

О Т З Ы В

официального оппонента о диссертационной работе Милосердова Максима Сергеевича «Бортовая сканирующая широкополосная линейная АР дециметрового диапазона», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Большое число радиолокационных задач, решаемых аппаратурой современных летательных аппаратов (ЛА), особенно военного назначения, обуславливает размещение на борту разнообразных радиотехнических комплексов (РТК), функционирующих на различных несущих частотах, что в соответствии со сложившейся ранее практикой требовало, вообще говоря, размещения на внешней поверхности ЛА соответствующего числа антенн. Эта потребность при значительном числе РТК приводит к проблемам как с выбором подходящих мест для размещения собственно антенн, так и с обеспечением допустимого уровня радиозаметности ЛА в целом. Одним из эффективных путей преодоления этого противоречия является комплексирование аппаратуры РТК и их антенн, вопросы которого хотя и обсуждаются уже не один десяток лет, далеко ещё не решены в достаточной мере и продолжают оставаться в повестке дня. Следовательно, развитие многофункциональных радиотехнических систем и комплексов с единой широкополосной антенной весьма важно как для реализации ЛА, так и для улучшения их тактико-технических характеристик. Поэтому тему диссертационной работы Милосердова М.С., посвящённую решению задачи комплексирования ряда бортовых РТК на базе общей широкополосной линейной фазированной антенной решетки (ФАР), следует признать **актуальной**.

Основные результаты диссертационной работы относятся к разработке 12-элементной широкополосной линейной ФАР с полосой рабочих частот 1...1,6 ГГц и сектором сканирования $\pm 45^\circ$, пригодной для размещения в передней кромке отклоняемого носка крыла ЛА (типа СУ-

27) под радиопрозрачным обтекателем. Форма и ограниченный доступный объём для размещения ФАР на указанном ЛА, явились теми существенными факторами, которые ограничили или даже исключили для автора выбор известных приемлемых типов и конструкций сверхширокополосных антенных элементов ФАР.

В диссертации М.С. Милосердовым поставлены и решены следующие взаимосвязанные задачи:

- определены принципы построения широкополосной ФАР;
- рассмотрены способы снижения габаритных размеров приемлемых для поставленной задачи излучающих элементов;
- реализована оптимизация геометрических размеров малогабаритных печатных излучателей двух типов: логопериодического и монопольного;
- проведено моделирование КСВН и характеристик излучения 12-элементной ФАР с указанными антенными элементами в секторе сканирования $\pm 60^\circ$;
- проведена оценка влияния корпуса ЛА – носителя ФАР, на характеристики антенны с логопериодическим и монопольным излучателями;
- проанализированы и предложены технические решения, допускающие размещение излучающего полотна линейной ФАР в заданных, крайне ограниченных, габаритных размерах.
- оценена диаграмма обратного рассеяния исследованной ФАР с излучателями обоих выбранных типов.

В процессе проведенных исследований Милосердова М.С. получен ряд новых научных и практических результатов, основными из которых являются, на мой взгляд, следующие:

- на основе численного моделирования ряда технических мер по уменьшению габаритных размеров модифицированных схем известных широкополосных излучателей, предложено два типа антенных элементов ФАР, допускающих размещение в пределах допустимого поперечного сечения $0,25\lambda_{\max} \times 0,25\lambda_{\max}$ кромки крыла семейства самолётов СУ-27 и удовлетворяющих предъявленным ограничениям к характеристикам излучения ФАР в заданных полосе частот и секторе сканирования;
- для каждого из антенных элементов (логопериодического типа и двухрезонаторного монополя) методом конечных разностей во временной области проведено численное моделирование характеристик излучения 12-элементной ФАР на их основе, а проведенная при помощи генетического алгоритма оптимизация их геометрических параметров привела к увеличению ширины полосы рабочих частот на 200...300 МГц (по критерию $K_{СВН} \leq 3$) и увеличению КУ на 0,5 дБ в области верхних частот рабочей полосы по сравнению с начальным вариантом ФАР;
- выявлено и учтено влияние элемента конструкции носка крыла семейства самолётов СУ-27 на величину смещения центральной частоты обоих вариантов антенных элементов ФАР;
- для обоих типов антенных элементов проведен, посредством комбинации метода моментов и физической оптики, трудоемкий расчет диаграммы направленности ФАР с учётом влияния крыла рассмотренного семейства ЛА..

Достоверность полученных результатов обусловлена строгой электродинамической постановкой соответствующих задач, использованием для их решения апробированного математического аппарата и численных методов, сопоставлением и хорошей корреляцией результатов, полученных разными численными методами, а также

тестированием использованных алгоритмов моделирования на модельных задачах с известными решениями.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке математического аппарата комплексного исследования большинства характеристик линейной широкополосной ФАР с учетом взаимного влияния её излучающих элементов и конструктивных частей носка крыла самолёта-носителя.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в разработке комплекса технических решений, позволивших в два раза уменьшить габаритные размеры известных широкополосных излучателей и, тем самым, разместить 12-элементную линейную ФАР с заданными характеристиками излучения в ограниченном пространстве носка крыла СУ-27 с радиопрозрачным обтекателем. Учитывая возможные дальнейшие практические приложения модифицированных автором излучателей, целесообразно рекомендовать ему оформить на них авторское свидетельство.

Важную значимость для практики имеют также полученные Милосердовым М.С. оценки моностатической и бистатической эффективной поверхности рассеяния разработанной ФАР с логопериодическими и монополярными антенными элементами при облучении электромагнитной волной в полосе частот 8,5...12,5 ГГц.

Прямой практической ценностью проведенного исследования явилось включение полученных его автором результатов в эскизный технический проект составной части опытно-конструкторской «Разработки электродинамической модели и численного моделирование широкополосной системы излучения ФАР на основе широкополосных излучателей», шифр «Подкова-М1», проведенной НИИ приборостроения им. Тихомирова (г. Жуковский), что подтверждено соответствующим актом внедрения.

Основные положения и выводы диссертации опубликованы в 5 статьях, 3 из которых – в изданиях из Перечня ВАК, а также апробированы на 6-ти российских и международных научно-технических конференциях 2011-2012 гг.

Содержание автореферата достаточно полно отражает основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Следует отметить, что диссертация не свободна от несогласованностей текста и недостатков, наиболее заметными из которых являются, на мой взгляд, следующие:

1. Результаты численного моделирования не подтверждены натурными испытаниями реального антенного устройства.

2. Рассмотрено только равномерное амплитудно-фазовое распределение токов в элементах ФАР, что не всегда приемлемо с точки зрения требуемого уровня боковых лепестков ДН.

3. Не пояснено, к каким классическим вариантам излучателей апеллирует автор, по сравнению с которыми ему удалось уменьшить их габариты в два раза.

4. Отсутствуют сведения о кросс-поляризационных составляющих ДН предложенных вариантов ФАР.

5. Утверждение, что рассеянное поле на частотах вне рабочих частот ФАР определяется лишь структурной составляющей (стр. 135), верно лишь частично: антенные элементы могут резонировать и на гармониках.

6. В основном все полученные в диссертации результаты относятся к 12-элементной ФАР, а на рис. 1.4 (стр. 21) приведена функциональная схема 16 – элементной; угол стреловидности крыла самолёта СУ-27 на стр. 17 указан 42° , а при оценке ЭПР ФАР (стр. 137) положен равным 49° .

7. Отсутствуют оценки влияния температуры нагрева крыла ЛА в полёте на характеристики излучения ФАР.

Отмеченные недостатки не снижают существенным образом общей положительной оценки диссертации Милосердова М.С., которая является законченной научно-квалификационной работой, содержащей научно-обоснованное комплексное техническое решение по разработке линейной широкополосной многофункциональной ФАР с антенными элементами уменьшенных, по сравнению с ранее известными, габаритов, что допускает размещение такой антенны в носке кромки крыла семейства самолётов СУ-27. Реализация предлагаемого технического решения позволит существенно улучшить тактико-технические характеристики самолёта и расширить функциональные возможности его радиотехнических средств, что имеет существенное значение для развития страны.

Считаю, что данная диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Милосердов Максим Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Официальный оппонент,

ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,

канд. физ.-мат. наук, с.н.с.

В.Ф. Лось
03.09.2014г.

В.Ф. Лось

Место работы: ОАО «Концерн радиостроения «Вега»,
121170, Москва, Кутузовский проспект, 34.

Служебный телефон: 8 (499) 249-43-03.

Электронный адрес: mail@vega.su

Подпись и реквизиты к.ф.- м.н. Лося В.Ф. заверяю

Учёный секретарь ОАО «Концерн радиостроения «Вега»



Н.С. Сидорова