Глава 3

Характеристики рассеяния некоторых воздушных и наземных объектов

Эта глава носит справочный характер и, по сути дела, подытоживает теоретические исследования, проведенные в первых двух главах. В ней приводятся результаты математического моделирования радиолокационных характеристик рассеяния образцов воздушной и наземной техники, полученные на основе предложенных в предыдущих главах методов.

Приводятся следующие радиолокационные характеристики: круговые диаграммы мгновенной ЭПР, средние и медианные значения ЭПР в конкретных диапазонах ракурсов облучения. Указанные характеристики рассчитаны для ряда воздушных (бомбардировщика В-2, дальнего бомбардировщика Ту-22МЗ, пассажирского самолета Boeing-737, транспортного самолета Ан-26, истребителя МиГ-29, истребителя F-16, крылатой ракеты AGM-86 ALCM при зондировании на углах места, близких к плоскости крыла) и наземных (основного боевого танка российского производства – Т-90, немецкого танка – Leopard-2, американского танка – M1A1 Abrams при зондировании под разными углами места) объектов.

Кроме того, рассчитаны круговые диаграммы такой радиолокационной характеристики, как "некогерентная" ЭПР. Под некогерентной ЭПР радиолокационного объекта (так же, как и в главе 2) будем понимать сумму ЭПР участков эллипсоидов и кромочных участков, из которых формируется модель поверхности объекта.

Поскольку ракурс радиолокационной цели можно считать случайным, то и величина ЭПР в каждый отдельный момент времени является случайной. Законы распределения этой случайной величины можно определить по рассчитанным (или экспериментально снятым) диаграммам мгновенной ЭПР. Наравне с ЭПР σ в радиолокации часто используется величина $\sqrt{\sigma}$, которая пропорциональна амплитуде отраженного от цели сигнала. Поэтому в данной главе приведены гистограммы распределения амплитудного множителя отраженного сигнала $\sqrt{\sigma}$ при зондировании объектов с основных ракурсов. Из ряда распределения, Г -распределения) были выбраны наиболее согласующиеся с эмпирическими распределения и в соответствии с критерием Колмогорова-Смирнова (при этом определялись параметры теоретических распределений).

В радиолокации при расчетах дальности обнаружения цели с вероятностью 0,5 необходимо иметь медианное значение ЭПР цели. Поэтому для всех рассматриваемых в данной главе радиолокационных целей приведены медианные значения ЭПР для конкретных азимутальных секторов облучения. Под медианным значением ЭПР в конкретном секторе углов облучения понимается некоторое неслучайное значение ЭПР, вероятности превышения и непревышения которого случайной величиной ЭПР в заданном секторе углов равны 0,5.

Все перечисленные выше характеристики приведены для случая совмещенного приема.

3.1. Характеристики рассеяния воздушных объектов

Для воздушных объектов результаты расчетов приведены для следующих частот облучения: 10 ГГц (длина волны 3 см), 3 ГГц (длина волны 10 см), 1 ГГц (длина волны 30 см), 166 МГц (длина волны 1,8 м). Параметры облучения принимались следующими. Шаг изменения азимута зондирования 0,02°, азимут β (рис.3.1) отсчитывается от носового ракурса (0° соответствует зондированию в нос самолета, 180° – зондирование в хвост). Учитывая, что ракурс самолета в угломестной плоскости может флюктуировать во время его полета, угол места зондирования выбирался случайным, равномерно распределенным в диапазоне -3°±4° относительно плоскости крыла (угол места -3° соответствует зондированию из нижней полусферы (рис. 3.1)). Результаты получены для случая совмещенного приема для двух ортогональных поляризаций зондирующего сигнала: горизонтальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны \vec{p}_{r}^{0} лежит в плоскости крыла; вертикальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны $\vec{p}_{\rm B}^0$ ортогонален $\vec{p}_{\rm F}^0$ и лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости крыла и проходящей через вектор направления падающей плоской волны. Далее, на всех рисунках синим цветом обозначен случай горизонтальной поляризации падающей волны, малиновым цветом – случай вертикальной поляризации.



Рис. 3.1. Геометрия облучения воздушного объекта

Гистограммы распределения амплитудного множителя отраженного сигнала (квадратного корня из ЭПР) приведены для диапазона азимутов облучения –20°...+20° ("носовые" ракурсы

воздушных радиолокационных объектов) и случая горизонтальной поляризации падающей электромагнитной волны.

Приведены теоретические функции плотности вероятности распределения амплитудного множителя отраженного сигнала (из ряда распределений, указанных выше), наиболее согласующиеся с полученными эмпирическими распределениями по критерию Колмогорова-Смирнова. На рисунках с изображением гистограмм амплитудного множителя черной линией изображены плотности распределения (указанные на полях рисунков), домноженные на площади соответствующих гистограмм.

Следует отметить, что в ряде случаев, несмотря на удовлетворительное согласие по критерию Колмогорова-Смирнова, кривые теоретических плотностей распределения могут заметно отличаться от огибающих гистограмм. В этом случае пользователь может попытаться найти другие теоретические распределения, плотности которых точнее согласуются с приведенными гистограммами, либо непосредственно использовать гистограммы.

3.1.1. Характеристики рассеяния стратегического бомбардировщика В-2

Контракт на создание бомбардировщика-"невидимки" под кодовым обозначением АТВ был подписан с компанией Northrop в 1981 году [47]. Кроме фирмы Northrop в программе принимали участие следующие компании: Boeing (создание радиоэлектронного оборудования), Ling-TeamCo Wout (новые материалы и конструкции) и General Electric (двигатели). Первый полет самолета, который получил в 1987 году официальное обозначение В-2, состоялся в 1989 году. В 1993 году первый самолет В-2 поступил на вооружение BBC США. В настоящее время из 21 самолета В-2 16 находятся в строю, четыре используются в качестве тренировочных и один в качестве летающей лаборатории для отработки перспективных высокоточных систем вооружения. Общая стоимость выпущенных В-2 (без учета созданной для их испытаний и эксплуатации инфраструктуры) составляет 46,4 миллиардов долларов. При этом в настоящее время продолжаются работы по модернизации самолета, завершение которых намечено на 2014 год.

Самолет В-2 выполнен по схеме "летающее крыло" и не имеет вертикального оперения (рис.3.2). Функцию рулей направления выполняют расцепляющиеся щитки, установленные на концах крыла. Форма В-2 в плане образована 12 прямыми линиями, что позволяет сконцентрировать все отражения в горизонтальной плоскости в нескольких основных узких секторах. Используется "четырехлепестковая" схема: параллельные передние и задние кромки корпуса и кромки люков, створок ниш шасси и отсеков двигателей, а также обечаек воздухозаборников формируют Х-образно расположенные четыре основных сектора отражения (по два сектора в передней и задней полусферах). С боковых и фронтальных ракурсов самолет практически не имеет прямых линий и плоских поверхностей. Носок крыла имеет внутреннюю шиловидую радиопоглощающую конструкцию с сотовым заполнителем.

Планер самолета построен в основном из титановых и алюминиевых сплавов с широким использованием углепластиков [49]. Основным несущим компонентом конструкции служит однолонжеронный титановый кессон, расположенный в передней центральной части корпуса и в соседних промежуточных секциях, к которым крепятся углепластиковые консоли крыла, не имеющие сужения.

В соответствии с имеющимися данными о конструкции самолета B-2 для проведения расчетов вторичного излучения была построена модель его поверхности (рис. 3.3), параметры которой представлены в таблице ниже. Рассмотрена модель B-2 с предполагаемым распределением радиопоглощающего материала по ее поверхности. Отметим, что поскольку реальные значения параметров покрытия неизвестны, в качестве РПМ использован материал с неизменными относительными диэлектрической и магнитной проницаемостями: $\varepsilon' = 1 + j5$, $\mu' = 1 + j5$. Эти значения соответствуют поглощающему покрытию зоммерфельдовского типа и

соответствуют некоторым типам реальных ферромагнитных покрытий [84, 85]. Передняя кромка крыла (обозначенная черным цветом на рис. 3.3) является передней границей области, представляющей в конструкции реального самолета набор длинных металлических трубок, заполненных радиопоглощающим материалом. При построении модели последнее учитывалось следующим образом. Тангенциальные составляющие поля \vec{E} и \vec{H} в точках на поверхности крыла, выделенной черным цветом на рис. 3.3, приближенно принимались такими же, как на границе подстроенного в соответствующей точке крыла полупространства из материала заполнения трубок ($\varepsilon' = 1 + j5$, $\mu' = 1 + j5$). В модели с неидеально отражающей поверхностью толщина моделируемого покрытия была переменной и составляла: 3 мм для передней части фюзеляжа, 2,5 мм для задней части фюзеляжа, 2 мм для остальной поверхности модели. Кроме того, поверхность остекления кабины экипажа и верхняя кромка крыла за соплами двигателей в модели предполагались идеально проводящими.



52,4 м

464,5 кв.м

Количество прямых кромочных

участков в модели

22

Размах крыла

Площадь крыльев



Рис. 3.4. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.5. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.6. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.7. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.8. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.9. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.10. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.11. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.12. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.13. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.14. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.15. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.16. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.17. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.18. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.19. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.20. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.21. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.22. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.23. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.24. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.25. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.26. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.27. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.28. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.29. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.30. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.31. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

В таблице 3.1 приведены выражения и параметры распределений, наиболее согласующихся с эмпирическими распределениями корня квадратного из ЭПР для различных частот и поляризаций зондирующего сигнала.

Таблица 3.1. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

Длина	Поляризация	Тип	Параметры
волны		распределения	распределения
3 см	горизонталь-	β - распределение:	
	ная	$\Gamma(\nu + \omega) = \Gamma(\nu + \omega)$	v = 2,4491
		$p(x) = \frac{1}{\Gamma(v)\Gamma(\omega)} x^{-1} (1-x)^{-1} ,$	$\omega = 14,612$
		где Г(v) – гамма-функция	
3 см	вертикальная	β - распределение	v = 2,39636
			ω=13,48536
10 см	горизонталь-	Распределение Вейбулла:	
	ная	$\left(\sum_{c=1}^{c-1} \left(x \right)^{c}$	<i>b</i> = 0,1854
		$p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right) e^{-\left(\frac{b}{b}\right)}$	<i>c</i> = 1,7822
10 см	вертикальная	β - распределение	v = 2,37642
			ω=10,81251
30 см	горизонталь-	Распределение Вейбулла	<i>b</i> = 0,36701
	ная		<i>c</i> = 2,344988
30 см	вертикальная	Распределение Вейбулла	<i>b</i> = 0,37423
			<i>c</i> = 2,306958
180см	горизонталь-	Г-распределение:	
	ная	$(x) (x)^{c-1} (-\frac{x}{b}) = 1$	<i>b</i> = 0,15556
		$p(x) = \left(\frac{b}{b}\right) e^{(-b)} \frac{1}{b\Gamma(c)},$	<i>c</i> = 4,63433
		где Г (c) – гамма-функция	
180см	вертикальная	Г-распределение	<i>b</i> = 0,148842
			<i>c</i> = 4,987962

3.1.2. Характеристики рассеяния дальнего бомбардировщика Ty-22M3

Первый опытный образец дальнего бомбардировщика Ту-22М3 был получен в результате глубокой модернизации бомбардировщика Ту-22М. В 1978 году самолет был запущен в серийное производство. Новые системы вооружения потребовали дополнительного времени на их доводку и испытания, поэтому в окончательном виде Ту-22М3 официально был принят на вооружение только в марте 1989 года [86].

Самолет Ту-22М3 выполнен по нормальной аэродинамической схеме с крылом изменяемой геометрии, цельноповоротным стабилизатором И однокилевым вертикальным оперением (рис. 3.32). Конструкция планера изготовлена, в основном, из алюминиевых сплавов. Крыло состоит из неподвижной части и поворотных консолей (на Ту-22М3 поворотные консоли могут устанавливаться в положение с углом стреловидности 20°, 30° и 65°, на самолетах более ранних модификаций максимальный угол стреловидности ограничен величиной 60°). Теоретические работы и летные испытания показали следующие преимущества тяжелых ударных самолетов с подобным крылом: среднее за полет значение аэродинамического качества существенно возрастало в связи с ростом аэродинамического качества на дозвуковом режиме при умеренной стреловидности крыла, что увеличивало дальность полета; возможность взлета и посадки при положении крыла соответствующего минимальной стреловидности позволяло значительно улучшить взлетно-посадочные характеристики; при больших углах стреловидности самолет становился оптимизированным для полетов на больших сверхзвуковых скоростях; в положении максимальной стреловидности крыла уменьшалось время разгона и прохода через трансзвуковой участок, уменьшались перегрузки в вертикальной плоскости вблизи земли, что позволяло выполнять полеты на малых и сверхмалых высотах. В районе поворотного узла крыла расположены аэродинамические гребни, препятствующие перетеканию воздуха к консолям. Особенности самолета с крылом изменяемой стреловидности заставили по-новому подойти к использованию и размещению органов управления самолетом: отказались от размещения элеронов на крыле, внедрили интерцепторы и дифференциально отклоняемый стабилизатор, для улучшения взлетно-посадочных характеристик на носке консолей крыльев по всему размаху установлены предкрылки.

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности самолета (рис. 3.33).

Рис. 3.32. Дальний бомбарди- ровщик Ту-22М3	Рис. 3.33. Модель поверхности ТУ-22М3	
	Параметры модели поверхности самолета	
Характеристики планера	Параметры модели поверхности самолета	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м	Параметры модели поверхности самолета Количество участков	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м Размах крыльев	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50 Количество прямых кромочных	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м Размах крыльев максимальный (20°) 34,28 м	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50 Количество прямых кромочных участков в модели 25	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м Размах крыльев 34,28 м минимальный (65°) 23,3 м	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50 Количество прямых кромочных участков в модели 25 Угол стреловидности	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м Размах крыльев 34,28 м минимальный (65°) 23,3 м Площадь крыла 1000000000000000000000000000000000000	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50 Количество прямых кромочных участков в модели 25 Угол стреловидности 65°	
Характеристики планера Длина самолета 41,46 м Высота самолета 11,05 м Размах крыльев 34,28 м максимальный (20°) 34,28 м Площадь крыла 23,3 м максимальная (20°) 183,57 кв.м	Параметры модели поверхности самолета Количество участков эллипсоидов модели 50 Количество прямых кромочных участков в модели 25 Угол стреловидности поворотных консолей 65°	



Рис. 3.34. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.35. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.36. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.37. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.38. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.39. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

286



Рис. 3.40. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.41. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.42. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.43. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.44. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.45. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.46. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.47. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.48. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.49. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.50. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.51. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

292



Рис. 3.52. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.53. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.54. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.55. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.56. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.57. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.58. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.59. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации


Рис. 3.60. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.61. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Поляризация	Тип	Параметры
волны		распределения	распределения
3 см	горизонталь-	логнормальное	
	ная	распределение:	$\mu = 0,483656$
		$n(x) = \frac{1}{e^{2\pi i \theta}} \left(-\frac{\left(log(x) - \mu \right)^2}{2} \right),$	$\sigma = 0,532213$
		$\int \sqrt{2\pi} x \sigma^{(1)} \left(2\sigma^2 \right)$	
3 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,478054$
		распределение	$\sigma = 0,537757$
10 см	горизонталь-	логнормальное	$\mu = 0,490824$
	ная	распределение	$\sigma = 0,532442$
10 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,477216$
		распределение	$\sigma = 0,550485$
30 см	горизонталь-	логнормальное	$\mu = 0,557202$
	ная	распределение	$\sigma = 0,528223$
30 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,517806$
		распределение	$\sigma = 0,556563$
180см	горизонталь-	распределение Рэлея:	
	ная	$p(x) = \frac{x}{b^2} exp\left(-\frac{x^2}{2b^2}\right)$	<i>b</i> = 0,55665
180см	вертикальная	Г -распределение:	
		$(x) (x)^{c-1} (-\frac{x}{b}) = 1$	<i>b</i> = 0,146529
		$p(x) = \left(\frac{b}{b}\right) e^{\langle b \rangle} \frac{b}{b\Gamma(c)},$	<i>c</i> = 4,828072
		где Г(с) - гамма-функция	

Таблица 3.2. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

3.1.3. Характеристики рассеяния среднемагистрального пассажирского самолета Boeing-737

Программа разработки самолета Boeing-737 началась в феврале 1965 г [87, 88]. Фирма Boeing сразу начала разработку двух вариантов: 737-100 на 100 – 103 места и 737-200 на 115 мест. 298

Первый опытный самолет 737-100 начал программу испытаний 9 апреля 1967 г., а первый самолет Boeing 737-200 поднялся в воздух 8 августа 1967 г. Сертификация модели 737-100 завершилась в декабре 1967 г., но он не получил большой популярности: всего было поставлено 50 самолетов. Больше интереса проявили к варианту 737-200, который был сертифицирован также в декабре 1967 г.

Результатом дальнейших модернизаций стало создание новой модификации 737-200 Advanced, послужившей основой для разработки многочисленного семейства самолетов. Первый полет самолета этой модификации состоялся 15 апреля 1971 г., а в конце мая начались поставки. Первоначально самолет 737-200 Advanced выпускался со взлетной массой 54,2 т. В дальнейшем она была увеличена сначала до 56,47, а потом до 58,1 т. Грузопассажирский вариант 737-200C Advanced оборудован грузовой дверью размером 2,14 х 3,4 м.

Современные модификации среднемагистрального пассажирского самолета Boeing 737 являются дальнейшим развитием самолета Boeing 737-200 Advanced. Опытный самолет Boeing 737-300 совершил свой первый полет в 1984 году. Boeing 737-300 отличается от модели 737-200 удлиненным на 2,64 м фюзеляжем, несколько большим размахом крыла, обеспечивающим новому самолету высокую подъемную силу и хорошие летные характеристики на малых скоростях и возможность укороченного взлета и посадки одновременно с экономичными летными характеристиками при высоких скоростях. Boeing 737-300 стал базовой моделью для создания целого семейства ближне- и среднемагистральных самолетов (737-400, -500, -600, -700 и 800). В апреле 2001 года завершилась сертификация новой модели – 737-900, способной принять на борт 190 человек.

В настоящее время Boeing 737 является одним из самых массовых самолетов гражданской авиации. Так к 2001 году самолетов Boeing 737 различных модификаций было продано более

4300 штук.

Для моделирования поверхности была выбрана модификация Boeing 737-400 (рис. 3.62). Основные геометрические характеристики и параметры модели поверхности данного самолета приведены в таблице ниже.

Анализ формы и размеров самолета показывает, основной вклад в его общую ЭПР будут вносить "гладкие" участки фюзеляжа, крыльев и хвостовой части. Поэтому при создании модели поверхности рассматриваемого самолета (рис. 3.63) кромочные участки не учитывались. Учитывая то, что различия в ЭПР для случаев разной поляризации падающей волны в рассматриваемых диапазонах длин волн вызваны кромочными участками, которые в модели не учитывались, результаты расчетов далее приведены только для случая горизонтальной поляризации падающей волны.

Constant of the second			2
Рис. 3.62. Пассажирский само- лет Boeing 737		Рис. 3.63. Модель поверхн Boeing 737	ости
Характеристики планера		Параметры модели поверхности самолета	a
Длина самолета	36,04 м	Количество участков	
Высота самолета	11,13 м	эллипсоидов модели	58
Размах крыла	28,88 м		
Площадь крыла	105,4 кв.м		



Рис. 3.64. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.65. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.66. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.67. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.68. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.69. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.70. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.71. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

304



Рис. 3.72. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.73. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.74. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.75. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.76. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.77. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.78. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.79. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.80. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.81. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.82. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной



Рис. 3.83. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Тип	Параметры распре-
волны	распределения	деления
3 см	логнормальное распределение:	
	1 $\left(\left(log(x) - \mu \right)^2 \right)$	$\mu = 1,007/037$
	$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x\sigma} exp\left[-\frac{(\log(x) - \mu)}{2\sigma^2}\right]$	$\sigma = 0,764677$
	(20)	
10 см	логнормальное распределение	$\mu = 0,984461$
		$\sigma = 0,776168$
30 см	Г-распределение:	
	$x(x) = (x)^{c-1} \left(\frac{x}{b} \right) = 1$	<i>b</i> = 1,575318
	$p(x) = \left(\frac{\overline{b}}{\overline{b}}\right)^{-1} e^{-\frac{1}{b}} \frac{1}{b\Gamma(c)},$	<i>c</i> = 2,308599
	где Г (c) – гамма-функция	
180 см	нормальное распределение:	
	$1 ((r u)^2)$	$\mu = 3,190103$
	$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x-\mu)}{2\sigma^2}\right)$	σ=1,515569

Таблица 3.3. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

3.1.4. Характеристики рассеяния многоцелевого транспортного самолета Ан-26

Многоцелевой транспортный самолет Ан-26 представляет собой военно-транспортный вариант пассажирского самолета Ан-24 и предназначен для перевозки, посадочного и воздушного десантирования личного состава, военных грузов в стандартной упаковке, горюче-смазочных материалов в бочках и канистрах, а также транспортирования раненых и больных. Ан-26 имеет конфигурацию свободнонесущего моноплана с высоким размещением крыла (рис. 3.84), оборудованного закрылками Фаулера большого размаха – двухщелевыми с внешней стороны гондолы двигателя и однощелевыми в корневой части крыла [89, 90].

Хвостовая часть машины оснащена большим грузовым

люком, который закрывается рампой оригинальной конструкции. Хвостовое оперение – традиционное, дополненное подфюзеляжным килем, фюзеляж типа полумонокок. Гидравлически убирающееся трехопорное шасси имеет двойные колеса на каждой стойке. Силовая установка включает два турбовинтовых двигателя Ивченко АИ-24ВТ с воздушным винтом изменяемого шага и вспомогательный турбо-реактивный двигатель РУ19А-300, который монтируется в правой мотогондоле. Самолет имеет значительное число модификаций, используемых в вооруженных силах и народном хозяйстве. Имеются варианты радиопротиводействия, воздушные командные пункты, санитарные самолеты, самолеты пожаротушения и т.п.

Так же, как и для Boeing 737, при создании модели поверхности Ан-26 (рис. 3.85) кромочные участки не учитывались, поэтому результаты расчетов приведены только для горизонтальной поляризации облучающего сигнала.

	203		
Рис. 3.84. Многоцелевой транс-		Рис. 3.85. Модель поверхности	
портный самолет Ан-26		Ан-26	
Характеристики планера		Параметры модели поверхности самолета	
Длина самолета	23,8 м	Количество участков	
Высота самолета	8,58 м	эллипсоидов модели	40
Размах крыла	29,2 м		
Площадь крыла	74,98 кв.м		



Рис. 3.86. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.87. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.88. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.89. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.90. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.91. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.92. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.93. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.94. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.95. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.96. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.97. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.98. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.99. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.100. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.101. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.102. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.103. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.104. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.105. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Тип	Параметры распреде-
волны	распределения	ления
3 см	Г-распределение:	
	$p(x) = \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \frac{1}{1}$	<i>b</i> = 0,762913
	b $b\Gamma(c)$	<i>c</i> = 2,20086
	где Г (c) – гамма-функция	
10 см	Г-распределение	<i>b</i> = 0,77898
		<i>c</i> = 2,262352
30 см	Г-распределение	<i>b</i> = 0,962351
		<i>c</i> = 2,18827
180 см	Распределение Вейбулла:	
	$(\rangle c^{-1} (x)^{c}$	<i>b</i> = 3,077392
	$p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c} e^{-\left(\frac{b}{b}\right)}$	<i>c</i> = 3,739166

Таблица 3.4. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

3.1.5. Характеристики рассеяния фронтового истребителя МиГ-29

Истребитель МиГ-29 – одноместный двухдвигательный всепогодный фронтовой истребитель. Самолет создавался для завоевания превосходства в воздухе в зоне боевых действий и на небольших удалениях от фронта и предназначен для борьбы с авиацией противника, прикрытия войск и тыловых объектов от ударов с воздуха, противодействия воздушной разведке противника днём и ночью, в простых и сложных метеоусловиях [91, 92]. Высокая тяговооружённость, отличная аэродинамика дают ускоренный разгон, высокую скороподъёмность, малые радиусы виражей, большие угловые скорости разворота, возможность длительно маневрировать с большими перегрузками.

Конструктивно самолет представляет собой моноплан

интегральной компоновочной схемы с двухкилевым вертикальным оперением, стреловидным крылом, которое имеет развитые корневые наплывы с тупой кромкой (рис. 3.106). Несущий фюзеляж полумонококовой конструкции делится на три основные секции – переднюю, двигательную, хвостовую – и создает около 40% подъемной силы. Двигатели РД-33 установлены в разнесенных гондолах, размещенных в хвостовой части фюзеляжа. Конструкция самолета выполнена, главным образом, из алюминия, в меньшей степени – из титана, стали, композитных материалов на основе карбона и сотовых заполнителей [92].

Бортовая РЛС Н-091ЭА расположена в передней части фюзеляжа и закрыта радиопрозрачным обтекателем оживальной формы. Блоки РЛС находятся в отсеке, расположенном в фюзеляже непосредственно за антенной. За ними расположена герметичная кабина летчика. Кабина закрыта прозрачным фонарем. Фонарь состоит из двух сегментов – неподвижного козырька и подвижного сегмента, который открывается вверх-назад. Переплет фонаря выполнен из сплава на основе магния. Остекление всего фонаря выполнено трехслойным, между слоями остекления козырька вложены провода электрической системы противообледенения.

Регулируемые воздухозаборники совкового типа размещены в передней части гондол двигателей. Воздухозаборники оптимизированы для полета на высоких околозвуковых и трансзвуковых скоростях, формируют четыре скачка уплотнения.

На верхней поверхности корневых наплывов крыла имеются по три перепускных щели (они расположены сразу за вспомогательными верхними воздухозаборниками). Верхние воздухозаборники имеют по пять отверстий-щелей, которые открываются на режимах запуска двигателей, рулежки, взлета и приземления. В моменты времени, когда открыты вспомогательные воздухозаборники, основные – закрываются специальными заслонками, предупреждающими засасывание посторонних предметов в турбины. Основные воздухозаборники открываются после разгона самолета

324

на взлете до скорости 200 км/ч и закрываются при снижении скорости на посадке до 200 км/ч.

Центральную секцию фюзеляжа (за кабиной летчика) занимают основные топливные баки. Двигатели установлены под углом 4° к продольной оси самолета с разворотом в вертикальной плоскости. К хвостовой секции фюзеляжа крепятся собственно хвостовое оперение, форсажные камеры двигателей, аэродинамические тормоза и контейнер тормозного парашюта. Самолет МиГ-29 имеет два киля с рулями направления, кили наклонены наружу под углом 6° к вертикали.

	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		r 2007
Рис. 3.106. Фронтово тель МиГ-2	ой истреби- 29	Рис. 3.107. Модель повер сти МиГ-29	XHO-
Характеристики планера		Параметры модели поверхности самолет	a
Длина самолета	17,32 м	Количество участков	
Высота самолета	4,73 м	эллипсоидов модели	29
Размах крыла	11,36 м	Количество прямых кромо	чных
Плошаль крыла	38,06 кв.м	участков в модели	42

Поверхность модели самолета, которая использовалась для расчетов, представлена на рис. 3.107. Необходимо отметить, что истребитель МиГ-29 при зондировании из передней полусферы имеет два источника вторичного излучения, которые не могут быть учтены путем моделирования гладкими и кромочными участками рассеяния. Это антенная система под носовым радиопрозрачным обтекателем и воздухозаборники двигателей. Поскольку указанные рассеивающие элементы конструкции самолета могут вносить значительный вклад в общее рассеянное поле, для получения адекватных характеристик рассеяния необходимо учитывать вклад этих элементов.

Антенная система под носовым радиопрозрачным обтекателем входит в состав доплеровской РЛС Н-091ЭА "Рубин" (радиолокационного прицельного комплекса РЛПК-29Э) истребителя МиГ-29. РЛС позволяет одновременно сопровождать до десяти воздушных целей, выбирать из них объект, представляющий наибольшую опасность, и вырабатывать данные для пуска одной ракеты P-27P с полуактивной головкой самонаведения.

Антенная система выполнена по обратной схеме Кассегрена [93]. При этом переднее выпуклое зеркало (рис. 3.108 а) наклонено вниз на 9° относительно оси антенной системы и имеет вмонтированные в его поверхность вертикальные параллельные проводники, что приводит к прохождению сквозь него сигналов только одной поляризации. Основное зеркало антенной системы (рис. 3.108 б) представляет собой участок параболоида вращения диаметром 71 см и глубиной 1 см. При этом на расстоянии в четверть рабочей длины волны от металлического зеркала в толще диэлектрика расположены полуволновые проводники, ориентированные под углом 45° к проводникам переднего зеркала. При излучении сигнала он отражается от переднего зеркала, при отражении от главного зеркала его поляризация меняется на кроссовую и сигнал свободно проходит сквозь переднее зеркало. Аналогично происходит прием сигнала. Подобная схема антенной системы позволяет существенно экономить пространство, однако делает систему достаточно узкополосной. Углы сканирования антенны ±65° по азимуту и +56°...-36° по углу места, что определяется вращением всего антенного блока на круговых рельсах, прикрепленных к передней части фюзеляжа, а также возможностью поворота в вертикальной плоскости главного зеркала антенны на ±20°.

Обтекатель антенной системы (рис. 3.109) выполнен из стеклоткани, имеет следующие параметры: длина 1,91 м, диаметр у основания 0,9 м, толщина стенки 9 мм, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon \approx 3$. Ось обтекателя наклонена вниз относительно оси фюзеляжа на угол 9°.



Рис.3.108. Антенная система РЛС Н-091ЭА "Рубин"



Рис.3.109. Носовой диэлектрический обтекатель МиГ-29

Исходя из конструкции антенной системы РЛС H-091ЭА при расчете ее характеристик рассеяния на рабочей частоте (10 ГГц) можно принять, что в случае сигнала с поляризацией, параллельной направлению проводников на переднем зеркале (вертикальная поляризация при нулевом угле поворота антенной системы относительно своей оси) отражение происходит только от переднего зеркала. Пришедший сигнал с горизонтальной поляризацией полностью поглощается на эквивалентной нагрузке приемника. Для частот зондирующего сигнала, отличающихся от рабочей частоты, можно принять, что волна с горизонтальной поляризацией проходит без потерь через переднее зеркало и рассеивается основным зеркалом без поглощения на эквивалентной нагрузке. Волна же с вертикальной поляризацией полностью отражается передним зеркалом.

Учет влияния обтекателя на характеристики рассеяния бортовой антенной системы проводился в предположении, что обтекатель имеет форму конуса. Расчеты проводились с использованием приведенного в п. 2.4.3. решения модельной задачи о рассеянии радиоволн на трехмерной модели бортовой зеркальной антенны под коническим обтекателем.

Учет рассеяния на воздухозаборниках самолета МиГ-29. В работах [94, 95] был предложен следующий подход к расчету характеристик рассеяния воздухозаборников самолетов. Воздухозаборник разбивается на две части: волноводную (от входного отверстия до крыльчатки) и нагрузку этого волновода (собственно крыльчатку). В свою очередь, волноводная часть разделяется еще на несколько секций, количество которых зависит от общей длины канала. Для расчета полей в волноводной части используется доработанный итерационный метод физической оптики, основанный на интегральных соотношениях для полей. Расчет рассеяния на крыльчатке реализован на основе метода интегральных уравнений. Как показано в [96], предложенный метод позволяет рассчитывать характеристики рассеяния воздухозаборников различных конфигураций, а его точность подтверждается результатами физического моделирования.

Учет вклада воздухозаборников в общее рассеянное поле самолета МиГ-29 был проведен путем замены воздухозаборников в модели самолета эквивалентными рассеивателями в форме участков поверхностей второго порядка, имеющих такую же ЭПР в широком диапазоне ракурсов зондирования, как и реальные воздухозаборники. При этом в качестве эталонных ЭПР воздухозаборников были использованы результаты, приведенные в [96].

328



Рис. 3.110. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.111. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.112. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.113. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.114. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.115. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.116. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.117. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)


Рис. 3.118. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.119. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.120. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.121. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.122. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.123. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.124. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.125. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.126. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.127. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.128. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.129. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.130. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.131. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.132. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.133. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.134. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.135. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.136. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.137. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Поляризация	Тип	Параметры
волны		распределения	распределения
3 см	горизонталь-	Г -распределение:	
	ная	$p(x) = \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \frac{1}{(1-x)^{c-1}}$	<i>b</i> = 0,957488
		$F(c)$ (b) $b\Gamma(c)$	<i>c</i> = 2,456989
		где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	
3 см	вертикальная	Распределение Вейбулла:	
		$(x)^{c-1} - (\frac{x}{c})^{c}$	b = 2,580824
		$p(x) = \frac{c}{l} \left(\frac{x}{l} \right) = e^{\binom{b}{l}}$	<i>c</i> = 1,891905
		<i>b</i> (<i>b</i>)	
10 см	горизонталь-	Г-распределение	b = 0,734123
	ная		<i>c</i> = 2,86766
10 см	вертикальная	Распределение Вейбулла	<i>b</i> = 2,339237
			<i>c</i> = 1,816584
30 см	горизонталь-	Г-распределение	<i>b</i> = 1,049921
	ная		<i>c</i> = 2,291626
30 см	вертикальная	Г-распределение	<i>b</i> = 0,899074
			<i>c</i> = 2,517632
180 см	горизонталь-	нормальное распределение:	2 00 20 5 4
	ная	$1 ((x-u)^2)$	$\mu = 2,082954$
		$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{\sigma}{2\sigma^2}\right)$	σ=1,0292
180 см	вертикальная	нормальное распределение	μ = 1,619732
			$\sigma = 0,950078$

Таблица 3.5. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

3.1.6. Характеристики рассеяния многоцелевого истребителя F-16

Истребитель General Dynamics (теперь Lockheed Martin) F-16 Fighting Falcon является высокоманевренным многофункцио-

нальным истребителем с большими возможностями, стоящим на вооружении в 22 странах по всему миру. Необычайная маневренность истребителя позволяет ему совершать боевые маневры с перегрузками свыше 9G. Кабина летчика обеспечивает полную 360 градусную видимость по всем направлениям [92].

Прототип самолетов семейства F-16 "Фалкон", опытнодемонстрационный YF-16, впервые поднялся в воздух 2 февраля 1974 г., а в марте 2000 г. был построен 4000-й истребитель этого типа. Несмотря на свой солидный возраст, F-16 продолжает динамично совершенствоваться, оставаясь в "обойме" лучших истребителей мира. Созданный как относительно простой дневной истребитель завоевания господства в воздухе (несколько запоздалый американский ответ на МиГ-21), он со временем трансформировался во всепогодный многоцелевой авиационный комплекс, способный решать ударные задачи. Благодаря своим возможностям и легкости в адаптации платформа F-16 совершенствовалась и воплощалась во многих модификациях: F-16A – одноместный многоцелевой истребитель в основном для действий в светлое время суток; F-16B – двухместный учебно-боевой вариант F-16A; F-16С – одноместный усовершенствованный многоцелевой истребитель; F-16D – двухместный учебно-боевой вариант F-16C: F-16ADF – истребитель ПВО для национальной гвардии ВВС США; RF-16С (F-16R) – разведывательный вариант с контейнерной системой ATARS. Очевидно, что даже после поступления на мировой авиационный рынок истребителей пятого поколения, самолет F-16 будет пользоваться спросом.

F-16 представляет собой моноплан со среднерасположенным крылом и двигателем в хвостовой части фюзеляжа (рис. 3.138). Имеет интегральную аэродинамическую компоновку, отличающуюся плавным сопряжением фюзеляжа и трапециевидного в плане крыла со сравнительно небольшой стреловидностью по передней кромке. Плавное сочленение крыла и фюзеляжа позволило обеспечить создание фюзеляжем дополнительной подъ-

344

емной силы на больших углах атаки. Фюзеляж типа полумонокок цельнометаллический. Кабина с регенеративной системой кондиционирования и наддува. Конструкция самолета состоит на 78,3% из алюминиевых сплавов, 4,2% составляют титановые сплавы, 4,2% – углепластик и 3,7% – сталь.

Во второй половине 1980-х годов самолеты F-16C/D были оборудованы средствами снижения заметности (металлизирован фонарь кабины с внутренней стороны, применены радиопоглощающие материалы в зоне воздухозаборников), которые по данным некоторых источников позволили уменьшить фронтальную ЭПР на 40%.

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности истребителя (рис. 3.139).

Рис. 3.138. Многоцело	евой истре-	Рис. 3.139. Модель поверхности		
битель F-16	5	F-16		
Характеристики планера		Параметры модели поверхности самолета		
Длина самолета	15,03 м	Количество участков		
Высота самолета	5,09 м	эллипсоидов модели 42		
Размах крыла	9,45 м	Количество прямых кромочных		
Площадь крыла	27,87 кв.м	участков в модели 20		



Рис. 3.140. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.141. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.142. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.143. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.144. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.145. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.146. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.147. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.148. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.149. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.150. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.151. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.152. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.153. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.154. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.155. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.156. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.157. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.158. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.159. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.160. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.161. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.162. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.163. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.164. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.165. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.166. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.167. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Поляризация	Тип	Параметры	
волны		распределения	распределения	
3 см	горизонталь-	логнормальное		
	ная	распределение:	$\mu = 0,670217$	
		$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x\sigma} exp\left(-\frac{(log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$	σ = 0,688165	
3 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,670444$	
		распределение	$\sigma = 0,687541$	
10 см	горизонталь-	логнормальное	$\mu = 0,637303$	
	ная	распределение	$\sigma = 0,69609$	
10 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,637907$	
		распределение	$\sigma = 0,694457$	
30 см	горизонталь-	логнормальное	$\mu = 0,328542$	
	ная	распределение	$\sigma = 0,746822$	
30 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = 0,351826$	
		распределение	$\sigma = 0,730708$	
180 см	горизонталь-	логнормальное	$\mu = -0,184281$	
	ная	распределение	$\sigma = 0,16645$	
180 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = -0.187933$	
		распределение	$\sigma = 0,12564$	

Таблица 3.6. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

3.1.7. Характеристики рассеяния крылатой ракеты AGM-86 ALCM

Крылатая ракета AGM-86 ALCM (Air-Launched Cruise Missile) (рис. 3.168) является основным оружием большой дальности бомбардировщиков В-52Н. С заменой ядерных боевых частей на обычные, AGM-86 остается эффективным оружием в ближайшем обозримом будущем [97].

Первый запуск AGM-86В был произведен в 1979 г., а в ав-

густе 1981 ракеты ALCM были приняты на вооружение бомбардировщиков B-52G/H. Ракета AGM-86B оснащена одним турбореактивным двигателем F107-WR-100 или -101 и термоядерной боевой частью переменной мощности W-80-1. Крылья и рули складываются в фюзеляж и выпускаются через две секунды после запуска.

Всего до завершения производства в 1986 г. на заводах фирмы Боинг было выпущено более 1715 ракет AGM-86B. В 1986 г. компания Боинг начала переоборудовать часть ракет AGM-86B к стандарту AGM-86C. Основным изменением является замена термоядерной боевой частью на 900-кг осколочно-фугасную. Ракеты AGM-86C оснастили приемником системы спутниковой навигации GPS и электронно-оптической корреляционной системой DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlator), что существенно повысило точность ракеты (КВО снизилось до 10 м).

В ноябре 2001 г. были проведены летные испытания крылатой ракеты AGM-86D Block II, оснащенной новой 540-кг проникающей боевой частью AUP (Advanced Unitary Penetrator), предназначенной для поражения сильно укрепленных или находящихся глубоко под землей целей.

	REE		•
Рис. 3.168. Крылата	ая ракета	Рис. 3.169. Модель поверхности	
AGM-86		AGM-86	
Характеристики	планера	Параметры модели поверхности ракеты	
Длина ракеты	6,32 м	Количество участков	
Диаметр	0,62 м	эллипсоидов модели	12
Размах крыла	3,66 м	Количество прямых кромочн	ных
		участков в модели	15

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности ракеты, представленная на рис. 3.169.



Рис. 3.170. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.171. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.172. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.173. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.174. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.175. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



Рис. 3.176. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.177. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.178. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.179. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.180. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.181. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



Рис. 3.182. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.183. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)


Рис. 3.184. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.185. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.186. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.187. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



Рис. 3.188. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.189. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.190. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.191. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.192. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.193. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



Рис. 3.194. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.195. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.196. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации



Рис. 3.197. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Длина	Поляризация	Тип	Параметры
волны		распределения	распределения
3 см	горизон- тальная	Распределение Вейбулла: $p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^{c}}$	b = 0,08038 c = 3,6956
3 см	вертикальная	распределение Вейбулла	b = 0,08035 c = 3,6566
10 см	горизон-	логнормальное	
	тальная	распределение:	$\mu = -2,58274$
		$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x\sigma} exp\left(-\frac{(log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$	$\sigma = 0,3143$
10 см	вертикальная	β - распределение:	
		$p(x) = \frac{\Gamma(\nu + \omega)}{\Gamma(\nu)\Gamma(\omega)} x^{\nu - 1} (1 - x)^{\omega - 1},$	v = 12,21349 $\omega = 145,0882$
		где Г($ u$) – гамма-функция	
30 см	горизон-	логнормальное	$\mu = -2,55742$
	тальная	распределение	$\sigma = 0,77075$
30 см	вертикальная	нормальное распределение: $p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 0,09308$ $\sigma = 0,03406$
180 см	горизон-	логнормальное	$\mu = -0,710606$
	тальная	распределение	$\sigma = 0,38755$
180 см	вертикальная	логнормальное	$\mu = -1,43561$
		распределение	$\sigma = 0,32425$

Таблица 3.7. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала