

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора Нечаева Евгения Евгеньевича на диссертацию и автореферат диссертации Милосердова Максима Сергеевича на тему «Бортовая сканирующая широкополосная линейная АР дециметрового диапазона», представленные на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Проблема создания многофункциональных комплексов с фазированными антенными решетками (ФАР), использующими единое излучающее полотно для нескольких бортовых систем – важная и **актуальная задача**. Специфика бортовых систем связана с особенностями размещения и выделенными габаритными размерами на борту воздушного судна.

В работе автором ставится задача размещения широкополосной линейной ФАР дециметрового диапазона в передней кромке отклоняемого «носка» крыла самолёта под радиопрозрачным обтекателем. Антенная решетка должна использоваться в системах радиолокации и государственного опознавания. Габаритные размеры полости крыла, в которой размещается ФАР, по высоте и глубине не превышают четверти длины волны на нижней границе рабочего диапазона. С учётом малых габаритных размеров полости крыла, сильного влияния между элементами конструкции крыла и излучающими элементами решетки, широкой рабочей полосы частот и большого сектора сканирования, решение поставленной задачи является достаточно сложным.

С точки зрения практической реализации автор выбрал принцип построения антенной решетки, основанный на использовании широкополосных излучающих элементов. Для исключения появления дифракционных лепестков в диаграмме направленности антенны шаг решетки выбран исходя из рабочего диапазона частот и требуемого угла сканирования.

В качестве широкополосных излучателей ФАР автором рассмотрены два типа антенн: логопериодическая антенна и широкополосный печатный монополярный излучатель.

Требуемое уменьшение габаритов логопериодической антенны выполнено путём размещения её структуры на диэлектрической подложке с высокой диэлектрической проницаемостью и использования диэлектрических покрытий.

С учётом влияния элементов конструкции крыла и радиопрозрачного обтекателя автор провёл оптимизацию структуры ФАР с логопериодическими излучателями, используя генетический алгоритм. Моделирование электродинамических характеристик 12-ти элементной линейной ФАР было проведено методом конечных разностей во временной области. Во втором разделе диссертации и автореферате приведены характеристики согласования и направленности в полосе частот (1...1,6 ГГц) и секторе сканирования $\pm 45^\circ$ от нормали к оси антенной решётки.

В третьем разделе диссертации автор предложил использовать в качестве излучающего элемента ФАР печатный двухрезонансный монополь, размещенный под радиопрозрачным обтекателем в переднем «носке» крыла. Было проведено численное моделирование линейной ФАР и оптимизация структуры антенны генетическим алгоритмом. По оценкам автора характеристики исследованных антенных решёток оказались близки друг к другу, но антенна с монополярными излучателями более компактна и технологична.

В четвертом разделе диссертационной работы проведена оценка влияния элементов конструкции воздушного судна на характеристики ФАР. Гибридным методом, объединяющим метод моментов и метод физической оптики, было проведено численное моделирование характеристик ФАР с учётом влияния крыла самолета. Расчёты показали, что с учётом влияния крыла форма диаграммы направленности изменяется. При синфазном возбуждении АР в диаграмме направленности появляются различия на уровне -25дБ, а при отклонении луча на 45° от нормали к оси АР – на уровне -15дБ.

В этом же разделе диссертационной работы представлены диаграммы обратного рассеяния ФАР из логопериодических и монопольных излучателей, работающих в диапазоне частот 1...1,6 ГГц при облучении волной сантиметрового диапазона в полосе частот 8,5...12,5 ГГц. Для расчёта диаграмм обратного рассеяния применялось численное моделирование методом конечных разностей во временной области и методом конечных элементов.

Итак, все задачи, поставленные в диссертационной работе, решены. Математическое моделирование, выбранное автором в качестве основного метода исследования, обеспечило достоверность полученных результатов.

Корректный выбор моделей антенных систем с постановкой соответствующих электродинамических задач, использование апробированных численных методов решения, проведение численного моделирования различными методами и сопоставление полученных результатов, тестирование алгоритмов моделирования позволяют считать, что основные положения, выносимые на защиту (с. 5 автореферата, с. 9-10 диссертации), являются **достаточно обоснованными и достоверными.**

Результаты работы представляют **научную новизну**, которая заключается в разработанных научно-обоснованных технических решениях, позволивших разместить линейную ФАР в условиях ограниченных габаритных размеров и возникновения резонансных явлений в конструктивных элементах «носка» крыла самолёта, при обеспечении требуемых электродинамических характеристик антенной системы.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что разработанные в диссертации технические решения и подходы в области проектирования антенных решеток могут быть использованы для создания многофункциональных и широкополосных бортовых систем.

Результаты работы внедрены. Они вошли в эскизный технический проект ОКР «Разработка электродинамической модели и численное моделирование широкополосной системы излучения ФАР на основе широкополосных

излучателей», проведенной НИИ приборостроения им. Тихомирова (г. Жуковский) в рамках выполнения ОКР «Подкова» ФЦП Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, о чем свидетельствует акт о внедрении.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации диссертации **опубликованы** в 11 печатных работах, в том числе 5-и статьях в журналах и сборниках (из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК РФ) и 6-и тезисах докладов на российских и международных конференциях.

Содержание диссертации **соответствует** содержанию опубликованных работ. Существенных замечаний к качеству оформления диссертации и изложению материала нет.

Содержание автореферата **соответствует** содержанию диссертации.

Тема диссертации **соответствует** заявленной научной специальности.

Замечания по диссертационной работе.

1. В диссертации исследован частный случай ФАР – линейная антенная решетка. Автором не даны пояснения по характеру изменения КНД и ширины ДН при сканировании (рис.4 и рис.8 автореферата, рис. 2.35 и рис. 3.24 диссертации).

2. Основные результаты получены автором методами численного моделирования. Для полного подтверждения достоверности результатов необходима экспериментальная проверка макетов АР на основе рассмотренных излучающих элементов.

3. Автором не обосновано использование генетического алгоритма оптимизации.

4. В работе приведена оценка эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) двух линейных ФАР, но не предложены меры по снижению ЭПР.

5. Не уделено внимание выбору амплитудно-фазового распределения. Характеристики ФАР, представленные в работе, рассчитаны только для равномерного распределения.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной **решению актуальной прикладной научной задачи** – разработка малогабаритной широкополосной ФАР дециметрового диапазона с рабочей полосой частот 1-1,6 ГГц, сканирующей в секторе углов $\pm 45^\circ$, размещаемой в ограниченном объеме и предназначенной для антенной системы, выполняющей функции РЛС и государственного опознавания.

Диссертационная работа полностью **соответствует требованиям** положения «О присуждении учёных степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержит новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, и соответствует профилю специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (технические науки), а её автор – Милосердов Максим Сергеевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Рабочий адрес: 125993 г. Москва, Кронштадтский б-р, д. 20, МГТУ ГА

Рабочий телефон: 8(499) 457-70-59

Адрес электронной почты: eenetchaev@mail.ru

Заведующий кафедрой

«Управление воздушным движением» МГТУ ГА

Е.Е. Нечаев

Подпись Е.Е. Нечаева заверяю

Проректор МГТУ ГА по НР и И



В.В. Воробьев