

## О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Ильинского Анатолия Серафимовича на диссертацию Волкова Александра Петровича на тему «Периодические СВЧ композитные структуры в бортовых антенных системах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

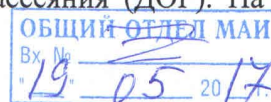
Развитие многофункциональных радиотехнических систем и комплексов различного назначения, приводит к необходимости поиска путей улучшения радиотехнических и массогабаритных характеристик их антенных систем. Одним из путей улучшения характеристик антенных систем (АС), который активно исследуется в настоящее время, является внедрение в АС периодических СВЧ композитных (ПСК) структур.

Таким образом, тема диссертационной работы и направления исследования Волкова Александра Петровича представляются **актуальными и соответствуют специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».**

В работе исследуются ПСК структуры со свойствами искусственного магнитного проводника, электромагнитной запрещенной зоной и частотной селективности для уменьшения высоты профиля, расширение полосы рабочих частот, уменьшение взаимовлияния и подавление поверхностных волн, снижение радиолокационной заметности различных типов АС.

В **первой главе** работы рассмотрены ПСК структурам со свойствами частотной селективности (ЧСС). Проведен обзор литературы, рассмотрены этапы синтеза и анализа ЧСС. Реализуя этапы перехода от параметров фильтра прототипа к ВЧ реализации, синтезированы полосно-заграждающие каскадные и многорезонансные ЧСС на основе печатных кольцевых элементов. Рассмотрены характеристики рассеяния конечной системы ЧСС–проводящий экран. Проведено макетирование и экспериментальные исследования однослойной ЧСС. Сравнение результатов измерений и численное моделирование показало их удовлетворительное совпадение.

Во **второй главе** проведено электродинамическое моделирование ДОР линейных периодических структур (ЛПС) L-диапазона, экранированных различными синтезированными частотно-селективными структурами при облучении плоской ЭМ волной X- и Ku-диапазонов. Выявлен эффект ослепления ЧСС, обусловленный резонансными эффектами между ЧСС и проводящим основанием ЛПС и приводящий к неподавлению отдельных лепестков Брэгга диаграммы обратного рассеяния (ДОР). На



основе полученных результатов разработана антенная система, объединяющая ФАР L-диапазона на основе элемента типа МНИ, размещаемую в отклоняемом носке передней консоли крыла летательного аппарата, ЧСС с полосно-заграждающей пространственно-частотной характеристикой и поглощающий материал на основе резистивных печатных элементов с пониженным уровнем лепестков Брэгга ДОР.

В **третьей главе** рассмотрены ПСК структуры со свойствами искусственного магнитного проводника (АМС). Проведено исследование влияния конечных различных АМС структур на характеристики согласования и направленности близко расположенного источника возбуждения. Приведен метод, позволяющий улучшить ДН излучателя, расположенного на конечной АМС структуры в полосе 40%. На основе предложенного метода разработана низкопрофильная конформная двухполяризационная антенная система ОВЧ-диапазона.

В **четвертой главе** рассмотрены периодические СВЧ композитные структуры с электромагнитной запрещенной зоной (ЕВГ). Рассмотрено использование ЕВГ структур для подавления поверхностных волн и устранения эффекта ослепления в диэлектрических подложках ФАР. Приведены результаты комплексной разработки ФАР на основе печатного вибраторного излучателя с ЕВГ. Рассмотрены ЕВГ структуры для увеличения развязки между элементами в двухполяризационных антенных системах. Проведены результаты разработки антенной системы на основе ЕВГ структуры, состоящей из двух подсистем с ортогональными поляризациями УВЧ диапазона космического комплекса землеобзора.

Результаты диссертационной работы представляются **достаточно обоснованными и достоверными** так как получены путем строгой постановкой граничных задач при численном электродинамическом моделировании и подтверждением результатов, полученных разными методами (такими как КРВО и КЭ), согласованностью с положениями макроскопической электродинамики, теории антенн и устройств СВЧ, сравнением полученных результатов с имеющимися в литературе отдельными частными случаями, сравнением результатов расчётов с данными измерений отдельных образцов. Соискатель владеет и успешно использует современные программные методы численного моделирования АС с ПСК структурами.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации диссертации достаточно полно **опубликованы** в 24 печатных работах, в том числе десяти статьях в журналах и сборниках (из них 5 в журналах, рекомендованных ВАК РФ), и 14 тезисах докладов на российских и международных конференциях.

Основные **научные результаты**, полученные автором в работе:

1. Выявлен эффект «ослепления» при комплексировании АС с ПСК структурами со свойствами частотной селективности, обусловленный резонансными процессами в системе ЧСС–АС и приводящий к неполному подавлению отдельных лепестков Брэгга ДОР АС.

2. Предложен способ расширения полной полосы АС на конечной ПСК структуре со свойствами искусственного магнитного проводника.

3. Разработаны принципы построения и функционирования АС с ПСК структурами со свойствами частотной селективности, искусственного магнитного проводника и запрещенной электромагнитной зоны.

Результаты, полученные в диссертации, имеют **практическую ценность**. Результаты **внедрены** в проекты ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова» и АО «Концерн «Вега». Результаты диссертации могут использоваться и при решении других научных и прикладных задач.

Среди достоинств работы стоит отметить использование на первом этапе анализа ПСК структур приближённых аналитических формул, а также последующий полномасштабный расчет АС, комплексированных с ПСК структурами, с учетом их взаимовлияния друг на друга.

По работе имеется **ряд замечаний**:

1. В разработанной электродинамической модели ФАР+ЧСС с режекторной пространственно-частотной характеристикой, размещенные в отклоняемом носке передней консоли крыла летательного аппарата, отсутствует влияние крепёжных элементов, что может вызвать резонансные явления, а также крыла ЛА на характеристики АС.

2. При синтезе каскадных и многорезонансных периодических СВЧ композитных структур со свойствами частотной селективности, реализующих полосно-заграждающие фильтры сантиметрового диапазона, выборе моделей и построении эквивалентных схем (см. п.1.2.2, 1.3.1, 1.3.2) не отражено влияние высших пространственных периодических гармоник на свойства ЧСС.

3. Предложенный способ расширения полной полосы АС на конечной ПСК структуре со свойствами искусственного магнитного проводника не указывает предельные границы расширения полной полосы рабочих частот.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки представленной работы.

Диссертация Волкова А.П. является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной **решению актуальной прикладной научной задачи** – улучшению характеристик бортовых антенных систем путем внедрения периодических СВЧ композитных структур.

Диссертационная работа полностью **соответствует требованиям** положения «О порядке присуждения учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Волков Александр Петрович **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Официальный оппонент, доктор-физико-математических наук, профессор кафедры «Математическая физика», заведующий лабораторией вычислительной электродинамики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова.

А.С. Ильинский

Личную подпись Ильинского Анатолия Серафимовича заверяю:

Декан факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова

Академик РАН, профессор

12.05.2017



Е.И. Моисеев

Адрес организации: 119991 ГСП-1 Москва,

Ленинские горы, ФГБОУ ВПО МГУ имени М.В. Ломоносова,

2-й учебный корпус, факультет ВМК.

Телефон: +7 (495) 939-30-10

e-mail: celd@cs.msu.su