

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ

Кисель В.Н. *¹, Кожеко А.С.^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, Москва, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 12.01.2023

Одобрена после рецензирования 01.02.2023

Принята к публикации 14.03.2023

Аннотация

Известно, что отражение от полостей, в частности от воздухозаборника реактивного двигателя, может определять радиолокационную заметность современного самолета. Радиомаскировку воздушного канала можно обеспечить нанесением радиопоглощающего покрытия на внутреннюю поверхность его стенок. При этом оптимальный выбор параметров материалов, входящих в состав покрытия, представляет собой непростую задачу из-за особенностей распространения электромагнитной волны в полости, в частности, сложных дифракционных эффектов. В ИТПЭ РАН разработан способ выбора параметров покрытия на основе энергетических соображений, критерием которого служит величина мощности, передаваемой от электромагнитной волны в объем покрытия. Путем выбора его параметров можно добиться наибольшего оттока энергии от электромагнитной волны, распространяющегося вдоль плоскости с покрытием. Использование предложенной в работе характеристики в виде интегрального коэффициента отражения от покрытия дает возможность оптимизации параметров покрытия в требуемом частотном диапазоне. В работе представлено развитие этого способа для случая, когда требуется оптимизировать параметры покрытия в заданных частотном и угловом диапазонах, а также с учетом криволинейных границ полости. Представлены результаты доработки расчетной модели воздухозаборника, которые позволяют получить интегральные оценки эффективности покрытий с учетом особенностей электромагнитного возбуждения отдельных элементов поверхности стенок полости, обсуждаются результаты расчетов.

Ключевые слова: дифракция, энергия, полость, радиопоглощающее покрытие, коэффициент отражения

EDN AZFGDK

Введение

Исследованию радиолокационных характеристик полостей, в частности, таких как сопло или воздухозаборник реактивного двигателя летательного аппарата (ЛА), уделяется большое внимание, поскольку отражение от силовой установки (СУ) может определять общую эффективную поверхность рассеяния (ЭПР) малозаметных ЛА. Так, по данным [1]-[3], при ракурсах облучения/наблюдения, близких к оси СУ, ее вклад может составить 60...80 % мощности рассеянного сигнала. В типовых условиях дальнейшее радиолокационное обнаружение цели или захват цели средством поражения производится при облучении именно с указанных направлений.

Экспериментальное изучение рассеивающих свойств СУ является трудоемким, дорогостоящим и длительным процессом. Поэтому при проектировании перспективных образцов ЛА со сниженной заметностью необходимо провести предварительное теоретическое исследование взаимодействия электромагнитного поля с элементами и узлами, составляющими воздушные каналы (ВК), входную и выходную части двигателя.

Одно из наиболее характерных явлений – многократные переотражения в канале – определяет

* Автор, ответственный за переписку: Владимир Николаевич Кисель, kis_v@mail.ru

максимальные значения ЭПР СУ в широком секторе углов. Хорошей иллюстрацией этому может служить фронтальный вид СУ, размещенной в воздухозаборнике (рисунок 1). На представленной фотографии видно, что поле обратного рассеяния СУ во многом определяется отражением системы стоек в стенках канала.

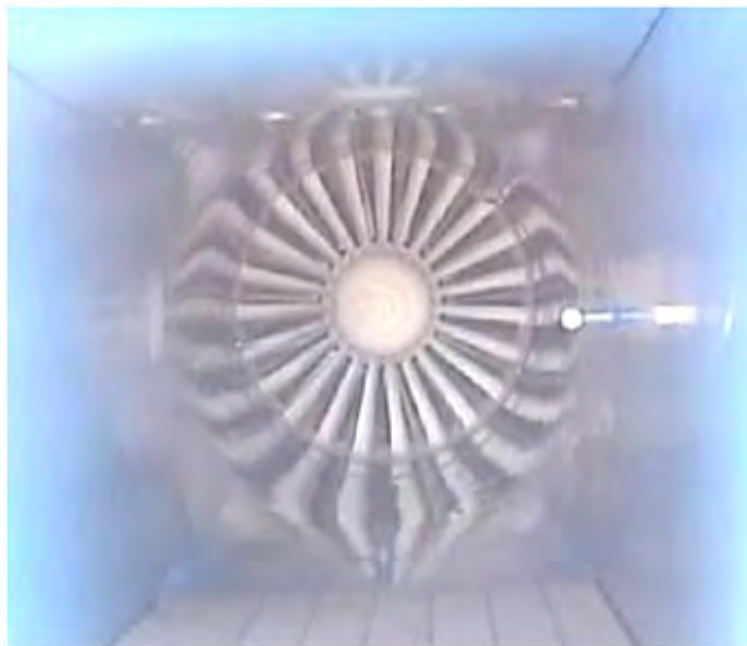


Рисунок 1 – Система стоек и ее отражения в стенках воздушного канала

Законы этого отражения близки к оптическим при коротких длинах волн (для типичных размеров воздушного канала – порядка нескольких сантиметров и менее). Поэтому не удивительно, что в периодике [4], а позднее — в ставших классическими справочниках (например, [5]) зафиксировано, что ЭПР полости непосредственно определяется ее нагрузкой, т.е. элементами двигателя.

Применение радиопоглощающего покрытия (РПП) на стенках полости сопла является одним из очевидных путей снижения ЭПР СУ в задней полусфере. Но если диаметр полости многократно превосходит длину волны, то эффект от нанесения покрытия может быть замечен лишь в том случае, когда устранена прямая видимость основного рассеивающего элемента – выходного устройства двигателя.

Это можно сделать, применяя изогнутые (например, S-образные) воздушные каналы, на внутреннюю поверхность которых нанесено РПП. Для расчета прохождения волны вдоль изогнутого канала со сложной формой изгиба, с переменным (вдоль осевой линии) поперечным сечением, требуется применять специальные, достаточно универсальные и в то же время точные алгоритмы, основанные на численных методах расчета электромагнитных полей. Необходимая точность расчетных моделей была достигнута за счет перехода от лучевых приближений к интегральным представлениям полей, с помощью которых удастся учесть дифракционные эффекты. В то же время способ не требует составления интегрального уравнения и его численного решения в явном виде, что и объясняет его вычислительную эффективность. В основе методики лежит процедура итерационного уточнения распределения поверхностного тока на стенках полости, который определяется согласно принципам физической оптики [6]. Основной особенностью методики, разработанной в ИТПЭ РАН, является то, что для получения достаточной вычислительной эффективности внутренний объем полости канала разбивается на несколько волноведущих частей (секций), соединенных последовательно ([7]... [10]). Экономия вычислительных ресурсов достигается за счет того, что прохождение падающей и отраженной от нагрузки (вторичной) волн рассматривается для каждой секции в отдельности. Это допустимо на относительно высоких частотах, когда приближение Кирхгофа обеспечивает необходимую точность, и можно пренебречь краевыми эффектами (рассеянием на кромке, которая все равно укрывается РПП) и дополнительным взаимодействием между различными секциями. В результате время расчета почти линейно зависит от длины волноводной части (количества секций). Применение ряда специальных вычислительных приемов обеспечивает дополнительное улучшение эффективности алгоритма. Он был реализован в виде пакета вычислительных программ и показал хорошие результаты как по экономичности, так и по точности расчета полей рассеяния на полостях различной формы. В рамках описанного алгоритма реализован и учет радиопоглощающего покрытия, нанесенного на внутренние стенки воздушного канала. Покрытие моделируется путем введения эквивалентного импеданса. Применение методов параллельного

программирования позволило эффективно использовать для проведения вычислений современные многопроцессорные компьютеры.

Расчет рассеяния на сложной нагрузке (лопастной структуре) реализован на основе строгого метода ИУ, численная реализация решения проводилась методом Галеркина с сочетанием крышеобразных и кусочно-постоянных базисных и весовых функций. В результате применения общего способа учета поворотной симметрии многогранных тел, предложенного проф. Е.Н. Васильевым [11], получен набор ИУ относительно Фурье-гармоник распределения тока на лопастях, причем областью интегрирования в каждом из ИУ является площадь одной лопасти, чем и обусловлена высокая вычислительная эффективность алгоритма.

1. Вопросы выбора параметров покрытий стенок полости

Поглощающие (радиомаскирующие) свойства ВК обеспечиваются нанесением РПП на внутреннюю поверхность его стенок. Оптимальный выбор параметров материалов, входящих в состав РПП, представляет собой непростую задачу. Например, известно, что выбор покрытия стенок полости на основе чисто геометрооптических представлений может не дать оптимальных результатов при реальных соотношениях размеров воздушного канала и длины волны. Объясняется это особенностями распространения электромагнитной волны в полости, в частности, сложными дифракционными эффектами. Тем не менее, данные о коэффициенте отражения и эквивалентном импедансе РПП могут служить хорошей отправной точкой для последующего уточнения выбора покрытия в ходе электродинамического моделирования.

Поверхностный импеданс Z представляет собой отношение касательных компонент векторов электрического и магнитного полей вблизи поверхности покрытия, нормируется к волновому сопротивлению свободного пространства и является комплексной величиной. Он зависит от структуры слоев, радиофизических параметров материалов РПП (диэлектрической и магнитной проницаемостей), толщины и т.д. Как было установлено ранее [12], при падении P -поляризованной волны (случай «параллельной» поляризации, когда вектор E лежит в плоскости падения) на стенке ВК под небольшими углами (приосевые ракурсы облучения) максимальное поглощение энергии электромагнитной волны в покрытии будет происходить, если $Re(Z) \approx 0,15 \dots 0,3$ и $Im(Z) = 0,05 \dots 0,2$. Однако при падении волны почти перпендикулярно стенке для достижения малого отражения значение вещественной части нормированного импеданса необходимо увеличивать, вплоть до величин $Re(Z) \approx 1$. Эти цифры являются ориентиром для выбора, например, оптимальной толщины покрытия при заданном материале с определенными значениями диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей.

В качестве иллюстрации диапазонных свойств покрытий для внутренних стенок полости были выбраны два варианта РПП, ниже обозначенные как М1 и С1. Параметры покрытий приведены в таблице 1, а на рисунке 2 показаны угловые зависимости коэффициентов отражения этих покрытий в трех частотных диапазонах, здесь θ – угол между направлением падения волны и нормалью к поверхности РПП.

Таблица 1 – Электрофизические характеристики РПП

Длина волны, мм	Покрытие	Относительная диэлектрическая проницаемость материала ϵ	Толщина покрытия, мм	Эквивалентный нормированный поверхностный импеданс	Коэффициент отражения по нормали, дБ
32	М1	26,0–i16,0	2,0	0,235–i0,06	–4,1
	С1	150–i70	1,7	0,08+i0,042	–1,4
55	М1	30,0–i20,5	2,0	0,24+i0,25	–4,2
	С1	170–i70	1,7	0,05–i0,024	–0,9
100	М1	35,0–i28	2,0	0,03+i0,15	–0,5
	С1	190–i70	1,7	0,234+i0,11	–4,2

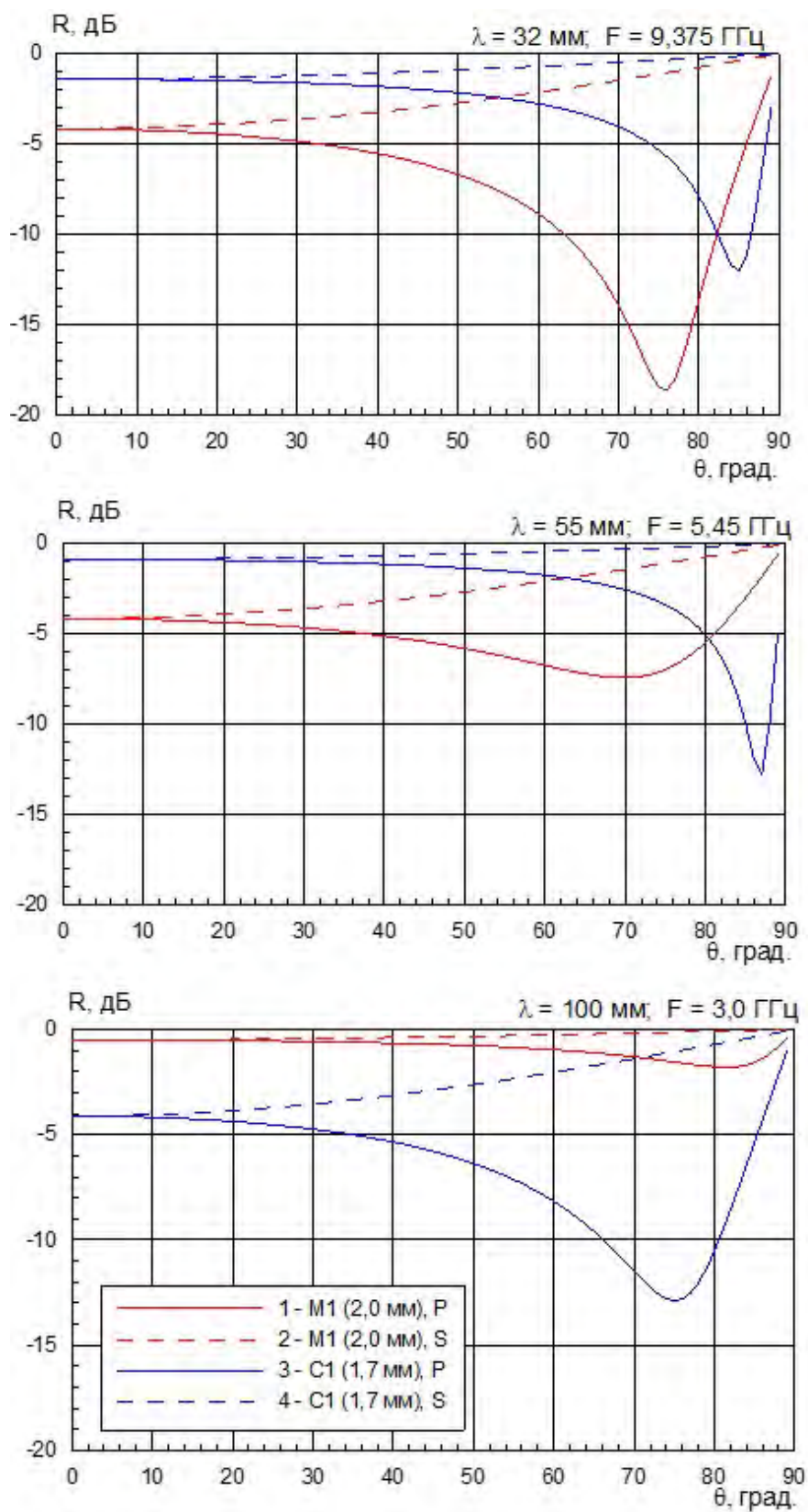


Рисунок 2 – Угловые зависимости коэффициента отражения покрытий

РПП типа С1 отличается большей плотностью по сравнению с покрытием М1, поэтому при сопоставимой толщине более эффективно работает на относительно низких частотах. РПП М1 вполне подходит для применения в Х-диапазоне, т.е. при длине волны падающего поля около 3 см. Для снижения радиолокационной заметности (РЛЗ) в более длинноволновых диапазонах, в частности, в S-диапазоне (при длине волны около 10 см) оно малоприспособно, поскольку его коэффициент отражения приближается к единице (около 0 дБ, см. рисунок 2). Для работы в этом диапазоне при толщине около 2 мм РПП должно обладать существенно большими значениями действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, например, такими, как у покрытия типа С1 (см. таблицу 1, рисунок 2), его параметры позволяют, с одной стороны, получить гораздо лучшие поглощающие свойства в S-диапазоне по сравнению с РПП М1, а с другой стороны - рассчитывать на определенный эффект снижения ЭПР и в более коротковолновых, Х- и С-диапазонах.

Необходимо отметить, что из-за сложности дифракционных процессов распространение электромагнитной волны вдоль полости нельзя удовлетворительно описать простыми геометрическими построениями, а коэффициенты отражения можно использовать только в такой конфигурации и на таких частотах, когда применимы принципы геометрической или физической оптики. При этом разные покрытия (с различными значениями комплексной диэлектрической проницаемости, с разной толщиной, но с близкими значениями поверхностного импеданса) могут демонстрировать близкий эффект при их использовании в целях снижения ЭПР, при этом угловые зависимости коэффициентов отражения можно рассматривать лишь как предварительную оценку потенциальной эффективности того или иного РПП. Окончательные выводы нужно делать после проведения электродинамического моделирования конкретной конструкции, а также на основе анализа результатов экспериментальных исследований.

2. Интегральный коэффициент отражения

Угловые зависимости коэффициентов отражения позволяют дать хорошую оценку эффективности РПП, размещенного на больших гладких поверхностях, только в том случае, когда известна поляризация и определен угловой диапазон падения электромагнитной волны. Например, рассматривая график, изображенный на рисунке 2, можно обоснованно предположить, что при частоте $F = 5,5$ ГГц и перпендикулярной поляризации покрытие М1 будет во всем угловом диапазоне заметно эффективнее, чем С1. Однако при параллельной поляризации имеется диапазон углов падения, когда можно ожидать большей эффективности от РПП типа С1, поскольку в этом диапазоне (при скользящем падении волны, когда угол θ принимает значения от 80 до 90 градусов) у этого покрытия наблюдается хорошо выраженный минимум коэффициента отражения, обусловленный эффектом Брюстера.

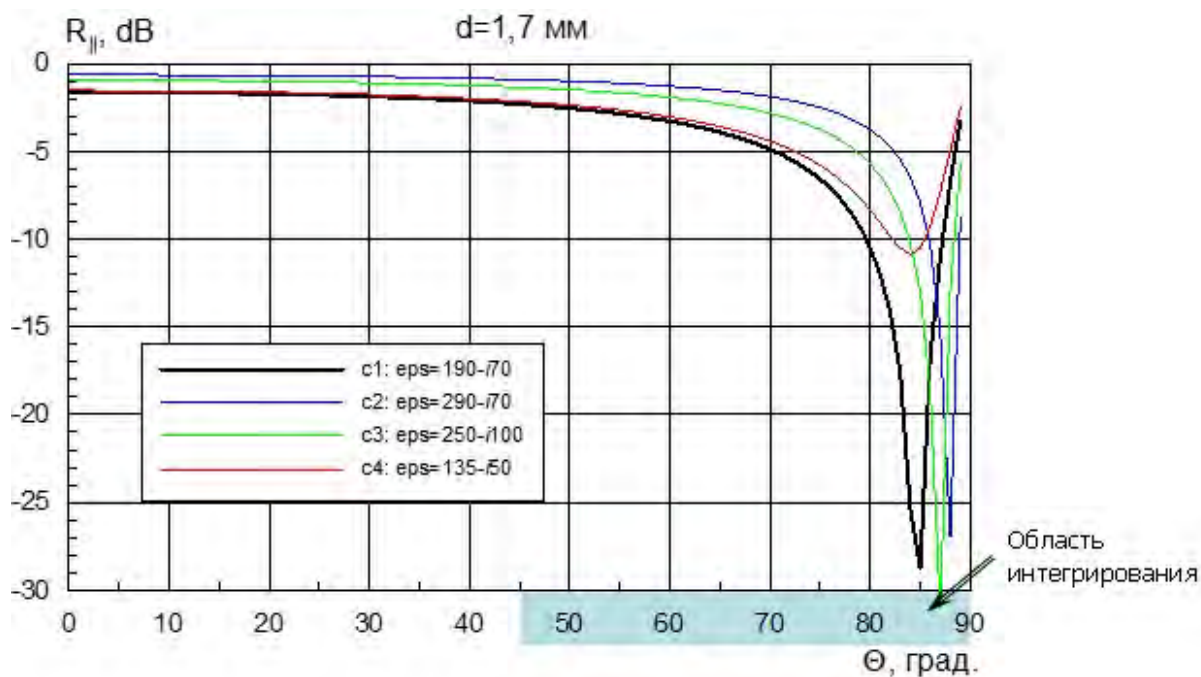


Рисунок 3 – Коэффициент отражения РПП на частоте 10 ГГц

Когда РПП наносится на внутреннюю поверхность полости, следует учитывать, что стенка полости является криволинейной. По этой причине, а также из-за сложных дифракционных процессов

внутри полости разные фрагменты РПП облучаются под разными углами. Если считать, что основное поглощение волны обеспечивается в окрестности угла Брюстера, то совокупную эффективность РПП можно охарактеризовать интегралом от квадрата коэффициента отражения в некотором угловом диапазоне при параллельной поляризации (рисунок 3), очевидно, эта величина будет соответствовать энергии рассеянного поля. Будем далее называть интегральным коэффициентом отражения R_{int} квадратный корень из этого интеграла и построим двухмерные диаграммы R_{int} (в дБ), рассчитанные в координатах $Re(\epsilon) - Im(\epsilon)$, см. рисунок 4 (частота 3 ГГц) и рисунок 5 (частота 10 ГГц). На этих рисунках интегрирование проведено в диапазоне углов θ от 45 до 89 градусов (верхние графики). На нижних графиках в тех же координатах показаны значения R_{min} (в дБ) – коэффициента отражения в минимуме, т.е. в точке, соответствующей углу Брюстера.

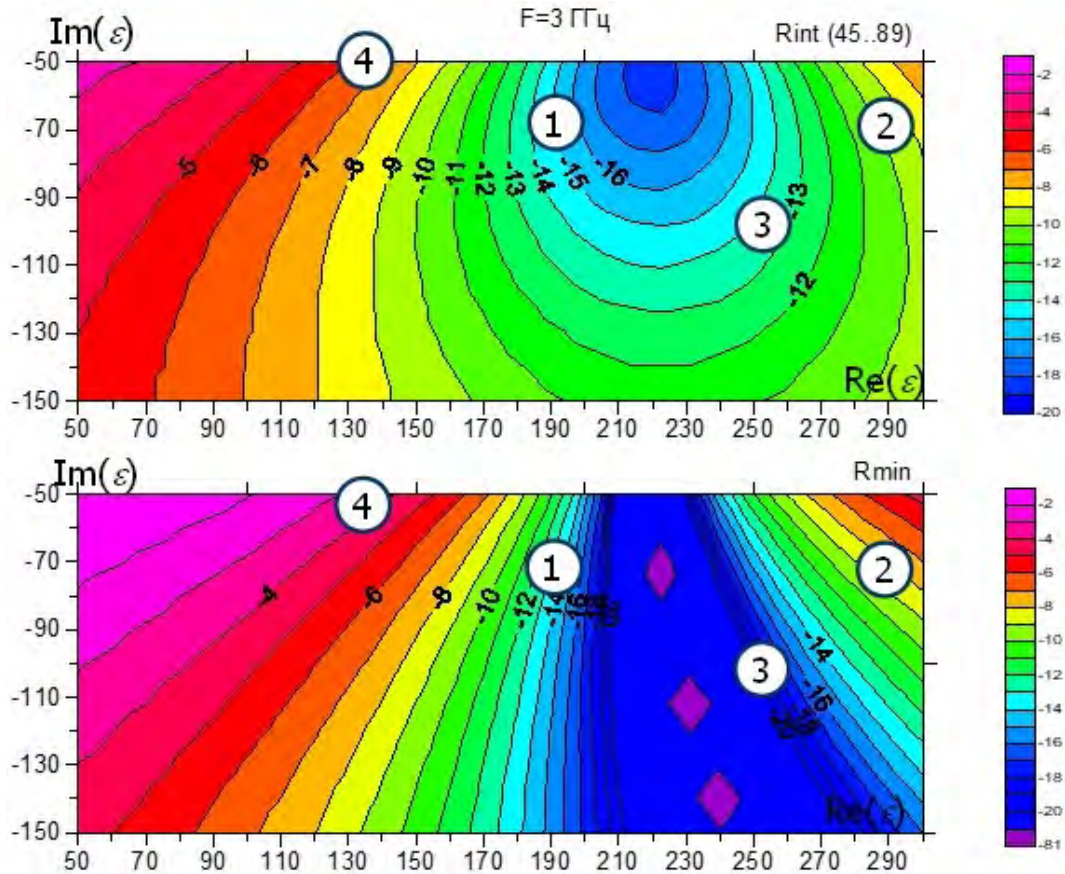


Рисунок 4 – Диаграммы интегрального (R_{int}) и минимального (R_{min}) коэффициентов отражения, дБ на частоте 3 ГГц

Цифрами от 1 до 4 на диаграммах показаны точки, координаты которых (т.е. вещественная и мнимая части диэлектрической проницаемости) соответствуют модельным (демонстрационным) покрытиям С1, С2, С3 и С4, электрофизические характеристики этих РПП представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Электрофизические характеристики РПП

Тип	ϵ	$tg\delta$	F = 10 ГГц		F = 3 ГГц	
			R_{min} , дБ	$R_{int}(45..89)$, дБ	R_{min} , дБ	$R_{int}(45..89)$, дБ
С1	190 - $i70$	0,37	-40,7	-9,3	-12,4	-14,5
С2	290 - $i70$	0,24	-35,1	-4,6	-7,9	-9,6
С3	250 - $i100$	0,4	-51,4	-6,3	-20,8	-13,8
С4	135 - $i50$	0,37	-10,7	-8,4	-3,6	-6,5

На диаграммах хорошо заметна область, соответствующая минимальным значениям интегрального коэффициента отражения, причем покрытие С1 обладает такими параметрами, которые делают

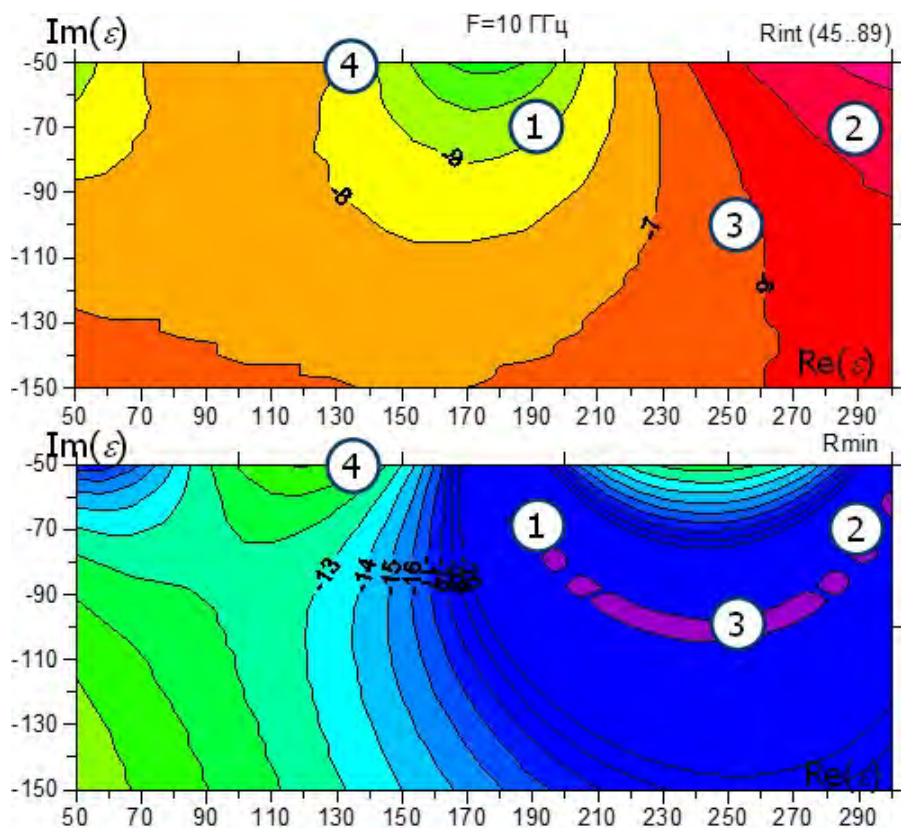


Рисунок 5 – Диаграммы интегрального (R_{int}) и минимального (R_{min}) коэффициентов отражения, дБ на частоте 10 ГГц

его предпочтительным одновременно в двух частотных диапазонах. Отметим здесь, что наличие глубокого провала R_{min} при угле Брюстера (покрытия C2 и C3, см. рисунок 5) не гарантирует ни широкополосности покрытия, ни минимума его интегрального коэффициента отражения. Не является надежным индикатором эффективности и параметр $tg\delta = |\text{Im}(\epsilon) / \text{Re}(\epsilon)|$: покрытие C4 обладает худшими свойствами по сравнению с C1, несмотря на то же самое значение $tg\delta$. Наконец, на рисунке 6 продемонстрировано, каким образом происходит смещение зон оптимальных значений $\text{Re}(\epsilon)$ и $\text{Im}(\epsilon)$ в зависимости от частоты.

3. Особенности использования покрытий на стенках полости

Очевидно, что имея информацию о преимущественных значениях углов падения волны, а также о поглощении энергии в стенках полости для обеих поляризаций, можно построить более точные алгоритмы оптимизации параметров РПП. Это можно сделать, в частности, за счет выбора подходящих весовых функций и ширины интервала интегрирования при расчете R_{int} (рисунок 7).

Для изучения соответствующих возможностей была рассмотрена модельная полость цилиндрической формы с отношением длины к диаметру 3:1, плоская Р-поляризованная волна падает под углом 30° к оси полости, ее стенки укрыты РПП типа M1, рисунок 8.

Лучевая схема переноса энергии в плоскости, содержащей продольную ось, показана на рисунке 9. Согласно этой схеме, существуют преимущественные значения углов падения, под которыми волна падает на стенки полости.

Расчет с учетом дифракционных явлений (рисунок 10) подтверждает это предположение. На этом рисунке верхний график содержит угловую зависимость коэффициента отражения на перпендикулярной и параллельной поляризациях, а также гистограмму распределения углов падения с явно выраженным максимумом в области углов θ около 60 градусов. Эти данные рассчитаны на частоте 3 ГГц для «прямого хода», т.е. прохождения волны от входной апертуры по направлению к нагрузке в 1-й секции полости, длина которой составляет два диаметра. Полученное распределение углов соответствует интенсивному возбуждению нижней (по рисунку) поверхности полости, на которую падает волна под углом 30° к оси и 60° к нормали (см. рисунок 8 и рисунок 9). На среднем и нижнем графиках (см. рисунок 10) показаны гистограммы угловых распределений квадрата напряженности

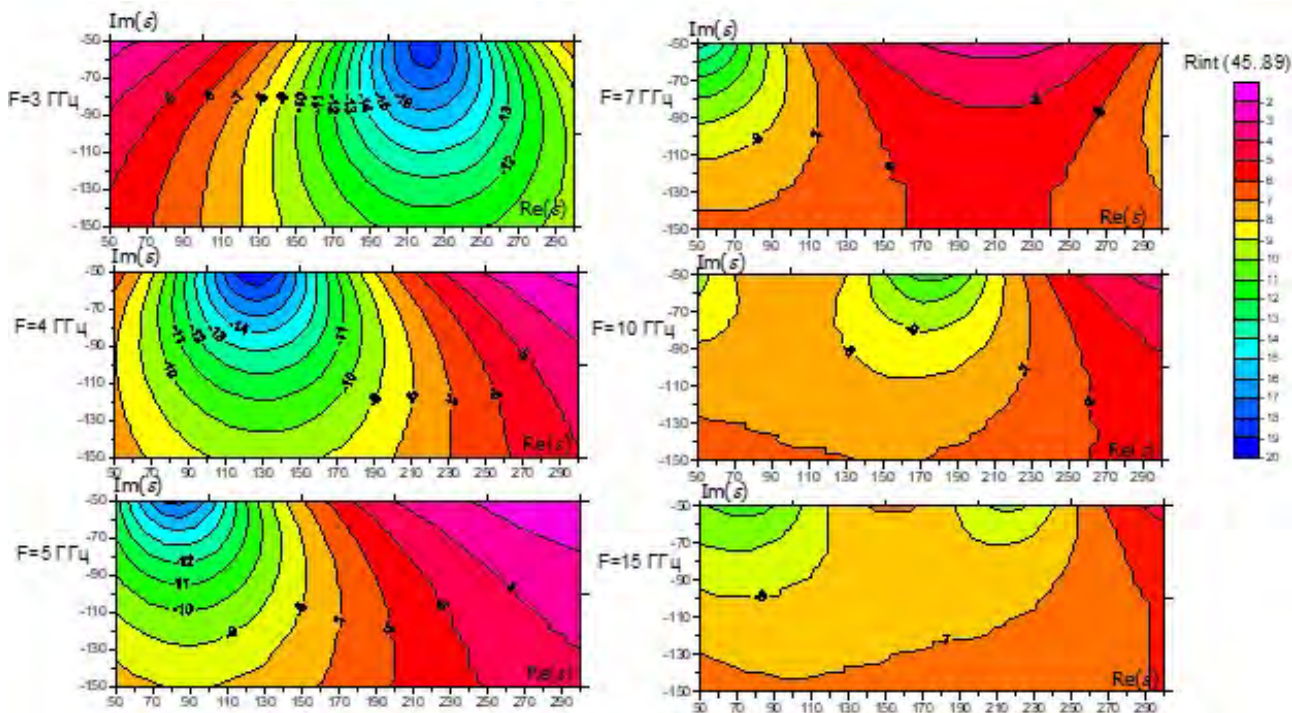


Рисунок 6 – Частотная вариация интегрального коэффициента отражения R_{int} , дБ

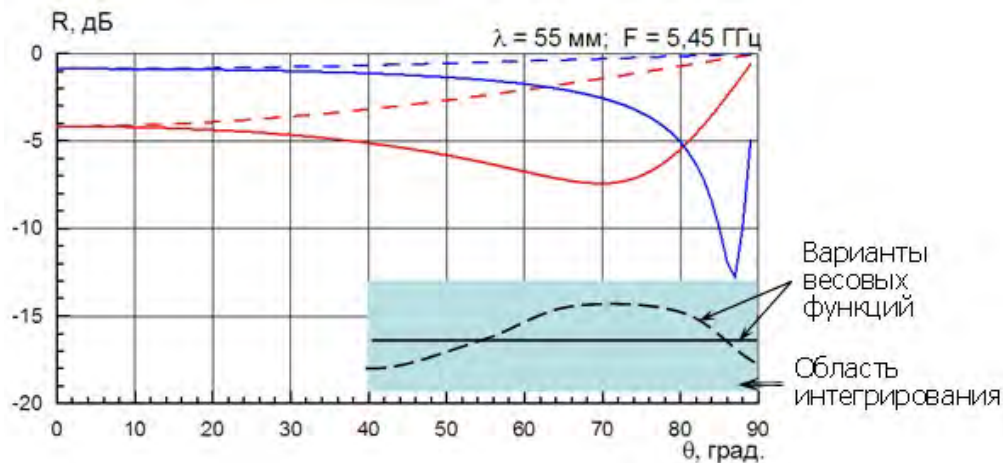


Рисунок 7 – Параметры интегрирования отраженной энергии

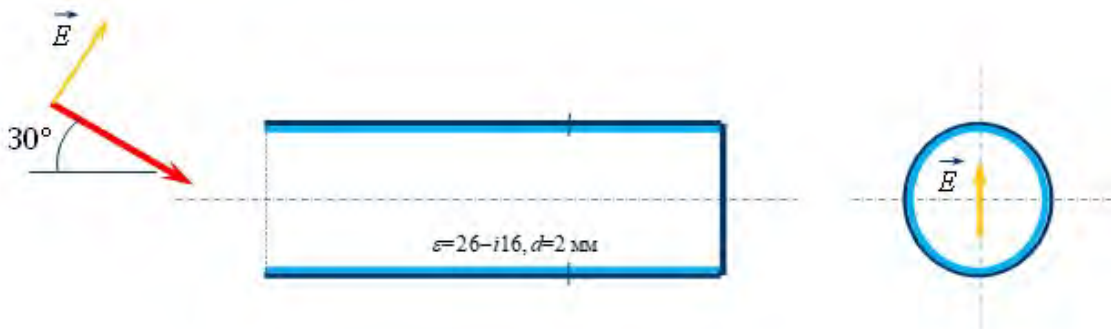


Рисунок 8 – Геометрия модельной полости цилиндрической формы

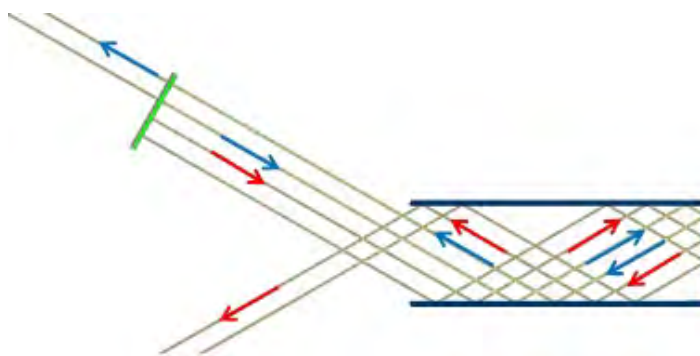


Рисунок 9 – Лучевая схема переноса энергии внутри модельной полости

электрического поля и поглощаемой энергии соответственно. Видно, что эти величины имеют четко выраженный максимум в окрестности углов θ около 60 градусов. Аналогичная картина наблюдается и на частоте 10 ГГц; на рисунке 11 представлено распределение зон поглощения энергии в стенках полости при «прямом ходе», вполне соответствующее лучевым представлениям (см. рисунок 9).

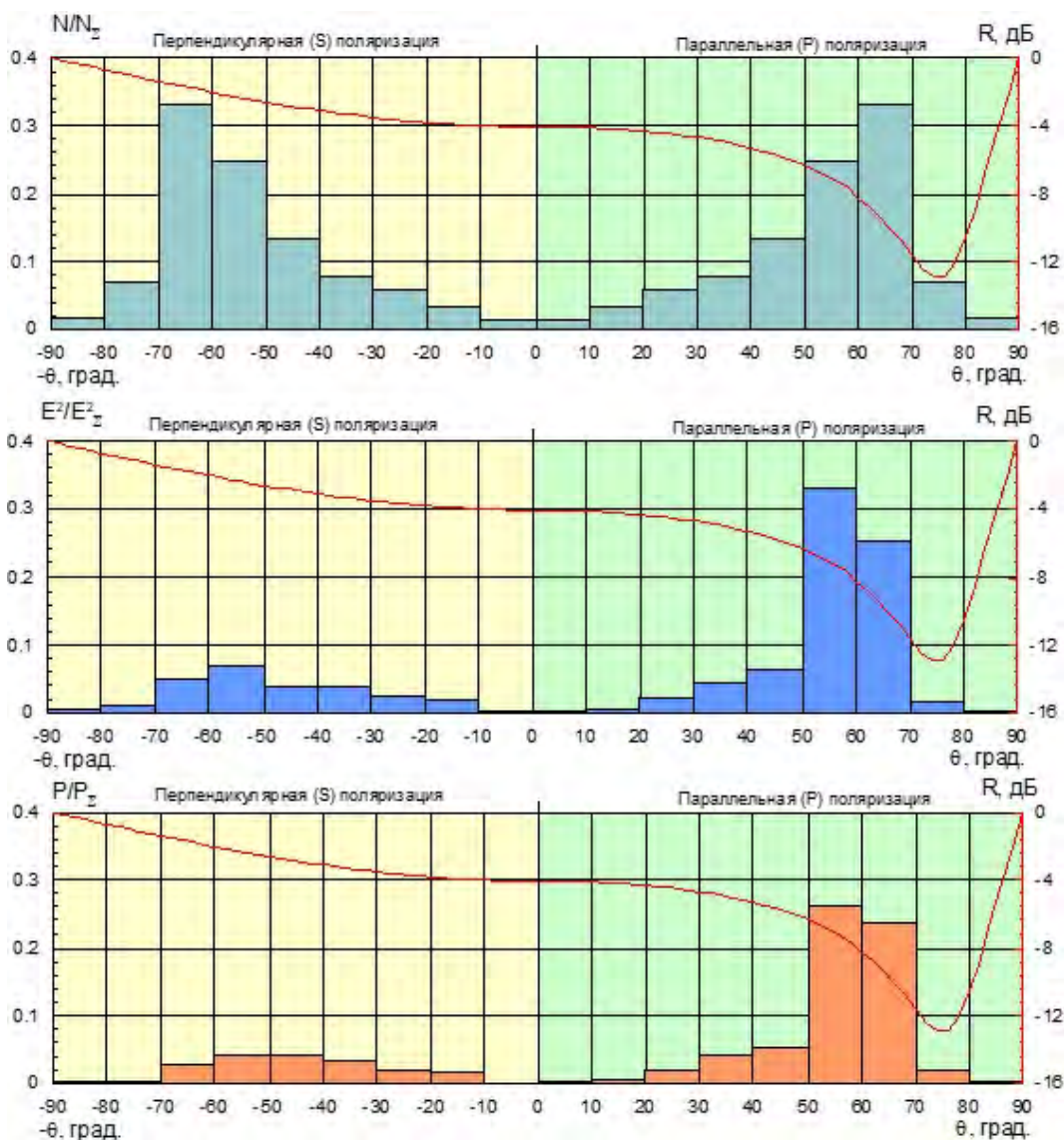


Рисунок 10 – Угловое распределение поглощаемой энергии (прямой ход), $F = 3$ ГГц

Дополнительная информация, полезная при выборе параметров РПП, может быть получена, если проанализировать поглощение мощности на каждой из основных поляризаций (рисунок 12).

Видно, что основная часть энергии поглощается, как и ожидалось, на параллельной поляризации,

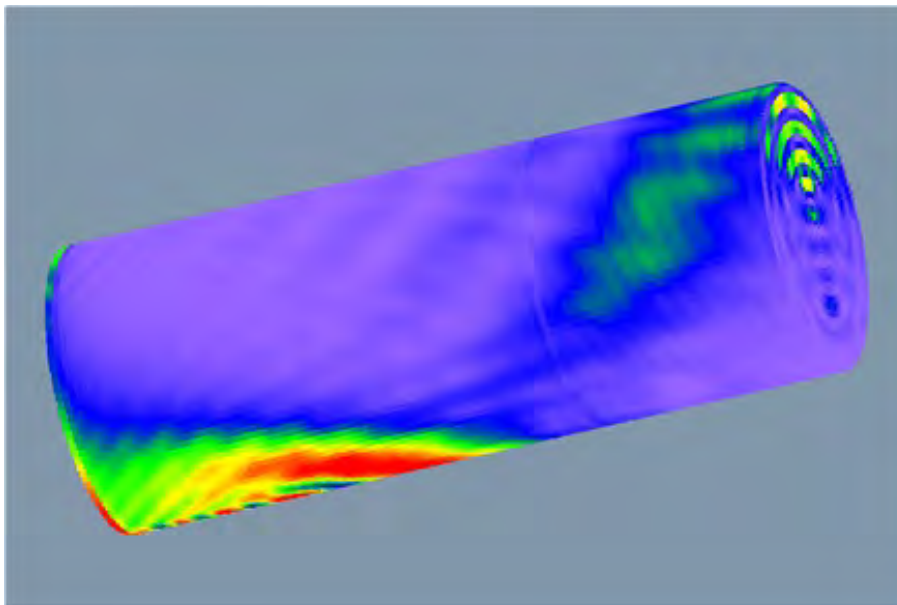


Рисунок 11 – Зоны поглощения энергии в стенках (прямой ход), $F=10$ ГГц

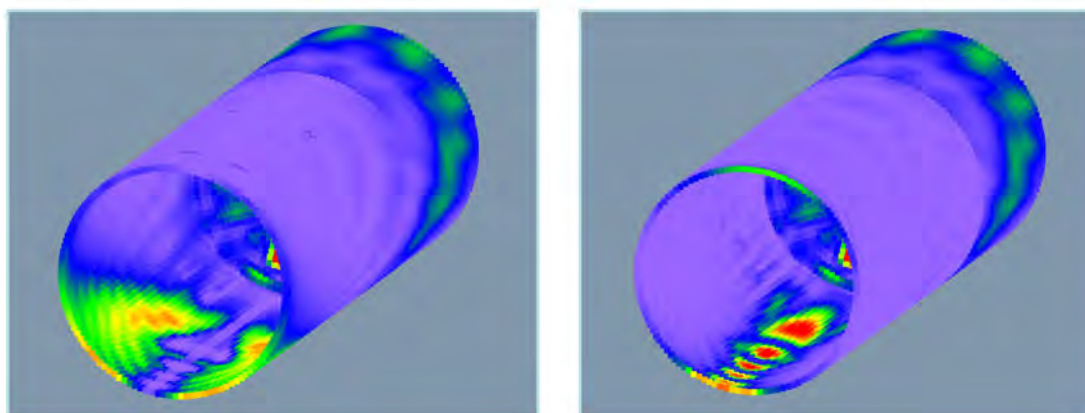
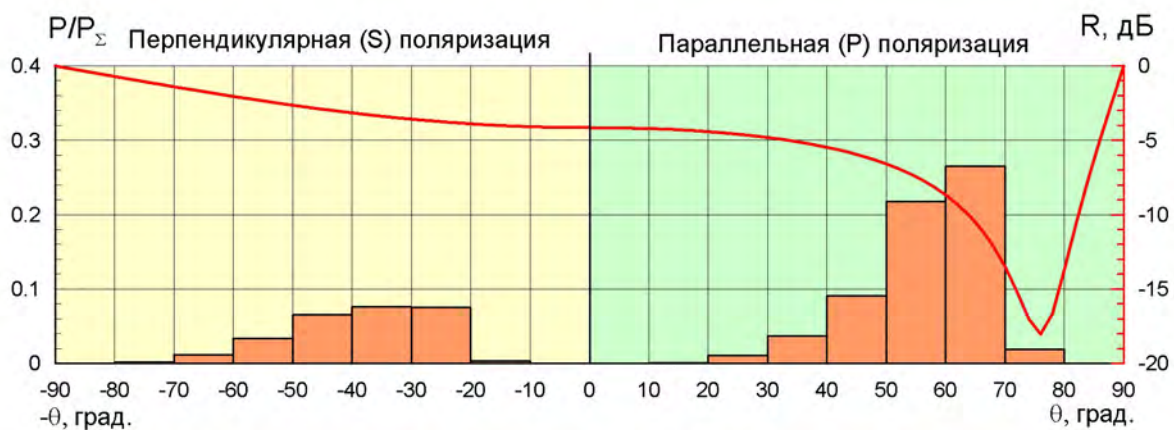


Рисунок 12 – Поглощение энергии в стенках полости при различной поляризации электромагнитной волны (прямой ход), $F=10$ ГГц

при падении волны на стенки под углами близкими к 60 градусам (к нормали). Очевидно, наибольшая эффективность покрытия будет в том случае, если в этот же угловой диапазон попадет и угол Брюстера.

Таким образом, анализ угловых зависимостей поглощаемой мощности дает возможность прогнозировать эффективность работы РПП в данных условиях, т.е для конкретной полости и заданных условий облучения.

Обратим внимание, что поглощение энергии в полости происходит не только при распространении волны от входной апертуры к нагрузке, но и на обратном пути, от отражающей нагрузки (в данном случае – проводящего торца полости) к апертуре, т.н. «обратный ход». Гистограмма распределения углов падения при «обратном ходе» существенно иная (рисунок 13, верхний график), уже нет явно выраженного диапазона углов падения, в котором происходит основное поглощение энергии волны, что является следствием сложных дифракционных явлений внутри полости.

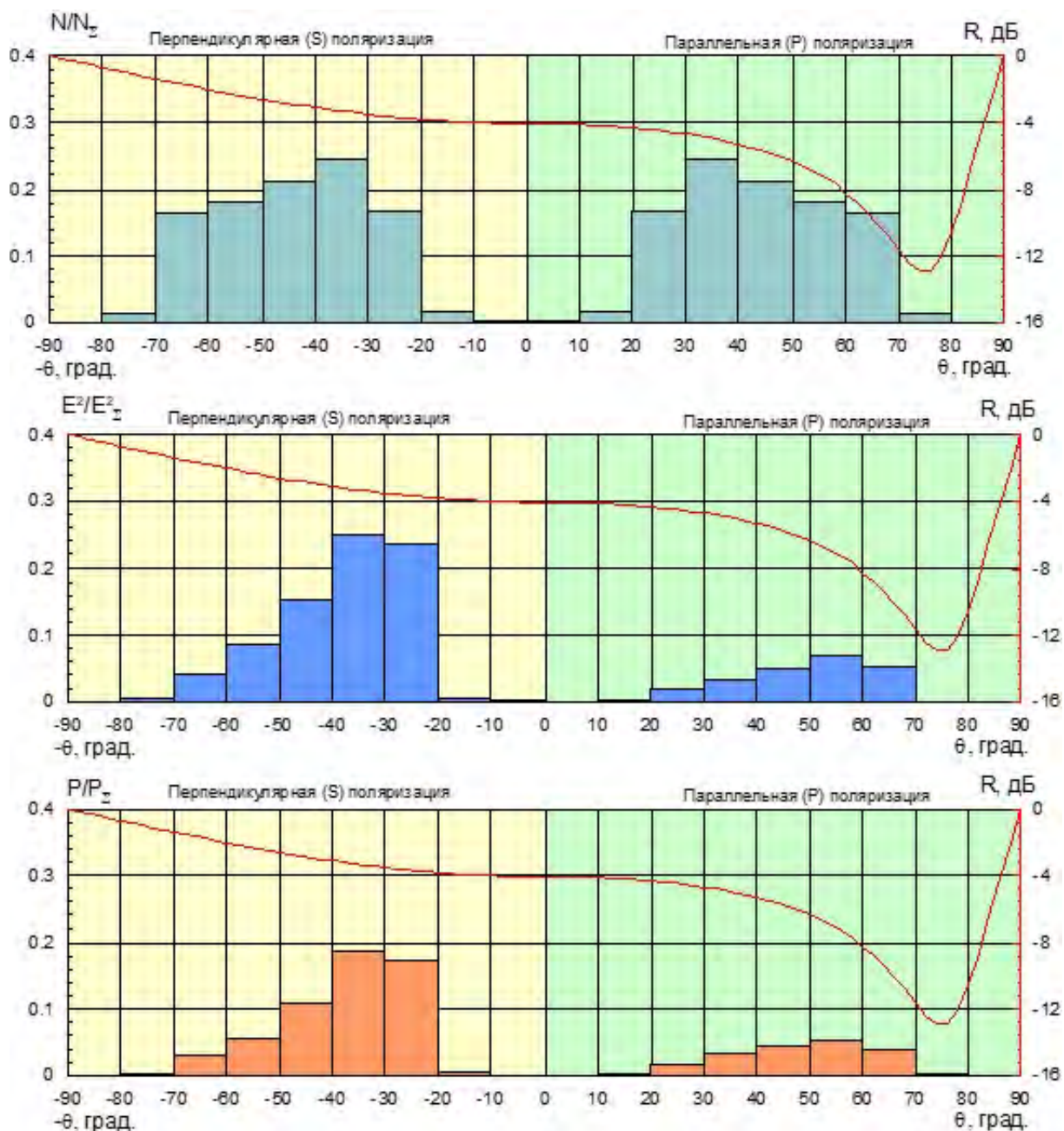


Рисунок 13 – Угловое распределение поглощаемой энергии (обратный ход), F= 3 ГГц

Более того, при «обратном ходе» усиленное поглощение энергии наблюдается уже при перпендикулярной поляризации (см. рисунок 13 для частоты 3 ГГц и рисунок 14 для частоты 10 ГГц).

Следовательно, при отражении волны от нагрузки происходит интенсивная деполаризация, и для эффективной работы РПП в этих условиях надо выбирать его параметры так, чтобы снизить

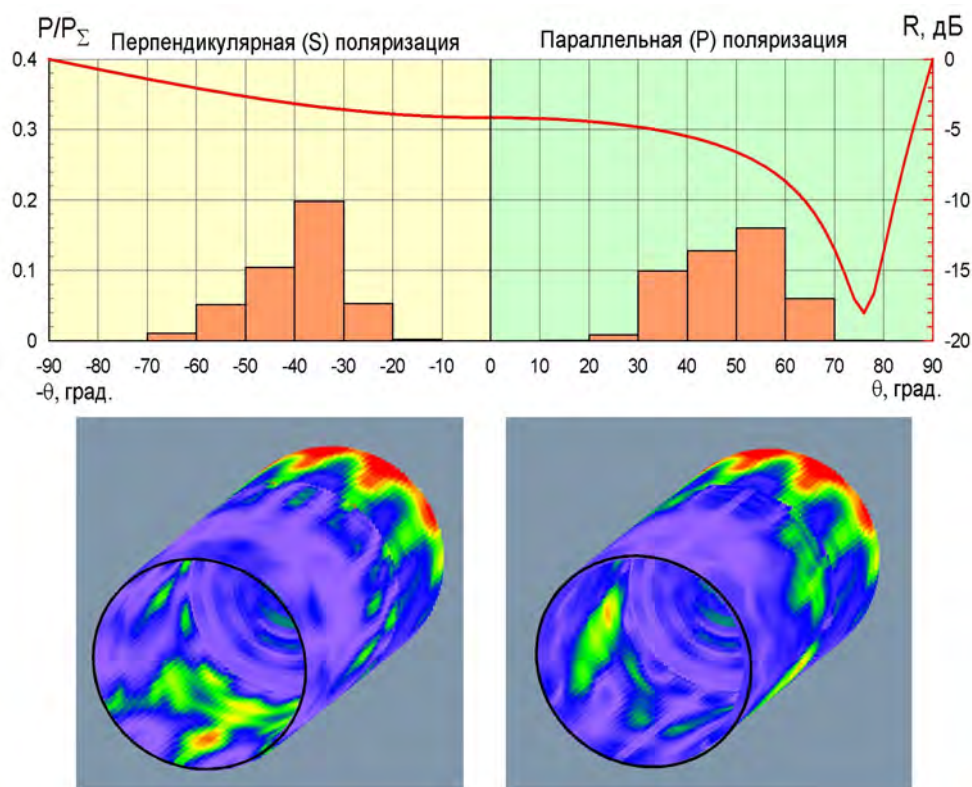


Рисунок 14 – Поглощение энергии в стенках полости при различной поляризации электромагнитной волны (обратный ход), $F=10$ ГГц

коэффициент отражения во всем угловом диапазоне. Это значит, что определяющей величиной в данном случае будет служить коэффициент отражения покрытия по нормали, а не под углом Брюстера.

Заключение

В ходе исследований было показано, что

- оптимальные параметры покрытия стенок полости определяются многими факторами: геометрией, параметрами облучения, частотным диапазоном и др.;
- минимизация интегральной отраженной мощности может служить критерием выбора свойств РПП для конкретных условий применения;
- разработаны электродинамические модели, вычислительные алгоритмы и программы позволяющие получать большие массивы данных об условиях работы РПП в каждой точке полости.

В качестве дальнейших шагов предполагается развивать методы обработки этих данных с целью выработки критериев эффективности РПП при их применении для радиомаскировки полостей сложной формы.

Список литературы

- [1] Радиолокационная заметность самолетов. Обзор по материалам открытой иностранной печати/ Сост. Монин М.А., Ягудина И.М. - М.: ЦАГИ, 1986. - № 665. - 75 с.
- [2] Бочкарев А. М., Долгов М. Н. Зарубежная радиоэлектроника. 1989. – №2.
- [3] Душеина Л. В., Рунов А. В., Монин М. А. Влияние конструкции обобщенной модели силовой установки летательного аппарата на ее эффективную площадь рассеяния // Радиотехника. 1994. - № 6. - С.20-26.
- [4] Криспин Дж.У.-мл., Маффет А. Л. Оценка радиолокационного поперечного сечения тел простой формы// ТИИЭР. 1965. - Т.53. - №8. - С.960-965.

- [5] Справочник по радиолокации. Пер. с англ./ Под ред. М. Сколника. Т.1. - М.: Сов. радио, 1977. - 455 с.
- [6] Obeleiro-Basteiro F., Rodrigues J.L., Burkholder R.J. An iterative physical optics approach for analyzing the electromagnetic scattering by large open-ended cavities// IEEE Trans. Antennas and Propag. - 1995. V.AP-43. - No.4. - P.356-361.
- [7] Кисель В.Н., Федоренко А.И. Расчет рассеяния электромагнитной волны воздухозаборником с крыльчаткой // Информационные технологии в науке, проектировании и производстве. Тезисы докладов 2 Всероссийской науч.-технич. конф. (октябрь 2000 г.). Часть 4. – Н. Новгород: МВВО АТН РФ, 2000 г. - С.19.
- [8] Кисель В.Н., Федоренко А.И. Разработка электродинамической модели воздухозаборника с элементами входной части двигателя// Излучение и рассеяние электромагнитных волн ИРЭМВ 2001. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Таганрог, Россия, 18-23 июня 2001 г. - Таганрог: радиотехнический ун-т, 2001. - С.25-27.
- [9] Kisel' V.N., Fedorenko A.I. Electromagnetic modeling of the jet aircraft intake with the interior impeller// Conf. Proc. 2002 Int. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (ММЕТ*02), Kiev, Ukraine, Sept. 10 13, 2002. V.2. - P.508-510.
- [10] Кисель В.Н., Федоренко А.И. Совершенствование моделей для расчета рассеяния на полости сложной формы с покрытием// Седьмая ежегодная научная конференция ИТПЭ ОИВТ РАН при поддержке IEEE-APS-LEOS-CHAPTER. Сборник тезисов докладов. Под редакцией д.ф.-м.н. И.Т. Якубова - М.: ОИВТ РАН, 2006. - С. 26-27.
- [11] Васильев Е. Н. Возбуждение тел вращения. – М.: Радио и связь, 1987. - 270 с.
- [12] Lagarkov A.N., Kisel V.N. Electromagnetic Energy Absorption within Extensive Impedance Structures// Electromagnetic materials. Proc. of the Symposium P, ICMAT 2007 (International Conference on Materials for Advanced Technologies, SUNTEC, Singapore, 2007). Edited by Lim Hock, Serguei Matitsine, Gan Yeow Beng and Kong Ling Bing (World Scientific, Singapore, 2007). - P.3-10.

CHOICE OF THE ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF COATING DEPLOYED OVER INNER SURFACE OF A CONDUCTING CAVITY

Kisel V.N.^{1*}, Kozheko A.S.^{1,2}

¹ Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of RAS, Moscow, Russia

² Moscow institutes of physics and technology, Moscow region, Russia

* kis_v@mail.ru

Abstract

It is known that radar visibility of a modern aircraft may be defined by scattering from its cavities, particularly from air intake. Decrease of radar backscattering from an intake can be achieved by means of radar absorbing coating deposited over its inner walls. When doing so one comes across a non-trivial problem of choosing optimal properties of the components of coating because of peculiarities of electromagnetic field propagation along the cavity and associated complex diffraction phenomena. ITAE RAS developed a technique to choose those properties which is based on energy considerations. Namely, the problem of electromagnetic wave propagation over the coated plane was considered and the fraction of electromagnetic power absorbed by the coating was used as a criterion to be maximized while varying the coating properties. One can use the suggested feature, namely, the integral reflection coefficient, to achieve optimal properties of the coating at the required frequency range. The paper deals with further development of that technique to enable optimization of the electromagnetic properties of coating in the specified frequency and angular bands taking into consideration curvilinear boundaries of the cavity. The results of using modified computational model of an intake are presented, now it is possible to obtain integral evaluations of the efficiency of coatings that accounts for the specific features of electromagnetic excitation of different portions of the walls. The results of calculations are discussed.

Key words: diffraction, energy, cavity, radar absorbing coating, reflection coefficient