

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное  
автономное образовательное  
учреждение высшего образования

**«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Институт радиотехнических  
систем и управления**

Большая Садовая ул., д. 105/42, г. Ростов-  
на-Дону, 344006. Тел.: +7(863)305-19-90,  
263-31-58, 263-84-98; факс: 263-87-23; e-  
mail: [info@sfedu.ru](mailto:info@sfedu.ru); <http://www.sfedu.ru>

**Председателю совета по защите диссертаций**  
на соискание ученой степени кандидата наук,  
на соискание ученой степени доктора наук,  
24.2.327.01

на базе федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)»  
д.т.н., профессору  
Кузнецову Юрию Владимировичу

---

Волоколамское ш., д.4, г. Москва, 125993

от 09.01.2025 № 2  
на №010/1994-3 от 23.10.2024

Уважаемый Юрий Владимирович!

В соответствии с Вашим запросом направляю отзыв на диссертацию Семененко Владимира Николаевича на тему: «Композитные материалы для антенной техники и СВЧ-устройств в сверхшироком диапазоне частот» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки).

Приложение: Отзыв, 2 экз. на 9 л. каждый.

Зам директора ИРТСУ



Н.Н.Кисель

Исполнитель: Юханов Ю.В. тел.+7(988)254-62-70

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«15» 01 2025 г.

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

доктора технических наук, профессора,  
заведующего кафедрой антенн и радиопередающих устройств  
Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета  
Юханова Юрия Владимировича

на диссертационную работу **Семененко Владимира Николаевича**  
на тему **«Композитные материалы для антенной техники и СВЧ-устройств в  
сверхшироком диапазоне частот»**,

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности  
2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки)

### Актуальность темы исследования

В последнее время в связи с бурным развитием средств связи и телекоммуникаций возрастает роль антенной техники СВЧ диапазона, особенно в сетях широкополосного доступа к интернету, в системах космической связи и навигации. С разрастанием современных сетей мобильной связи крайне важными становятся проблемы обеспечения помехозащищенности сетей связи и электромагнитной совместимости радиотехнических устройств различного назначения.

Становится актуальной задачей разработка широкополосных антенных систем с низким уровнем паразитного бокового и заднего излучения, что может быть реализовано, в частности, за счет применения широкополосных радиопоглощающих материалов и покрытий в конструкции антенных систем.

Диссертация Семененко В.Н. как раз и направлена на исследование микроволновых свойств композитных материалов с целью создания сверхширокополосных радиопоглощающих материалов и покрытий, на их модификацию, повышение эффективности радиотехнических характеристик таких материалов и покрытий в сверхшироком СВЧ диапазоне и их внедрение в антенную и СВЧ технику. В этой связи диссертация Семененко В.Н. «Композитные материалы для антенной техники и СВЧ-устройств в сверхшироком диапазоне частот» безусловно является актуальной.

### Достоверность полученных в диссертации результатов

Несомненно, подтверждается сопоставлением с высокой точностью результатов эксперимента и теории и метрологической аттестацией разработанных методик измерения. Однако, критерием истины является практика и с этой точки зрения, наиболее значимо достоверность полученных результатов подтверждается их использованием при выполнении опытно-конструкторских работ, так и в серийном производстве высокотехнологичных предприятий: АО «ВНИИ «Градиент», АО НПО «Квант», АО «ЦКБА», АО «ГРПЗ», АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», филиал ПАО «Ил»-Авиастар, АО «ВНИИ «Вега», ПАО «Радиофизика», ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева», АО «Комполит», ФГУП «КГНЦ», ООО «ИРЗ».

**Научная новизна результатов диссертации** состоит в следующем:

1. Разработаны методики измерений электрофизических параметров композитных материалов в сверхшироком диапазоне частот от 0,2 до 110 ГГц.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«15» 01 2025 г.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований структуры мод эффективной магнитной проницаемости композитных материалов, изготовленных на основе промышленно выпускаемых партий карбонильного железа в широкой полосе частот от 0,2 до 40 ГГц, впервые дана оценка особой роли магнитных мод Аарони в магнитных спектрах композитных материалов на высоких частотах.

3. Удалось значительно увеличить магнитные потери в СВЧ диапазоне и стабилизировать магнитно-диэлектрические свойства модифицированных порошков карбонильного железа за счет оптимизации режимов их комплексной механической обработки, включающих методы сухого и мокрого помола.

4. Предложен новый метод мониторинга процесса мокрого помола порошка карбонильного железа, позволивший получать стабильный продукт вне зависимости от степени износа элементов конструкции атритора.

5. Разработаны структуры узкополосных и сверхширокополосных радиопоглощающих покрытий на основе магнитных композитных материалов с низким коэффициентом отражения в сверхшироком диапазоне частот от 0,1 до 110 ГГц.

6. Показано, что диэлектрическим радиопоглощающим материалам свойственен размерный эффект для коэффициента отражения – зависимость коэффициента отражения образца диэлектрического материала от его размеров.

7. Впервые доказано фундаментальное ограничение магнитной эффективности искусственных магнито-диэлектриков (метаматериалов) и особая роль нулевых значений диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериалов для подавления бокового и заднего излучения апертурных антенн.

### **Теоретическая и практическая ценность работы**

1. Разработаны сверхширокополосные измерительные стенды и методики измерений диэлектрической и магнитной проницаемости композитов, а также коэффициентов отражения и прохождения в сверхшироком диапазоне частот от 0,2 до 110 ГГц, аттестованные уполномоченными метрологическими организациями.

2. На основе модифицированного карбонильного железа разработан комплекс магнитных наполнителей со стабильными электрофизическими и увеличенными магнитными свойствами на СВЧ. Для различных концентраций наполнителей определены частотные дисперсии магнитной и диэлектрической проницаемости композитов.

3. Разработан комплекс стабильных двухкомпонентных компаундов для создания магнитных радиопоглощающих покрытий, как узкополосных однослойных покрытий с широкой полосой перестройки от 0,1 до 46 ГГц, так и сверхширокополосных многослойных радиопоглощающих покрытий с рабочей многооктавной полосой частот.

4. Широкополосные диэлектрические радиопоглощающие материалы, созданные на основе стабильных полупроводящих композитных материалов, использованы в экранах апертурных антенн для снижения уровней бокового и заднего излучения.

5. Теоретически и экспериментально продемонстрирован эффект обратного излучения электромагнитной волны антенной на основе диэлектрического волновода в виде трубки из метаматериала на частотах с отрицательными значениями его проницаемостей. Показано, что максимальная эффективность метаматериалов для антенной техники наблюдается в области частот с близкими к нулю значениями диэлектрической и магнитной проницаемости.

6. Разработанные композитные материалы, покрытия и метаматериалы на их основе, применены в изделиях антенной техники с целью улучшения и корректировки их характеристик, в том числе в решении проблем электромагнитной совместимости.

### **Личный вклад соискателя**

Основные научные результаты диссертации получены соискателем лично или при определяющем вкладе со стороны соискателя. Все экспериментальные исследования и численные расчеты планировались и выполнялись под руководством соискателя, или в сотрудничестве с соавторами. Соискатель принимал непосредственное участие в постановке задач работы, обработке полученных результатов, их анализе и обобщении, формулировке выводов и научных положений. В разработку оптимальных режимов сухого и мокрого помолов порошка карбонильного железа, мониторинга процесса мокрого помола порошка карбонильного железа, электродинамическое моделирование структур сверхширокополосных многослойных материалов и покрытий, а также исследование основных свойств метаматериалов основополагающий вклад внес соискатель.

Разработанные в диссертации радиопоглощающие материалы и покрытия, а также стенды для измерения их радиофизических характеристик использованы в различных организациях как при выполнении опытно-конструкторских работ, так и в серийном производстве: АО «ВНИИ «Градиент», АО НПО «Квант», АО «ЦКБА», АО «ГРПЗ», АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», филиал ПАО «Ил»-Авиастар, АО «ВНИИ «Вега», ПАО «Радиофизика», ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева», АО «Комполит», ФГУП «КГНЦ», ООО «ИРЗ».

Результаты внедрения результатов работы подтверждены пятью актами внедрения. Новизна полученных научных результатов подтверждена шестью патентами РФ на изобретения и патентом РФ на полезную модель.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 143 печатных работах, включая 51 статью в рецензируемых журналах (из них 23 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, соответствующих специальности 2.2.14, и 22 статьи, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science), одну монографию, шесть патентов РФ на изобретения и патент РФ на полезную модель.

Диссертационная работа Семененко В.Н. прошла обстоятельную апробацию более чем в 46 докладах соискателя, представленных на профильных научных конференциях и семинарах, как всероссийских, так и международных.

На основе полученных результатов, отражающих научную новизну и практическую значимость работы, Семененко В.Н. сформулировал следующие **положения, выносимые для публичной защиты:**

1. Предложенные методики измерений электрофизических параметров малогабаритных (с размерами, большими одной длины волны) образцов материалов в свободном пространстве, экспериментально апробированы и аттестованы. Они отличаются от существующих аналогов использованием диафрагмированных линзовых рупорных антенн с новыми алгоритмами цифровой обработки сигналов в сверхшироком диапазоне частот (от 0,2 до 40 ГГц с возможностью расширения до 110 ГГц), что позволяет обеспечить высокую точность измерений (до 10 процентов) электрофизических параметров материалов с высоким тангенсом диэлектрических и магнитных потерь.

2. Предложены технологические методы механической обработки порошка карбонильного железа, включающие в себя комбинации методов сухого помола порошка карбонильного железа в вибромельнице и мокрого помола модифицированного порошка карбонильного железа в атриторе, отличающиеся от известных ранее аналогов использованием в качестве добавки двуокиси кремния к порошку карбонильного железа при сухом помоле, а также контролем процесса мокрого помола, которые приводят к значительной стабилизации электрофизических характеристик магнитных наполнителей и значительному увеличению их магнитных потерь в СВЧ диапазоне, что обеспечивает производство стабильных модифицированных магнитных наполнителей типов КЖ-3А, КЖ-2 и КЖ-6 со значительной вариацией их СВЧ магнитных свойств.

3. Предложены методики расчета и оптимизации структур эффективных радиопоглощающих покрытий на основе композитных материалов с разработанными стабильными магнитными наполнителями, включающие в себя как однослойные магнитные покрытия, так и многослойные градиентные магнитодиэлектрические покрытия, основанные на симплекс-процедуре с использованием созданной базы данных магнитных и диэлектрических спектров композитных материалов с разработанными магнитными наполнителями различной концентрации, что обеспечивает создание как эффективных узкополосных радиопоглощающих покрытий (с коэффициентом отражения менее минус 30 дБ) с широкой полосой перестройки рабочей полосы от 0,1 до 46 ГГц, так и сверхширокополосных радиопоглощающих покрытий с рабочим диапазоном частот в несколько октав (от 1 до 40 ГГц) с коэффициентом отражения менее минус 10 дБ.

4. Предложены структуры систем диэлектрических радиопоглощающих материалов и покрытий, включающие в себя как однослойные, так и многослойные полупроводящие материалы на основе пенополиуретанов, пропитанных полимерными композициями, наполненными высокопроводящей углеродной сажей, со специальной термообработкой, что обеспечило стабильные радиофизические свойства материалов при воздействии внешних факторов среды, отличающиеся от известных аналогов, как правило, наличием тонких магнитных подслоев для снижения влияния размерных эффектов для коэффициента отражения малогабаритных образцов материалов, применимые для увеличения степени развязки близкорасположенных приемо-передающих рупорных антенн, корректировки диаграмм направленности зеркальных антенн, а также для создания экранирующего кожуха штыревой антенны для проверки работоспособности радиостанции.

5. Выявленные закономерности электродинамических свойств метаматериалов на основе гомогенной лево- и правозакрученных проволочных спиралей с резонансным характером частотных дисперсий диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериала, отличающиеся от аналогов наличием около нулевых значений действительных частей диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериала в заданном узком диапазоне частот, что позволило создать эффективные узкополосные радиопоглощающие материалы, используемые в качестве насадок рупорных антенн для снижения уровней боковых и задних лепестков их диаграмм направленности.

6. Предложенная схема построения сверхширокополосного радиопоглощающего материала, включающая в себя согласующий слой на основе метаматериала из гомогенной смеси лево- и правозакрученных проволочных спиралей, отличающегося от аналогов наличием в структуре материала двух тонких магнитных подслоев на основе разработанных магнитных наполнителей КЖ-2 и КЖ-3А, что обеспечивает низкий коэффициент отражения (менее минус 10 дБ) радиопоглощающего материала в сверхшироком диапазоне частот от 5 до 33 ГГц за счет

оптимальных согласующих свойств метаматериала в области основной и высших магнитных мод.

7. Предложенный способ создания малогабаритных волноводных согласованных нагрузок, включающий в себя использование многослойного интерференционного магнитного покрытия на основе разработанного магнитного наполнителя КЖ-ЗА, отличающийся от аналогов методикой настройки данного магнитного покрытия в свободном пространстве с пересчетом коэффициента отражения покрытия для конкретного типа волновода, обеспечивающий изготовление компактных (толщиной около четверти длины волны) волноводных согласованных нагрузок с низкими значениями КСВН (не более 1,07) для диапазонов частот 34-36 ГГц.

Все основные положения, выносимые на защиту, являются новыми и представляют интерес для широкого круга исследователей, в том числе по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки), что подтверждается их активным цитированием в отечественной и зарубежной научно-технической литературе.

### **Основное содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 288 наименований и девяти приложений. Общий объем работы - 397 страниц, включая 397 рисунков и 31 таблицу.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, показана степень разработанности темы диссертации, ее научная новизна и практическая значимость, обозначен объект и предмет исследований, научная новизна, приводятся основные положения, выносимые на защиту, приведены список основных статей соискателя по теме диссертации, результаты апробации работы, структура, объем и содержание диссертационной работы.

**Первая глава** посвящена описанию известных и разработке новых методик измерений электродинамических параметров материалов (диэлектрической и магнитной проницаемости) в СВЧ-диапазоне (в линиях передачи, коаксиальных линиях, в свободном пространстве). Обоснованы преимущества разрабатываемой в работе методики измерения электродинамических параметров материалов в свободном пространстве в сверхшироком диапазоне частот на основе диафрагмированных линзовых антенн и векторного анализатора цепей. Приведены описания разработанных измерительных комплексов в свободном пространстве в диапазоне частот от 0,2 до 110 ГГц. Представлен вариант мобильного измерительного комплекса коэффициента отражения покрытий, востребованный для диагностики покрытий на крупногабаритной антенной технике. Обоснован метод малых возмущений для измерений поляризуемостей включений метаматериалов на основе перестраиваемых цилиндрических полых резонаторов. Представлена разработанная методика измерений диаграмм обратного рассеяния малогабаритных объектов в СВЧ диапазоне. Все основные используемые в работе методики измерений прошли метрологическую аттестацию.

**Вторая глава** связана с разработкой модифицированных магнитных наполнителей композитных материалов на основе порошка карбонильного железа. Предложенный соискателем способ сухого помола порошка карбонильного железа в вибромельнице с добавкой двуокиси кремния позволяет значительно стабилизировать электрофизические параметры композитов на основе магнитного наполнителя КЖ-ЗА, получаемого методом сухого помола. Метод мокрого помола порошка карбонильного железа в атриторе в среде этилового спирта и дополнительный метод сухого помола модифицированного порошка в вибромельнице с добавкой двуокиси

кремния позволяет значительно увеличить магнитные потери разработанных магнитных наполнителей типа КЖ-2 и КЖ-6. На основе стабильных модифицированных магнитных наполнителей с увеличенными магнитными потерями КЖ-3А, КЖ-2 и КЖ-6 разработана серия однослойных эффективных магнитных радиопоглощающих покрытий в диапазоне частот от 0,1 до 46 ГГц с коэффициентом отражения менее минус 30 дБ при нормальном падении электромагнитной волны. Предложены области приложений разработанных радиопоглощающих покрытий в антенной технике и для решения проблем электромагнитной совместимости.

**Третья глава** посвящена разработке многослойных широкополосных и сверхширокополосных радиопоглощающих покрытий, построенных по градиентной схеме на основе разработанных магнитных наполнителей КЖ-3А, КЖ-2 и КЖ-6. Созданная серия широкополосных магнитных покрытий РАН-54, РАН-67, РАН-43, сверхширокополосных магнитных покрытий РАН-79, РАН-85, РАН-98 нашла практическое применение на различных изделиях антенной техники с целью стабилизации ширины главного лепестка диаграммы направленности параболической антенны системы радиомониторинга, для снижения изрезанности диаграмм направленности различных спиральных антенн систем радиомониторинга. Ферроэпоксид РАН-89 на основе разработанного магнитного наполнителя КЖ-3А демонстрирует конкурентоспособность для создания высокоэффективных согласованных волноводных нагрузок. На основе двухслойного магнитного покрытия РАН-87 создана эффективная компактная волноводная согласованная нагрузка для диапазона частот 34-36 ГГц. Рассчитанное двухслойное покрытие на основе магнитомягкого сплава АМАГ-200 и магнитного наполнителя КЖ-2 демонстрирует высокую эффективность для подавления поверхностных токов на металлическом держателе несимметричной поликонической вибраторной антенны и коррекции диаграмм направленности антенны в метровом диапазоне длин волн.

Разработанные соискателем сверхширокополосные магнитные радиопоглощающие покрытия и технические решения на их основе запатентованы.

**В четвертой главе** представлены исследования по разработке и созданию стабильных диэлектрических материалов на основе полупроводящих пенополиуретанов. Созданные на их основе листовые диэлектрические радиопоглощающие материалы РАН-29М, РАН-28М и РАН-46М нашли практическое применение в качестве заградительных поглощающих экранов для сверхширокополосной зеркальной антенны; для увеличения степени развязки приемопередающих рупорных антенн; на металлических блендах параболических зеркальных антенн с целью снижения бокового и заднего излучения. Диэлектрический радиопоглощающий материал с большими диэлектрическими потерями оказался эффективным поглотителем внутри экранирующего колпака дипольной антенны связанной радиостанции для проверки ее работоспособности без излучения во внешнее пространство, обеспечивающим низкие значения КСВН антенны в метровом диапазоне. Теоретически и экспериментально обоснован способ подавления размерного эффекта коэффициента отражения диэлектрических радиопоглощающих материалов за счет использования магнитных подслоев в системах диэлектрических поглощающих материалов, связанный с подавлением краевых волн за счет использования магнитных покрытий.

**Пятая глава**, имеющая наибольший объем, посвящена исследованиям метаматериалов различного типа (на основе диэлектрических резонаторов, проволочных спиральных включений различного типа, разорванных проволочных колец), а также поиску их практических приложений в антенной технике. Подробно исследованы искусственные магнетики - метаматериалы с включениями в виде диэлектрических резонаторов с различной диэлектрической

проницаемостью от 120 до 2700 с низкими диэлектрическими потерями. Исследована структура магнитных мод метаматериалов на основе диэлектрических резонаторов, исследованы концентрационные зависимости материальных параметров метаматериалов, выявлено фундаментальное ограничение для магнитной эффективности метаматериалов.

Детальное исследование метаматериалов на основе проволочных би-спиралей показало сложную структуру их электрических и магнитных мод. Экспериментально определена зависимость магнитной эффективности проволочных спиральных включений от шага спирали.

Показано, что необычными свойствами обладают метаматериалы на основе гомогенной смеси лево- и правозакрученных проволочных спиралей, обладающие резонансным характером частотной дисперсии диэлектрической и магнитной проницаемости в одном и том же диапазоне частот. Нулевые, а также отрицательные значения диэлектрической и магнитной проницаемости метаматериала на основе смеси лево- и правозакрученных проволочных спиралей делают такие метаматериалы наиболее привлекательными для практических приложений.

Метаматериалы на основе гомогенной смеси лево- и правозакрученных проволочных спиралей нашли практические приложения для снижения бокового и заднего излучения рупорных антенн (при нулевых значениях проницаемостей), формирования диаграмм направленности конических рупорных облучателей специальной «столообразной» формы.

Метаматериалы на основе разорванных проволочных включений эффективно использованы в качестве поглощающих блоков на антенне базовой станции мобильной связи для снижения паразитного бокового и заднего излучения, в качестве эффективного узкополосного поглотителя внутри экранирующего колпака дипольной антенны для проверки работоспособности антенны радиостанции (альтернатива диэлектрическому радиопоглощающему материалу РАН-90).

На основе метаматериала со смесью лево- и правозакрученных проволочных спиралей (LR-5A) продемонстрирован эффект обратного излучения волноводной антенны с насадкой из метаматериала на частоте, где метаматериал обладает отрицательными значениями проницаемостей.

На основе метаматериала LR-5A и двух магнитных подслоев с магнитными наполнителями КЖ-3А и КЖ-2 создан сверхширокополосный радиопоглощающий материал с коэффициентом отражения менее минус 10 дБ в широкой полосе частот от 5 до 33 ГГц с низкими значениями коэффициента отражения в области основной и высших магнитных мод, обладающий сниженными массогабаритными параметрами по сравнению с магнитными покрытиями.

**В заключении** сформулированы основные выводы, полученные в результате проведенных исследований композитных материалов для антенной техники и СВЧ-устройств в сверхшироком диапазоне частот.

**Приложение** содержит копии аттестатов на разработанные методики измерений электрофизических параметров материалов, а также пяти актов внедрения результатов работы.

**В целом, давая общую оценку содержания работы,** можно указать, что работа написана ясным технически грамотным языком, все ее части служат достижению поставленной цели и решению сформулированных задач. Все исследования выполнены на достаточно высоком научном и техническом уровне. Автореферат диссертации, имеющий объем в 34 страницы, в полной мере отражает ее содержание и включает все основные положения диссертации.

**По диссертации и автореферату можно высказать следующие замечания:**

1. Во введении не указаны пункты паспорта специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки), которым, по замыслу соискателя, соответствует представленная к защите работа.

2. Глава 1 в работе анонсирована как «обзор существующих методик измерений», в тоже время её материал представлен, как оригинальный, с указанием полученных новых результатов.

3. На стр. 44 – 46 в качестве измерительной антенны выбран рупор с прямоугольной апертурой с различным распределением амплитуд полей в главных плоскостях (см., например, рис.1.19), при этом не указано насколько это может повлиять на погрешность измерений.

4. На стр. 48 в первом абзаце говорится, что точность измерений коэффициента отражения зависит, в том числе и от частоты, но в таблицах 1.3 и 1.4 сведений о частотах, для которых они приведены, - нет. Это же можно сказать и о таблице 1.8. Такие же замечания относятся и к разработанному портативному измерителю коэффициента отражения.

5. На рисунке 1.53 (см. стр. 83) приведена схема измерительной установки для измерения диаграмм обратного рассеяния с двумя антеннами – это измерение уже двухпозиционной ЭПР. И хотя антенны расположены в вертикальной плоскости с достаточно малым углом между ними ( $3.5^0$ ), хотелось бы иметь оценку точности совпадения этих диаграмм, поскольку конструкция измерительной установки в вертикальной плоскости все же несимметрична.

6. На рисунке 3.15 (стр.165) не указано какие линии (сплошные и пунктирные) что означают.

7. По результатам разработки параболического зеркала с РПП РАН-54 многолучевой антенны со стабилизированной шириной диаграммы направленности лучей не указан достигнутый КПД, то есть какую цену пришлось заплатить за достигнутую стабилизацию диаграмм направленности антенны.

8. Параграф 3.2.2 носит несколько декларативный характер.

9. Во многих рисунках глав 4 и 5 (особенно 5) обозначения на осях очень мелкие, что затрудняет их восприятие.

## **Заключение**

Высказанные замечания не умаляют ценности и значимости диссертационной работы и не влияют на общую высокую оценку выполненной работы.

Диссертационная работа Семененко В.Н. соответствует следующим направлениям исследований паспорта специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки):

–Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных микроволновых устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами;

–Разработка и исследование новых технологий производства, настройки и эксплуатации антенных систем;

–Исследование и разработка метрологического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации антенных систем и микроволновых устройств;

и представляет собой научное исследование, являющееся научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных соискателем исследований изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения по созданию сверхширокополосных радиопоглощающих материалов и покрытий в СВЧ диапазоне, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие антенной и СВЧ техники.

Поставленная в работе цель достигнута, а все задачи решены.

Автореферат диссертации соответствует п.25 «Положения о присуждении ученых степеней» и отражает содержание и основные положения представленной диссертационной работы в полной мере.

Диссертация «Композитные материалы для антенной техники и СВЧ-устройств в сверхшироком диапазоне частот» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), предъявляемого к докторской диссертации, а её автор, Семененко Владимир Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по научной специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии (технические науки).

### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»



Юханов Юрий Владимирович

« 09 » января 2025 г.

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой антенн и радиопередающих Института радиотехнических систем и управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» Юханова Юрия Владимировича заверяю.

Исполняющий обязанности директора  
Института радиотехнических систем и управления  
Южного федерального университета



Федотов Александр Александрович

« 09 » января 2025 г.

Адрес: 347922, Ростовская область, г. Таганрог, пер. Некрасовский, д.44, корпус (Г)  
Телефон: +7 (988) 254-62-70, e-mail: yvyuhanov@sfnedu.ru

С ответом ознакомлен 15.01.2025 г. 