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 $b\Gamma(c)$	c = 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			
Рис. 3.106. Фронтово тель МиГ-2	ой истреби- 29	Рис. 3.107. Модель поверхно- сти МиГ-29		
Характеристики	планера	Параметры модели поверхности самолета		
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-