**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |
| Факультет | Е | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | Е6 | | | | | | |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |
| Выпускающая кафедра | Е6 | |  | | Егоренко Л.С. | | |  | | | |  | | | | | | | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | Е6М31 | |  | «\_\_\_\_\_» | |  | | | | | | | | | | 2018 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | | | производственной | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Филиппова Александра Вячеславовича | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | 27.04.04 | | |  | | Управление в технических  системах | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики:** | | | | | Митчин Н.А., к.т.н. | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | с | | 01.07.2018 | | | | | | г. |  | по | 22.07.2018 | | | г. | | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | *инженер* | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики:** | | | |  | | |  |  | | | | |  | | | | | |
|  | | |  | Митчин Н.А. | | |  | |  | | |  | |  | | | | |
| Подпись | | |  | Фамилия ИО | | |  | |  | | | |  | |  | | |
| «\_\_\_» |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | |  | 2018г. |  |  | |  |  | | | | |  |  | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018г.

СОДЕРЖАНИЕ

[ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 3](#_Toc523364505)

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc523364506)

[1 СВЕДЕНИЯ О ПРЕДПРИЯТИИ 5](#_Toc523364507)

[1.1 АДМИНИСТРАТИВНО-ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ 5](#_Toc523364508)

[1.2 ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 5](#_Toc523364509)

[1.3 ОРГАНИЗАЦИЯ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 5](#_Toc523364510)

[2 ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ 6](#_Toc523364511)

[2.1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 6](#_Toc523364512)

[2.2 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА 6](#_Toc523364513)

[2.3 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРАКТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 6](#_Toc523364514)

[2.3.1.Обоснование необходимости уменьшения радиолокационной](#_Toc523364515)  [заметности объектов. 6](#_Toc523364516)

[2.3.2.Классификация способов уменьшения радиоэлектронной заметности целей. 8](#_Toc523364517)

[2.3.3.Уменьшение ЭПР за счет выбора малоотражающей формы объекта. 10](#_Toc523364518)

[2.3.4. Радиопоглощающие материалы. 13](#_Toc523364519)

[2.3.5. Интерференционные покрытия и материалы 18](#_Toc523364520)

[2.3.6.Снижение эффективной поверхности рассеяния за счет выбора малоотражаюшей формы объекта 21](#_Toc523364521)

[2.3.7.Чертеж и расчет эффективной поверхности рассеяния деталей РГ. 23](#_Toc523364522)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 27](#_Toc523364523)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 28](#_Toc523364524)

# ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДВИ - диаграмма вторичного изучения

КР - крылатая ракета

ПВО - противовоздушная оборона

РГ - реактивная граната

PJIC - радиолокационная станция

РПМ - радиопоглощающий материал

РЭБ - радиоэлектронная борьба

РЭС – радиоэлектронная система

ЭМВ – электромагнитная волна

ЭПР - эффективная площадь рассеяния

# ВВЕДЕНИЕ

В качестве места прохождения практики был выбран Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ», кафедра Е6 БГТУ «ВОЕНМЕХ».

БГТУ «ВОЕНМЕХ» является ярким представителем инженерной школы России, сумевшим сохранить и приумножить достижения отечественного и мирового инженерно-технического образования. За свою 86-летнюю историю вуз подготовил для оборонной промышленности, народно-хозяйственного комплекса страны более 70 000 первоклассных специалистов, многие из которых сегодня руководят предприятиями, фирмами, конструкторскими бюро, а также возглавляют научные коллективы.

Целью практики провести занятие. По предмету «Основы ближней локации».

# 1 СВЕДЕНИЯ О ПРЕДПРИЯТИИ

## АДМИНИСТРАТИВНО-ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

Административно-финансовая деятельность предприятия предоставляется в следующих документах, которые можно найти на официальном сайте БГТУ «ВОЕНМЕХ» [1], а именно:

• Устав БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова [2];

• Правила внутреннего распорядка [3];

• Положение об оплате труда работников Университета [4];

• Положение о надбавках и доплатах стимулирующего характера к должностным окладам [5];

• Положение о премировании (установлении поощрительных выплат) [6];

• Справка о результатах исполнения программы развития БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на 2010-2020 г.г. по итогам 2014 года [7];

• Положение о закупках товаров, выполнения работ, оказания услуг для нужд федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» [8];

• Лицензия на право ведения образовательной деятельности [9];

• Свидетельство о государственной аккредитации [10].

## ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ввиду того, что БГТУ «ВОЕНМЕХ» имеет большое множество различных кафедр для реализации программ обучения, детально систематизировать программное и аппаратное обеспечение не представляется возможным. Среди аппаратного обеспечения можно выделить:

• ЭВМ/ПЭВМ,

• вычислительные кластеры,

• демонстрационные стенды,

измерительная аппаратура,

• периферийные устройства.

Среди программного обеспечения можно выделить:

• ПО общего назначения,

• Прикладное ПО специального (профессионального) назначения.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для обучающихся в БГТУ «ВОЕНМЕХ» функционирует Центр научного и технического творчества студентов, который способствует развитию студентов в научной сфере, доводятся идеи обучающихся до состояния патентов. Также на базе университета существует патентная база для упрощенной регистрации патентов, реализованных в БГТУ «ВОЕНМЕХ».

# 2 ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

В качестве педагогического задания, были поставлены следующие задачи:

Познакомить студентов:

1.Что такое ЭПР.

2.Зачем надо считать ЭПР.

3.Как и где используется. Основные формулы.

4.ЭПР различных фигур.

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Для обеспечения организации инвентаризации были предоставлены:

• ПЭВМ с подключением к сети «Интернет»,

• лицензия SOLIDWORK,

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРАКТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА, ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

### 2.3.1.Обоснование необходимости уменьшения радиолокационной

### заметности объектов.

Анализ общеизвестного основного уравнения радиолокации по­казывает, что за счет уменьшения эффективной площади рассеяния цели возможно уменьшение дальности обнаружения объекта радиолокатором. Однако, уменьшение ЭПР () в 16 раз, сокращает дальность радиолока­ционного обнаружения объекта всего лишь в два раза

Поскольку технология «стелс» является дорогостоящей, уменьшением ЭПР целей долгое время специально не занимались, а применяли иные (более дешевые) средства борьбы срадиолокационными станциями(PJIC).

Есть несколько исторических этапов в противоборстве авиации со средствами противовоздушной обороны.

На раннихэтапах для повышения эффективности действия авиа­ции в ее противоборстве с РЛС ПВО широко использовались, да и те­перь используются пассивные и активные помехи. Но в связи с приме­нением систем селекции движущихся целей и развитием средств радиоэлектро­нной защиты РЛС ПВО от воздействия умышленных помех эффективность действия стратегической авиации снизилась. Тогда в авиации перешли на предельно малые высоты полета, на которых дальность обнаружения самолетов наземными РЛС ограничена десятками километров [11].

Это потребовало совершенствования ПВО. В ПВО стали использовать бортовые системы дальнего радиолокационного обнаружения самолетов (типа AWACS).

Авиация новь оказалась в сложном положении. И одним из выходов стало уменьшение ЭПР самолетов и других летательных аппаратов.

Комплексные разработки и исследования методов снижения вероятности обнаружения объектов вооружения и военной техники с 1975 г. именуются собирательным термином «технология Стеле» или «Програм­ма Стелс». «Программа Стелс» объединяет ряд исследовательских, конструкторских и технологических направлений, ставящих целью снижение радиоэлектронной (радиолокационной, тепловой и пр.) заметности объек­тов посредством совершенствования форм их наружной поверхности, устранения «блестящих точек», применения специальных конструкцион­ных материалов, уменьшения собственных излучений и т. д

Рекомендации по компоновке малоотражающего летательного аппарата, на которых основывается «технология Стелс», сводятся к следующим:

* для существенного снижения ЭПР уголковых отражателей образуемых пересекающимися аэродинамическими и другими поверхностями летательного аппарата, необходимо подбирать соответствующе углы и материалы радиопоглощающего покрытия;
* на разных поверхностях нужны покрытия с разными импедансами; предпочтение следует отдавать тупым углам пересечения поверхностей, поскольку в этом случае не возникают отражения высоких порядков (выход в обратном направлении многократно переотраженных волн);
* применение покрытия эффективно не только на прямоугольных конструкциях, но и на разветвленных уголковых отражателях; для оптимального использования покрытий необходимо в каждом случае выделять доминирующие механизмы рассеяния и подбирать соответствую­щий поверхностный импеданс в требуемом угловом секторе;
* архитектурные решения и применение покрытий взаимно до­полняют друг друга, что позволяет весьма существенно снизить ЭПР не только отдельных элементов конструкции, но и эффективную рассеяния всего объекта в целом.

В крылатых ракетах техника «стелс» может использоваться в полном объеме[12]. Причины этого следующие:

1) Крылатые ракеты (КР) лишены огневой защиты и противоракетного маневра, их системы радиоэлектронного подавления (РЭП) довольно упрощенные, поэтому уменьшение заметности КР - одно из немногих средств увеличения вероятности преодоления ПВО;

2) КР имеют более ограниченную по сравнению с самолетами тактику применения, в связи с этим ракурсы облучения КР и длины волн РЛС более конкретизированы, а это облегчает уменьшение ЭПР;

3) КР, являясь одноразовыми беспилотными средствами, имеют меньший ракурс и более низкие требования к надежности по сравнению с самолетами, что позволяет широко использовать в их конструкции новые материалы и технические решения, обеспечивающие уменьшение ЭПР;

4) ЭПР КР значительно меньше ЭПР самолетов, поэтому даже равное с самолетом уменьшение ЭПР, дает в результате такую величину ЭПР, которая обеспечивает «невидимость» КР.

### 2.3.2.Классификация способов уменьшения радиоэлектронной заметности целей.

Снижение радиоэлектронной заметности объектов, как и подавление РЭС умышленными пассивными помехами, приводит либо к уменьшению количества информации, добываемой РЭС в течение определенного промежутка времени, либо к увеличению интервала времени, необходимо для добывания заданного количества информации. Информационный ущерб при этом состоит либо в уменьшении дальности обнаружения цели (при заданных вероятностях правильного обнаружения D и ложной тревоги F), либо в уменьшение D и увеличении F на заданной дальности в заданный интервал времени.

В зависимости от принципа построения подавляемой РЭС (активной или пассивной) все способы уменьшения радиоэлектронной заметности цели делятся на способы снижения заметности по (рис 1)-вторичному полю; - первичному полю [11].

На практике применяют оба этих способа одновременно.

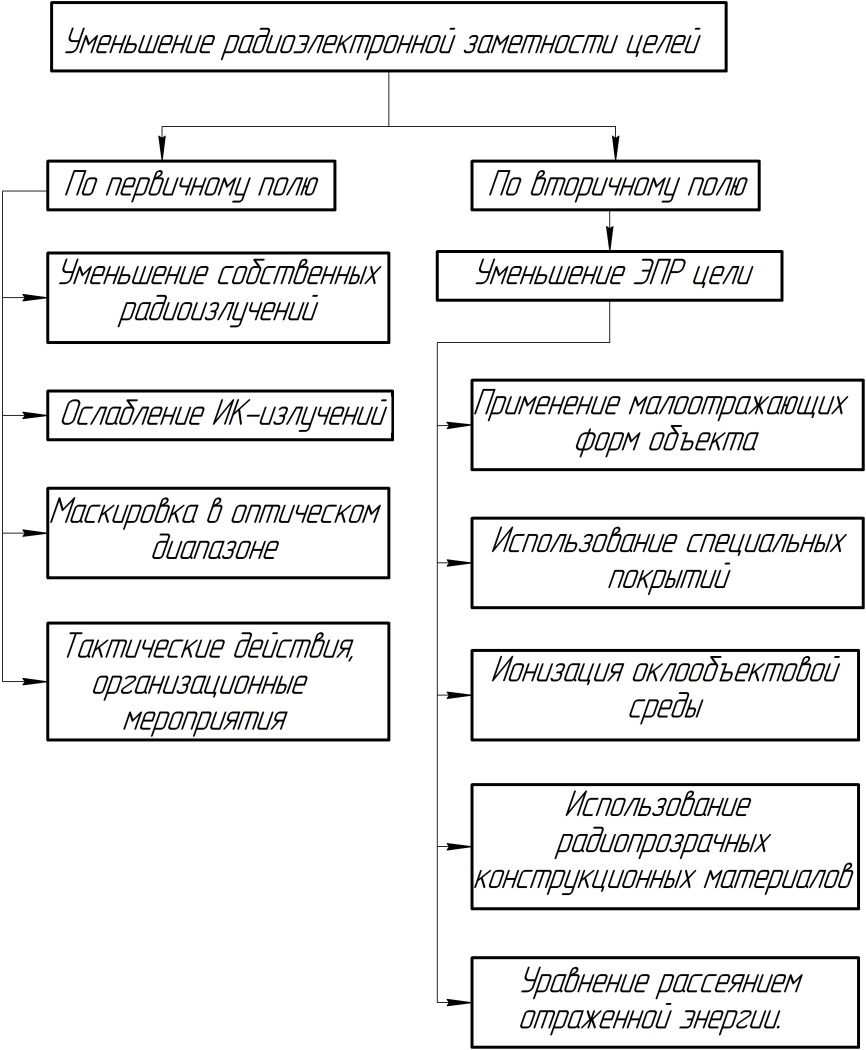


Рис.1. Классификация способов снижения радиоэлектронной заметности целей.

Рассматриваемые способы приводят к уменьшению отношения сигнала/помеха на входе подавляемой РЭС за счет уменьшения уровня сигнала, а ранее рассмотренные умышленные пассивные помехи - за счет увеличения уровня помехи.

Заметность объекта по первичному (собственному) полю важна для пассивных РЭС. Для классических (активных) радиолокационных станций (PJIC) собственные излучения цели роли не играют. Здесь важна заметность цели по вторичному (переизлученному) полю. Эта заметность характеризуется ЭПР цели. Для уменьшения ЭПР широко используют следующие технические способы:

- применение малоотражающих в сторону PJIC форм объектов;

- использование специальных радиопоглощающих материалов (РПМ);

- использование в конструкции объекта радиопрозрачных материалов;

- ионизация среды вблизи поверхности цели;

- управление рассеянием отраженной энергии ЭМВ (применение модулирующих покрытий).

### 2.3.3.Уменьшение ЭПР за счет выбора малоотражающей формы объекта.

Как известно, заметность объектов для РЛС принято оценивать величиной эффективной площади рассеяния (ЭПР) [11].

где ξϵ[0;1]- коэффициент деполяризации рассеянного целью поля (ξ);

- мощность отраженного радиолокационной целью сигнала;

-плотность потока мощности радиолокационного сигнала в окрестности точки расположения цели;

- значение диаграммы вторичного излучения (ДВИ) цели в направлении на радиолокатор;

-полная площадь рассеяния цели;

Физически *эффективная* *площадь рассеяния* представляет собой размерный коэффициент пропорциональности между мощностью отраженного радиолокационной целью сигнала и плотностью потока мощности электромагнитного поля, созданного антенной радиолокатора в окрестности точки расположения цели. Очевидно, что имеет размерность и зависит от формы, размеров и электрических свойств материала поверхности цели. Объекты радиолокационной разведки - радиолокационные цели, имеют весьма сложную форму и рассеивают электромагнитные волны не изотропно. Значения ЭПР для каждого конкретного направления могут сильно различаться. Поэтому обычно ЭПР представляют в виде произведения:

где - максимальная ЭПР.

Из-за того, что реальные рассеивающие объекты имеют сложную точке приема наблюдается интерференционная картина парциальных сигналов, отраженных от различных частей разными элементарными отражателями. Сравнение величины ЭПР различных элементарных отражателей, имеющих примерно равные значения площадей проекций на плоскость, нормальную направлению наблюдения, показывает, что их ЭПР может отличаться на 30...40 дБ, а ширина главного лепестка ДВИ изменяться в большом диапазоне. Поэтому ЭПР реальных сложных объектов существенно зависит от формы их наружной поверхности, образованной набором элементарных отражателей. Ее зависимость от габаритных размеров выражена гораздо слабее. Кроме того, большое влияние на ЭПР оказывает угловое расположение элементарных отражателей и направление облучения. Так, при облучении диска под углом 10° к нормали его ЭПР на 28 дБ меньше ЭПР трехгранного отражателя, а при нормальном падении волны на диск его ЭПР на 3 дБ больше, чем у того же уголкового отражателя.

ДВИ отдельных элементов поверхности объекта существенным образом влияет на формирование результирующей ДВИ. Например, если в образовании суммарного отраженного сигнала участвуют элементы с широкими ДВИ, то результирующая будет иметь большее число и большую ширину лепестков, чем в том случае, когда отдельные элементы имеют узкие ДВИ. Объяснить этот эффект можно тем, что при изменении взаимного расположения элементов относительно приемной антенны изменяются не только фазы сигналов. При формировании совокупности элементов с узкими ДВИ резче изменяются амплитуды парциальных сигналов. Кроме того, в последнем случае результирующая интерференционная картина вторичного поля формируется в более узком угловом секторе пространства. Таким образом, исключение широконаправленных отражателей из архитектуры объекта приведет к увеличению дисперсии величины ЭПР, что, в свою очередь, уменьшит вероятность обнаружения отраженного сигнала и, соответственно, улучшит радиолокационную незаметность объекта. Если же число элементов с узкими ДВИ окажется настолько большим, что их диаграммы будут совмещаться, то при любом угловом положении объекта всегда найдутся такие элементы, сигналы от которых будут складываться. Действительно, за счет интерференции сигналов от двух одинаковых элементарных отражателей с ЭПР σ у каждого, суммарная эффективная площадь рассеяния будет в пределах от 0 до 4σ, имея в среднем значение 2σ. Таким образом, наличие элементов с одинаковой ЭПР ухудшают уровень радиолокационной заметности объекта.

На основе приведенных соображений можно сформулировать ряд принципов, которым нужно следовать при создании облика малоотражающего объекта.

1.Для повышения радиолокационной незаметности объекта нужно компоновать из элементов с минимальной шириной ДВИ.

2.При создании малозаметных для объектов следует использовать элементы с минимальными значениями ЭПР и минимизировать число самих отражателей. Прежде всего, следует избегать использования взаимно перпендикулярных поверхностей, которые образуют уголковые отражатели.

3. Взаимное расположение элементов, из которых состоит сложный объект, должно минимизировать число направлений, могут совмещаться главные лепестки ДВИ. А если такого избежать не удается, нужно минимизировать эффективную площадь рассеяния элементов по этим направлениям.

Рекомендации по уменьшению ЭПР за счет подбора головной части баллистической ракеты.(рис 2)

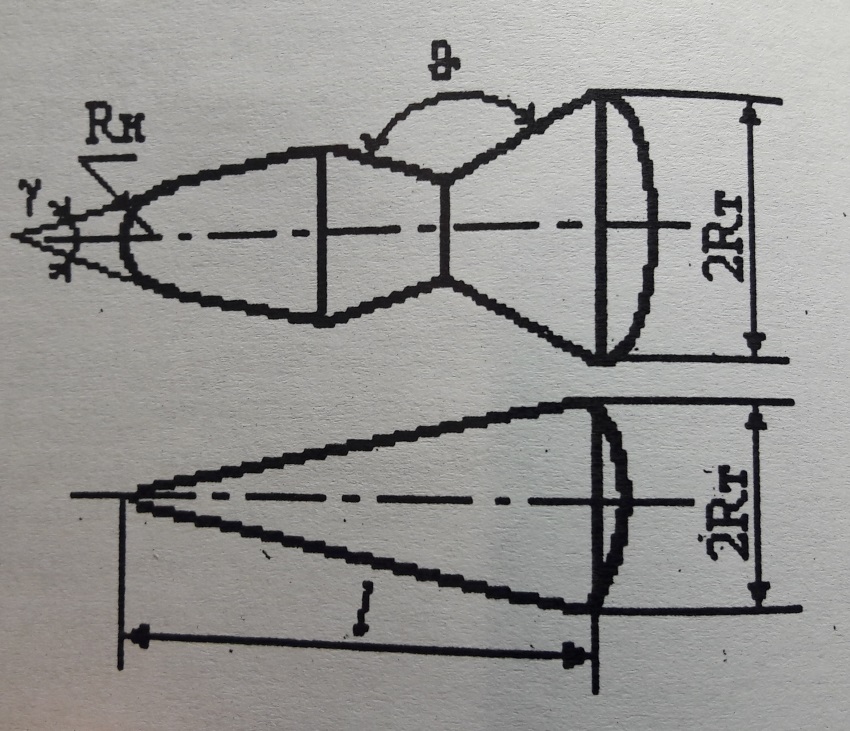


Рис.2 Малоотражающей формы головной части баллистической ракеты

Основная задача при выборе формы головной части - добиться малой ЭПР на тех ракурсах, где располагаются радиолокационные средства противоракетной обороны. Для этого поверхности придают форму, объединяющую несколько поверхностей вращения. Носик головной части имеет форму сегмента или полусферы. При этом уменьшается коричное излучение, обусловленное дифракцией на заостренном конце объекта. Коническая боковая обечайка может сопрягаться с другими коническими или цилиндрическими поверхностями. Торцевая (донная) часть может иметь форму сегмента, сфероида, полусферы или усеченного конуса. Форма головных частей в донной части определяется наличием двигателей. Головную часть обычно стабилизируют на траектории, чтобы она ориентировалась на РЛС минимальной ЭПР [11].

При изменении ориентации, объекта относительно РЛС его заметность тоже изменяется вместе с изменением ЭПР. При этом удобно считать, что мощность сигнала, отраженного объектом, флюктуирует случайным образом. Но вероятность правильного обнаружения флюктуирующего сигнала меньше, чем вероятность, обнаружения детерминированного сигнала при той же средней, мощности. Значит, для увеличения незаметности следует не только снижать среднее значение ЭПР радиолокационных целей, но и увеличивать дисперсию ее флюктуации. Иначе говоря, ДВИ малозаметного объекта должна иметь многолепестковую форму с большим различием между уровнями лепестков (рис 3).

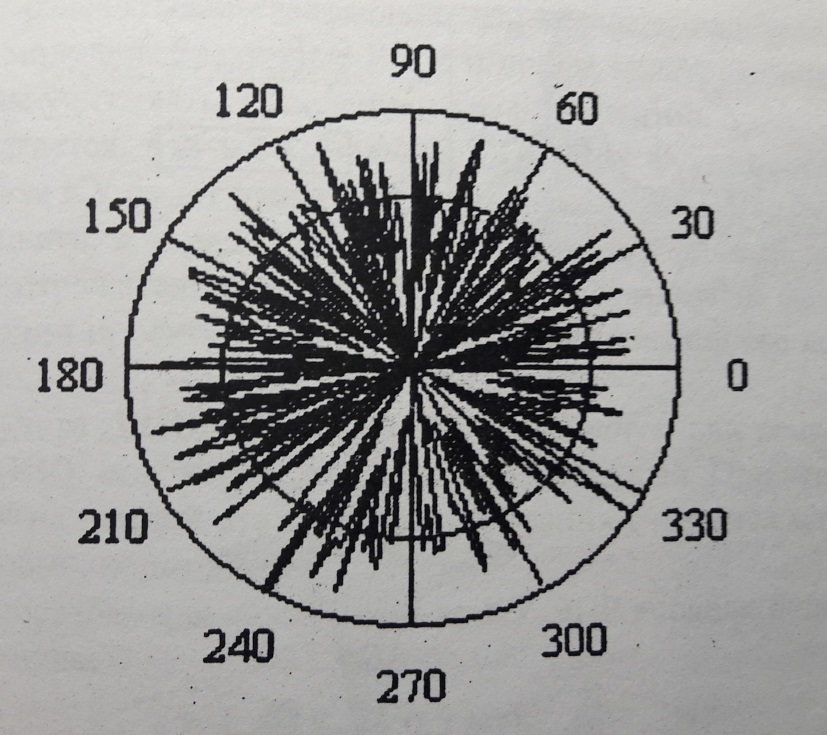


Рис 3. Пример ДВИ малозаметного объекта.

### 2.3.4. Радиопоглощающие материалы.

Маскирующее действие радиопоглощающих материалов эффективно лишь в случаях, когда линейные размеры плоских поверхностей защищаемых объектов или же радиусы кривизны их поверху ней значительно превышают длину волны в материале покрытия, т.е при

Если длина волны превышает максимальный размер объекта, то наблюдается релеевское рассеяние, примерно одинаковое у объектов с конечной и с бесконечной проводимостью. Вследствие этого покрытие с конечной проводимостью ведет себя как идеальный проводник, и падающая электромагнитная энергия им не поглощается.

Поглощающий материал соответствует своему назначению в том случае, когда в нем отсутствует отражение электромагнитной волны от внешней кромки поверхности, а энергия, проникающая внутрь материала, полностью им поглощается. Выполнение этих условий достигается соответствующим подбором электрических свойств материала, в первую очередь комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной магнитной проницаемости.

Рассмотрим процесс отражения электромагнитной волны от бесконечной идеально проводящей поверхности, покрытой радиопоглощающим веществом (рис. 4).

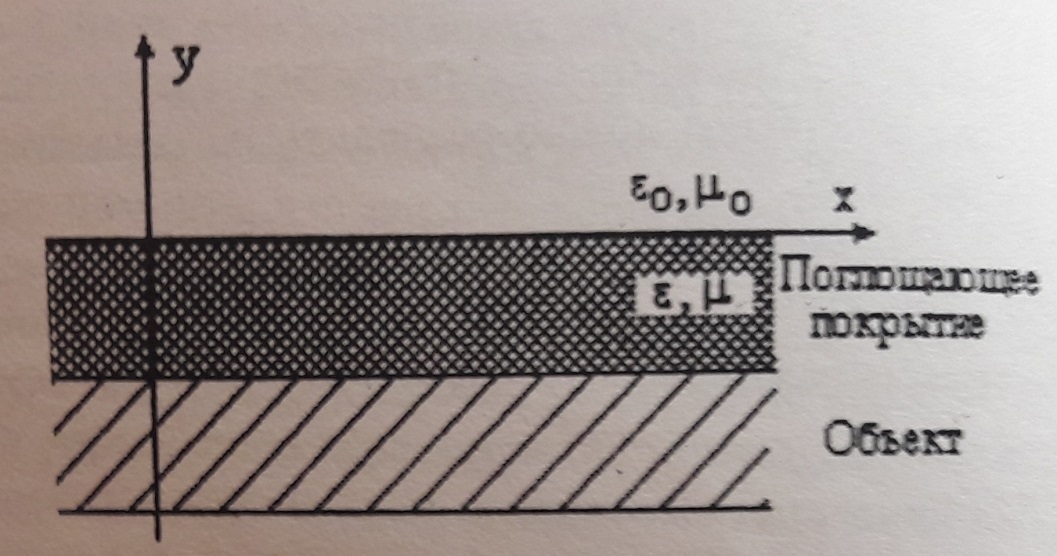


Рис 4. Схема радиопоглощающего материала

Комплексный коэффициент от плоской границы раздела двух сред зависит от различия волновых сопротивлений сред

Где -волновое сопротивление пространства

-волновое сопротивление поглощающего покрытия

и - комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемость материала покрытия соответственно

Можно получить

,

Учитывая, что

где n- коэффициент преломления среды, а k- коэффициент затухания, соотношение можно преобразовать:

Из соотношения видно, что коэффициент отражения от границы двух сред (у = 0) равен нулю при или с учетом формулы условия полного поглощения принимают вид

Условиям удовлетворяют покрытия, в состав которых входят вещества с достаточно большими потерями (например, ферромагнетики). Структуру таких покрытий образуют частицы ферромагнетика, сцементированные изоляционным материалом из немагнитного диэлектрика. Однослойные покрытия этого типа достаточно эффективны в диапазоне метровых и дециметровых волн. Эффективность действия покрытия повышается, если оно неоднородно и его коэффициент поглощения постепенно увеличивается от наружной поверхности покрытия к поверхности защищаемого объекта [11].

Для поглощения волн сантиметрового диапазона используют многослойные покрытия с параметрами, изменяющимися от слоя к слою таким образом, что проницаемость е возрастает от наружной поверхности вглубь. Каждый слой таких покрытий изготовляется из пенополистирола или каучука, а поглотителем служит углерод (графит или сажа). Концентрация поглотителя от слоя к слою меняется. Для согласования и покрытия с внешним (свободным) пространством относительная диэлектричекая проницаемость должна равняться единице, т. е. ,а мнимая составляющая (тангенс угла диэлектрических потерь) должна быть близкой к нулю. Резкое изменение параметров и от слоя к слою недопустимо, поскольку это приводит к увеличению коэффициента отражения от границы раздела двух слоев.

Для уменьшения остаточного отражения широко применяют покрытия, наружная поверхность которых представляет собой рельефную геометрическую неоднородность, состоящую из периодически повторяющихся неровностей в виде, пирамидальных или конических шипов рис. 5.

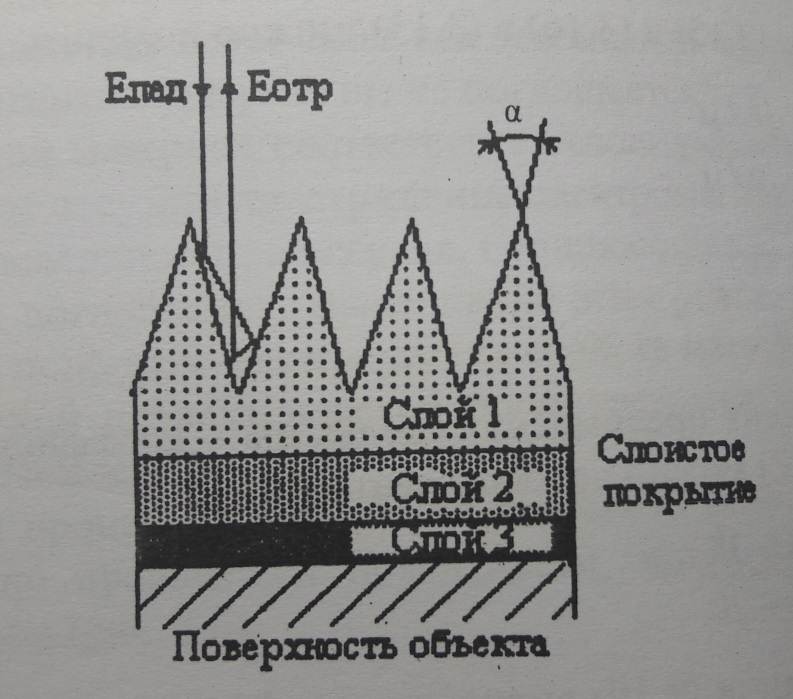


Рис.4 Многослойный шиповидный РПМ

Чтобы увеличить число отражений между шипами и, следовательно, снизить отражение от поверхности покрытия, угол при вершине α выгодно делать небольшим.

Строгий расчет шиповидных (пирамидальных) РПМ привела, работе [13], там этот материал рассматривается как РПМ рассеивают типа. Принцип его действия связан с многократным перетрачу ЭМВ от поверхностей пирамид (при каждом переотражении происходит поглощение энергии ЭМВ и изменение направления движения воны).

Рассмотрим механизм согласования шиповидных РПМ в коротковолновой части диапазона волн. Пусть поверхность пирамидального материала покрыта плоским радиопоглощающим материалом, чем обеспечивается отсутствие поля внутри пирамид и «зеркальный» характер отражения от поверхности граней пирамид (рис. 6). И пусть, как показано на рис. 6, плоская волна падает на пирамидальный материал под углом θ к нормали его основания. Каждые две рядом стоящие пирамиды образуют клиновидную поглощающую полость с углом при вершине α.

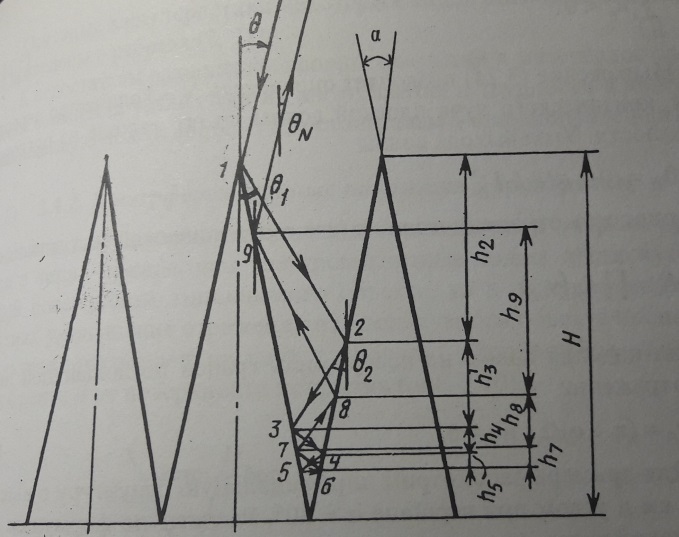


Рис 6 Пирамидальный РПМ рассеивающего типа: угол падения волны при i-ом переотражении между пирамидами; угол выхода волны после N переотражений; углубление луча в полость при i-отображении.

В результате N последовательных отражений плоская волна углубляется в полость, а затем выходит из нее, теряя при каждом отражении интенсивность.

Рассмотрим геометрию переотражений в поглощающей полости. Выделим критический луч, претерпевший наименьшее количество переотражений. Это луч, точка первого отражения которого лежит в плоскости вершин материала (). Углубление в поглощающую полость точки второго отражения относительно точки первого отражения

где H- высота поглощения пирамиды;

- угол между отраженным после первого отражения лучом и осью пирамиды.

Аналогично вертикальное перемещение в полости точки n отражения будет

где

Условие выхода волны из поглощающей полости после отражений

Выражение (3.24) позволяет определить *N* – количество переотражений критического луча плоской волны до его выхода из поглощающей полости. Угол выхода волны

Интенсивность отраженного поля (его геометрической составляющей)

где угол падения волны на поверхность граней поглощающей полости при *п* отражении

Для примера рассмотрим пирамидальную структуру с высотой H = 30 см и углом при вершине α = 30°. Расчеты по формулам показывают, что при углах прихода волны в поглощающих плоскостях критический луч претерпевает ; и переотражений. При этом число переотражений, при которых материал полости мало отражает (угол падения ), будет соответственно ; и .

Если материал поглощающей полости обеспечивает при однократном отражении в диапазоне углов падения ослабление дБ, то даже при трехкратном отражении в полости плоская ЭМВ при выходе из щитовидного РПМ окажется ослабленной на -50 дБ.

Очень важным параметром РПМ является диапазон рабочих частот , в пределах которого не превышает заданного уровня.

Как известно, радиопоглощающие материалы являются широкодиапазонными. На рис. 7 показана зависимость от длины волны облучающих колебаний для покрытия на основе пенополистирола типа AF- 20, разработанного одной из английских фирм.

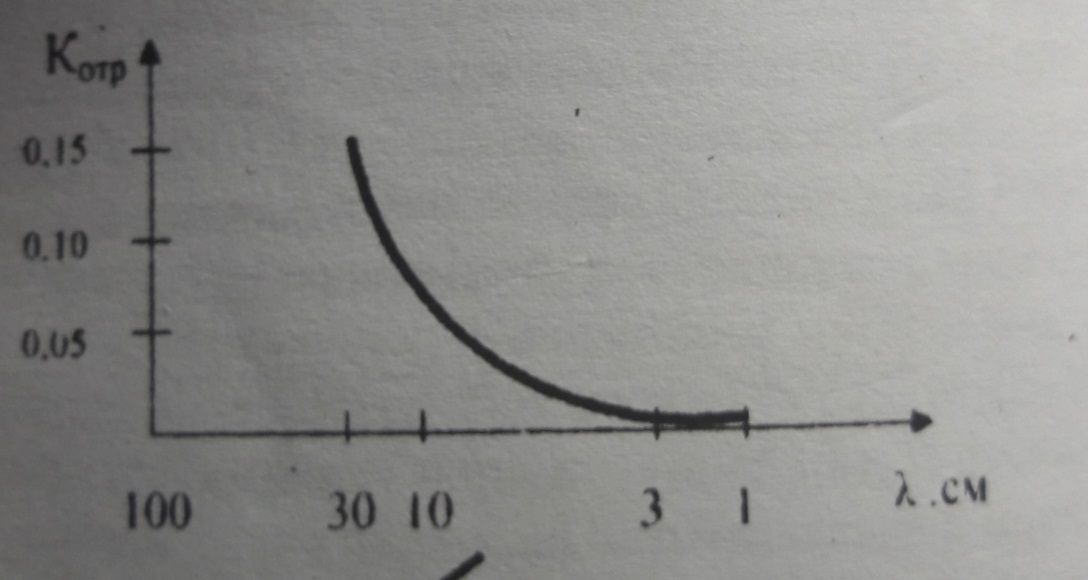


Рис 7 Зависимость от длины волны

К недостаткам радиопоглощающих покрытий и материалов следует отнести сложность технологии их изготовления и трудности в нанесении на защищаемую поверхность. А к достоинствам - широкополосность.

### 2.3.5. *Интерференционные покрытия и материалы*

Если в поглощающих покрытиях большая часть энергии превра­щается в тепло прежде, чем электромагнитные волны достигнут отра­жающей поверхности защищаемого объекта, то в интерференционных покрытиях уменьшение отражения от маскируемого объекта происходит в результате интерференции двух радиоволн: отразившейся от поверхности объекта и от поверхности покрытия (рис.8).

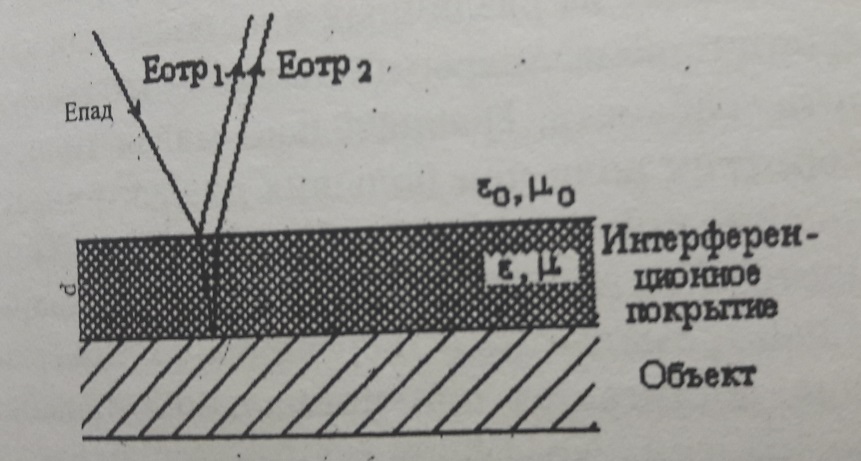


Рис. 8 Схема интерференционного покрытия

Естественно, что при этом расстояние между отражающими поверхностями (толщина покрытия) должно быть таким, чтобы обеспечивалось сложение отраженных радиоволн в противофазе [11].

Отсутствие отражения от интерференционного покрытия достигался при условии

- составляющая отраженной волны от границы раздела «свободное пространство-покрытие».

Суммарное отраженное поле в направлении источника падающей волны равно нулю, если выполняются условия

где коэффициент затухания волны за одно прохождение поглощающего покрытия в прямом и в обратном направлениях;

-модуль коэффициента отражения покрытия;

d — общая толщина, покрытия;

- длина волны в веществе покрытия с параметрами и .

где — резонансная длина волны.

обеспечивает противофазность ЭМВ, а условие  
- равноамплитудность этих волн. Следовательно, интерференционное покрытие должно обладать определенной толщиной и быть поглощающим. Но в отличие от РПМ, этот эффект здесь не является основным.

Чтобы интерференционное покрытие обладало поглощающими свойствами, в его состав вводят ферромагнетики с примесями сажи или порошка графита в качестве поглотителя. Интерференционные защитные покрытая изготовляют из различных пластмасс или каучука. Достоинством интерференционных покрытий является их значительная механическая прочность, гибкость, сравнительно малая толщина и небольшая масса. Для коротких волн при больших диэлектрических и магнитных потерях в веществе покрытия могут быть очень тонкими.

Эффективность действия интерференционных покрытий зависит от угла падения электромагнитной энергии на их поверхность. Минимальное отражение достигается при нормальном падении радиоволн. При других углах падения коэффициент отражения резко возрастает. Таким образом, покрытие интерференционного типа представляет собой резонансный поглотитель, состоящий из слоя диэлектрика, наложенного на защищаемый металл. Толщина слоя диэлектрика, его диэлектрическая постоянная и тангенс угла диэлектрических потерь могут быть выбраны такими, что коэффициент отражения на некоторой, наиболее вероятной волне, был равен нулю. При этом наибольшее отклонение частоты падающей волны от резонансной частоты поглощаемого излучения не должно превышать ± 5%. Иначе значительно понижается эффективность поглощения энергии падающего электромагнитного поля.

Интерференционные покрытия менее габаритны, чем поглощающие. Однако, как следует из их принципа действия, они и более узкополосны, что зачастую ограничивает возможности их применения. Поэтому наиболее перспективными являются комбинированные многослойные покрытия.

Поглощающая способность многослойных интерференционна покрытий и их диапазонность существенно зависят от количества толщины слоев, а также от электрических параметров используемых материалов. При соответствующем подборе значений проводимости и электрической проницаемости можно считать, что каждый слой согласован с колебаниями в узкой полосе около одной частоты, а несколько слоев обеспечивают малое значение коэффициента отражения в диапазоне. Для иллюстрации этого утверждения на рис. 9 приведены зависимости коэффициента отражения для интерференционных покрытий с многослойными структурами из чередующихся диэлектрических слоев.

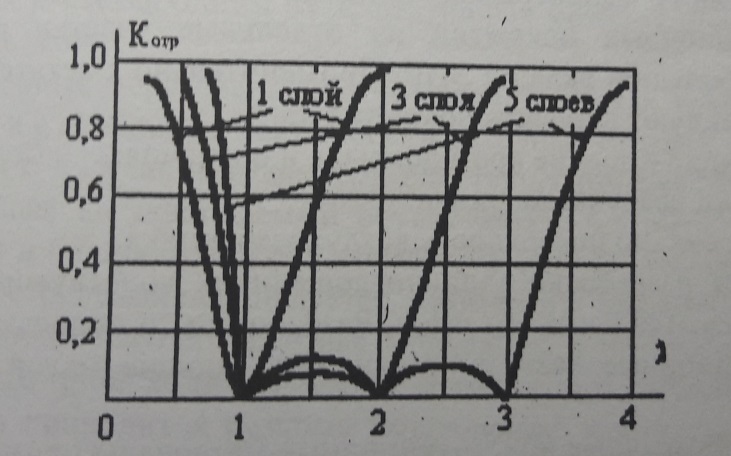


Рис. 9 Частотная зависимость многослойного интерференционного покрытия

Следует иметь в виду, что интенсивность отражения электромагнитной энергии интерференционными покрытиями зависит также от уг­ла падения волны, ее поляризации и максимально допустимой рабочей температуры материала.

В современных разработках радиопоглощающих материалов и противорадиолокационных покрытий для поглощения энергии электромаг­нитных волн в основном используются традиционные материалы. Это электропроводящие дисперсионные (сажа, графит, металлические части­цы), волокнистые (углеродные, металлические, полимерные металлизи­рованные) и магнитные (спеченные ферритовые пластины, порошки фер­ритов, оксида железа и карбонильного железа) наполнители. Наполните­ли применяются как по отдельности, так и совместно друг с другом. Вы­бор связующего материала зависит не только от радиотехнических, но не в последнюю очередь от конструктивных и эксплуатационных требова­ний. В настоящее время для РП материалов и покрытий используются ди­электрические полимерные и эластомерные материалы, краски, нетканые материалы, керамики. С использованием таких материалов удается сни­зил. коэффициент отражения на величину до 20 дБ и более в широкой полосе (до 30% от средней рабочей частоты) .

Малоподвижные или стационарные объекты и сооружения для ра­диолокационной маскировки могут покрываться специальными накид­ки из поглощающих материалов, работающих по тем же принципам, он РП покрытия летательных аппаратов. Для уменьшения ЭПР зданий сооружений используются специальные объемно поглощающие строительные материалы (бетоны с примесями порошков проводящих риалов и ферромагнетиков).

В заключение следует отметить, что нанесение противорадиолокационных покрытий на поверхность объектов существенно увеличивает их массу. В связи с этим для уменьшения ЭПР объектов используют в комплексе подбор малоотражающих форм объектов и нанесение противорадиолокационных покрытий на отдельные участки поверхности, дающие наибольший вклад в ЭПР. Применительно к летательным аппаратам рекомендуют наносить покрытия на:

* передние и задние кромки крыла и оперения;
* кромки воздухозаборника;
* внутреннюю поверхность воздухозаборника.

Ведутся разработки радиопоглощающих конструкционных материалом для изготовления объектов. Разработаны и используются противорадиолокационные лаки и краски, обладающие малой толщиной и массой.

Радиопрозрачные конструкционные материалы применяются с осторожностью, поскольку существенный вклад в ЭПР объекта при их использовании вносит внутреннее оборудование объекта.

В будущем для РГ будет выбраны комбинированные многослойные покрытия.

### 2.3.6. Снижение эффективной поверхности рассеяния за счет выбора малоотражаюшей формы объекта

Заметность объектов для средств радиолокационной разведки принято оценивать величиной эффективной поверхности рассеяния (ЭПР):

где [0; 1] — коэффициент деполяризации рассеянного целью поля ; — мощность отраженного, — полная мощность рассеянного радиолокационной целью сигнала; — плотность потока мощности радиолокационного сигнала в окрестности точки расположения цели; — значение ДВИ цели в направлении на радиолокатор; S— полная площадь рассеяния цели.

Физически ЭПР представляет собой размерный коэффициент пропорциональности между мощностью отраженного радиолокационной целью сигнала и плотностью потока мощности электромагнитного пазя, созданного антенной радиолокатора в точке расположения цели. Очевидно, что имеет размерность и зависит от формы, размеров и электрических свойств материала поверхности цели. Объекты радиолокационной разведки — радиолокационные цели — имеют весьма сложную форму и рассеивают электромагнитные волны не изотропно. Значения ЭПР для каждого конкретного направления () могут сильно различаться.

Решить электродинамическую задачу рассеяния электромагнитного поля на реальных телах очень трудно. Но такая задача решается для многих тел несложной формы. Некоторые результаты решений представлены на рисунке 11 [14] где указаны значения ЭПР простейших поверхностей, из которых формируются сложные поверхности летательных аппаратов и других технических объектов.

Как видно из рис 11. плоские поверхности имеют большую ЭПР только при направлениях облучения, близких к нормали. По всем другим направлениям ЭПР плоских поверхностей гораздо меньше. То же справедливо и для цилиндрических поверхностей, если они облучаются с направления, нормального к образующей. Малоотражающими формами являются клин и конус при облучении со стороны вершины. При одинаковых размерах наибольшими значениями ЭПР обладают трехгранные уголковые отражатели с утлом при вершине 90°.

Из-за того, что реальные рассеивающие объекты имеют сложную форму, в точке приема наблюдается интерференционная картина парциальных сигналов, отраженных от различных частей, разными элементарными отражателями. Сравнение величины ЭПР различных элементарных отражателей, имеющих примерно равные значения площадей проекции на плоскость, нормальную направлению наблюдения, показывает, что их ЭПР может отличаться на 30...40 дБ, а ширина главного лепестка ДВИ изменяться в большом диапазоне. Поэтому ЭПР реальных сложных объектов существенно зависит от формы их наружной поверхности, образованной набором элементарных отражателей [15].

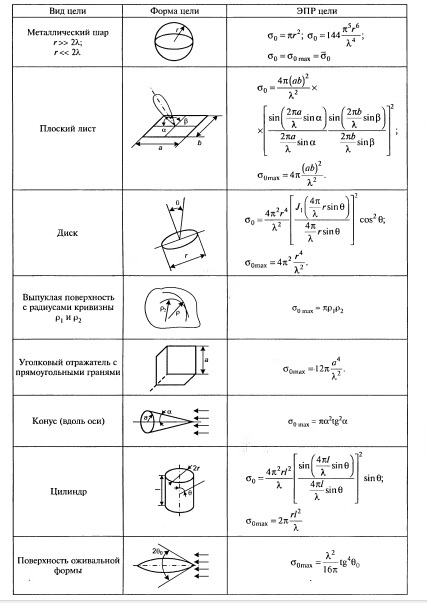
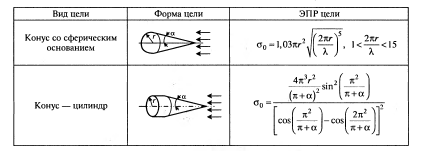


Рис. 11 ЭПР простейших поверхностей

### 2.3.7.Чертеж и расчет эффективной поверхности рассеяния деталей РГ.

На рисунке 12 представлен 3d чертеж РГ.

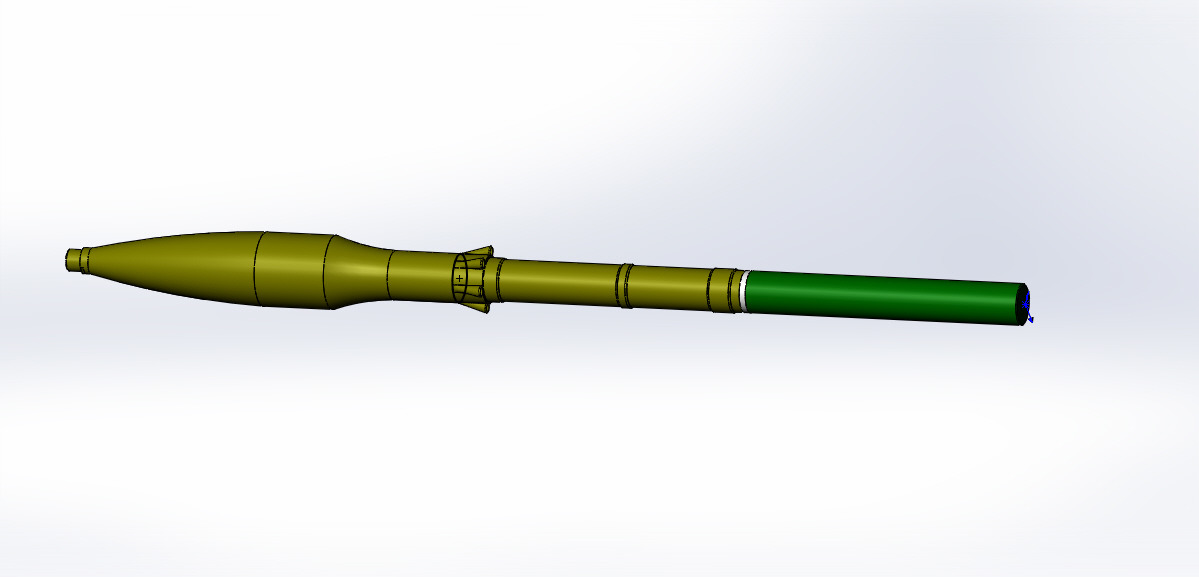


Рис 12 РГ

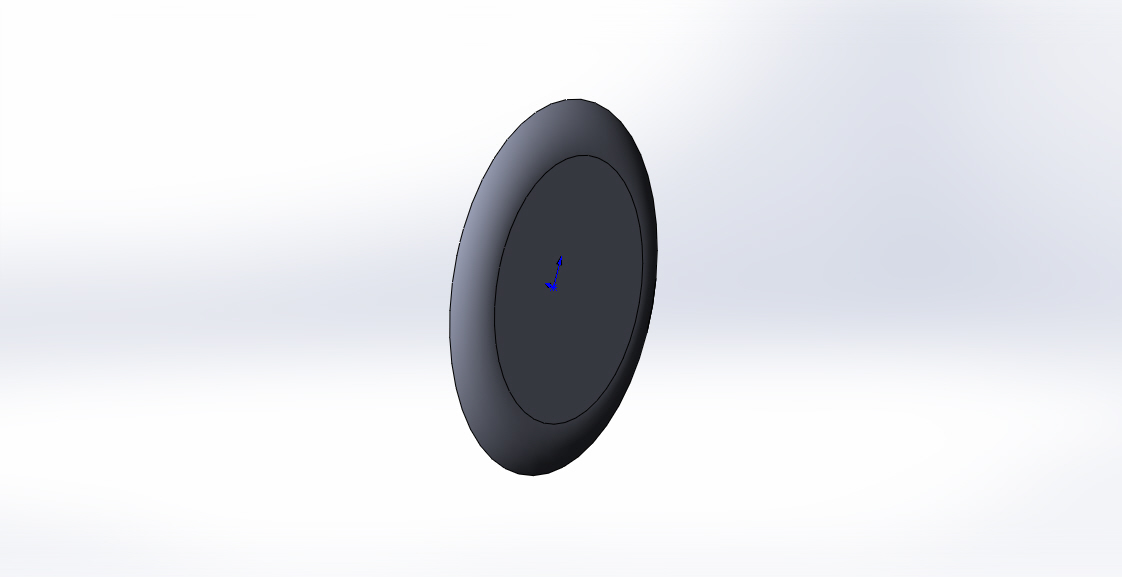
Из рисунка 12 видно, что проблемой является необходимость уменьшения заметно­сти головной части РГ. Для это разделим головную часть на части и рассчитаем ЭПР для каждой соответственно.

**Диск**

ЭПР

𝜆- длина волны =3 см=0,03 м

r- диаметр диска =0,021м

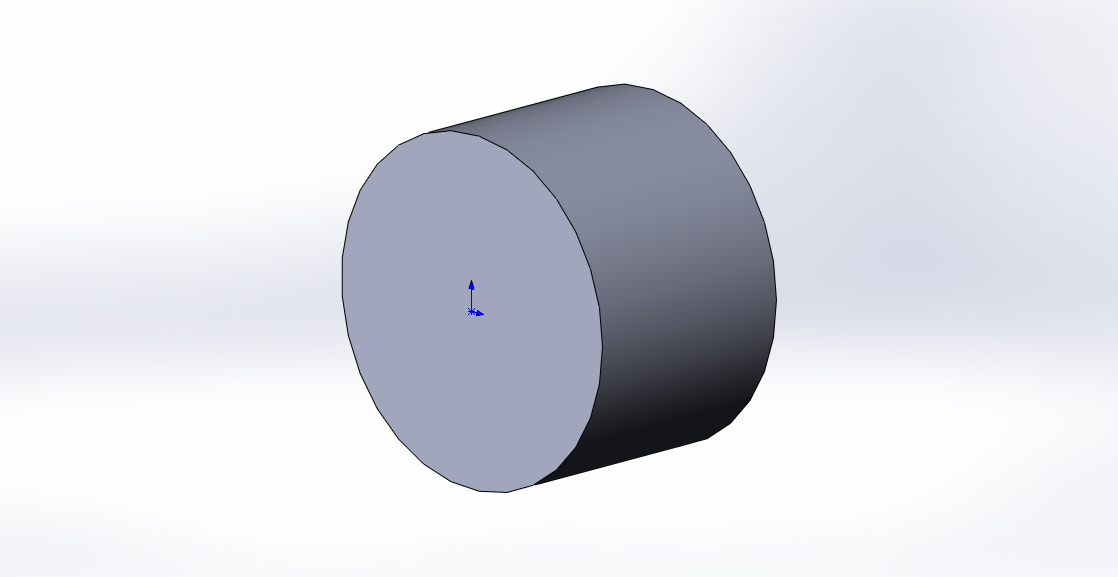


**Цилиндр**

ЭПР

r-радиус цилиндра=0,0105м

l-высота=0,014м

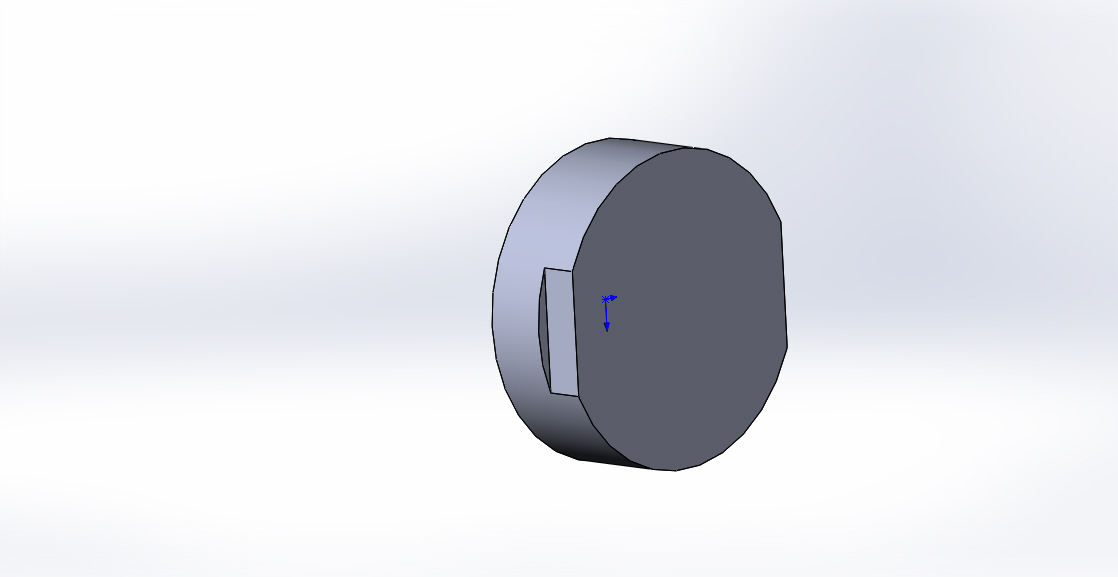


**Кольцо**

ЭПР

r-радиус цилиндра=0,0125

l-высота=0,008м



**Конус со сферическим основанием.**

ЭПР

r-радиус конуса=35.5мм=0,0355м

При создании малозаметных объектов, следует использовать элементы с минимальными значениями ЭПР и минимизировать число самих отражателей. Прежде всего, нужно уменьшить ЭПР  головная часть взрывателя. Это можно сделать при помощи новой детали колпака в виде конуса. И нанести комбинированное многослойное покрытие на всю головную часть.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уменьшение заметности объектов радиоэлектронного наблюдения (самолетов, ракет, кораблей, наземной боевой техники и т.п.) является одним из важных направлений радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и относится к разновидностям умышленных пассивных помех. Сделать военную технику малозаметной для различных видов радиоэлектронных систем (РЭС) чрезвычайно трудно. Известная технология по созданию малозаметной боевой технике «стелс» предусматривает комплексное использование различных средств:

-применение малоотражающих в сторону РЭС форм техники.

-применение радиопоглощающих материалов (РПМ);

Был проведен первый этап анализа технологий снижения радиолокационной заметности для РГ. Из расчётов надо уменьшать значения ЭПР в головной части РГ. Все задачи практики были выполнены, цели практики достигнуты полностью.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт БГТУ «ВОЕНМЕХ» [Электронный ресурс]. URL:

http://www.voenmeh.ru (дата обращения 05.07.2018).

2. Устав БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова [Электронный ресурс].

URL: http://voenmeh.ru/files/0/29.10.2015.pdf (дата обращения 05.07.2018).

3. Правила внутреннего распорядка [Электронный ресурс]. URL:

http://voenmeh.ru/files/0/pravila\_vnutr\_rasporyadka\_2011.pdf (дата обращения 05.07.2018).

4. Положение об оплате труда работников Университета [Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/Pologenie\_o\_oplate\_truda\_2013.pdf (дата обращения 05.07.2018).

5. Положение о надбавках и доплатах стимулирующего характера к

должностным окладам [Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/Pologenie\_o\_nadbavkah\_2013.pdf (дата обращения 05.07.2018).

6. Положение о премировании (установлении поощрительных выплат)

[Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/Pologenie\_o\_premiyah\_2013.pdf (дата обращения 07.07.2018).

7. Справка о результатах исполнения программы развития БГТУ

«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на 2010-2020 г.г. по итогам 2014 года

[Электронный ресурс]. URL:

http://voenmeh.ru/files/0/Spravka\_programma\_razvitiya2015\_otchet.pdf (дата обращения 07.07.2018).

8. Положение о закупках товаров, выполнения работ, оказания услуг для

нужд федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего профессионального образования «Балтийский

государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

[Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/Pologenie\_o\_zakupkah2014.pdf (дата обращения 07.07.2018).

9. Лицензия на право ведения образовательной деятельности [Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/License\_2238\_2p.pdf (дата обращения 08.07.2018).

10. Свидетельство о государственной аккредитации [Электронный ресурс]. URL: http://voenmeh.ru/files/0/accred-0854\_12.12.2013.pdf (дата обращения 08.07.2018).

11.В.В. Смирнов, С.В. Николаев.  Пассивные помехи.  Издательство "Радиоавионика", 2008.-400c

12.Радиоэлектронная заметность самолетов (по материалам открытой иностранной печати)//ЦАГИ. – 1986.-№ 665.-76 с.

13. Мицмахер,М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ /М.Ю. Мицмахер, В.А. Торгованов. – М.: Радио и связь,1982.-128 с.

14. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. М.: Вузовская книга, 2003.

15. А.И. Куприянов. Радиоэлектронная борьба, Издательство " Вузовская книга", 2013.-801c