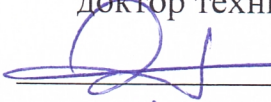


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,

доктор технических наук, профессор

 Горяев Олег Валериевич

« 31 »

## ОТЗЫВ

ведущей организации,

**Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»**

на диссертационную работу Крюкова Дмитрия Юрьевича «Разработка методик  
улучшения характеристик антенн вытекающей волны дифракционного типа за  
счет неравномерности профиля излучающего раскрыва», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

### Вводные положения

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент А.В. Останков.

На отзыв ведущей организации были представлены:

- диссертация – 1 том, 219 листов;
- автореферат – брошюра, 1,3 усл. печ. л.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения,  
списка цитируемых источников, включающего 150 наименований, и двух  
приложений.

### Актуальность темы диссертационного исследования

Эффективное функционирование большинства современных  
радиотехнических систем и комплексов в диапазонах СВЧ и КВЧ невозможно  
без использования антенн, обладающих высоким коэффициентом полезного  
действия (КПД), низкопрофильной конструкцией и способных формировать в  
пространстве остронаправленные лучи диаграммы направленности (ДН). В  
наибольшей степени обозначенным требованиям удовлетворяют антенны

вытекающей волны, получившие широкое распространение благодаря относительной простоте конструкции, малым поперечным размерам, высокому КПД. В основу типовой конструкции периодической антенны вытекающей волны дифракционного типа (АВВДТ) положена линия передачи, как правило, открытого типа, включающая дифракционную решетку (ДР) – систему неоднородностей на пути следования волны возбуждения. Система неоднородностей с периодом, соизмеримым с длиной волной излучения, обеспечивает пространственное преобразование замедленной волны возбуждения, поддерживаемой питающей линией, в излучаемую волну. Реализация питающей линии в виде плоского диэлектрического волновода (ПДВ) является одним из предпочтительных вариантов для создания высокотехнологичных малогабаритных АВВДТ.

Построение АВВДТ на основе равномерного и строго периодического профиля излучающего раскрыва для большинства действительных технических задач не является выгодным и не позволяет реализовать оптимальные характеристики антенны. В связи с этим тема диссертационной работы Крюкова Д.Ю. представляется в достаточной степени актуальной, так как посвящена развитию методов анализа и синтеза АВВДТ с неравномерным профилем распределительно-излучающей системы, а также разработке методик расчета и проектирования, позволяющих создавать антенны с улучшенными параметрами.

В процессе проведенного в диссертации исследования автором получены следующие **новые научные результаты**:

1. Эффективный алгоритм расчета амплитудно-фазового распределения (АФР) в АВВДТ с неравномерным профилем гребенчатой решетки, основанный на использовании модификации модели дифракции поверхностной волны на раскрыве антенны. Алгоритм отличается от классического интегрирования спектральной плотности поля использованием интеграла Кирхгофа, что позволяет значительно снизить временные затраты на расчет поля в фиксированных точках на раскрыве АВВДТ.

2. Методика энергетического расчета АВВДТ при заданном амплитудном распределении поля, позволяющая улучшить характеристики направленности

антенны. Методика в отличие от известных методов энергетического расчета периодических антенн вытекающей волны существенно опирается на экспериментально полученную зависимость отбора мощности от расстояния между линией возбуждения и ДР, а также учитывает относительную мощность потерь в линии возбуждения.

3. Методика формирования поперечного излучения в АВВДТ с модифицированным раскрывом при одностороннем способе возбуждения, позволяющая значительно увеличить КПД антенны и отличающаяся использованием процедуры оптимизации положения дополнительной канавки относительно основной и подбора глубины дополнительной канавки.

4. Установлена возможность повышения эффективности АВВДТ на основе однопроводной линии передачи с периодической гребенчатой решеткой за счет применения устройств возбуждения, отличных от классического конического рупора.

В работе получены следующие, имеющие **практическую ценность** результаты:

- предложена высокотехнологичная АВВДТ с длиной раскрыва  $15\lambda_0$ , состоящая из устройства возбуждения в виде прямоугольного ступенчатого диффузора, периодической гребенчатой решетки и однопроводной линии передачи на основе центральной жилы коаксиального кабеля с тефлоновой изоляцией; разработанная антенна на частоте 2,4 ГГц позволяет сформировать веерную ДН (в  $H$ -плоскости) с шириной в  $E$ -плоскости менее  $5^\circ$ , а также обладает высоким КПД (94%) и коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН), близким к единице; конструкция АВВДТ обеспечивает возможность гибкой настройки электрических характеристик;

- разработана узконаправленная линейная антенна  $X$ -диапазона на основе накрытой ПДВ периодической гребенчатой решетки; предлагаемая конструкция АВВДТ, обладая площадью излучающего раскрыва менее  $0,2 \text{ м}^2$ , характеризуется высокими коэффициентом усиления (КУ) и КПД, шириной ДН в  $E$ -плоскости не больше  $1^\circ$ , а также низким КСВН и малыми тепловыми потерями; показана возможность эффективной реализации антенной системы на основе ПДВ, интегрированного с металлической периодической решеткой,

образованной канавками прямоугольного профиля; продемонстрирована возможность уменьшения уровня бокового излучения более чем на 6 дБ за счет глубинного профилирования ДР и последующей оптимизации величины зазора между ПВД и ДР;

– разработана планарная АВВДТ для базовой станции стандарта 5G; конструкция антенны содержит две симметричные металлические ленточные решетки, изготовленные на основе ламината Sivolam 245, и устройство центрального возбуждения в виде открытого конца волновода. КУ оптимизированной конструкции антенны в полосе частот 27,9-28,3 ГГц составляет от 16 до 19,3 дБ, а уровень бокового излучения не превышает «минус» 11,7 дБ. КПД в заявленной полосе частот составляет от 90 до 93%.

Предлагаемые конструкции антенн характеризуются малыми поперечными размерами, простотой конструкции и технологичностью изготовления.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием как традиционных методов расчета, опирающихся на строгие электродинамические подходы, так и современной электродинамической симуляции, базирующейся на методе конечного интегрирования во временной области. Значительная часть результатов, научных положений и выводов получила **квалифицированную апробацию** на Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (г. Воронеж, 2017, 2018, 2021, 2022, 2024, 2025).

Практическое внедрение результатов диссертационной работы, а именно, непосредственное использование предложенных методик синтеза в АО НПП «Автоматизированные системы связи» при разработке высокотехнологичных антенн беспроводной связи также свидетельствует о корректности и обоснованности выводов и положений диссертации.

Основные результаты диссертации полностью отражены в публикациях, общее количество которых составляет 21 научную работу, включая 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 публикации в изданиях, индексируемых в реферативно-библиографической базе Scopus, и 10 докладов на научно-технических конференциях.

Рекомендуется использовать результаты диссертационной работы на предприятиях, занятых разработкой периодических (квазипериодических) антенн вытекающей волны (ПАО «Радиофизика», АО «Концерн Созвездие», АО НВП «Протек», а также в учебном процессе ВУЗов (МАИ, МИРЭА, МЭИ, МТУСИ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ВГТУ, ПГУТИ).

**Автореферат и материалы опубликованных работ** автора дают достаточно полное представление о диссертации, в частности, положениях, вынесенных на защиту и основных полученных результатах.

**Тематика** проведенного исследования соответствует паспорту специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

**К недостаткам работы** целесообразно отнести следующее:

1. Представленные результаты электродинамической симуляции АВВДТ следовало бы сравнить с результатами, полученными на макетах соответствующих антенн. Такой подход мог бы обеспечить более наглядное представление и удобство сопоставления результатов.

2. В разделе 1 главы 4 работы утверждается, что предлагаемая конструкция антенны «может быть оптимизирована за счет автоматизированного подбора конструктивных параметров ДР и определения наилучшего закона изменения прицельного расстояния  $r(x)$ », однако, правильнее было бы привести результаты оптимизации в рамках диссертационного исследования.

3. В тексте диссертации автором часто употребляется термин «экспериментальные исследования», при этом, как правило, дается уточняющее пояснение «проведенные посредством имитационного моделирования». Корректнее было бы использовать термин «полноволновое моделирование», определение которого соискатель дает в Приложении 1 к диссертации.

### **Выводы**

Указанные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Крюкова Д.Ю., которая представляет собой логически обоснованную, завершенную научно-исследовательскую работу и отвечает всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», к диссертациям на соискание ученой

степени кандидата наук. Автор работы Крюков Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

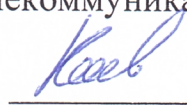
Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры радиоэлектронных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» 28.08.2026 г., протокол № 1.

На заседании присутствовало 15 сотрудников кафедры, из них 5 докторов наук. Результаты голосования «за» - 15, «против» - нет, «воздержались» - нет.

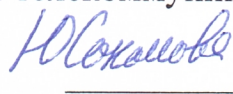
Лица, подписавшие отзыв, согласны с включением своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Крюкова Дмитрия Юрьевича и их дальнейшей обработкой.

Отзыв составили:

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

  
Клюев Дмитрий Сергеевич

Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

  
Соколова Юлия Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики». 443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, д. 23.  
тел.: 8 (846) 333-58-56, E-mail: info@psuti.ru