограничений антенн, выраженными в терминах центральной частоты и добротности. Полученные ограничения особенно важны с учетом развития популярности сверхширокополосных антенн.

3. Уваров А.В., Ицков В.В., Уваров А.В. Теория фундаментальных ограничений антенн. Подход разложения поля по сферическим модам. Обзор // Физические основы приборостроения, 2019. Т. 7. № 4 (30), С. 56–69, DOI: 10.25210/jfop-1804-056069

Проведен обзор различных подходов к определению фундаментальных физических ограничений характеристик антенн, таких как добротность, ширина рабочего диапазона частот и коэффициент направленного действия, связанных с физическими размерами. Рассмотрена история развития теории электрически малых антенн, начиная с классических работ Вилера, в которой было введено понятие электрически малых антенн, и Чу, задавшего направление исследования фундаментальных ограничений для многих следующих авторов на десятки лет. В работе проведено сравнение различных подходов к выводу предельных выражений коэффициента усиления, G , добротности, Q и их отношения, G/Q , основанных на предложенном Чу подходе - разложения по сферическим модам. Приведены итоговые точные предельные соотношения, проанализированы допущения и приближения, использованные при выводе, и сформулированы связанные с этим ограничения применимости. В заключении даны текущее состояние проблемы и наиболее перспективные темы для дальнейшего исследования.

4. Уваров А.В. Частотные характеристики печатной дисковой монополюсной антенны // Успехи современной радиоэлектроники, 2013, № 3, С. 103–109

Проведен численный электромагнитный анализ различных конфигураций печатной дисковой монополюсной антенны. Построена аналогия с несимметричным диполем и антенной Вивальди, анализ резонансных особенностей частотных характеристик входного импеданса которых показал их сродство. На экспериментальных образцах продемонстрирована возможность изменения ширины рабочей полосы антенны в пределах от 50% до 300%.

5. Гуляев Ю.В., Дмитриев А.С., Ицков В.В., Петросян М.М., Рыжов А.И., Уваров А.В. Ячейка приемника радиосвета // Радиотехника и Электроника, 2018, Т. 63, № 9, С. 947–952, DOI: 10.1134/S1064226918090085

Рассмотрена задача создания приемника некогерентного микроволнового излучения, источником которого могут быть как сверхширокополосные генераторы хаотических колебаний, так и предметы, и поверхности, “освещаемые” этими генераторами. Предлагается структура устройства, описан экспериментальный образец, показана его способность регистрировать источники некогерентного микроволнового излучения с интегральной выходной мощностью и ~ 2 мВт на расстоянии более 100 метров. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие возможность применения приемника для определения расстояния и в качестве датчика движения объекта при отсутствии его прямой видимости.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

- РТУ МИРЭА от д.ф.-м.н. А.Б. Самохина, профессора кафедры прикладной математики Института информационных технологий (замеч.: не аккуратно оформлены несколько графиков с частотной зависимостью коэффициентов возбуждения характеристических мод и собственных чисел мод; стоило более наглядно показать различие индуктивных и емкостных мод; интересно увидеть сравнительную таблицу конкретных примеров разработанных и миниатюризированных антенн)

- Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования НИЯУ «МИФИ» от д.ф.-м.н. С.О. Старкова (замеч.: интересно рассмотреть предложенные методы и представленные физические ограничения для планарных patch-антенн)

- ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» от к.ф.-м.н. В.А. Лазарева (замеч.: нет).

- Акционерное Общество «Научно-Производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина» от старшего научного сотрудника, кандидата технических наук В. В. Демшевского (замеч.: в автореферате не приведены результаты экспериментальных измерений характеристик СШП антенн, хотя говорится о них, что несколько затрудняет оценку проведенной работы; в автореферате приведен вид модели СШП антенны, скомпонованной с приемо-передатчиком на земляном плече, но не указаны в каких условиях проводились расчеты и учитывалось ли влияние активных элементов на характеристики)

- Федерального государственного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. от к.ф.-м.н. А.С. Соболева (замеч.: методическая небрежность, которая проявляется при измерении характеристик широкополосных антенн (Образец №2 и Образец №3). Потери на отражение, показанные на рис. 4.2 - 4.3 диссертации, измерены при помощи коаксиального кабеля без использования симметризирующего балуна. В обоих случаях опорная плоскость векторного анализатора не перенесена к точке соединения кабеля с антенной, из-за чего на измеренных кривых S_{11} -параметра видны периодические осцилляции).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается: назначенные советом официальными оппонентами по диссертации А.В. Уварова ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации – Комаров В.В., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры "Радиоэлектроника и телекоммуникации" Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. – известный специалист в области радиоэлектроники и телекоммуникационных систем; кандидат технических наук, профессор Института микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина (Институт МПСУ), НИУ МИЭТ – Чистюхин В.В. один из ведущих в России специалистов в антенно-фидерные устройств и активных фазированных антенных решеток.

Ведущая организация: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, широко известна своими исследованиями в области радиотехнических систем и радиолокации. Многочисленные работы её сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Для СШП антенн получено ограничение на нижнюю частоту рабочего диапазона частот, которое определяется выражением, зависящим от геометрического размера, форм-фактора и требований к рабочей полосе частот.

2. Представлен подход к оценке электродинамических характеристик СШП-антенны при заданном геометрическом размере и, наоборот, предельного размера

при заданных требованиях на электродинамические характеристики и геометрическую форму.

3. Объяснены СШП свойства печатной монополюсной антенны через проведенный анализ собственных мод, возбуждаемых в структуре антенны. Выведено аналитическое выражение для предельных характеристик (нижней частоты рабочего диапазона) печатной монополюсной антенны, а также представлены рекомендации к проектированию антенн данного типа для различных требований на ширину рабочего диапазона частот.

4. Продемонстрирована возможность уменьшения размеров беспроводных устройств связи методом интегрального размещения цепей приемопередатчика внутри топологии печатной монополюсной антенны.

5. На примере разработанных антенн для приемопередатчиков на основе СШП хаотических сигналов продемонстрирована применимость на практике предложенного способа анализа свойств и проектирования интегральных печатных антенн.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: в работе получено фундаментальное физическое ограничение на характеристики антенн в терминах нижней частоты рабочего диапазона и его ширины, которое может быть использовано для оценки предельных свойств СШП антенн и взаимосвязи между ключевыми характеристиками антенн для любых типов антенн и их геометрий.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: в работе разработан и представлен метод проектирования СШП печатных интегральных антенн, включающий в том числе полученное численное выражение для нижней частоты рабочего диапазона печатных СШП антенн прямоугольной формы с линейной поляризацией, которое может быть использовано для оценки предельных характеристик проектируемых антенн различных типов и выбора наиболее оптимальной конфигурации. В дополнение – спроектирован ряд печатных антенн для устройств беспроводной радиосвязи на основе прямохаотических приемопередатчиков. Отдельно стоит отметить представленный в главе 4 универсальный метод проектирования интегральных печатных антенных структур.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: полученные научные результаты имеют строгое математическое обоснование, а результаты численных расчётов подтверждаются сопоставлением с результатами известных экспериментов и модельных расчётов. Полученные результаты рассмотрены в ходе обсуждений на научных семинарах и конференциях, а также имеют положительные рецензии при их публикации в научных журналах.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все использованные в диссертации результаты получены автором лично или при его участии. Вклад соискателя в постановку и решение задач, разработку компьютерных программ, проведение расчетов, анализ полученных результатов и написание текста статей в части, относящейся к теме диссертации, является основным.

В ходе защиты диссертации в рамках дискуссии членами диссертационного совета была дана высокая оценка уровню работы и отмечено, что работа существенно дополняет и обогащает знания в области исследования технологий создания широкополосных и сверхширокополосных антенн сверхвысокочастотного диапазона частот, а также в области изучения

возможностей и особенностей интегрального расположения цепей радиоэлектронных устройств рядом с печатной антенной с целью миниатюризации устройств, включающих антенну.

Были заданы вопросы о применении полученных физических ограничений, о расчете предельного электрического размера антенны, об ограничениях на применимость предложенного метода, о применении подхода анализа возбуждаемых мод к различным антеннам, о направленных свойствах разработанных антенн и подходе к итеративному проектированию топологии приемопередатчика с последующим электромагнитным анализом и оптимизации структуры модуля. Соискатель дал ответы и необходимые пояснения, которые совет посчитал удовлетворительными.

Также Уваров А.В. дал исчерпывающие комментарии на вопросы и замечания оппонентов и ведущей организации. Согласился с замечаниями, касающимися оформления текста диссертации и автореферата.

Членами совета был сделан ряд замечаний: о применимости результатов работы в большей степени именно к малым носимым устройствам; была дана рекомендация уточнить формулировку одного из положений, указав, что автор обобщил подходы Чу и Густаффсона, применив их для случая сверхширокополосных произвольной формы антенн; было высказано замечание относительно формулировки цели работы, потому что она объединяет в себе две связанные задачи.

Диссертационная работа Уварова А.В. является законченной научно-квалификационной работой. Работа удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискании ученой степени кандидата наук.

На заседании 18 марта 2022 г. диссертационный совет за решение научной и практической задачи по разработке и исследованию методов создания широкополосных и сверхширокополосных печатных антенн сверхвысокочастотного диапазона, выполненных на единой подложке с высокочастотными цепями приемопередающих устройств, принял решение присудить Уварову А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 19 человек (из общего числа 20 человек, входящих в состав совета), из которых 8 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали: за – 19, против – 0, воздержавшихся – 0.

Исполняющий обязанности председателя
диссертационного совета, д.ф.-м.н.

Потапов А. А.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор РАН

Кузьмин Л.В.

«18» марта 2022 г.

