



**Конкурс «Премия «Авиастроитель года»
Номинация «За создание новой технологии»**

Краткое описание выполненных работ, технологий

«Разработка технологии создания сверхширокополосных радиопрозрачных обтекателей на основе структурно-модифицированного фторопласта для станций предупреждения экипажа об облучении и непосредственной радиотехнической разведки, размещаемых на самолетах и вертолетах фронтовой, армейской, дальней авиации и авиации ПВО»

АО «Центральное конструкторское бюро автоматики», 2016 г.

1. Цель

Обеспечение:

- аэродинамических свойств летательных аппаратов;
- радиотехнических характеристик;
- защита от перегрева элементов радиоэлектронной аппаратуры;

Задачи:

- обеспечение боевых возможностей высокоточного оружия (ПРП) и защиты летательного аппарата (СНРТР);
- снижение взаимовлияния комплекса антенн за счет поглощения и рассеивания падающей электромагнитной волны;
- улучшение радиотехнических характеристик антенн (диаграммы направленности, коэффициент усиления, др.);
- разработка технологии 3D-моделирования электродинамики в системе антенна-обтекатель;
- разработка методик измерения и расчета характеристик материалов;
- определение радиотехнических и физико-механических характеристик образцов материалов;

- разработка методики оценки и расчета комплексных характеристик обтекателя;
- изготовление оснастки и образца обтекателя;
- проверка работоспособности системы антенна-обтекатель, проведение физико-механических испытаний.

2. Описание

Важное значение для повышения эффективности и живучести летательных аппаратов в условиях постоянного совершенствование систем ПВО потенциального противника имеет улучшение тактико-технических и эксплуатационных характеристик, размещенных на них станций СПО и СНРТР.

Важным элементом СПО и СНРТР являются сверхширокополосные антенны, технические параметры которых (коэффициент усиления, неискаженность диаграммы направленности), в значительной мере определяют дальность обнаружения и точность измерения угловых координат цели.

Антенный обтекатель, являясь конструктивным элементом сверхширокополосной антенны, предназначен для защиты сверхширокополосных антенн, работающих в диапазоне ультравысоких (УВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частот от влияния климатических факторов, механических, термических и эрозионных воздействий. Жёсткие условия эксплуатации антенных обтекателей в воздушном потоке на сверхзвуковых скоростях до 3М накладывают дополнительные требования по стойкости к аэродинамическому нагреву и воздушно-капельной эрозии при высоких скоростях самолета.

Одновременно антенный обтекатель должен иметь максимально возможный коэффициент прохождения (КП) электромагнитных волн через его стенку во всем диапазоне рабочих частот и вносить минимальные искажения в диаграмму направленности антенны.

Это накладывает ряд требований к конструкции обтекателя, особенно к толщине стенки, к радиофизическим и физико-механическим свойствам материалов, из которых он изготовлен. Обеспечение всех требований,

предъявляемых к тонкостенным радиопрозрачным обтекателям для сверхширокополосных антенн, усложняется тем, что повышение механической прочности, термостойкости, эрозионной устойчивости противоречит интересам радиотехники, приводя к ухудшению радиопрозрачности и искажению диаграмм направленности антенн.

Таким образом, материал для изготовления тонкостенных обтекателей для сверхширокополосных антенн должен иметь минимально возможные значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь для обеспечения максимально возможного коэффициента прохождения при одновременном обеспечении выполнения требований по механической прочности, термостойкости и эрозионной устойчивости.

Сверхширокополосный антенный обтекатель, имеющий полуцилиндрическую или полусферическую поверхность с равной или увеличивающейся к основанию толщиной стенки, изготавливается из структурно-модифицированного политетрафторэтилена и имеет тонкостенную конструкцию с толщиной стенки в центральной части 1,5...3,5 мм. Внешний вид обтекателей показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сверхширокополосные антенные обтекатели для различных типов антенн

Обтекатели разных форм и размеров изготовлены методом механической обработки заготовок структурно-модифицированного фторопласта на станке с ЧПУ.

3. Актуальность

Первоначально антенные обтекатели СПО и СНРТР (далее изделия) предназначались только для механической защиты элементов антенны, так как антенные блоки предполагалось размещать под самолетными обтекателями. Однако такое размещение не обеспечивало заданных точностных характеристик. Вынос антенных блоков в воздушный поток имел два последствия:

- темплен, использовавшийся для антенных обтекателей не выдерживал воздействия солнечной радиации;
- обтекатели разрушались вследствие воздушно-капельной эрозии при высоких скоростях самолета.

Внедрение многослойного лакокрасочного покрытия обтекателей из темплена, разработанного ВИАМ, позволило увеличить сроки эксплуатации обтекателей, но окончательно проблема эрозионной стойкости не была решена, что требовало укомплектования ЗИП аппаратуры значительным количеством обтекателей для их замены в эксплуатации. Положение осложнялось прекращением производства темплена с 1997 г. без перспектив его возобновления. Фото обтекателя с разрушенным многослойным лакокрасочным покрытием и частичным разрушением материала обтекателя в результате воздействия воздушно-капельной эрозии при высоких скоростях самолета показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обтекатель с разрушенным многослойным лакокрасочным покрытием

Для замены темпленя был опробован ряд материалов, в том числе фторопластовые, полиуретановые, кремнийорганические и поликарбонатные композиционные полимеры. В результате проведенных испытаний, в том числе во ВНИИЭРАТ, для изготовления обтекателей был выбран поликарбонат модифицированный дисульфидом молибдена. Обтекатель, состав композитного материала, технология изготовления защищены патентом РФ № 2292101 от 20.01.2007г.

Обтекатели из модифицированного поликарбоната применялись на всех выпускавшихся в тот период времени вариантах изделий.

Антенный обтекатель из прочного модифицированного поликарбоната с добавлением дисульфида молибдена при толщине стенки 2 мм имел достаточную прочность и являлся наиболее эрозионно-устойчивым по сравнению с другими вариантами обтекателей. Недостатком этого обтекателя являлись повышенные диэлектрическая проницаемость ($2,7 \div 3,1$) и тангенс угла диэлектрических потерь ($0,007 \div 0,009$) материала обтекателя, что приводило к уменьшению коэффициента прохождения электромагнитных волн обтекателя до 0,83 и ухудшению радиотехнических характеристик антенны, особенно в области верхних частот СВЧ диапазона. Кроме того, термостойкость обтекателя $+130^{\circ}\text{C}$ была

недостаточной для очень жёстких условий эксплуатации при высоких скоростях полета летательного аппарата (кратковременное воздействие температуры до +290°C).

Применение фторопласта-4 и композиций на его основе, отвечающих требованиям по стойкости к высокотемпературным воздействиям, ограничивалось чрезвычайно низкой радиационной стойкостью, значительно снижающей механическую прочность при относительно низких поглощенных дозах.

ФГУП НИФХИ им. Л.Я. Карпова был разработан структурно-модифицированный политетрафторэтилен (фторопласт, марки Ф-4РМ), применяемый как триботехнический материал для поршневых колец, подшипников, манжет, вкладышей, уплотнителей, который был применен в качестве материала для изготовления тонкостенных антенных обтекателей. Фторопласт Ф-4РМ, полученный путем высокотемпературной физико-химической обработки фторопласта Ф-4, обладает высокой износостойкостью – в 10 тысяч раз выше, чем у исходного материала, повышенной радиационной стойкостью – в сто и более раз, сниженной ползучестью – в стои более раз.

Сравнительные физико-механические и радиотехнические свойства диэлектрика фторопласта Ф-4РМ и поликарбоната ПК-М2 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры	Фторопласт Ф-4РМ	Поликарбонат ПК-М2
Прочность при разрыве, МПа	100	57
Относительное удл., %	100-250	60
Ударная вязкость, КДж/см ²	Не разрушается более 100	30
Диэлектрическая проницаемость	2,1 – 2,2	2,7-2,8
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0002 – 0, 0003	0, 007 – 0,009
Модуль упругости при сжатии, МПа	600	83
Термостойкость	- 190 ÷ +260°C	-60 ÷ +130°C

Проведённые испытания Ф-4РМ на динамическое воздействие твёрдых частиц показали, что эрозионная устойчивость обтекателя из структурно-модифицированного политетрафторэтилена выше, чем у обтекателя из поликарбоната. Скорость весового уноса для обтекателя из Ф-4РМ составила 0,0002 г/сек против 0,0018 г/сек для обтекателя из поликарбоната.

4. Текущий статус – достигнутые результаты

Были проведены лабораторные механические и климатические испытания антенн с установленными на них обтекателями из структурно-модифицированного политетрафторэтилена марки Ф-4РМ:

- на прочность при воздействии широкополосной случайной вибрации;
- испытание на воздействие циклического изменения температур от -60°C – 2 часа, до $+85^{\circ}\text{C}$ – 2 часа, 10 циклов;
- на воздействие повышенной влажности $98\pm 2\%$, 6 циклов;
- на воздействие пониженной температуры среды -60°C – 2 часа;
- на воздействие повышенной температуры среды $+85^{\circ}\text{C}$ – 2 часа, $+185^{\circ}\text{C}$ – 30 минут, кратковременно в течение 7 минут – $+290^{\circ}\text{C}$.

После каждого испытания проводился осмотр тонкостенных антенных обтекателей, изготовленных из Ф-4РМ, и контролировалась работоспособность антенн (измерялся коэффициент стоячей волны (КСВН)). Антенны и обтекатели из Ф-4РМ испытания успешно выдержали.

Сравнительная проверка КП тонкостенных антенных обтекателей из Ф-4РМ и из поликарбоната показала, что на частоте 10 ГГц КП обтекателей из Ф-4РМ составил 92% по сравнению с обтекателями из поликарбоната, имеющими КП равный 83%.

Применение структурно-модифицированного политетрафторэтилена в качестве материала радиопрозрачного тонкостенного антенного обтекателя вместо поликарбоната позволило улучшить РТХ антенны в верхней части СВЧ диапазона:

- коэффициент усиления увеличился до 1,5 раз;

- минимальный коэффициент эллиптичности улучшился в 1,1 раза;
- минимальная ширина диаграмм направленности увеличилась на $4 \div 20^\circ$;
- уровень боковых лепестков диаграмм направленности уменьшился в $1,5 \div 2,2$ раза.

При этом коэффициент перекрытия рабочего диапазона частот антенны с обтекателем не менее 20. На рисунке 3 приведены графики коэффициента усиления антенны с обтекателями из структурно-модифицированного политетрафторэтилена и материала поликарбонат. Видно, что антенна с обтекателем из структурно-модифицированного политетрафторэтилена имеет больший коэффициент усиления, чем с обтекателем из материала поликарбонат. На рисунках 4 и 5 представлены диаграммы направленности антенны на одной и той же верхней частоте рабочего диапазона частот с обтекателями из структурно-модифицированного политетрафторэтилена и материала поликарбонат. Из приведённых графиков видно, что диаграммы направленности антенны с обтекателем из материала поликарбонат искажены, имеют двугорбость, в то время как диаграммы направленности антенны с обтекателем из структурно-модифицированного политетрафторэтилена имеют удовлетворительную, практически монотонную форму.

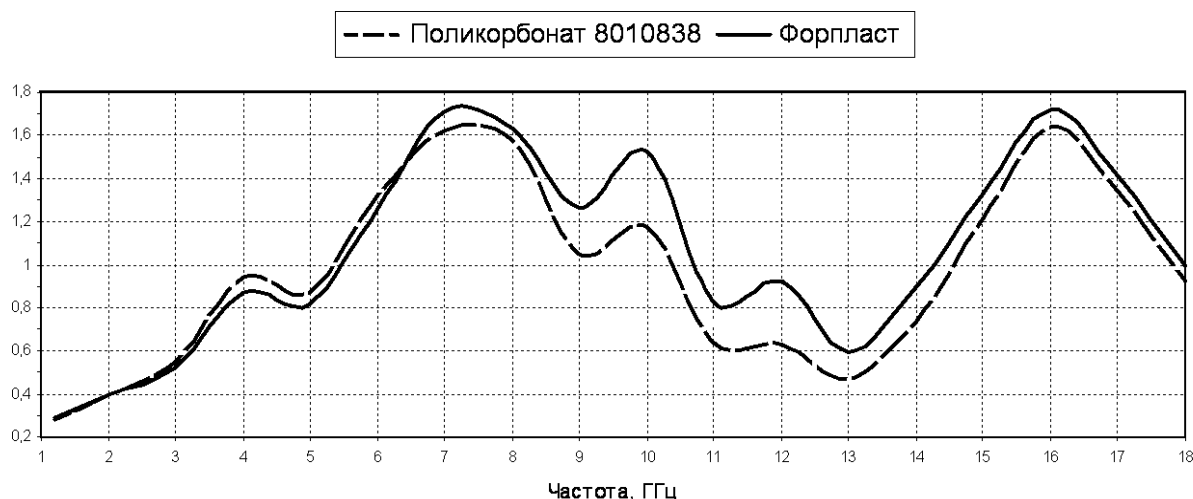


Рисунок 3 – Коэффициент усиления антенны в диапазоне 1,2-18,0 ГГц

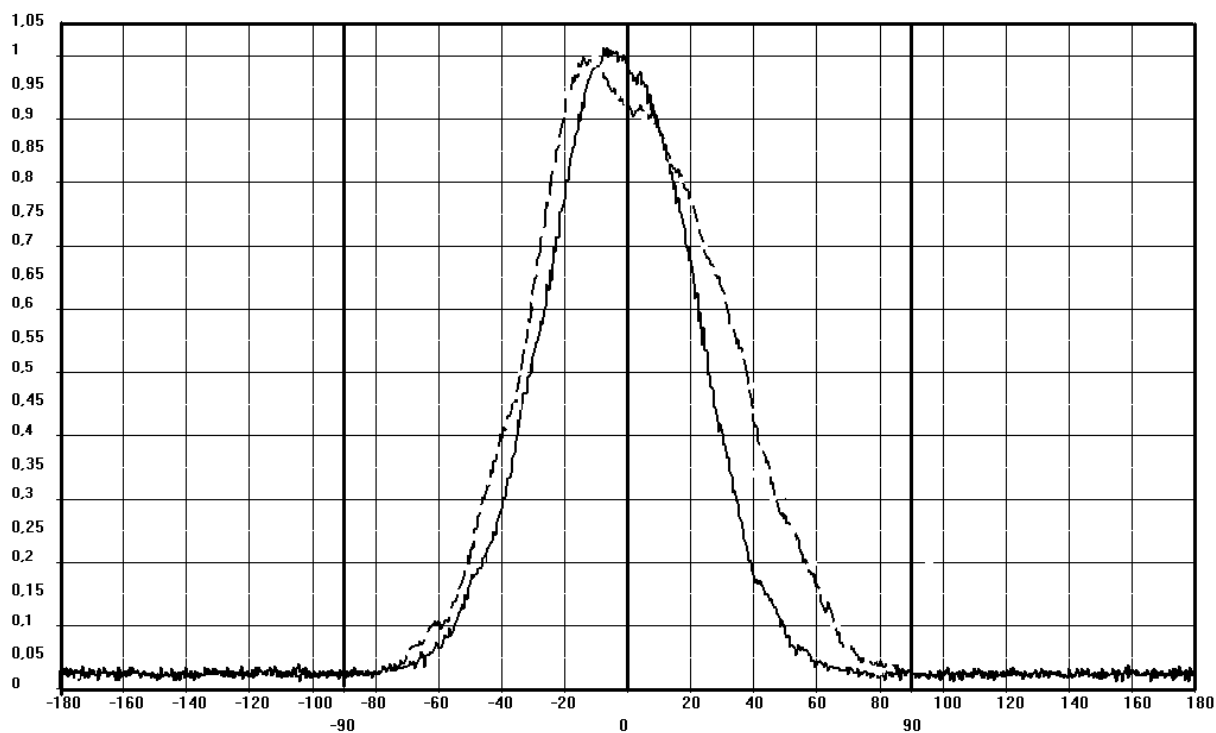


Рисунок 4 – Диаграмма направленности антенны на верхней частоте рабочего диапазона частот с обтекателями из структурно-модифицированного политетрафторэтилена

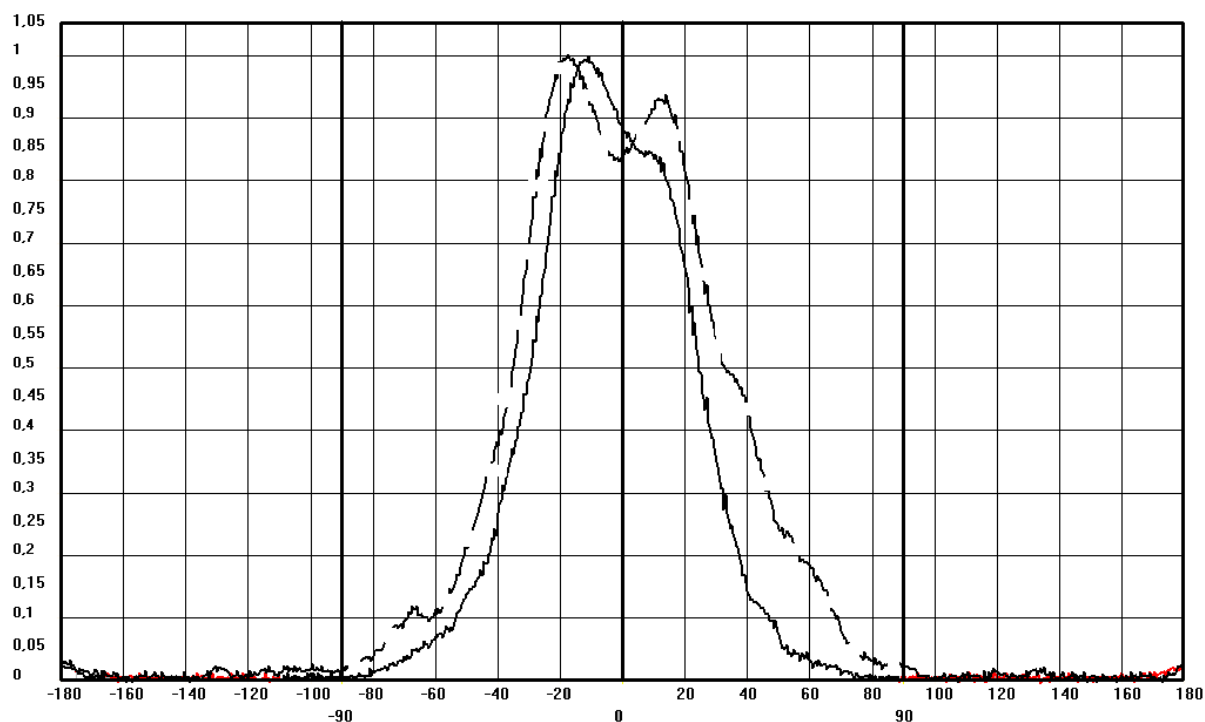


Рисунок 5 – Диаграмма направленности антенны на верхней частоте рабочего диапазона частот с обтекателями из материала поликарбонат

Результаты проведенных испытаний подтвердили, что структурно-модифицированный фторопласт Ф-4РМ обладает комплексом уникальных эксплуатационных характеристик и является перспективным для авиационной промышленности. В частности, его применение позволило улучшить эксплуатационно-технические характеристики радиопрозрачного тонкостенного антенного обтекателя: повысить его термостойкость, прочность и эрозионную устойчивость с одновременным улучшением коэффициента прозрачности и улучшением РТХ защищаемой антенны.

Проверка тонкостенных антенных обтекателей из Ф-4РМ в натуральных условиях на летательном аппарате со скоростями 2,5 – 3М, подтвердила их прочность, термостойкость и эрозионную устойчивость при самых жёстких условиях эксплуатации.

В настоящее время антенны со сверхширокополосными радиопрозрачными тонкостенными обтекателями из Ф-4РМ в составе различных вариантов опытных и серийных изделий, размещенных на:

- самолетах: СУ-24, СУ-27, СУ-30, Су-33, СУ-35, МИГ-29, МИГ-31, МИГ-35, ИЛ-76, ИЛ-112В, ТУ-22М3, ТУ-95МС, ТУ-160, А-100;
- вертолетах: КА-27, КА-50, КА-52, КА-252, МИ-28, МИ-28НМ, МИ-35.

5. Выгоды от реализации

Разработка и внедрение в производство сверхширокополосных антенных обтекателей из структурно-модифицированного политетрафторэтилена позволили:

- улучшить радиотехнические и эксплуатационные характеристики антенн и соответственно аппаратуры, в которых они используются;
- исключить замену обтекателей в эксплуатации.

На основе опыта, накопленного АО «ЦКБА» в разработках и успешном применении сверхширокополосных антенных обтекателей из структурно-модифицированного политетрафторэтилена на разных самолетах и вертолетах была выполнена разработка и изготовление экспериментального обтекателя из

структурно-модифицированного политетрафторэтилена для головки самонаведения авиационной ракеты. Изготовленный экспериментальный образец обтекателя соответствует заданным радиотехническим требованиям.

Выполнение данной работы позволит расширить функциональные возможности авиационной техники при возрастающих эксплуатационных требованиях, в том числе для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов.

<p>Шифры и наименования образцов ВВТ, в интересах которых создаётся технология</p>	<p>Перспективные станции непосредственной радиотехнической разведки (СНРТР) для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перспективных авиационных комплексов дальней авиации (ПАК ДА); - перспективных вертолетов Ми-Х1, Ка-92, Ми-35; - перспективных штурмовиков (ПСШ). <p>Перспективные противорадиолокационные ракеты (ПРР) классов «воздух-поверхность», «воздух-воздух»</p>
<p>Элементы конструкций образцов ВВТ, в которых будет использована технология</p>	<p>1) Перспективные станции непосредственной радиотехнической разведки (СНРТР):</p> <ul style="list-style-type: none"> - антенные блоки; <p>2) Пассивные радиолокационные головки самонаведения (ПРГС) перспективных ПРР:</p> <p>Головной отсек ПРР:</p> <ul style="list-style-type: none"> - платформа с комплексом сверхширокополосных антенных устройств; - конструкция сверхширокополосных антенных устройств; - конструкция стенки обтекателя, обтекатель, система антенна-обтекатель.

Выполненные работы защищены 6 патентами:

№ 2292101 от 20.07.2007г.

№ 2420838 от 10.06.2011г.

№ 2500057 от 27.11.2013г.

№ 2448383 от 20.04.2012г.

№2422954 от 27.06.2011г.

№2530264 от 12.08.2014г.



6. Дополнительная информация

В отечественной печати широко освещены данные о проделанной работе:

1. Сборник докладов III общероссийской научно-технической конференции «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем». Омск, ЦКБА, 2010. С.97-103.
2. Современная электроника. 2011. № 6. С. 10-13.
3. Труды Международной конференции «Радиотехника, электроника и связь «РЭС-2011»». Изд. Радиотехника, 2011. С. 470-477.
4. Новые технологии. Материалы VIII Всероссийской конференции. М; РАН, 2011. С.36-45.
5. Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. Материалы V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омск. Ом ГТУ. 2013.С. 118-122.
6. «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем»: сб. док. науч.-тех. конф. – Омск: Изд-во Ом ГТУ, 2008.
7. Материалы совещания «САП России» – август 2015г.

7. Контактная информация

ОАО «ЦКБА», проспект Космический, 24а, г. Омск, Россия, 644027

Контактное лицо: начальник научно-инновационного отдела Ефанов Владимир Иванович

Тел.: (3812) 53-98-50, факс: (3812) 57-19-84, e-mail: ckba@omsknet.ru