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 B-2, дальнего бомбардировщика Ту-22М3, 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 распределений (нормального, Рэлея, логнормального, Вейбулла, β-распределения, Γ-распределения) были выбраны наиболее согласующиеся с эмпирическими распределениями 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 следую-

щими. 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 $\vec{p}_{\text{г}}^{\,0}$ лежит в плоскости крыла; вертикальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны $\vec{p}_{\text{в}}^{\,0}$ ортогонален $\vec{p}_{\text{г}}^{\,0}$ 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.

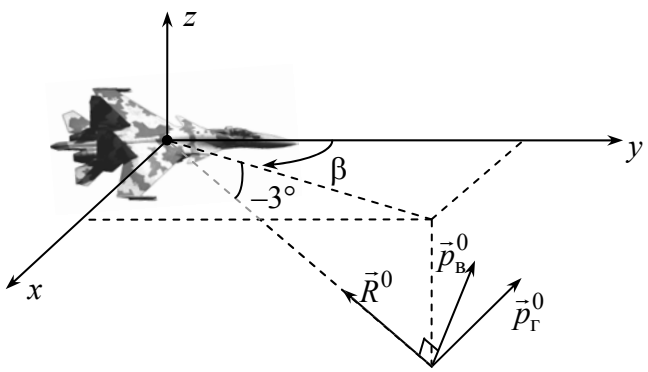


Рис. 3.1. Геометрия облучения воздушного объекта

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 B-2

Контракт на создание бомбардировщика-"невидимки" под кодовым обозначением ATB 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 B-2, состоялся в 1989 году. В 1993 году первый самолет B-2 поступил на вооружение ВВС США. В настоящее время из 21 самолета B-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 B-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 B-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 B-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 X-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.

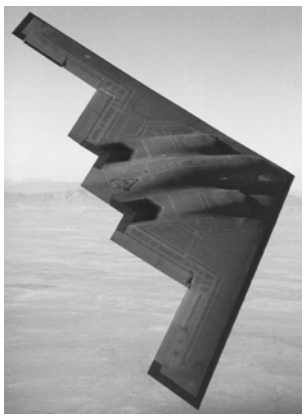


Рис. 3.2. Бомбардировщик B-2

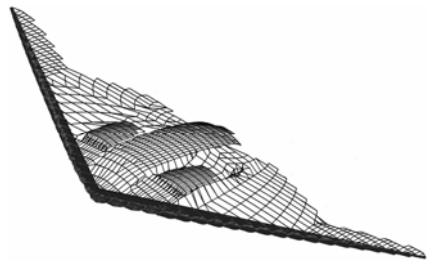


Рис. 3.3. Модель поверхности B-2

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности самолета**	
Длина самолета	20,9 м	Количество участков	
Высота самолета	5,45 м	эллипсоидов модели	26
Размах крыла	52,4 м	Количество прямых кромочных	
Площадь крыльев	464,5 кв.м	участков в модели	22

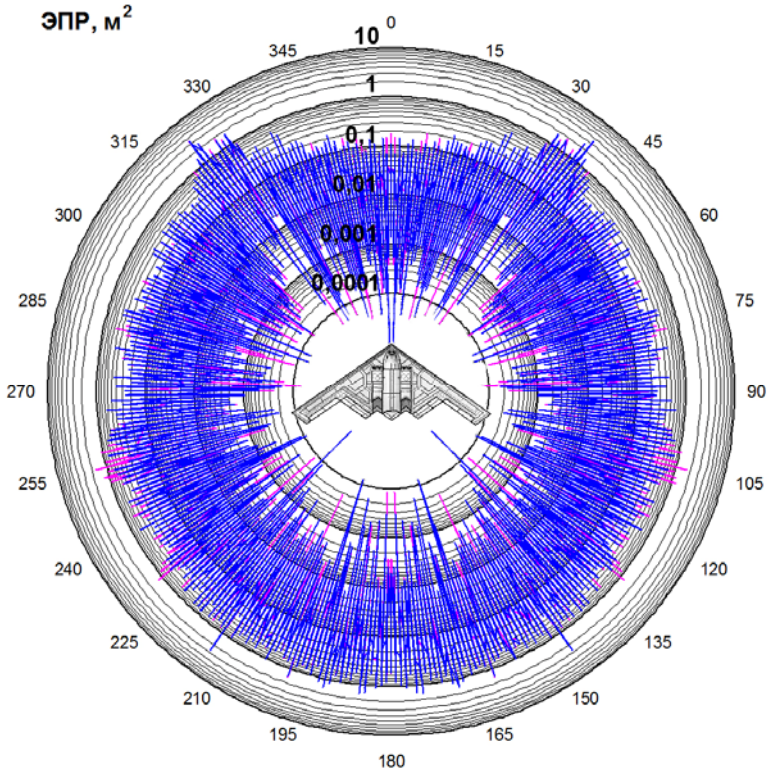


Рис. 3.4. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

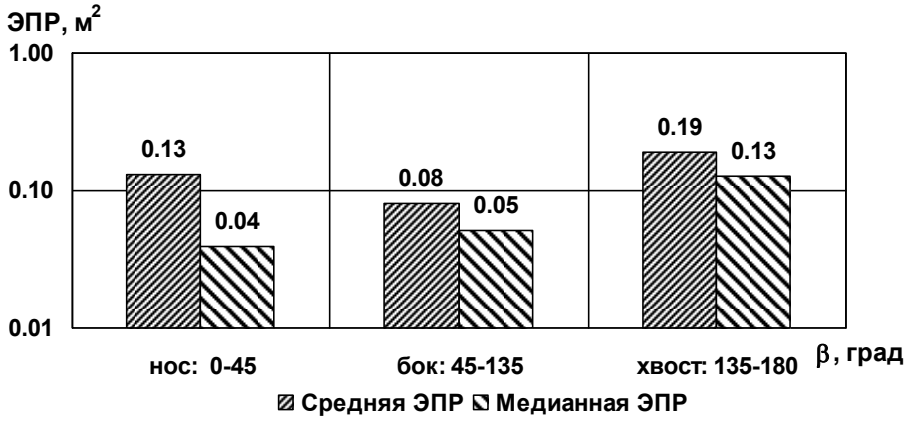


Рис. 3.5. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

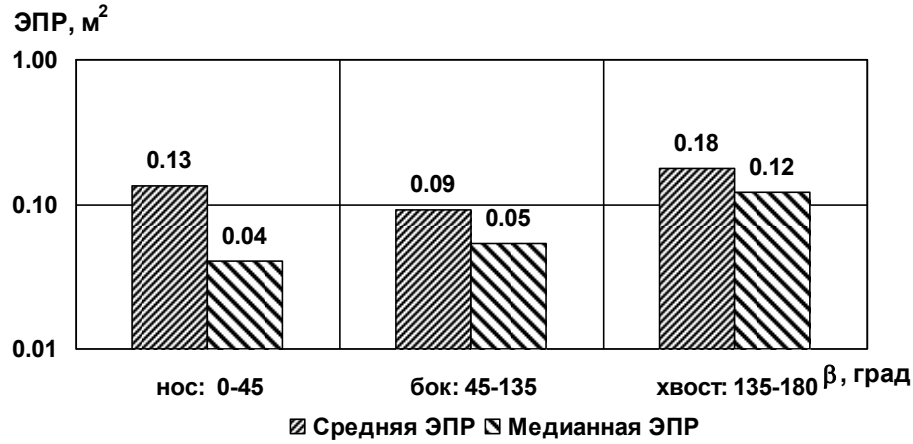


Рис. 3.6. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

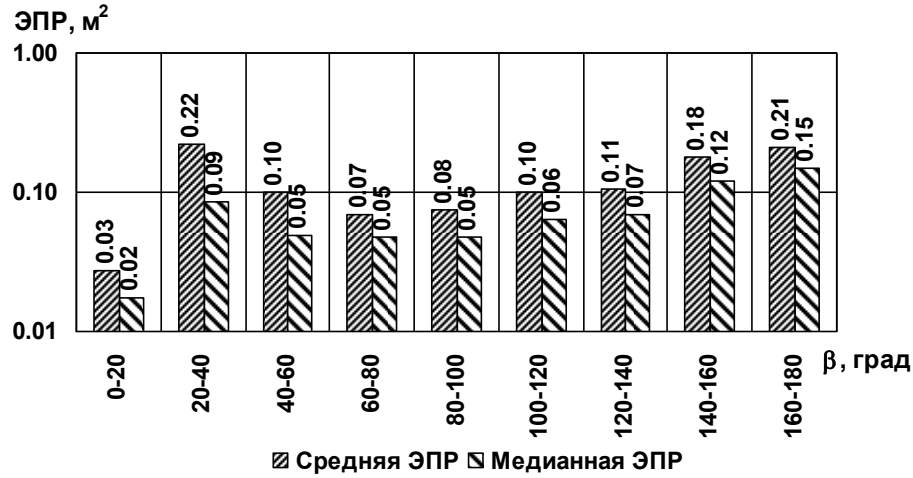


Рис. 3.7. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

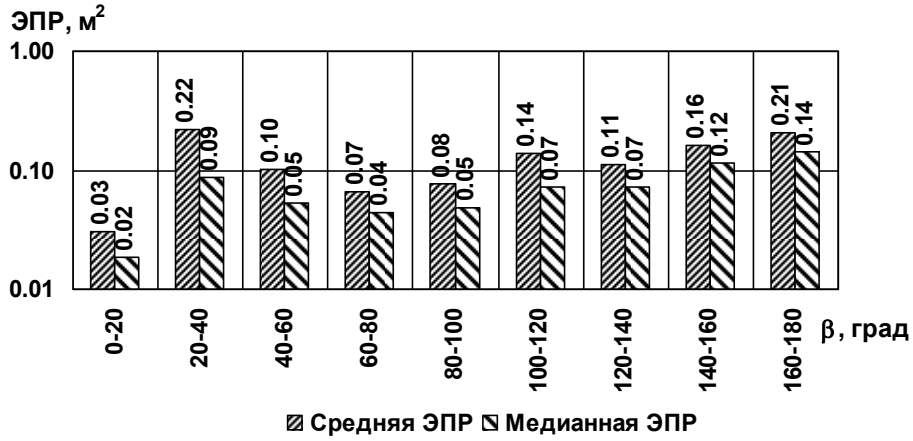


Рис. 3.8. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

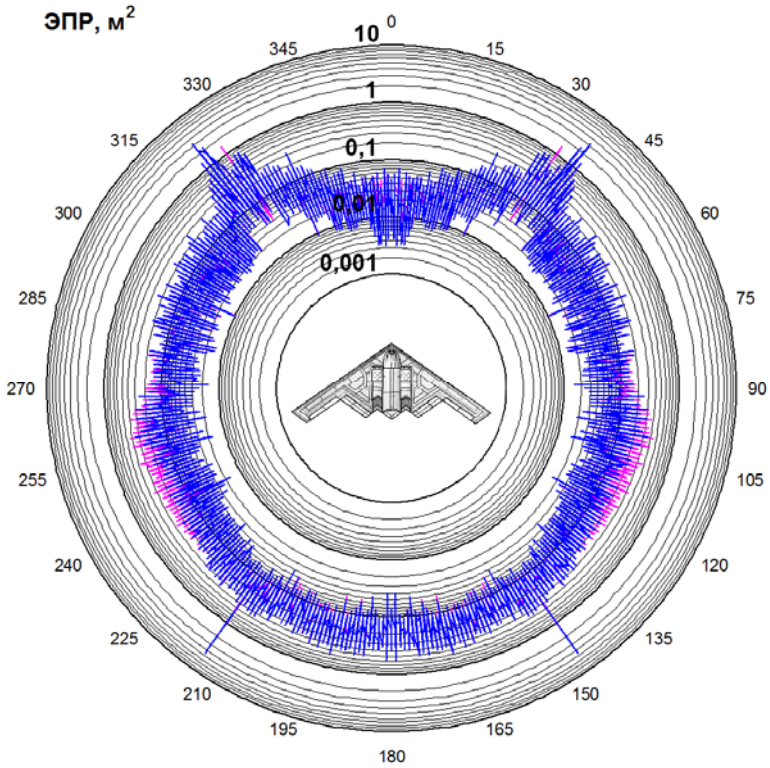


Рис. 3.9. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

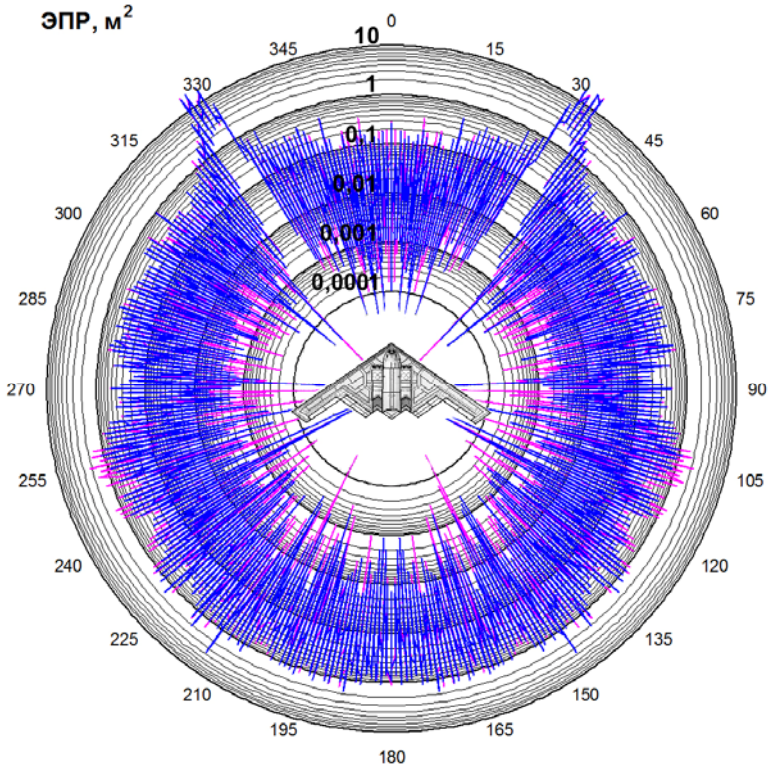


Рис. 3.10. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

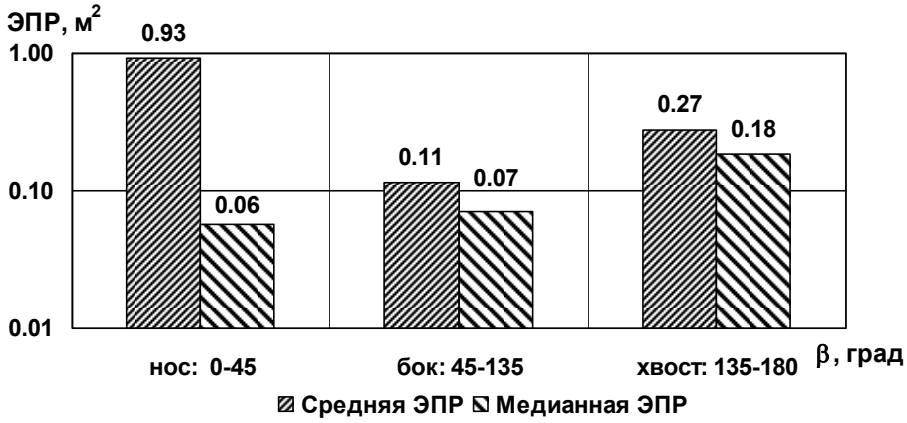


Рис. 3.11. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

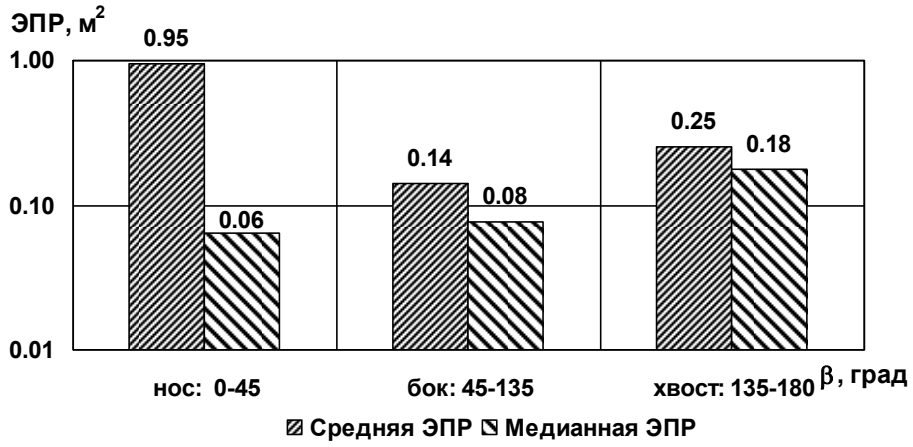


Рис. 3.12. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

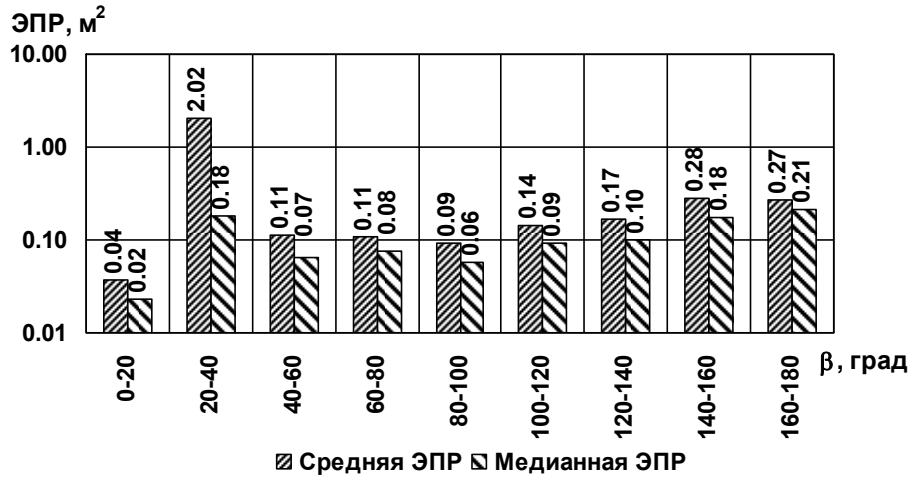


Рис. 3.13. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

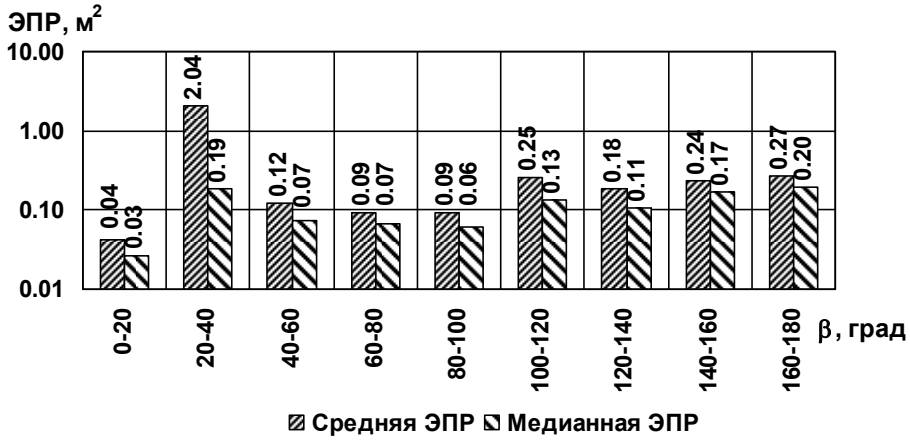


Рис. 3.14. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

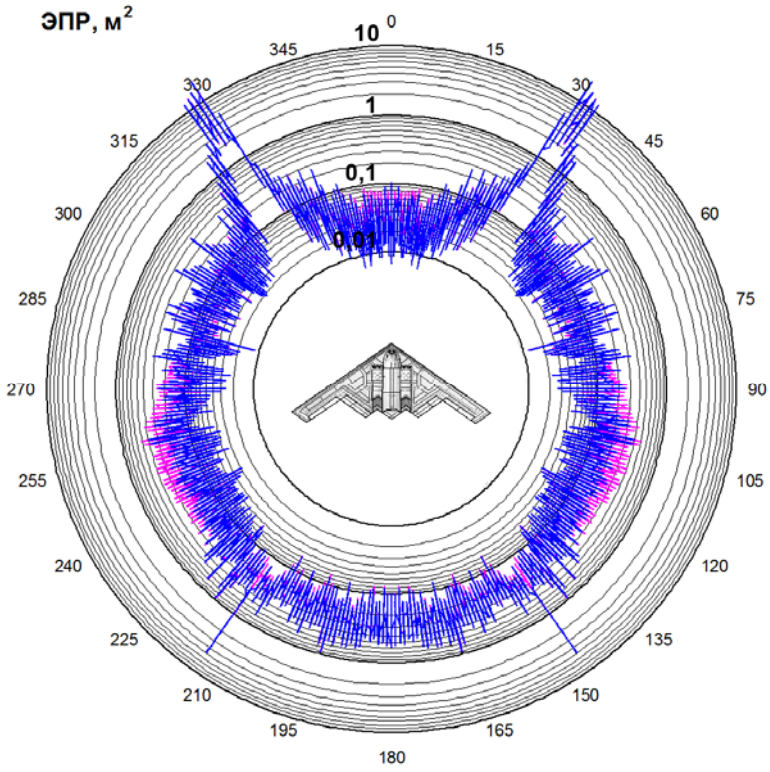


Рис. 3.15. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

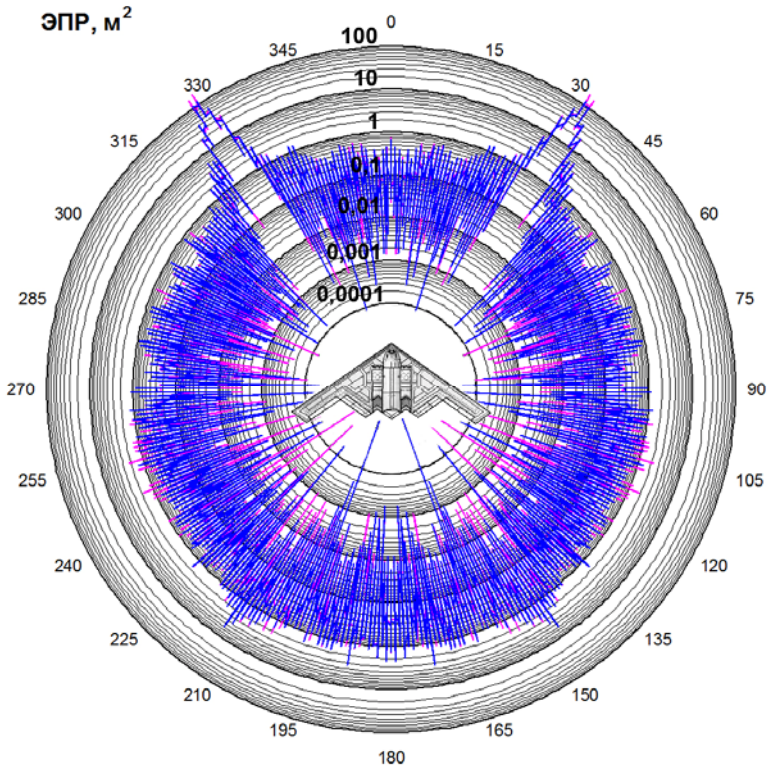


Рис. 3.16. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

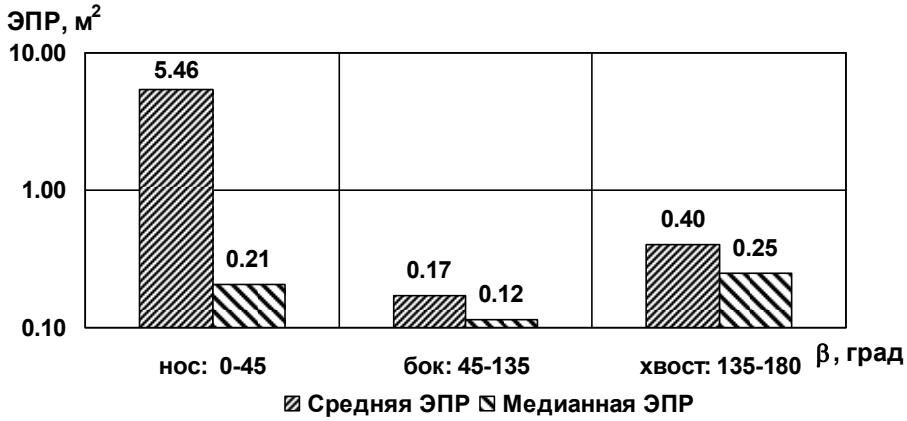


Рис. 3.17. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

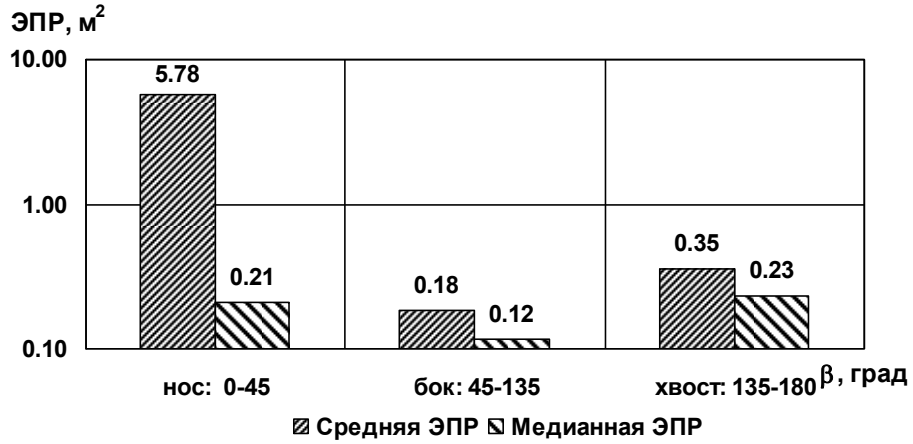


Рис. 3.18. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

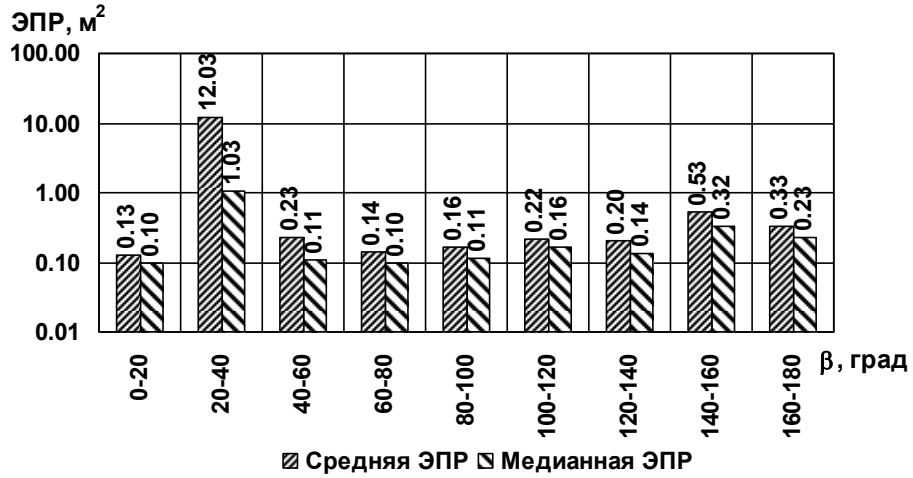


Рис. 3.19. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

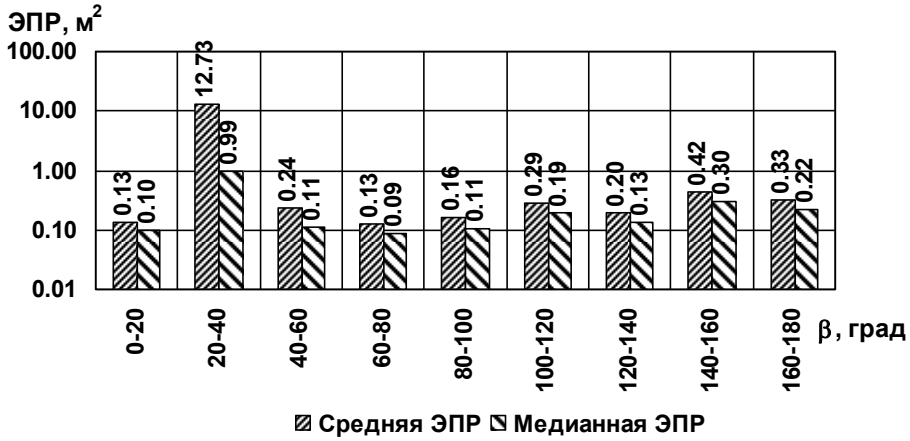


Рис. 3.20. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

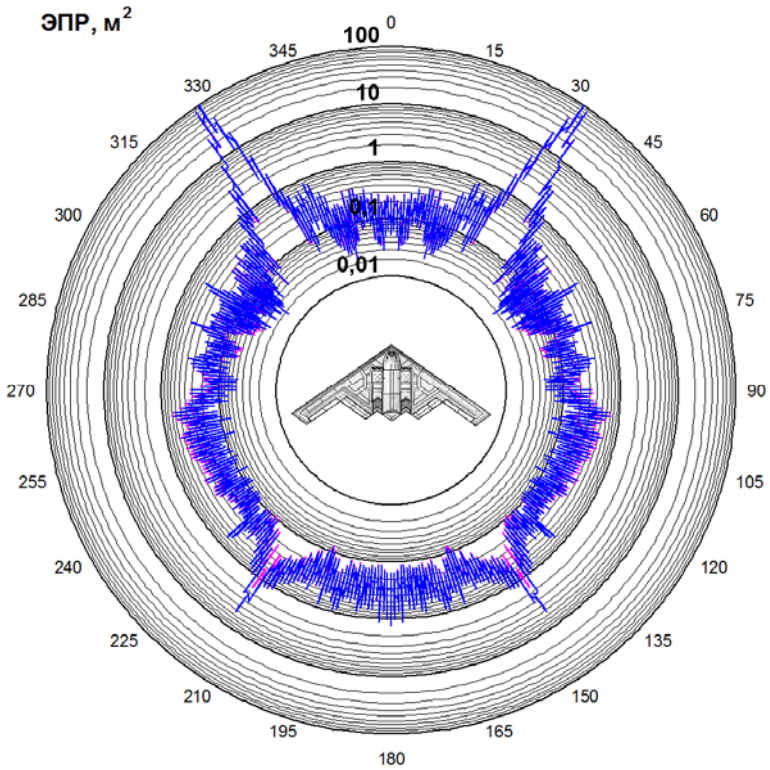


Рис. 3.21. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

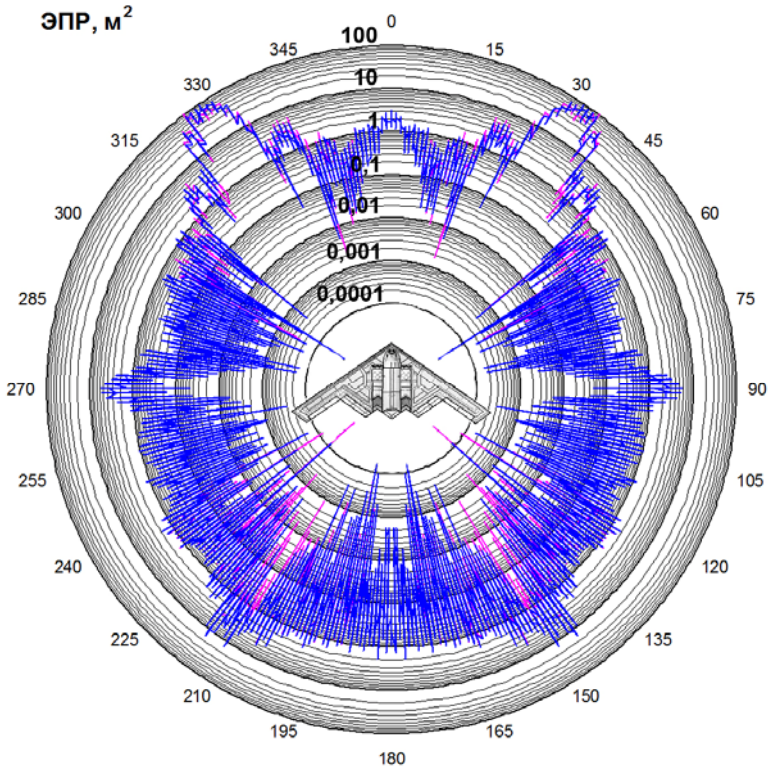


Рис. 3.22. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

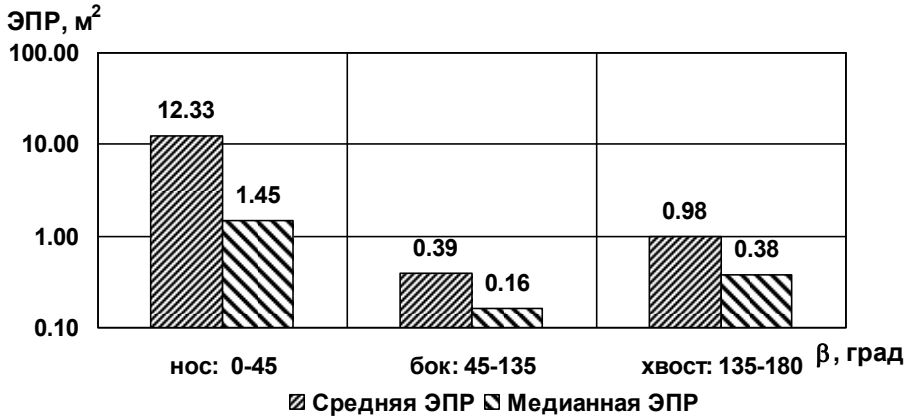


Рис. 3.23. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

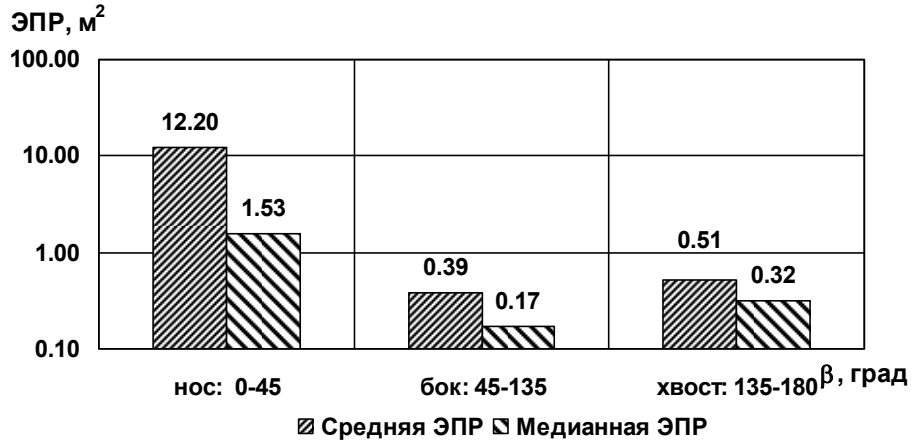


Рис. 3.24. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

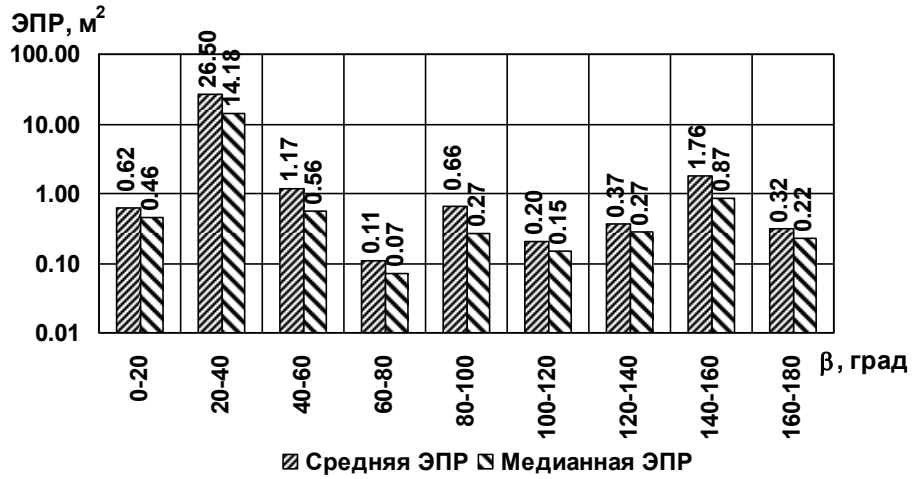


Рис. 3.25. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

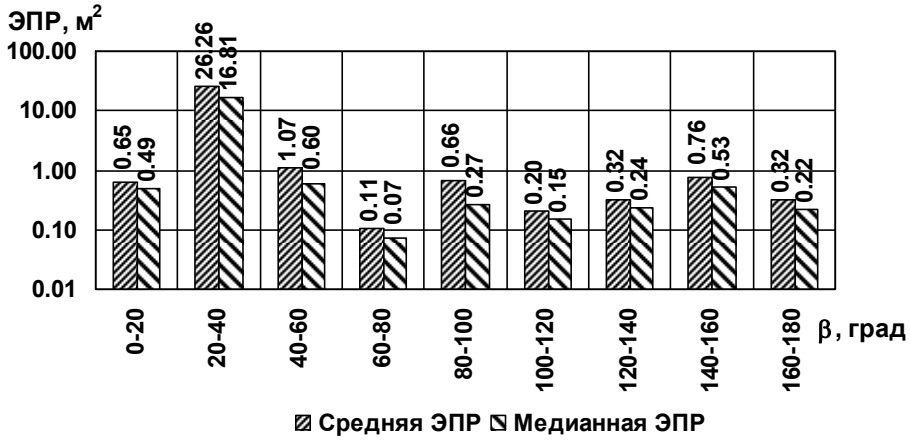


Рис. 3.26. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

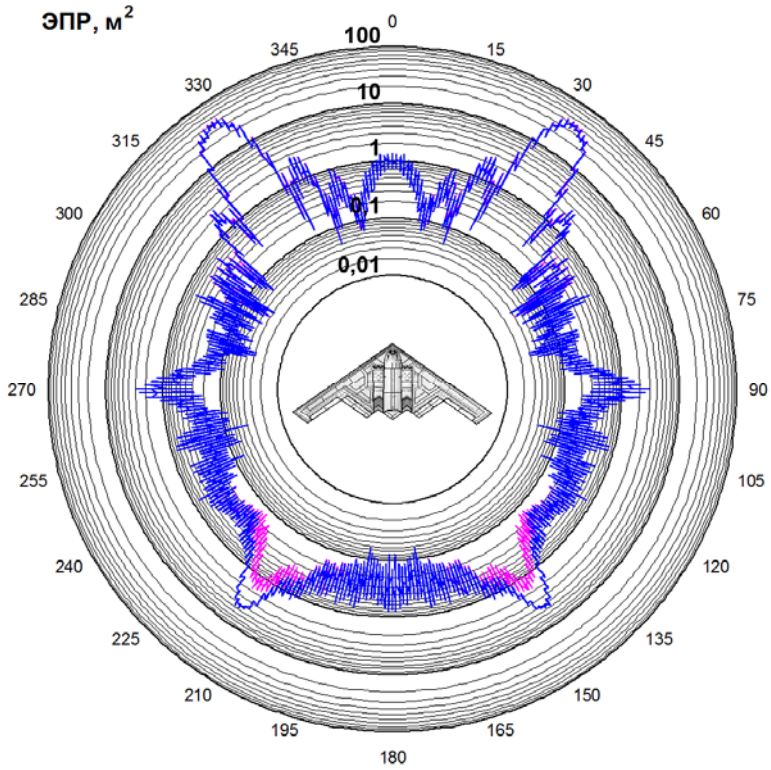


Рис. 3.27. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

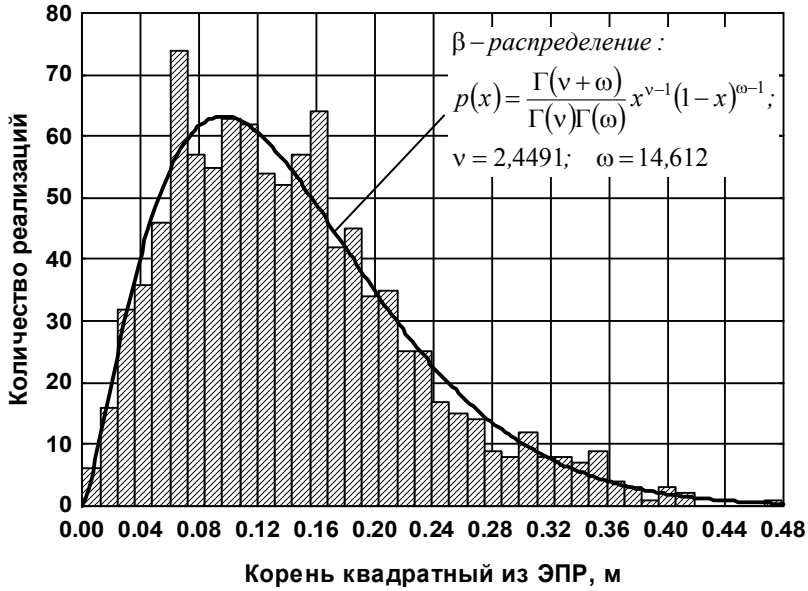


Рис. 3.28. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

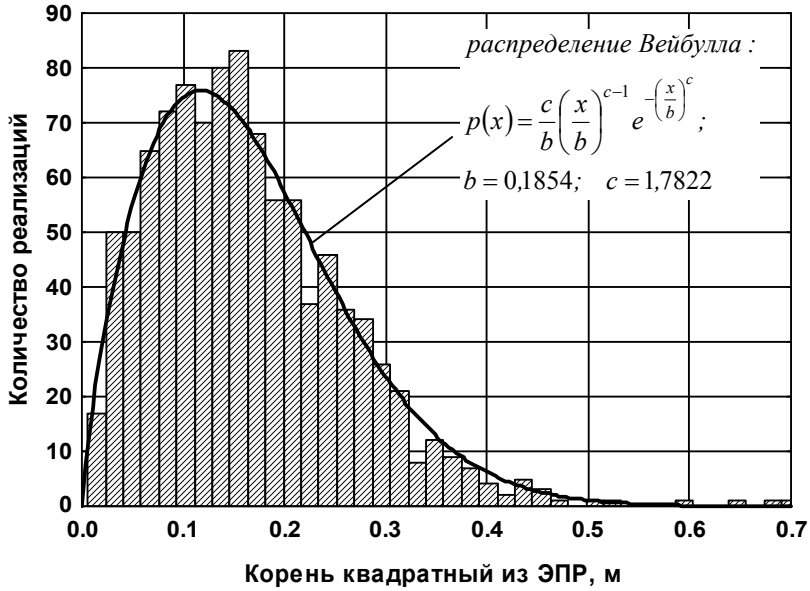


Рис. 3.29. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

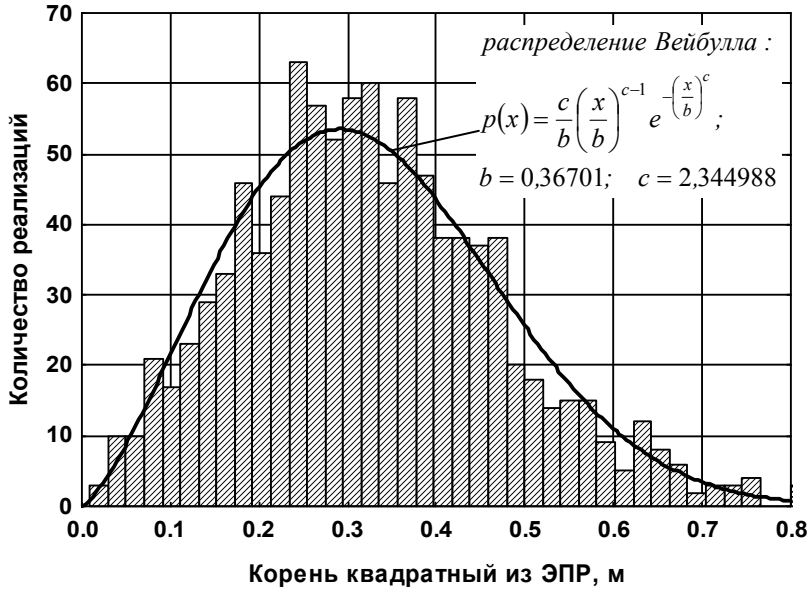


Рис. 3.30. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

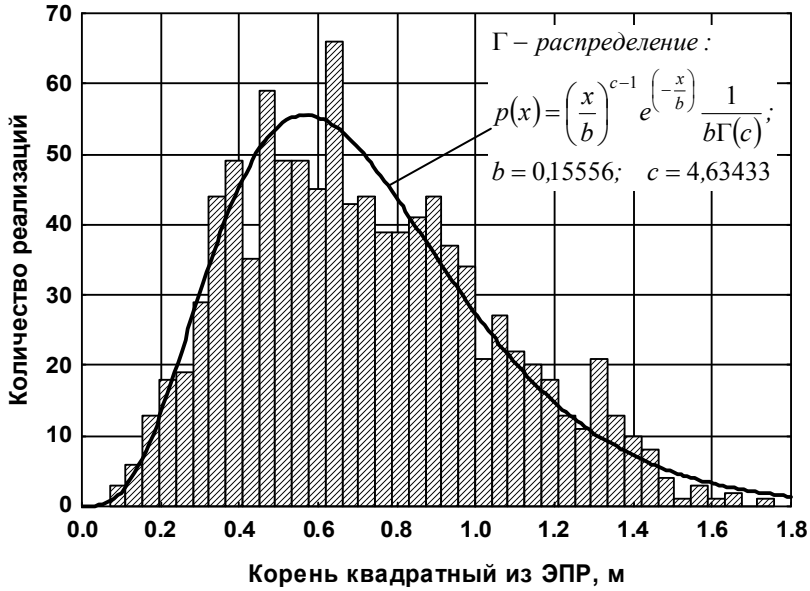


Рис. 3.31. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

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

3.1.2. Характеристики рассеяния дальнего бомбардировщика Ту-22М3

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, препятст-

вующие 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).

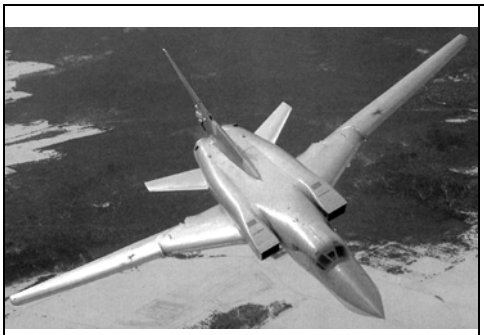


Рис. 3.32. Дальний бомбардировщик Ту-22М3

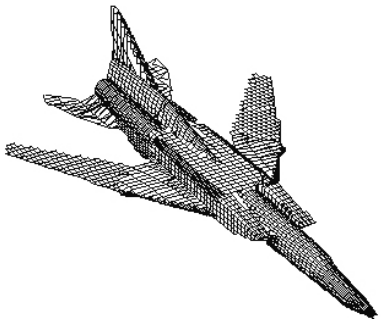


Рис. 3.33. Модель поверхности ТУ-22М3

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности самолета**	
Длина самолета	41,46 м	Количество участков эллипсоидов модели	50
Высота самолета	11,05 м	Количество прямых кромочных участков в модели	25
Размах крыльев		Угол стреловидности поворотных консолей	65°
максимальный (20°)	34,28 м		
минимальный (65°)	23,3 м		
Площадь крыла			
максимальная (20°)	183,57 кв.м		
минимальный (65°)	175,8 кв.м		

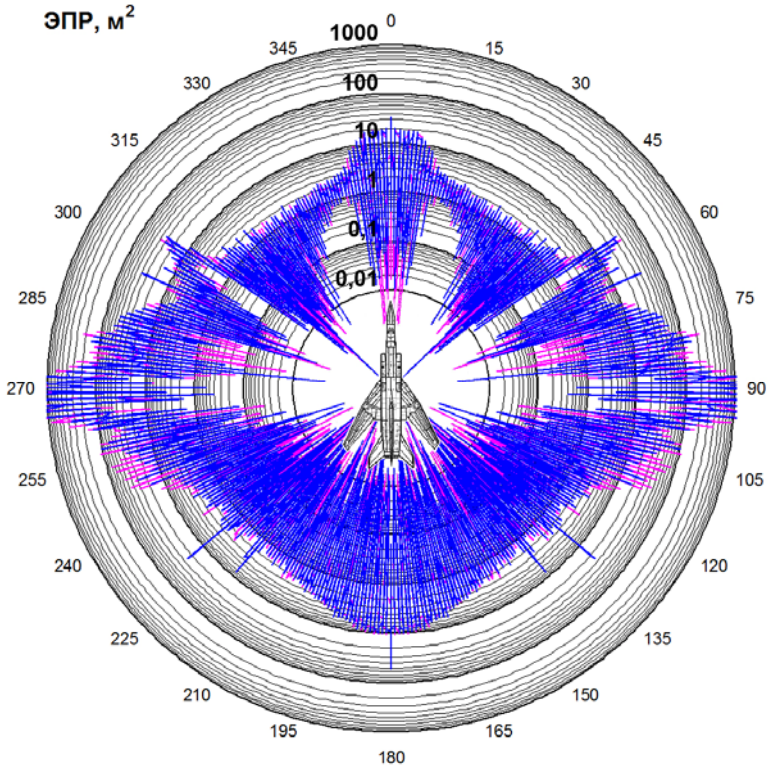


Рис. 3.34. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

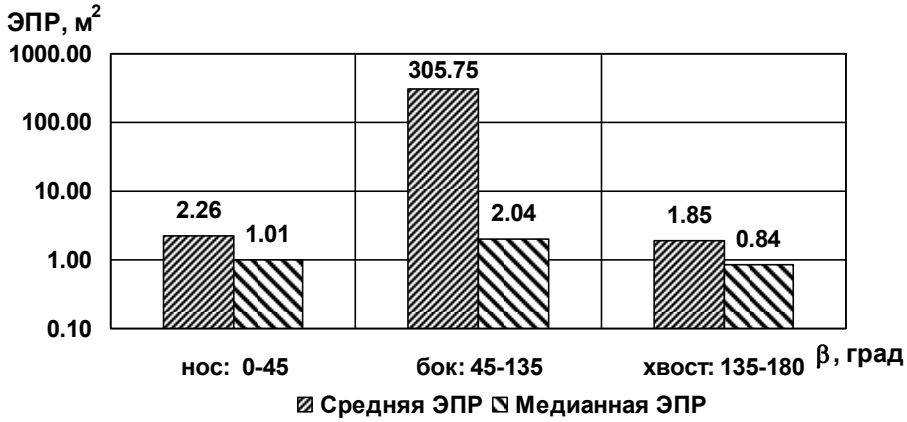


Рис. 3.35. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



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)

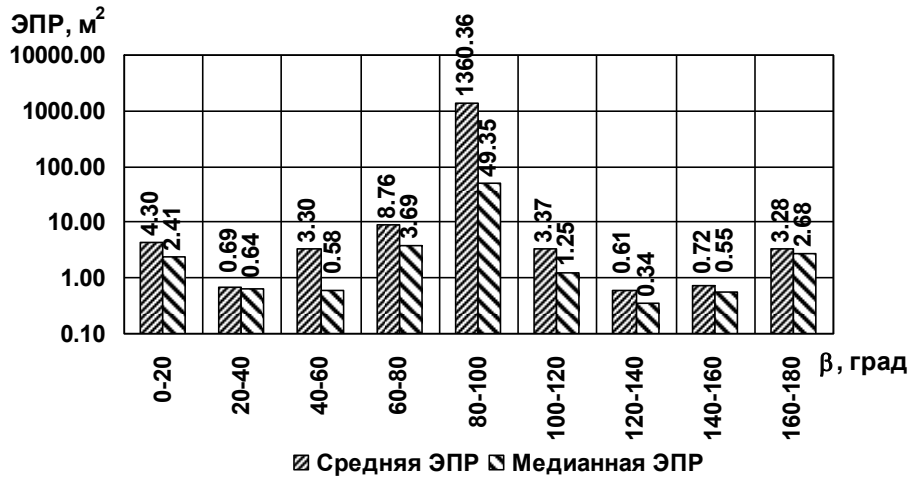


Рис. 3.37. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

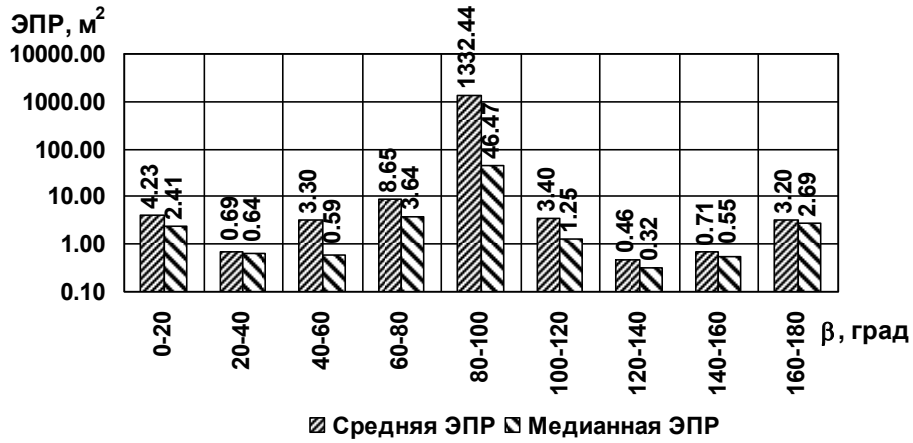


Рис. 3.38. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

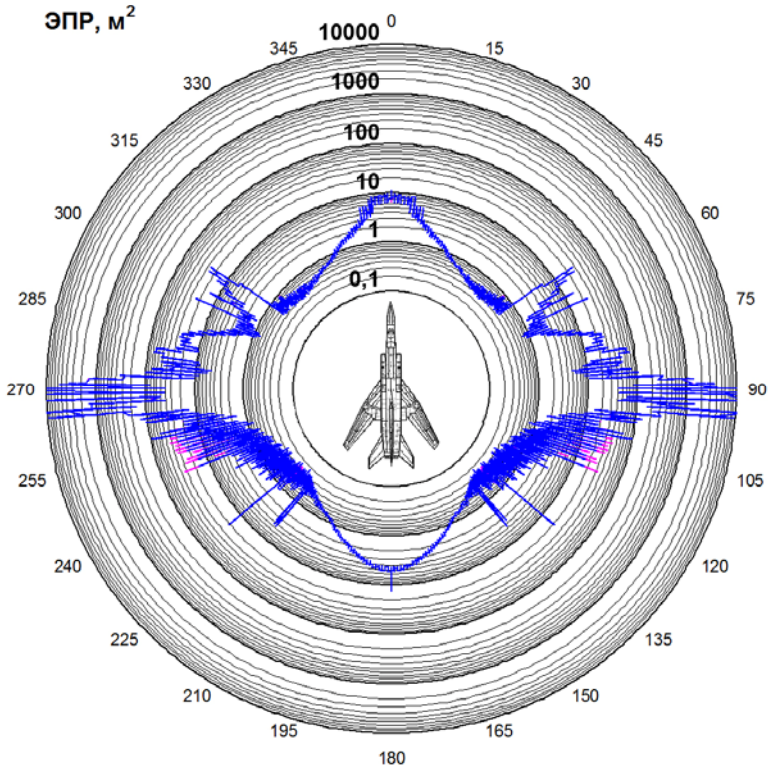


Рис. 3.39. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

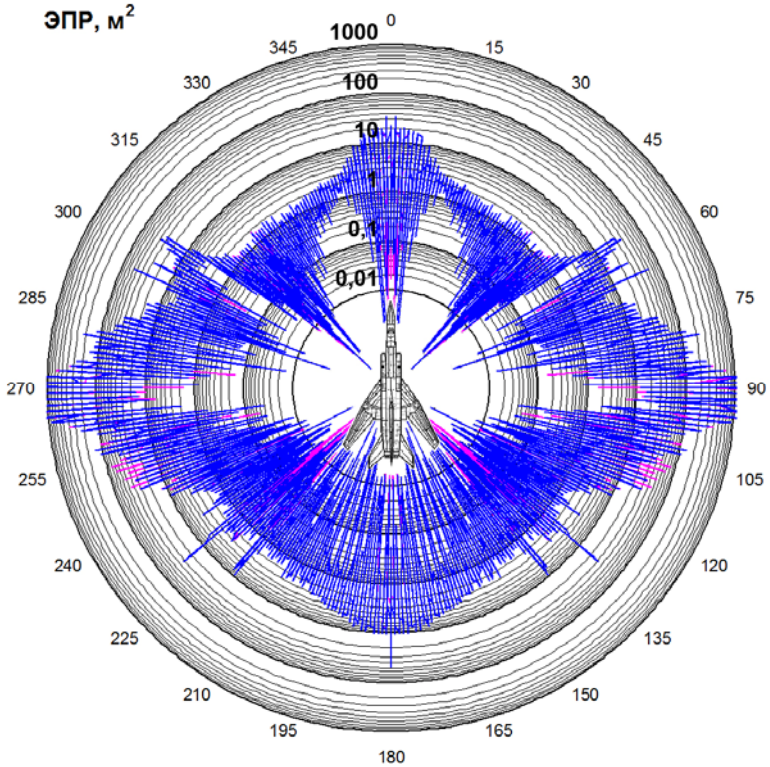


Рис. 3.40. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



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)

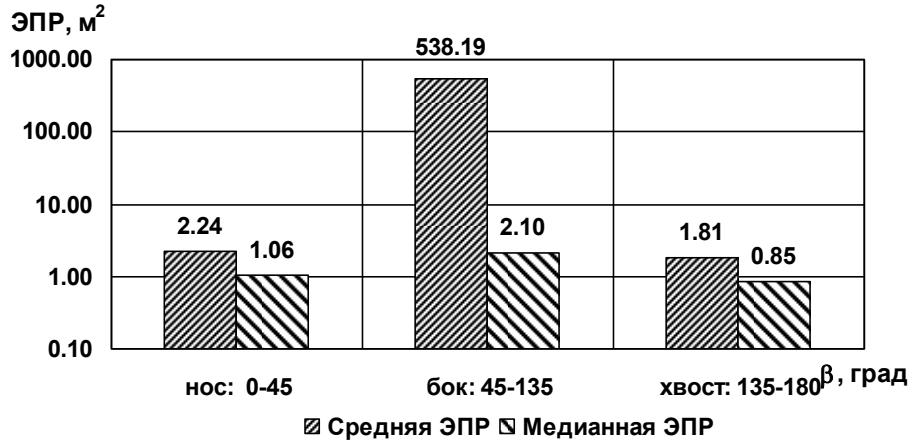


Рис. 3.42. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

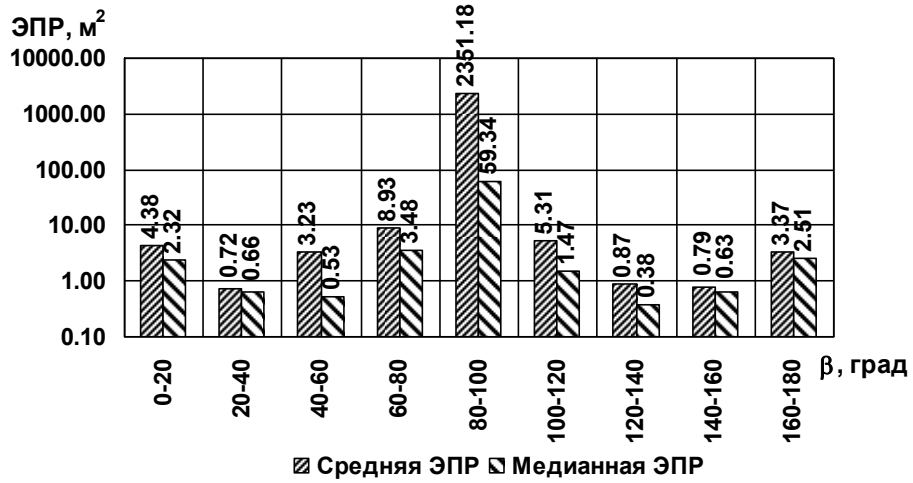


Рис. 3.43. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



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)

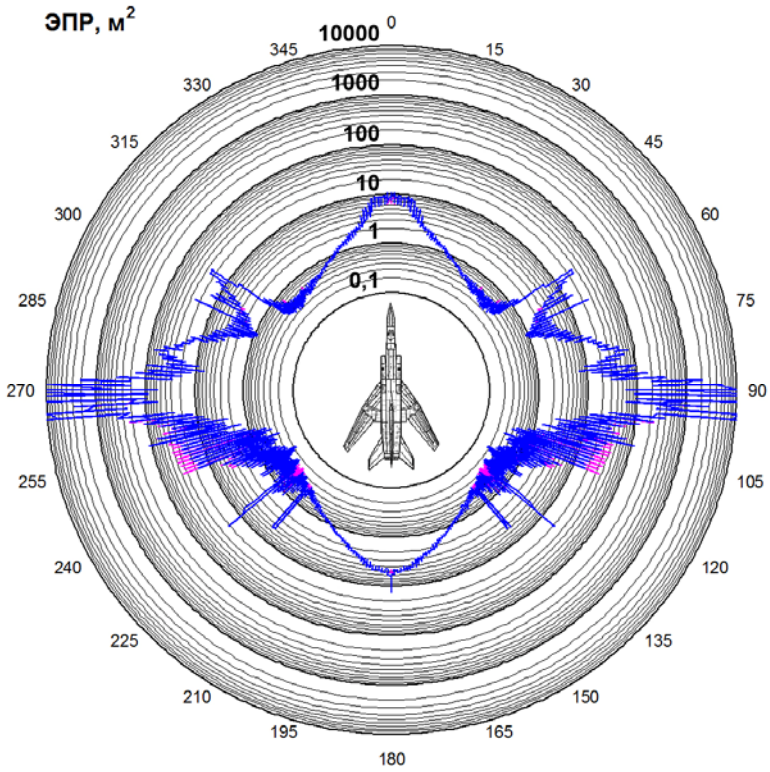


Рис. 3.45. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

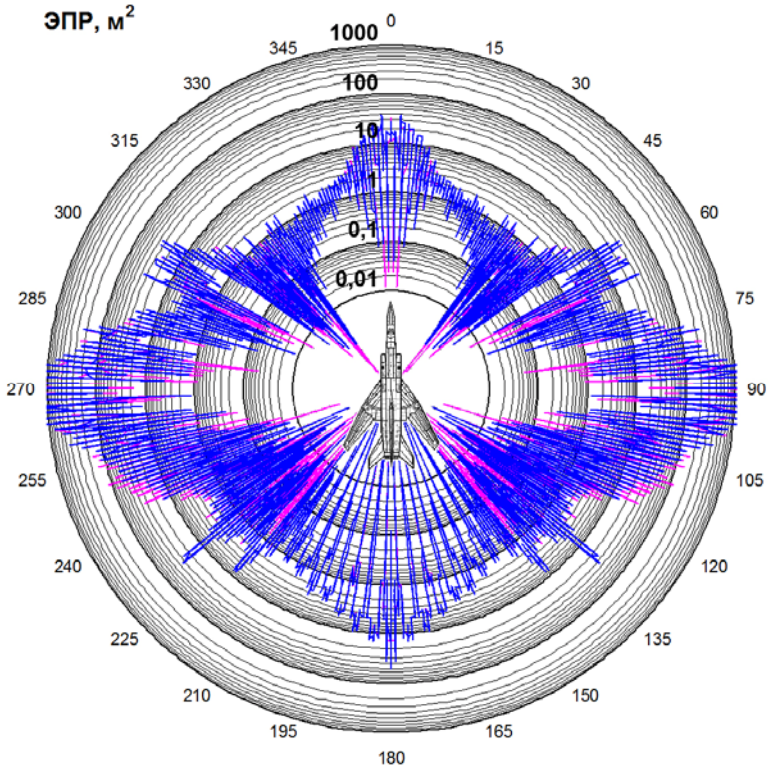


Рис. 3.46. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



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)

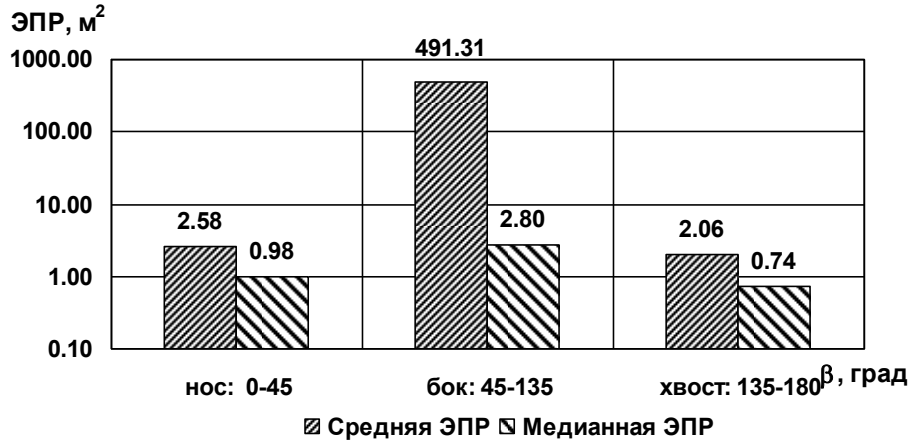


Рис. 3.48. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

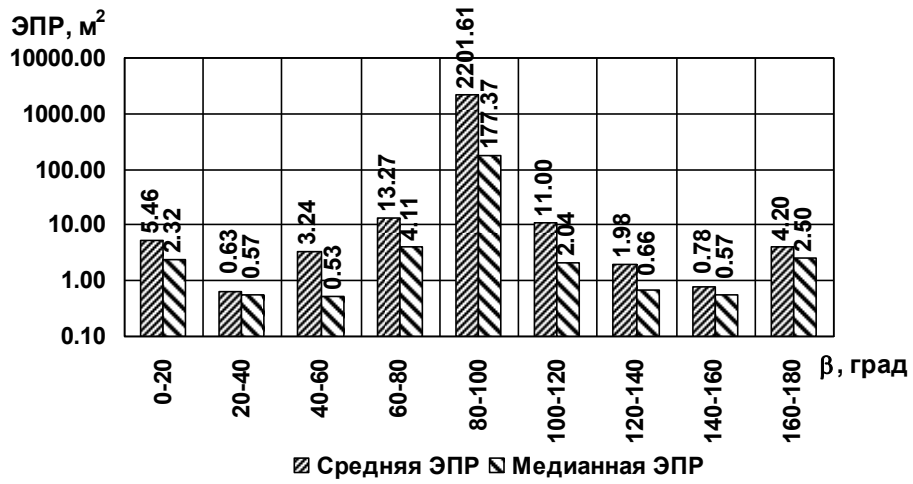


Рис. 3.49. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



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)

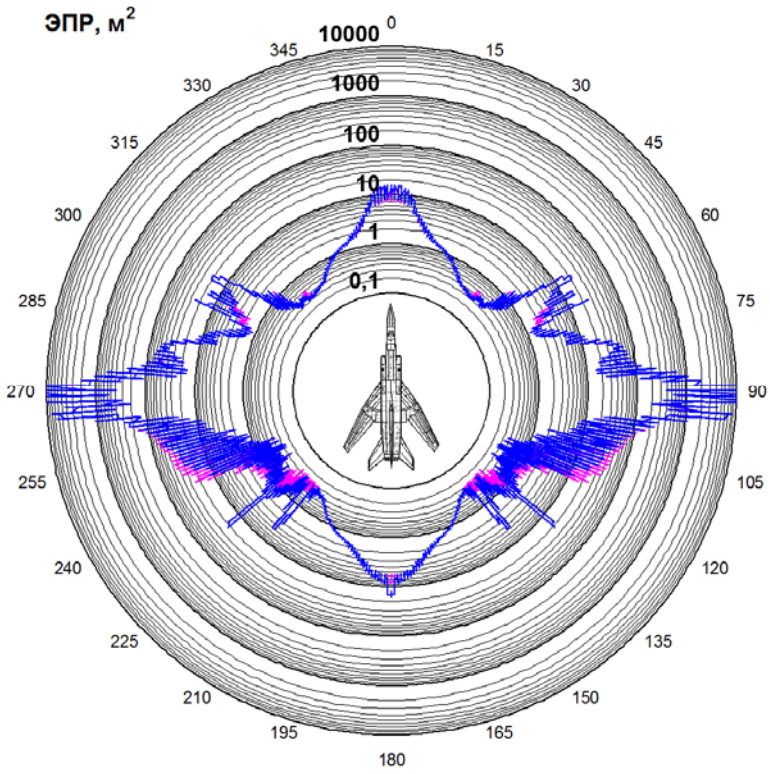


Рис. 3.51. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

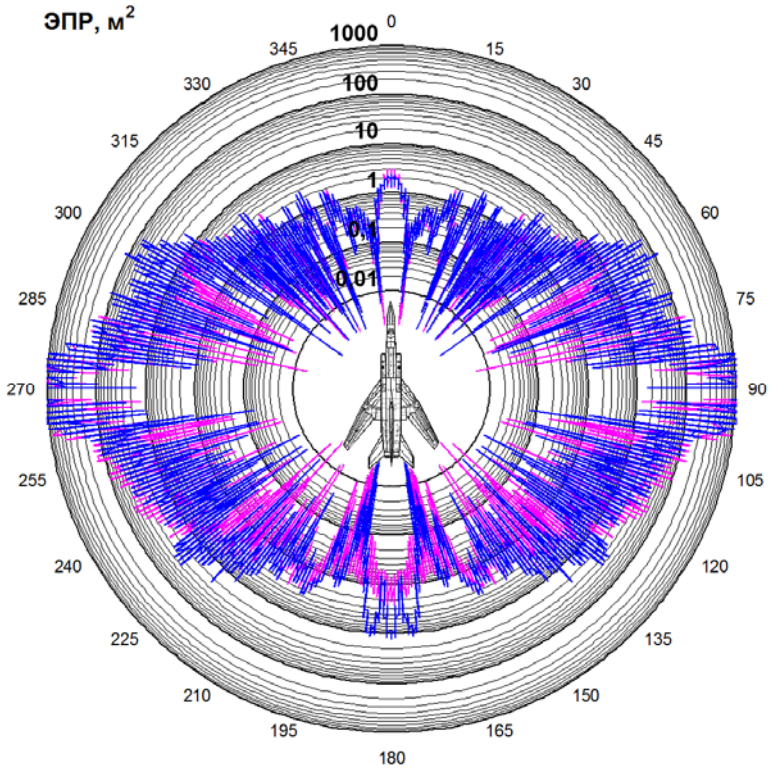


Рис. 3.52. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



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)

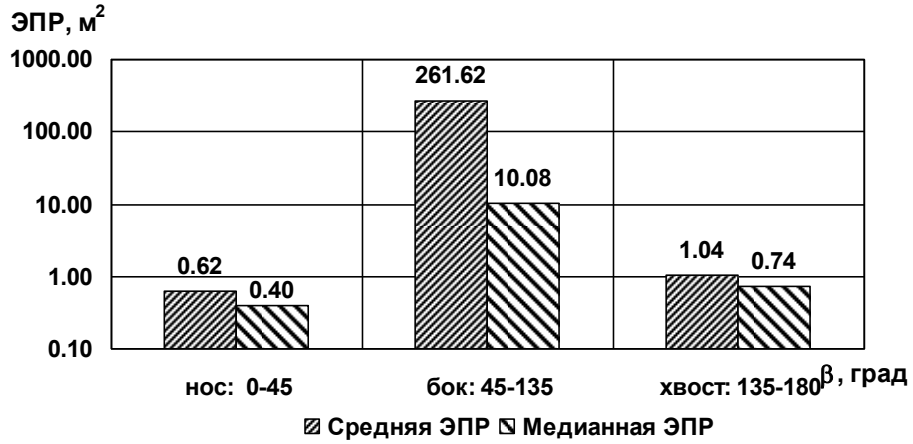


Рис. 3.54. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

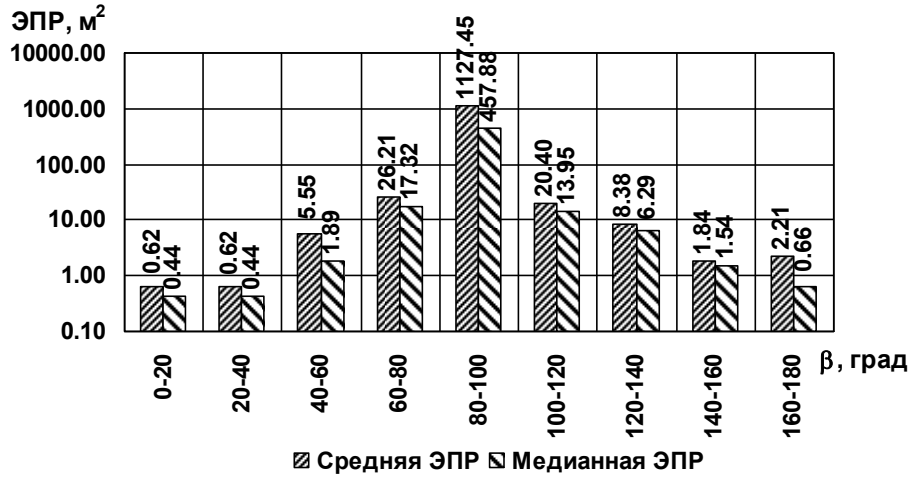


Рис. 3.55. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

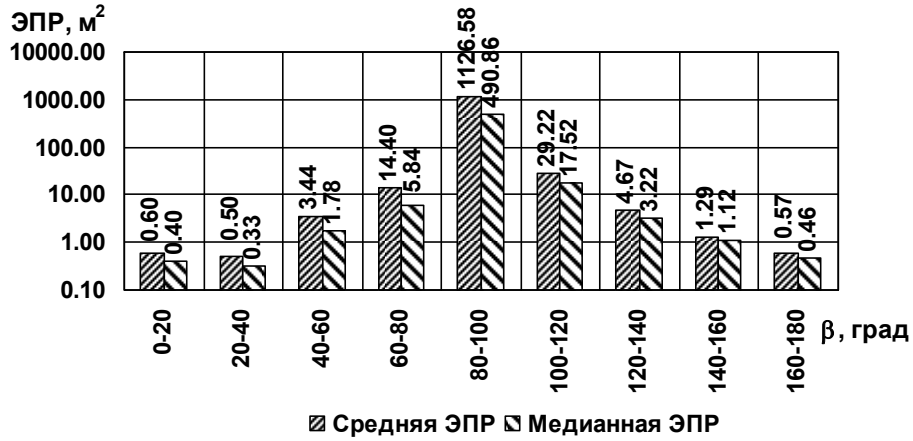


Рис. 3.56. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

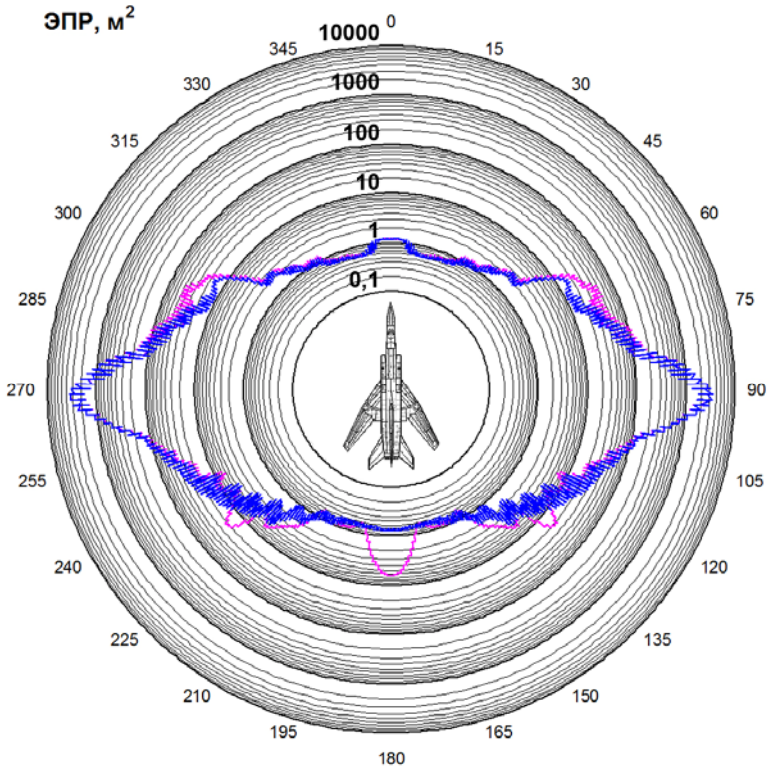


Рис. 3.57. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

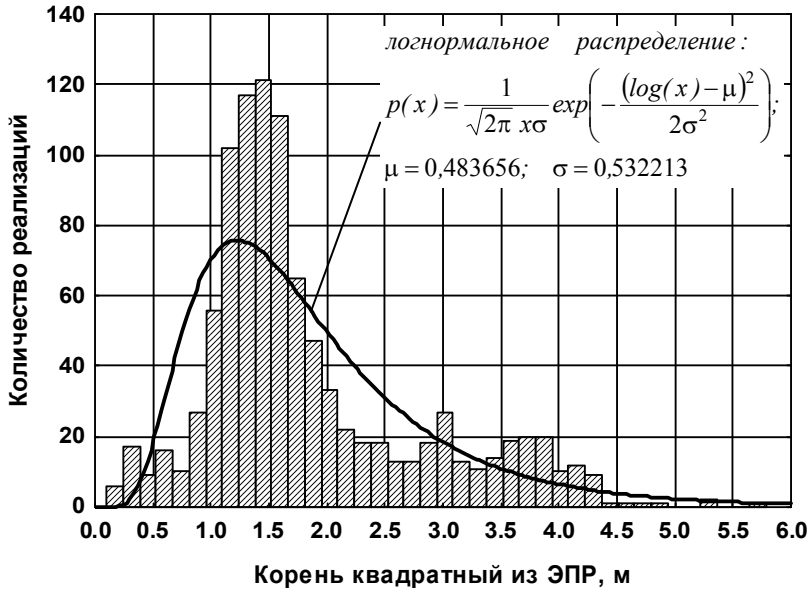


Рис. 3.58. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

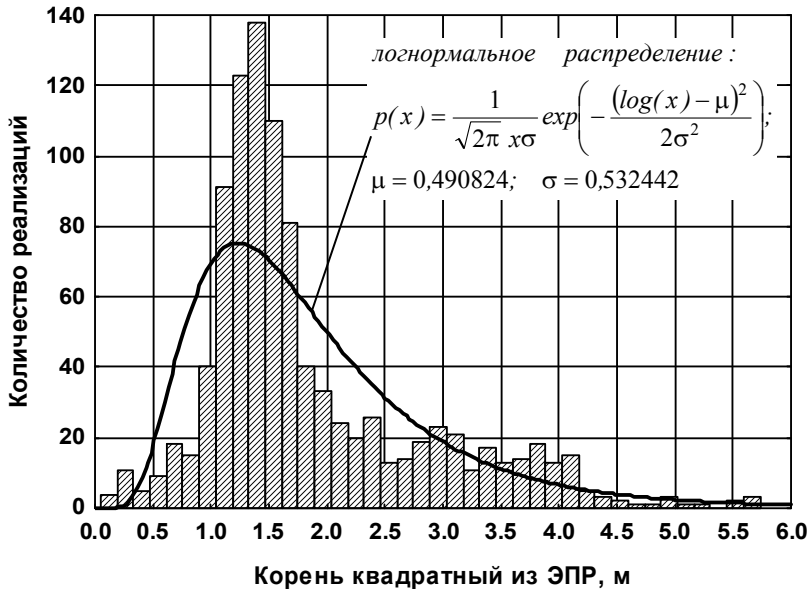


Рис. 3.59. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

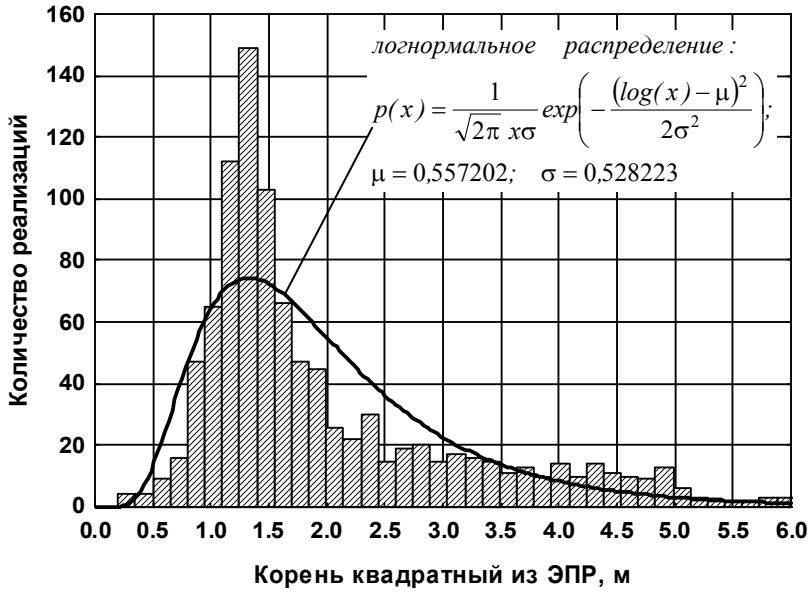


Рис. 3.60. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

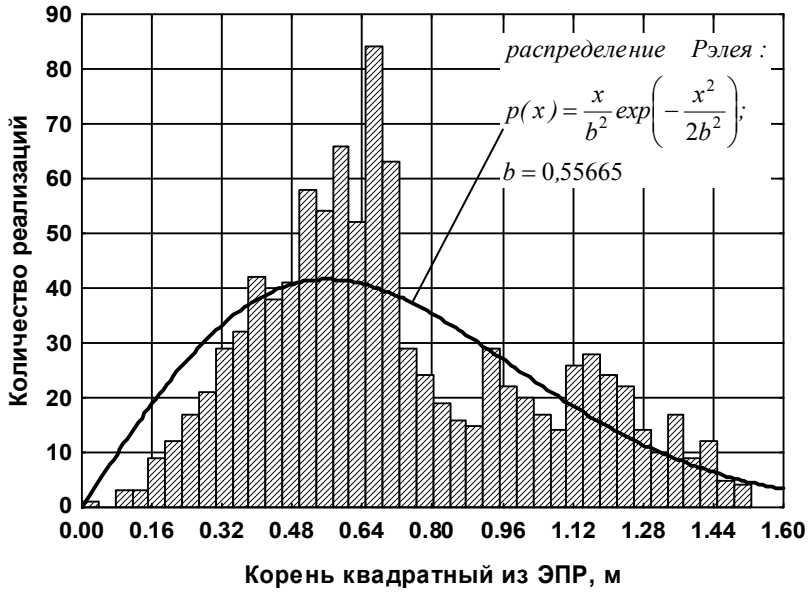


Рис. 3.61. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.2. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

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

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.

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 1967г., 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.



Рис. 3.62. Пассажирский самолет Boeing 737

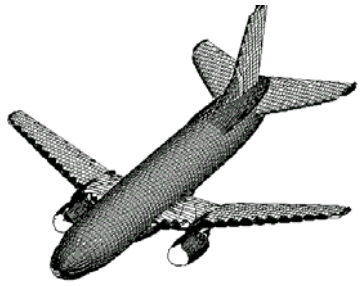


Рис. 3.63. Модель поверхности Boeing 737

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности самолета**	
Длина самолета	36,04 м	Количество участков эллипсоидов модели	58
Высота самолета	11,13 м		
Размах крыла	28,88 м		
Площадь крыла	105,4 кв.м		

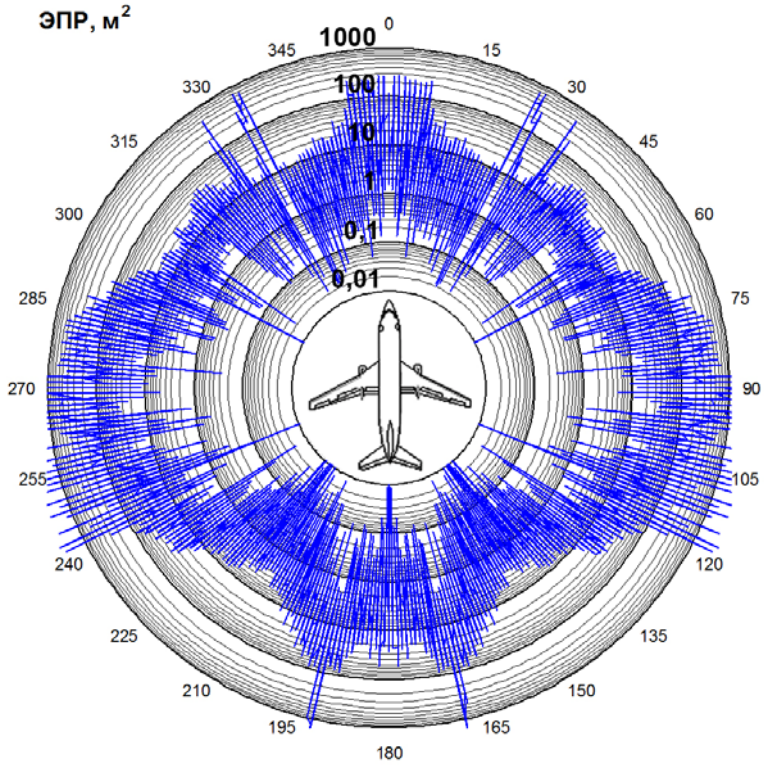


Рис. 3.64. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

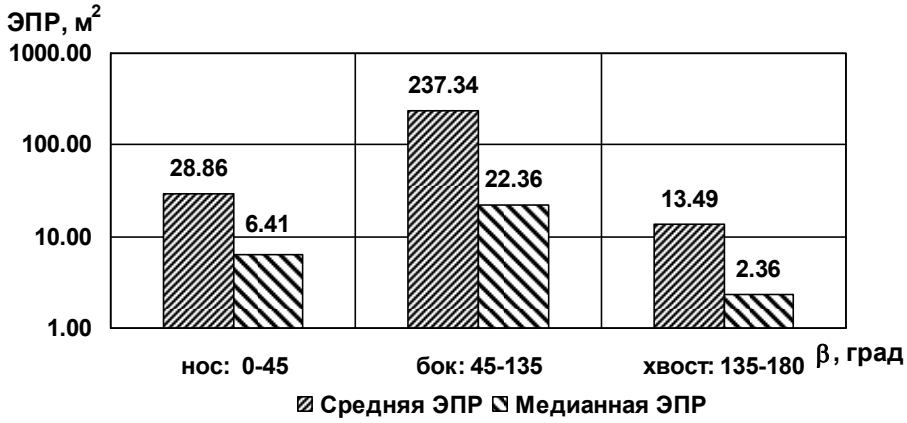


Рис. 3.65. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

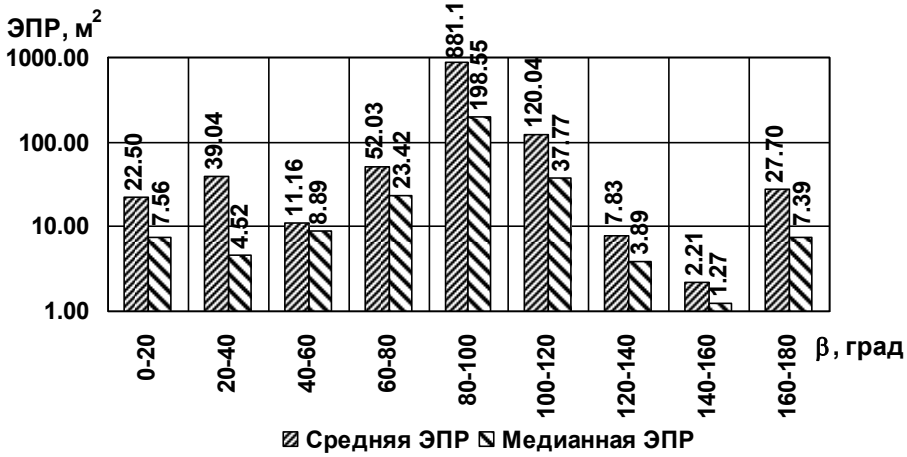


Рис. 3.66. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

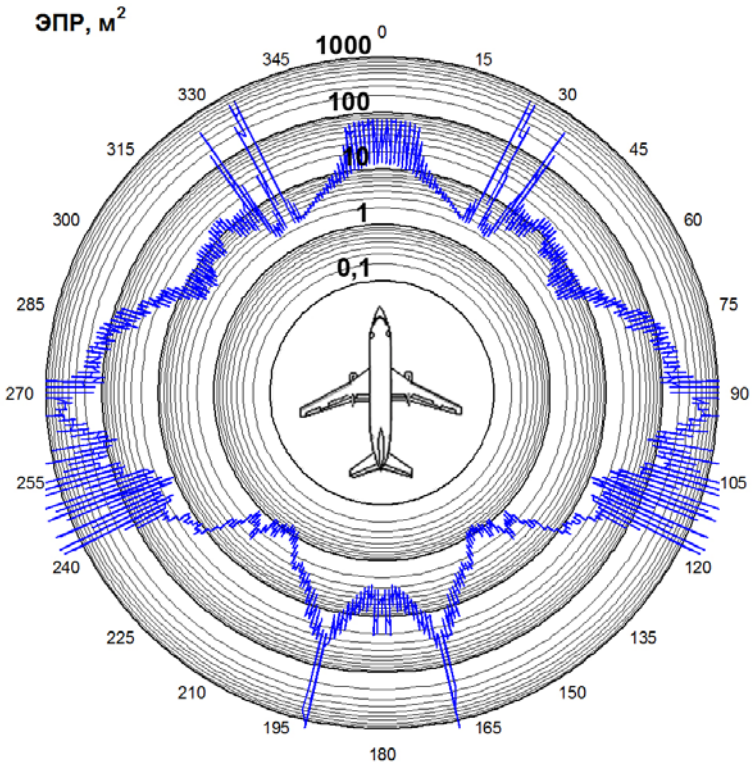


Рис. 3.67. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

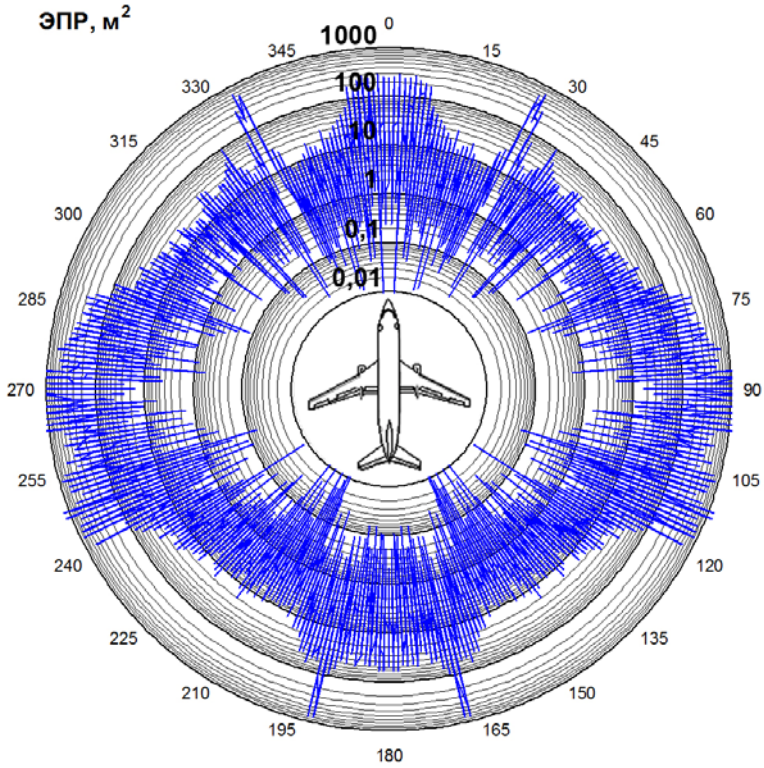


Рис. 3.68. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

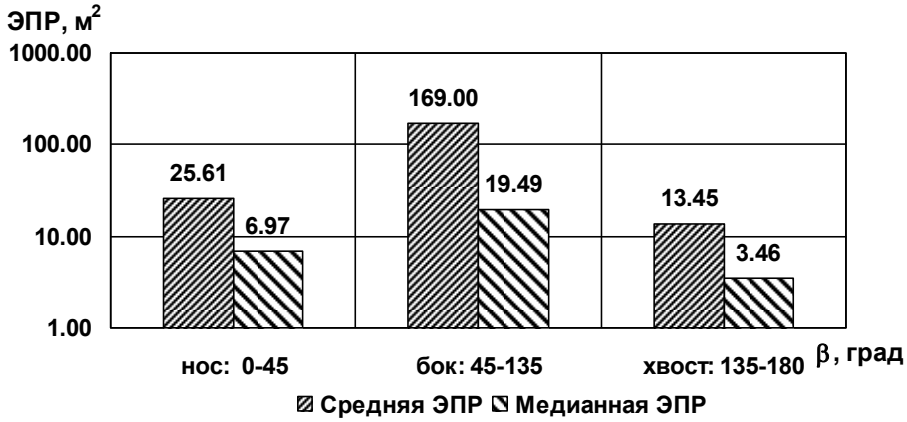


Рис. 3.69. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

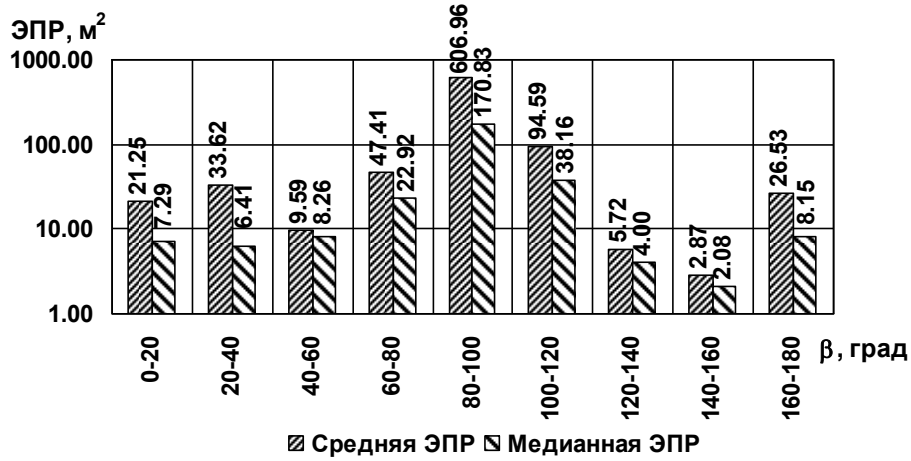


Рис. 3.70. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

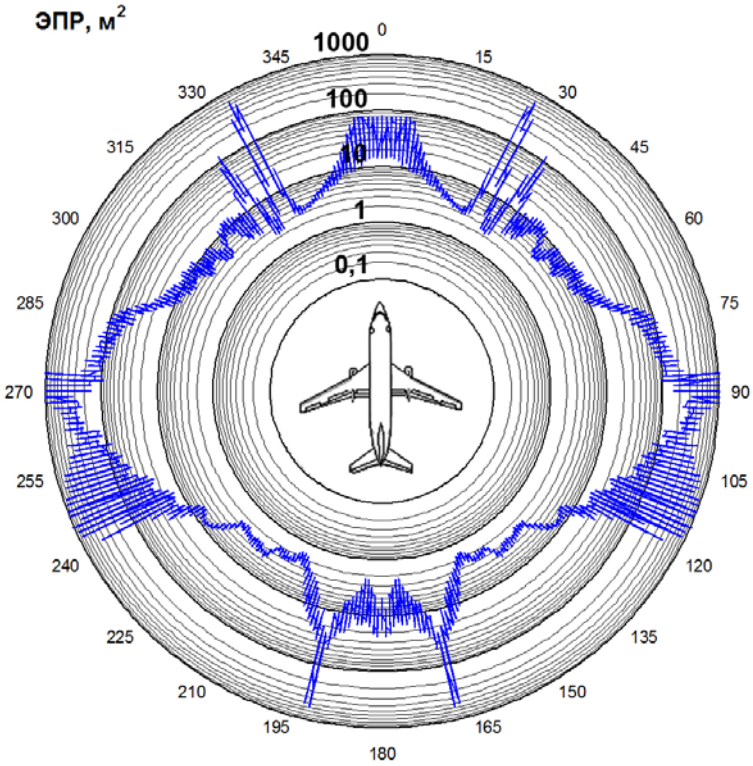


Рис. 3.71. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

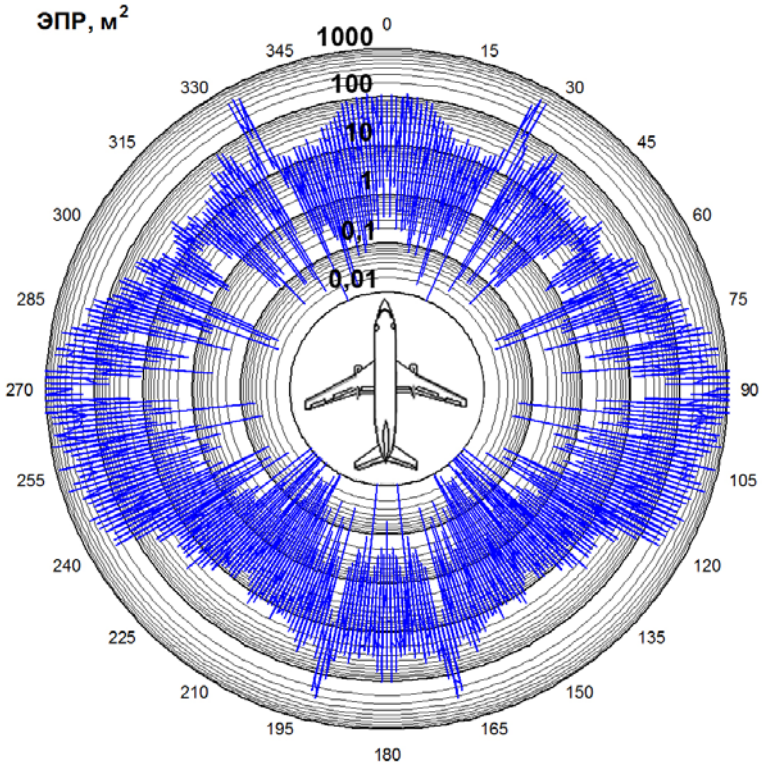


Рис. 3.72. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

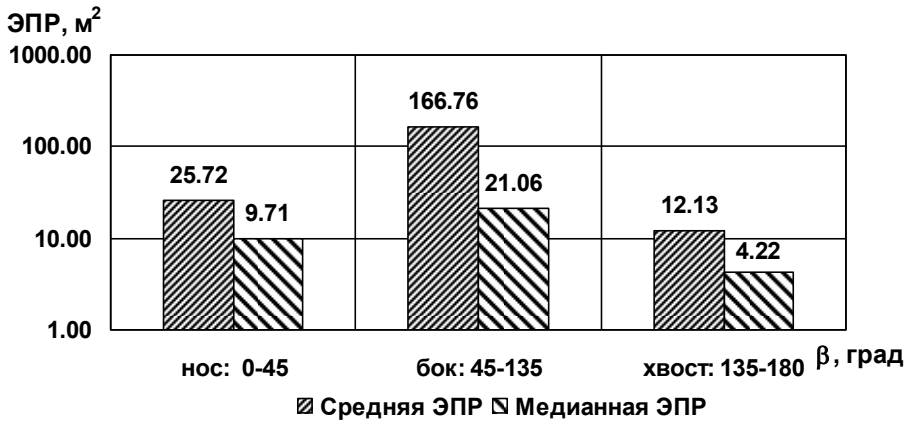


Рис. 3.73. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

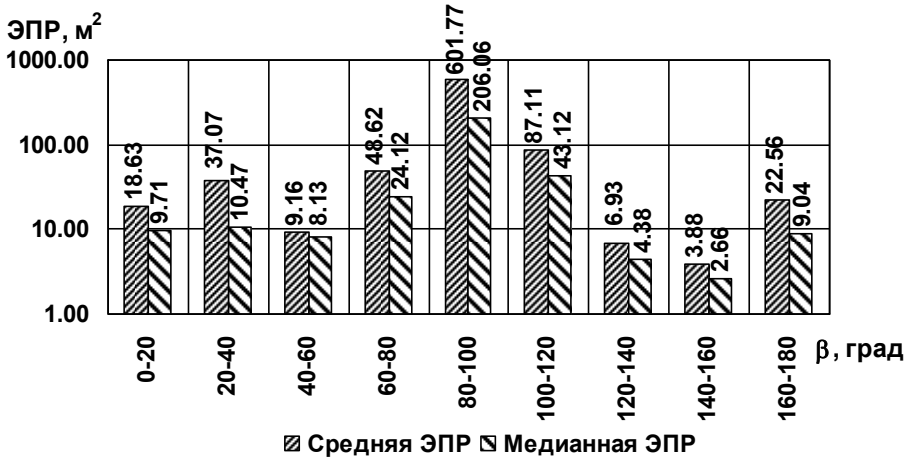


Рис. 3.74. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

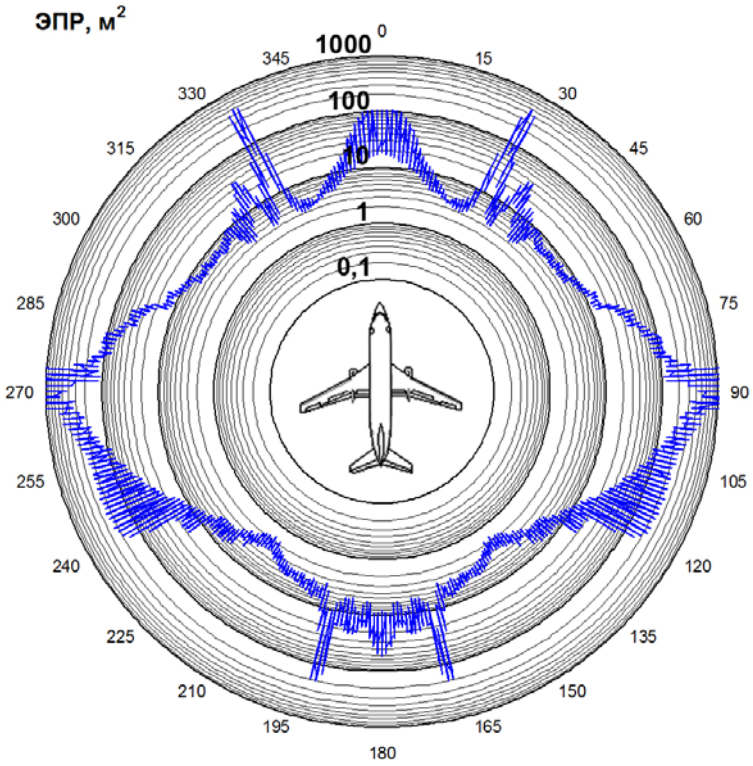


Рис. 3.75. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

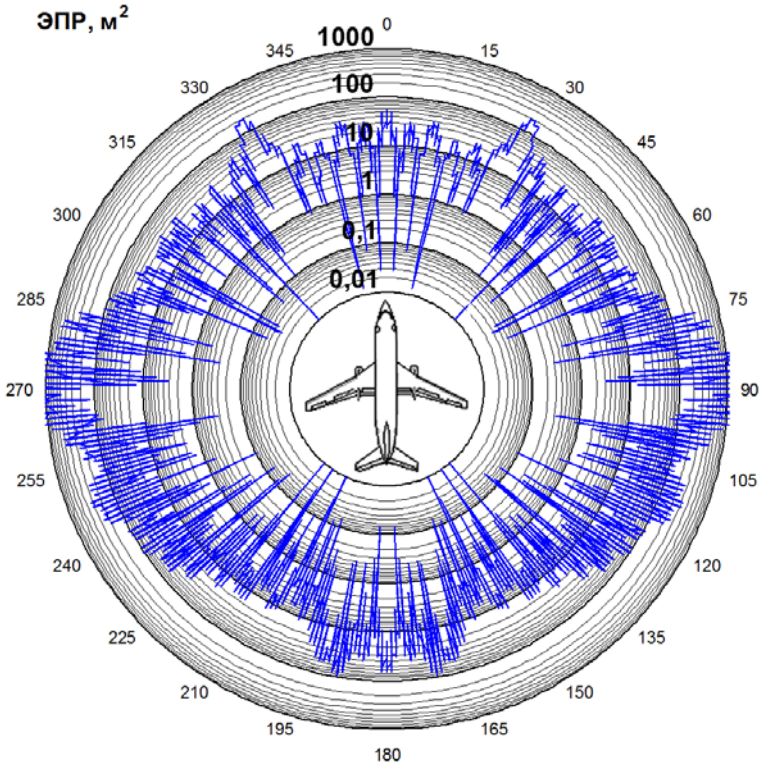


Рис. 3.76. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



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

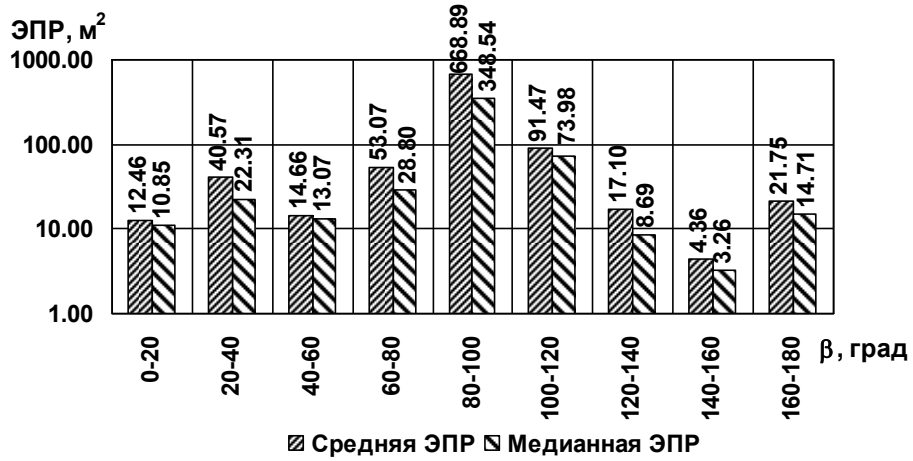


Рис. 3.78. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

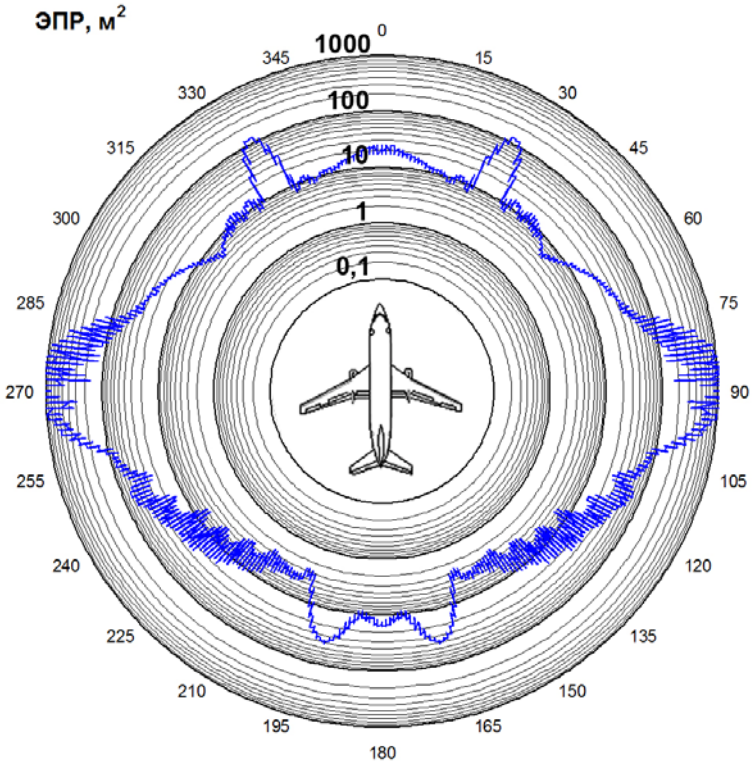


Рис. 3.79. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

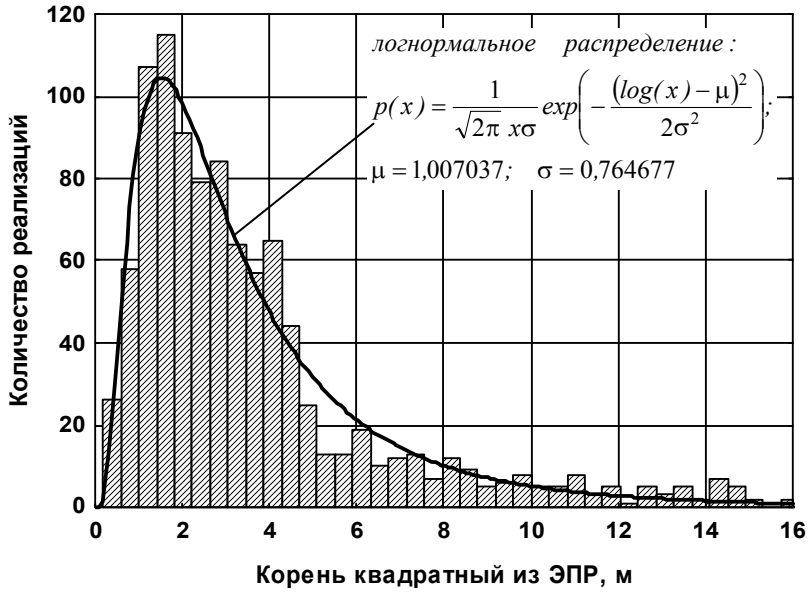


Рис. 3.80. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

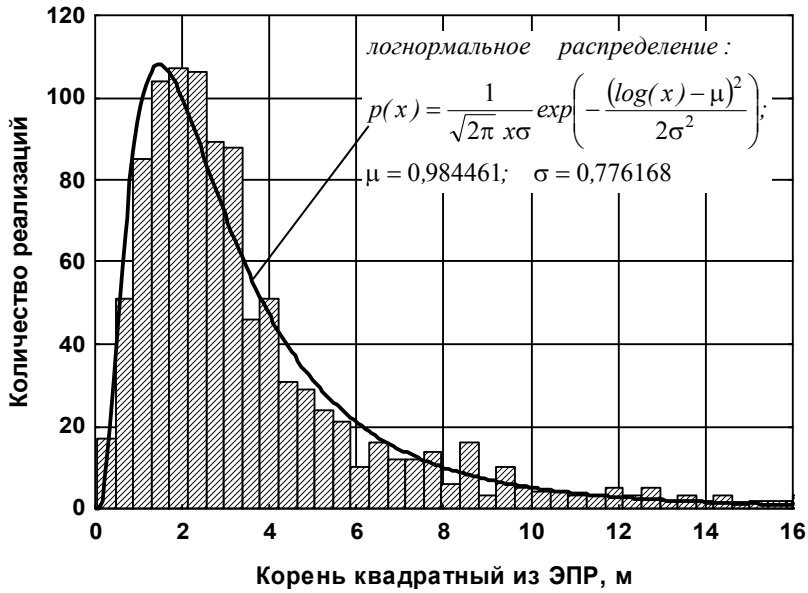


Рис. 3.81. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

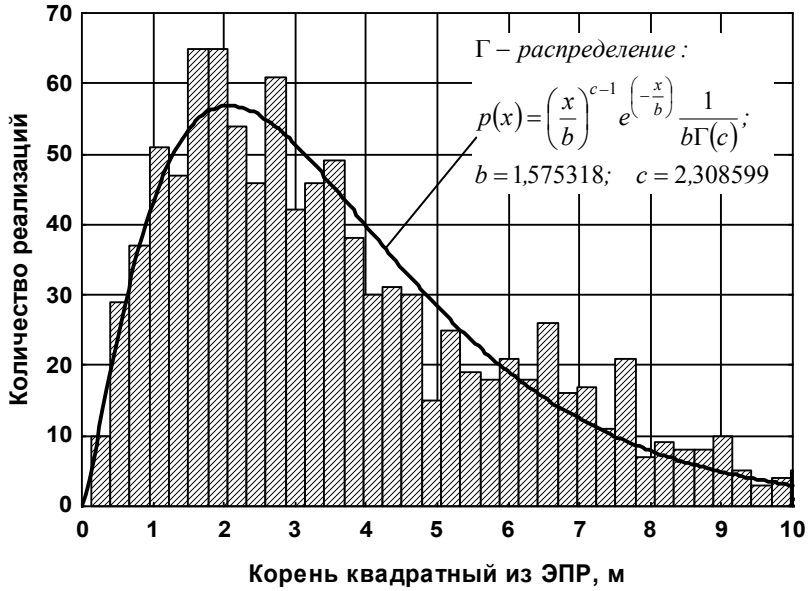


Рис. 3.82. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной

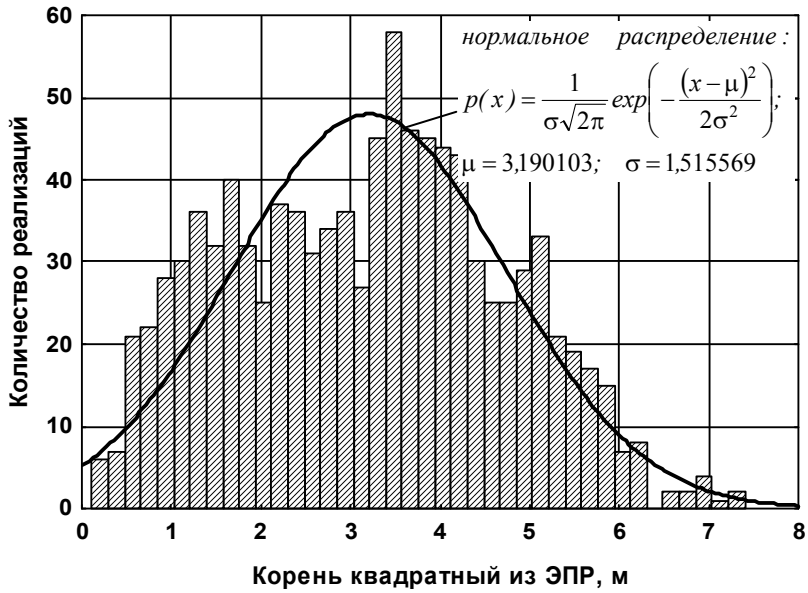


Рис. 3.83. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.3. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

Длина волны	Тип распределения	Параметры распределения
3 см	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma}exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu=1{,}007037$ $\sigma=0{,}764677$
10 см	логнормальное распределение	$\mu=0{,}984461$ $\sigma=0{,}776168$
30 см	Г -распределение: $p(x)=\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{\left(-\frac{x}{b}\right)}\frac{1}{b\Gamma(c)}$, где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	$b=1{,}575318$ $c=2{,}308599$
180 см	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu=3{,}190103$ $\sigma=1{,}515569$

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.



Рис. 3.84. Многоцелевой транспортный самолет Ан-26

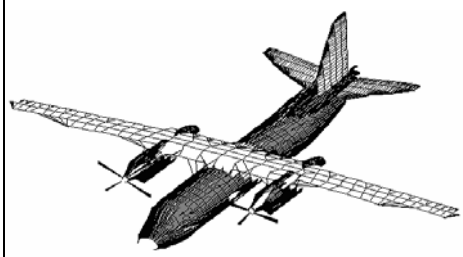


Рис. 3.85. Модель поверхности Ан-26

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности самолета**	
Длина самолета	23,8 м	Количество участков эллипсоидов модели	40
Высота самолета	8,58 м		
Размах крыла	29,2 м		
Площадь крыла	74,98 кв.м		

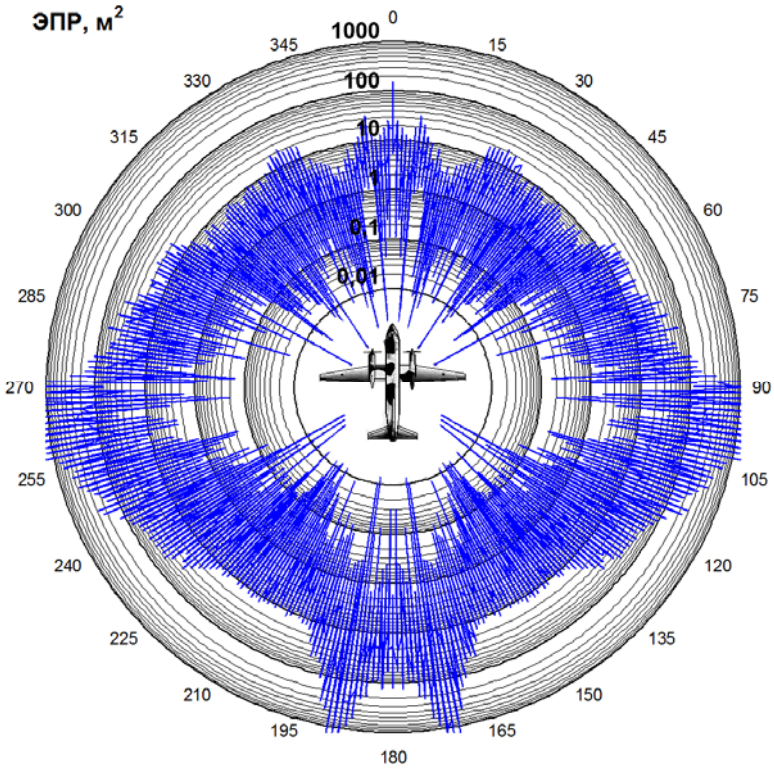


Рис. 3.86. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

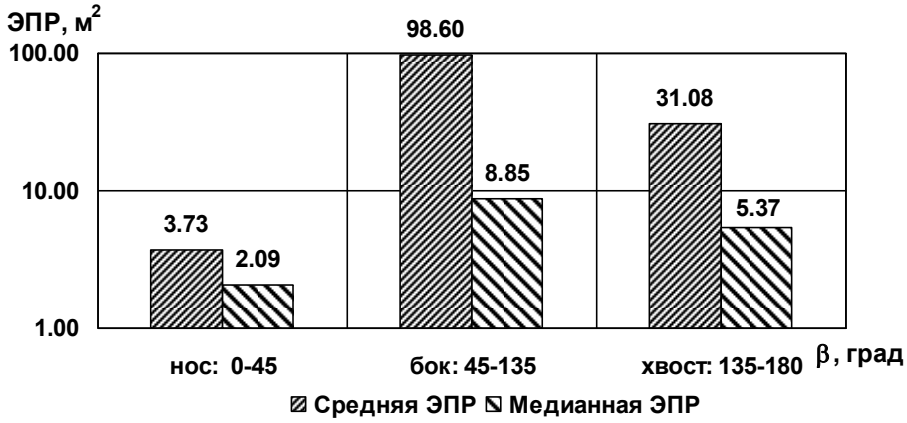


Рис. 3.87. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

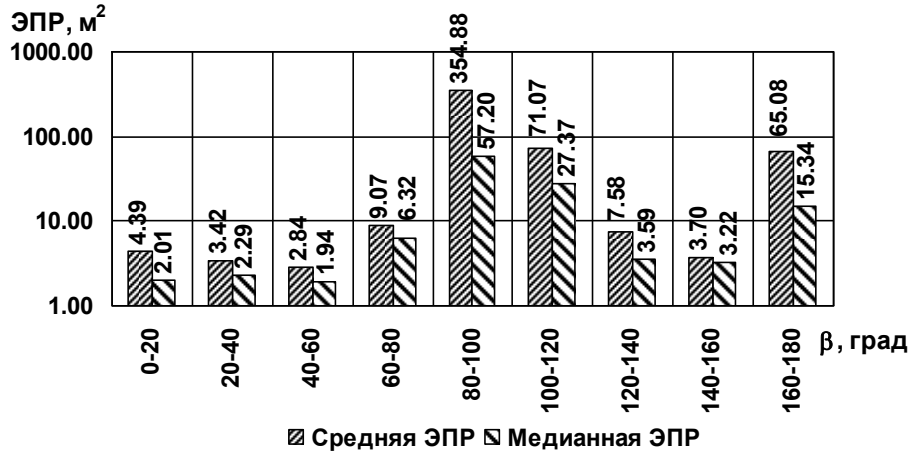


Рис. 3.88. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

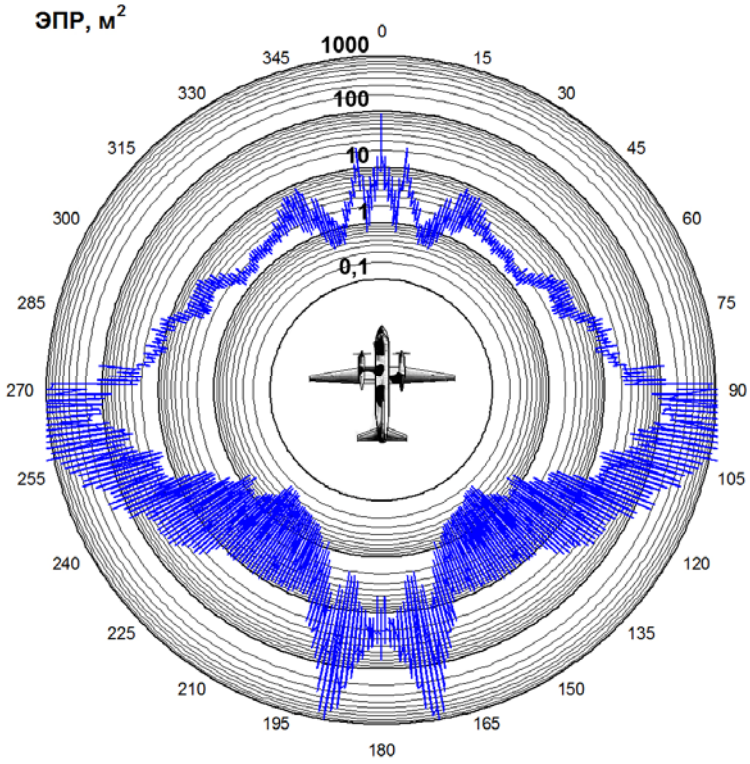


Рис. 3.89. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

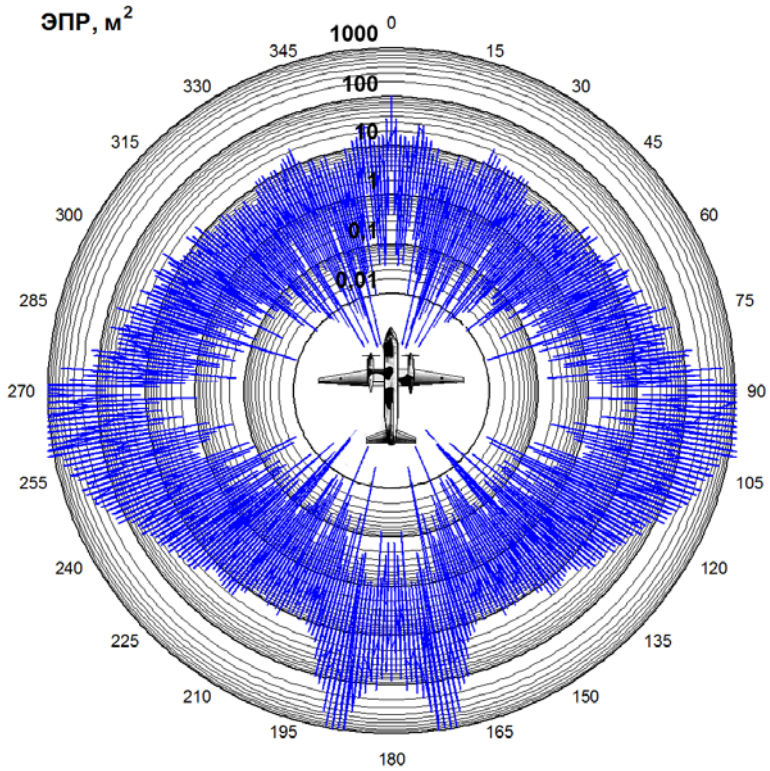


Рис. 3.90. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

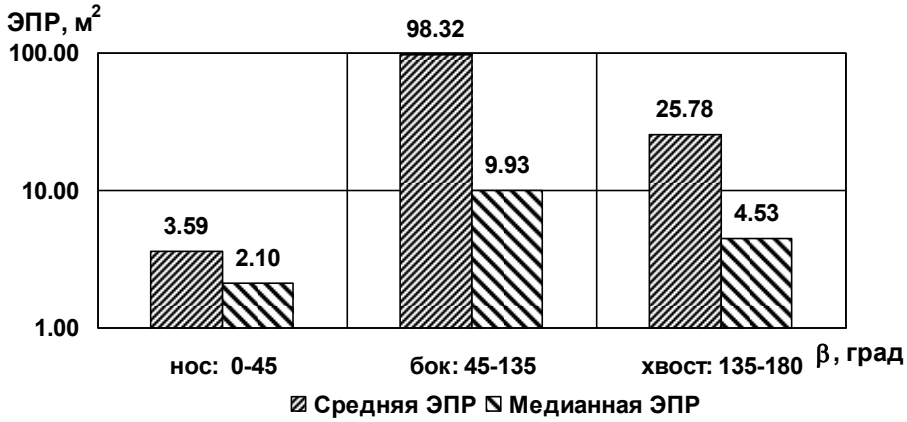


Рис. 3.91. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

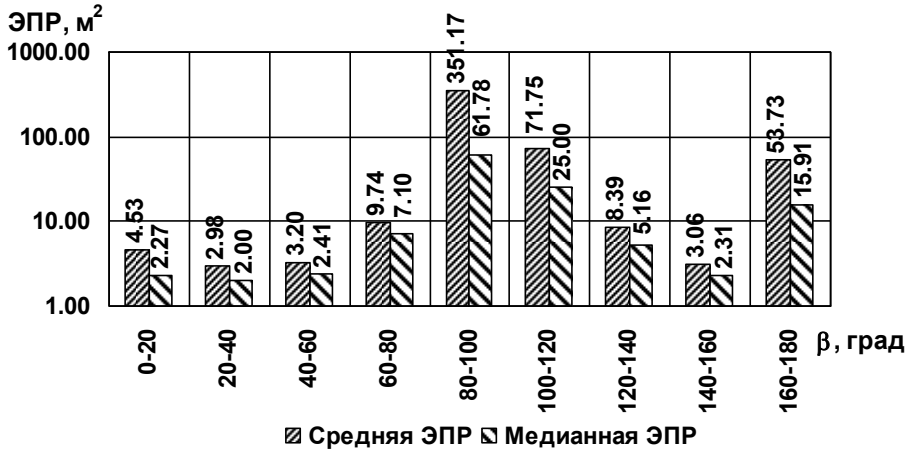


Рис. 3.92. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

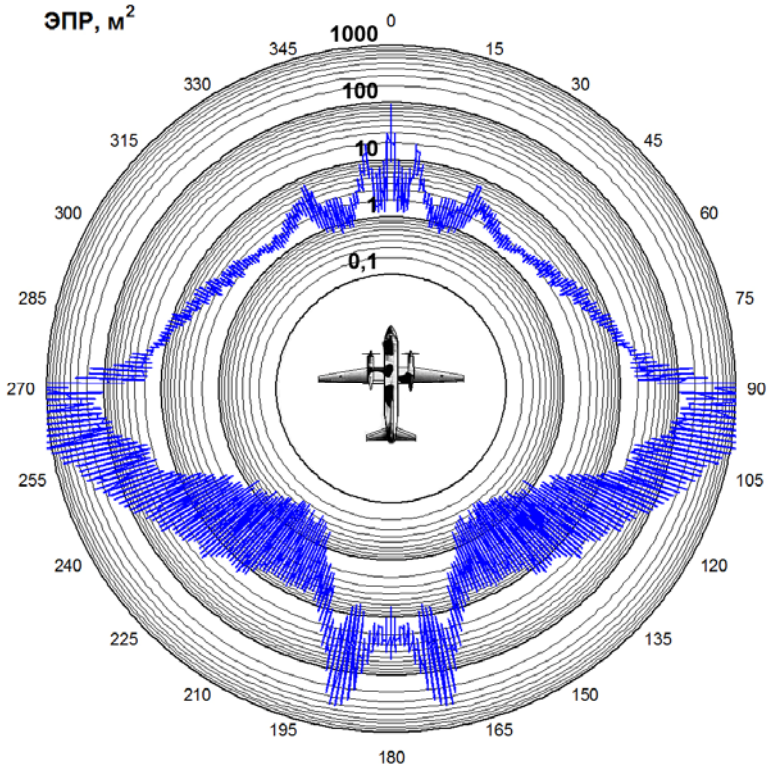


Рис. 3.93. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

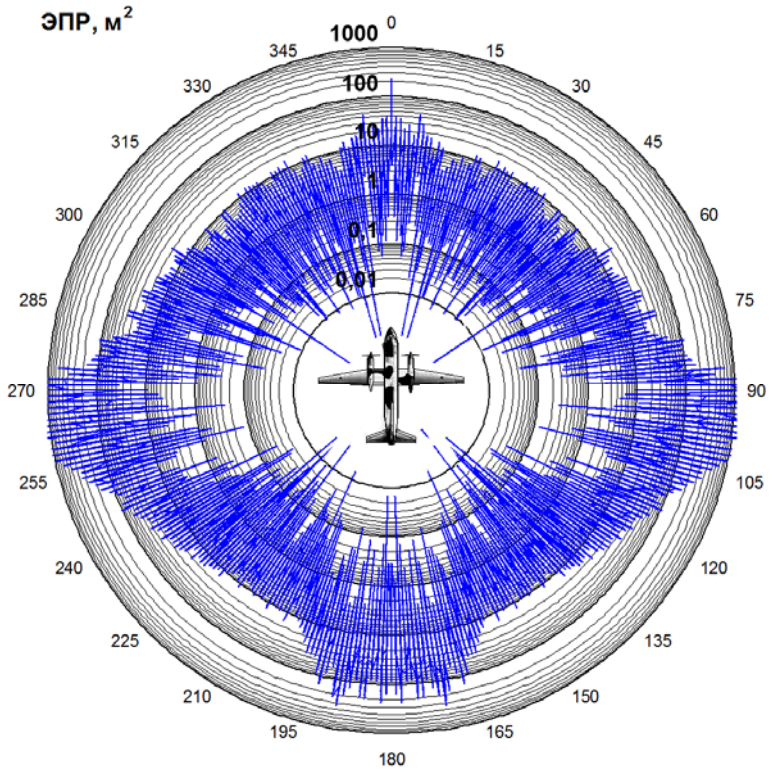


Рис. 3.94. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

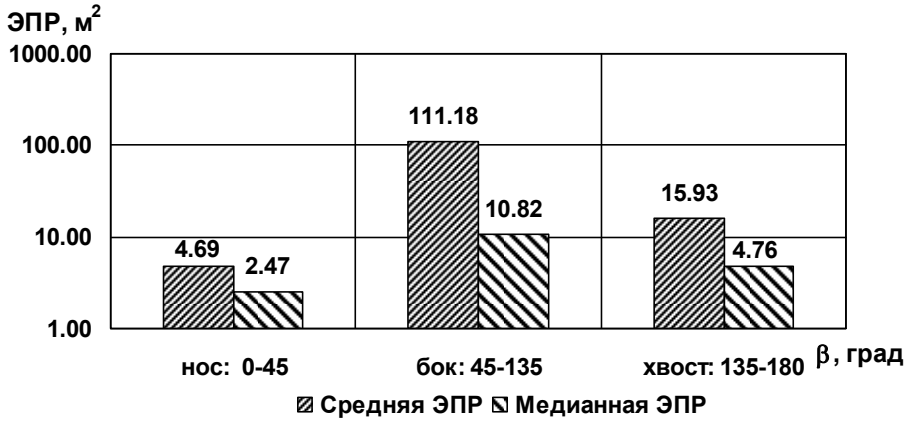


Рис. 3.95. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

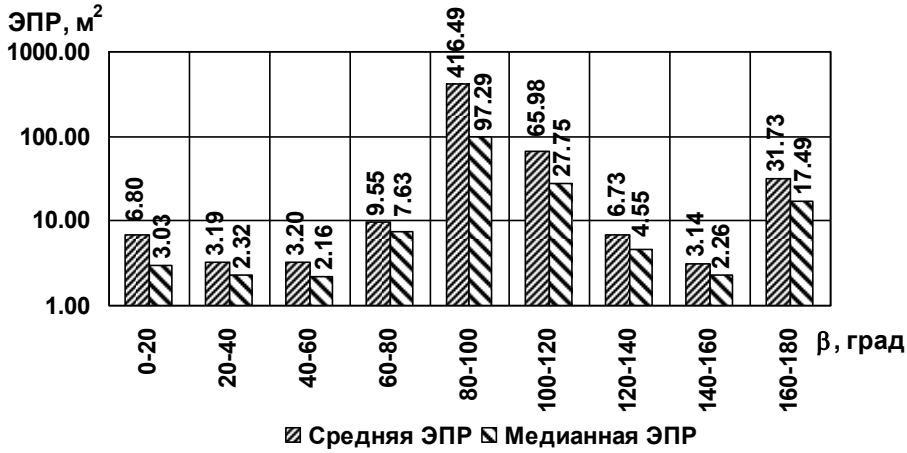


Рис. 3.96. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

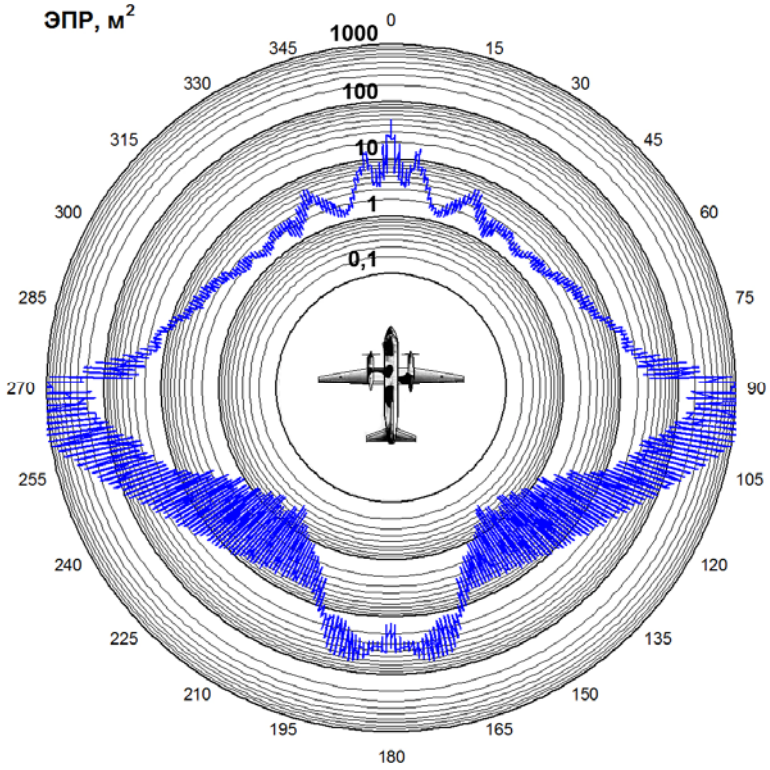


Рис. 3.97. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

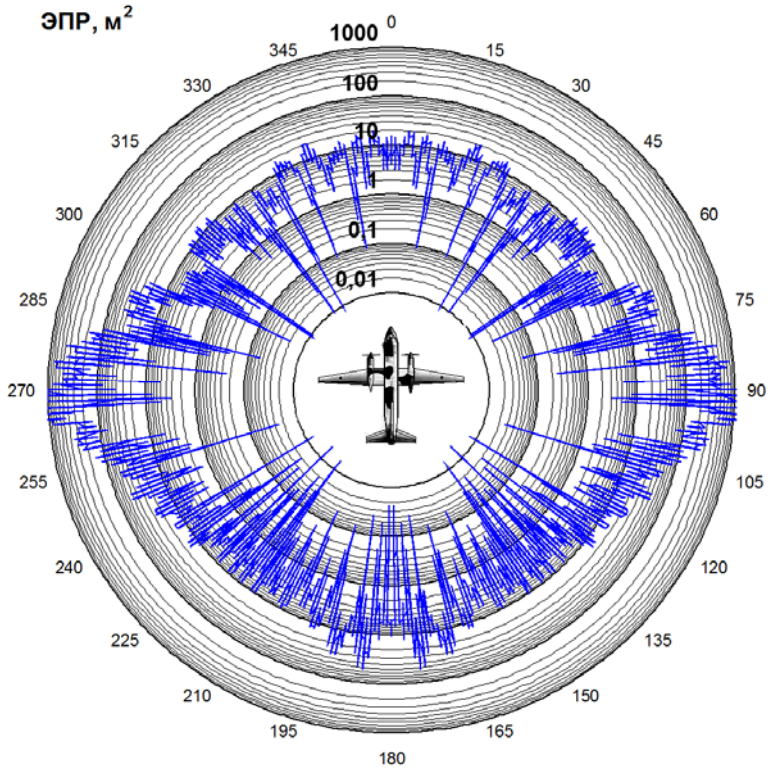


Рис. 3.98. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

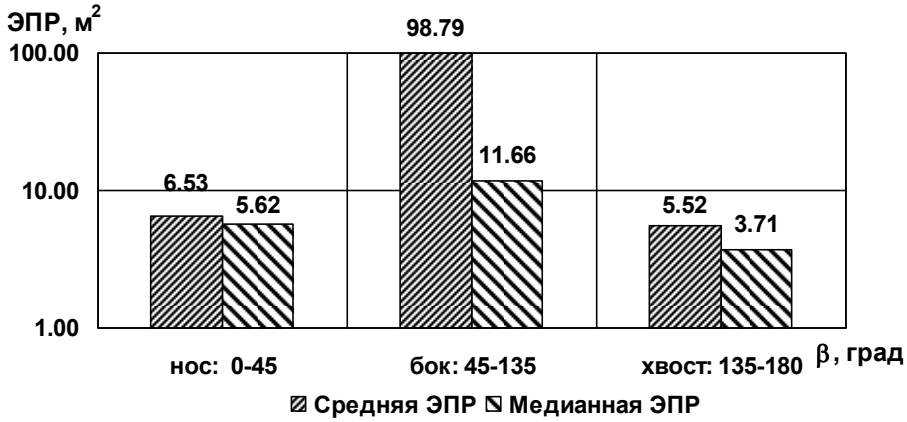


Рис. 3.99. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

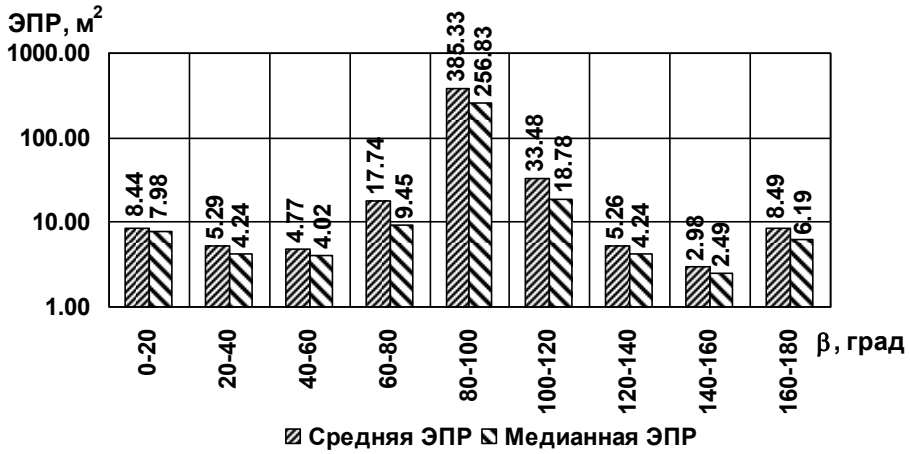


Рис. 3.100. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

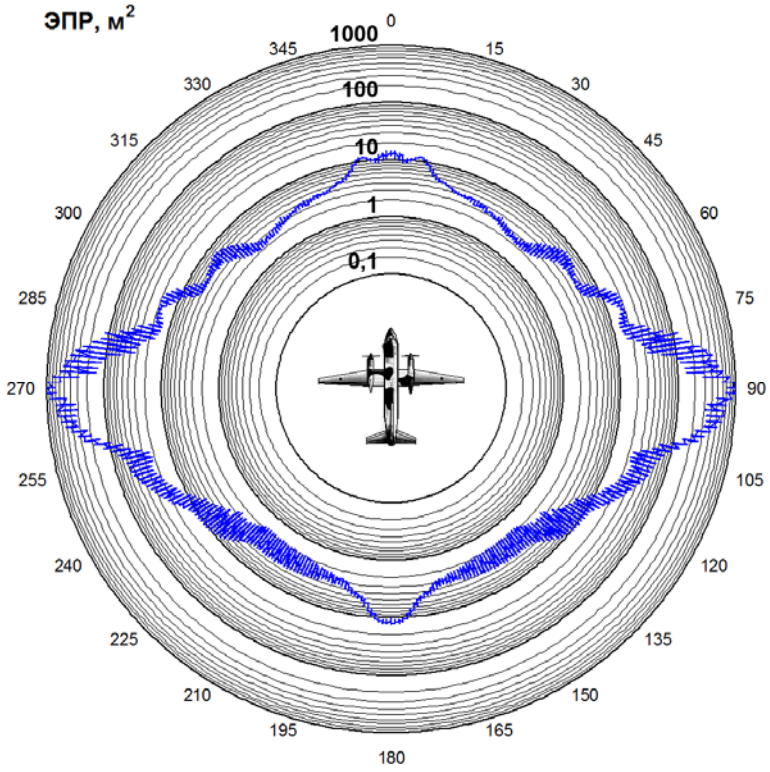


Рис. 3.101. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

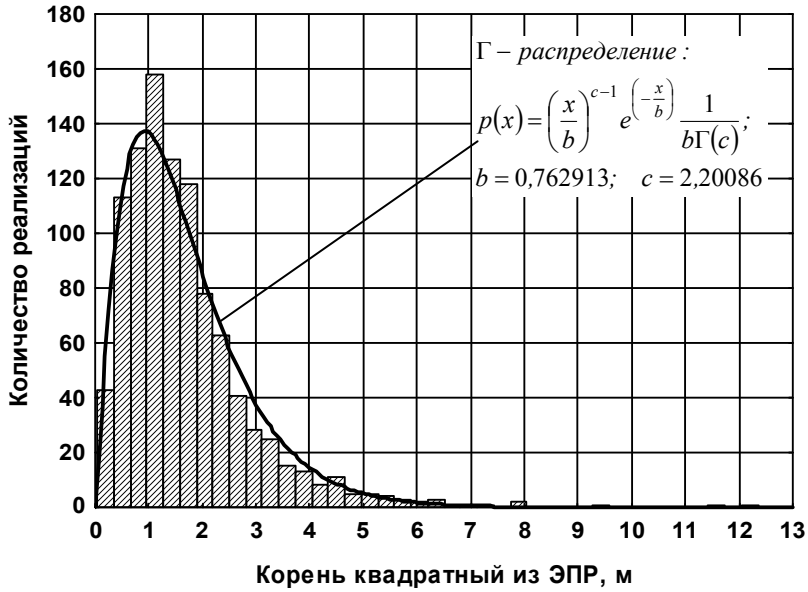


Рис. 3.102. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

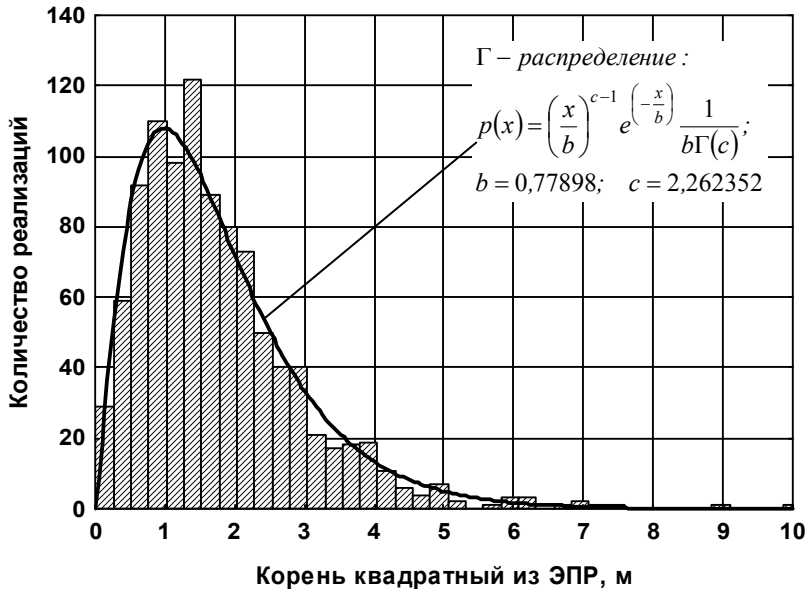


Рис. 3.103. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

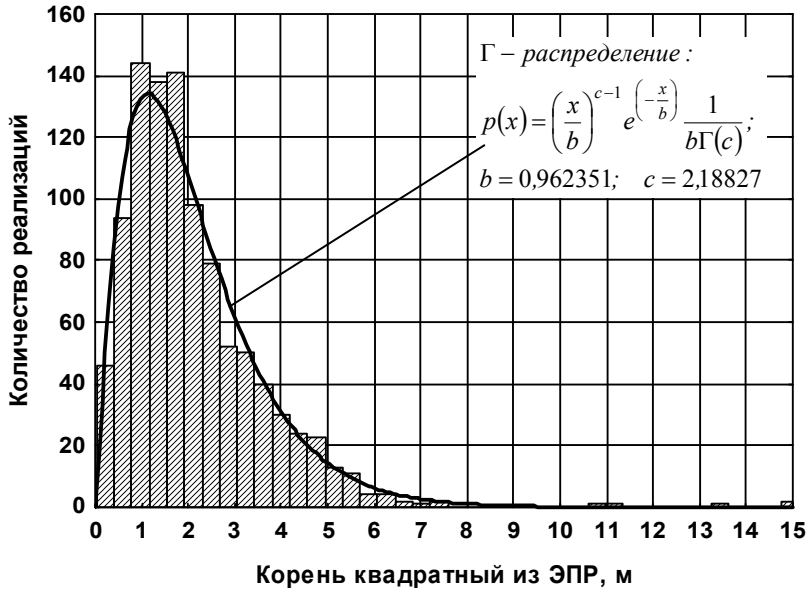


Рис. 3.104. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

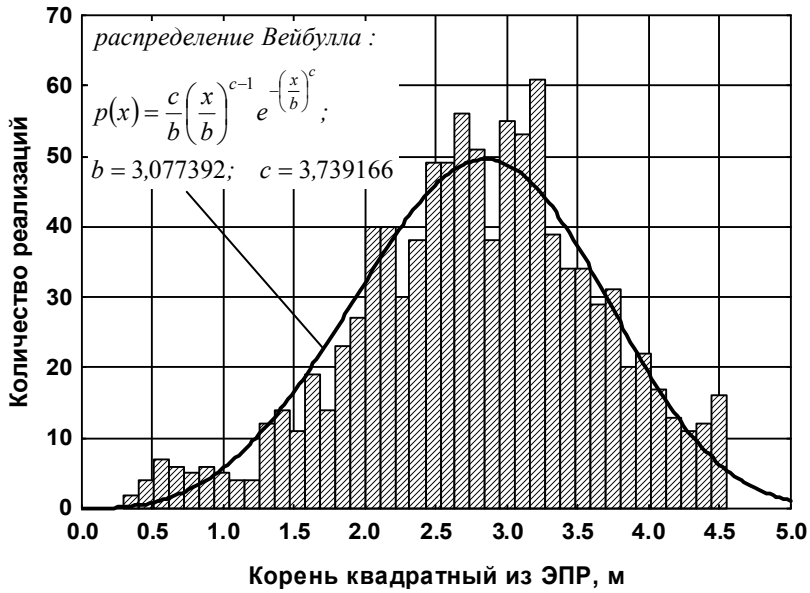


Рис. 3.105. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.4. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

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

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

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 4º 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 6º к вертикали.



Рис. 3.106. Фронтовой истребитель МиГ-29

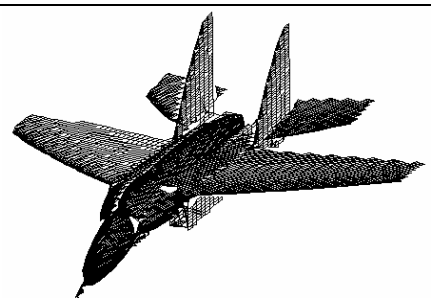


Рис. 3.107. Модель поверхности МиГ-29

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности самолета**	
Длина самолета	17,32 м	Количество участков эллипсоидов модели	29
Высота самолета	4,73 м		
Размах крыла	11,36 м	Количество прямых кромочных участков в модели	42
Площадь крыла	38,06 кв.м		

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 радиопро-

зрачным 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 Р-27Р 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 45º 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 ±65º по азимуту и +56º…–36º 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 ±20º.

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 9º.



а б

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



Рис.3.109. Носовой диэлектрический обтекатель МиГ-29

Исходя из конструкции антенной системы РЛС Н-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 рабо-

чей 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].

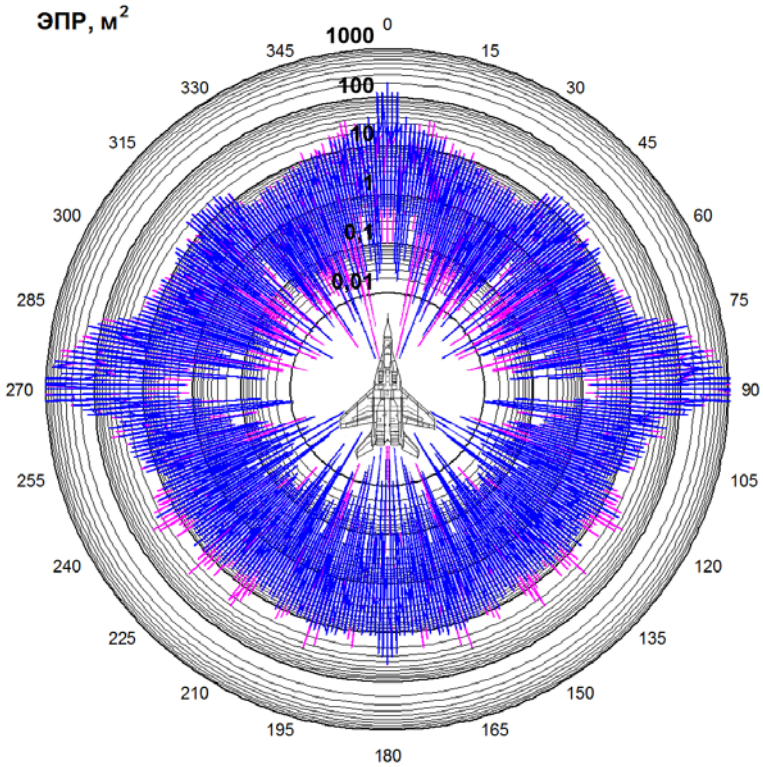


Рис. 3.110. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



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)

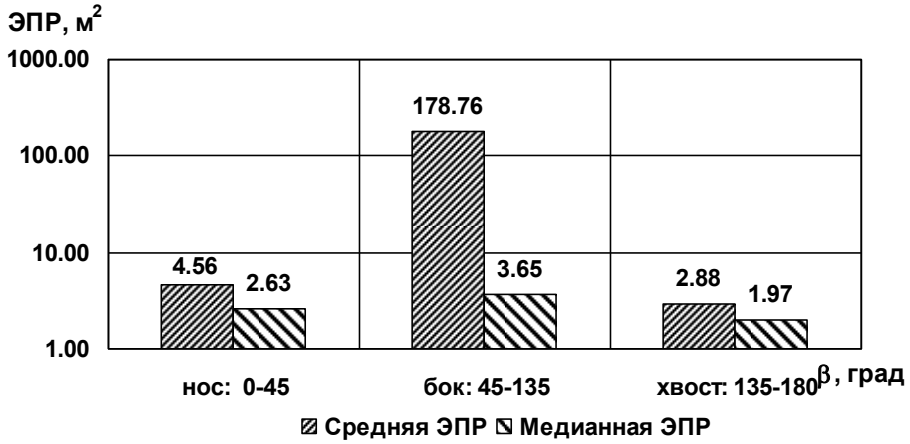


Рис. 3.112. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)



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)

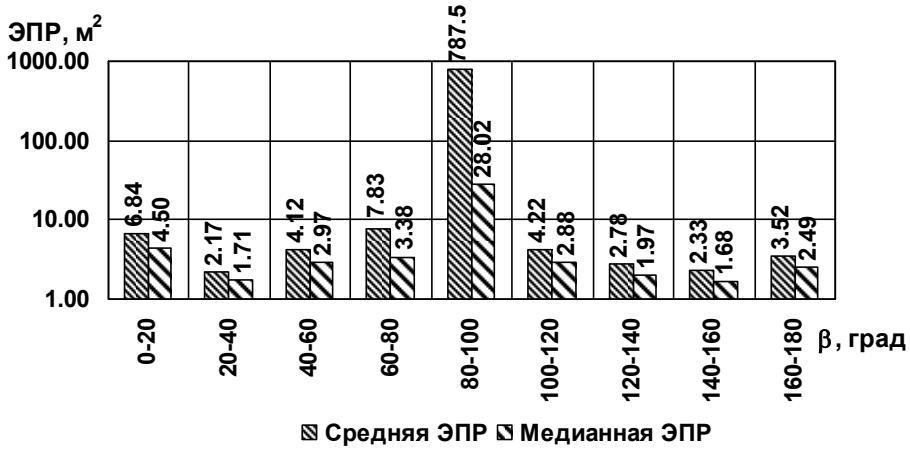


Рис. 3.114. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

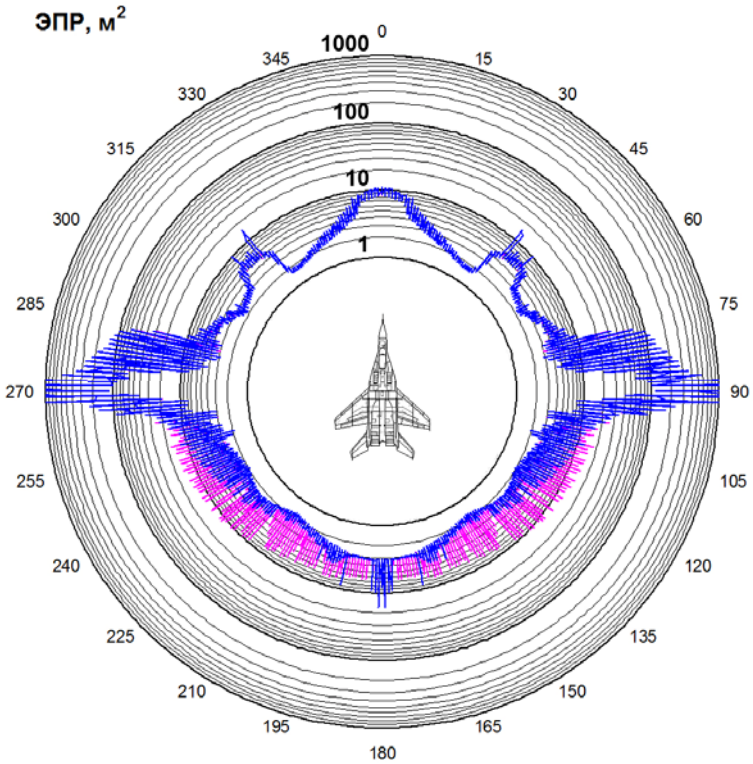


Рис. 3.115. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

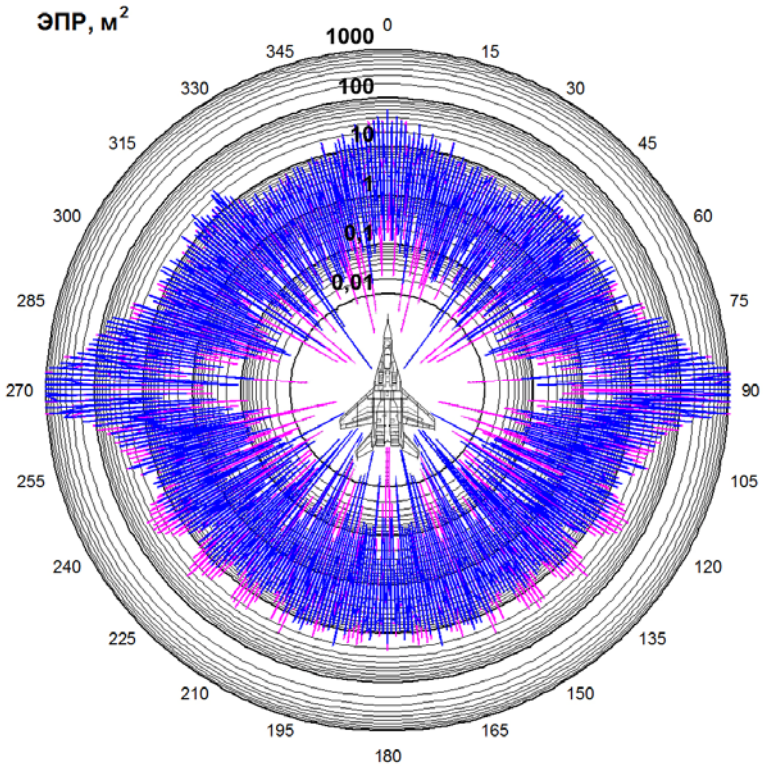


Рис. 3.116. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)



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)

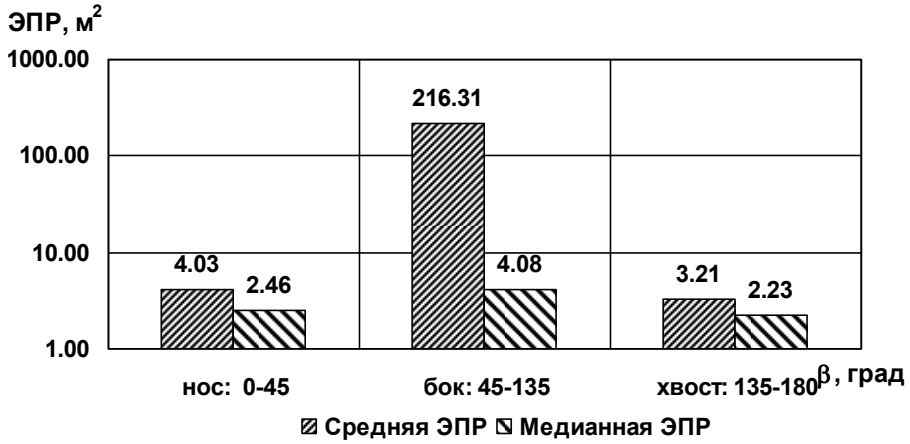


Рис. 3.118. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

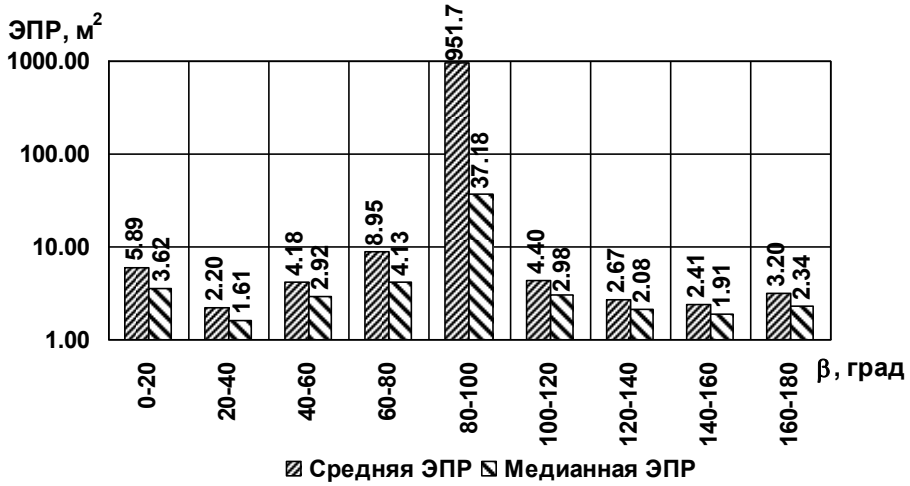


Рис. 3.119. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

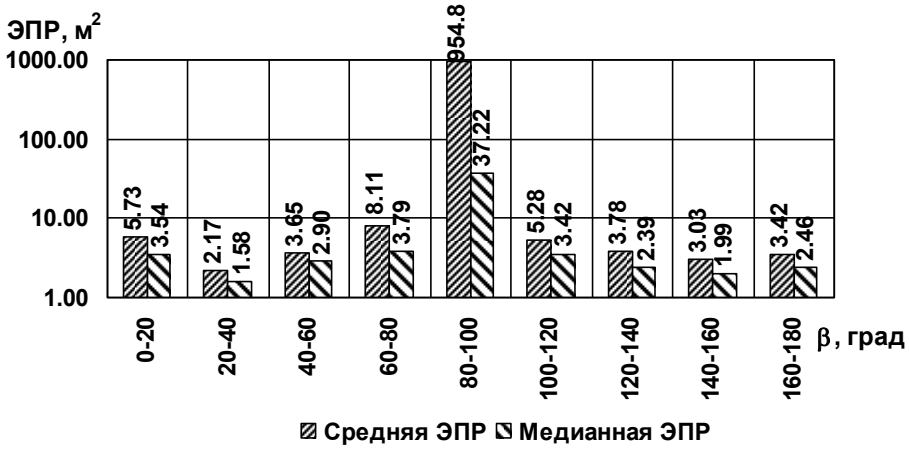


Рис. 3.120. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

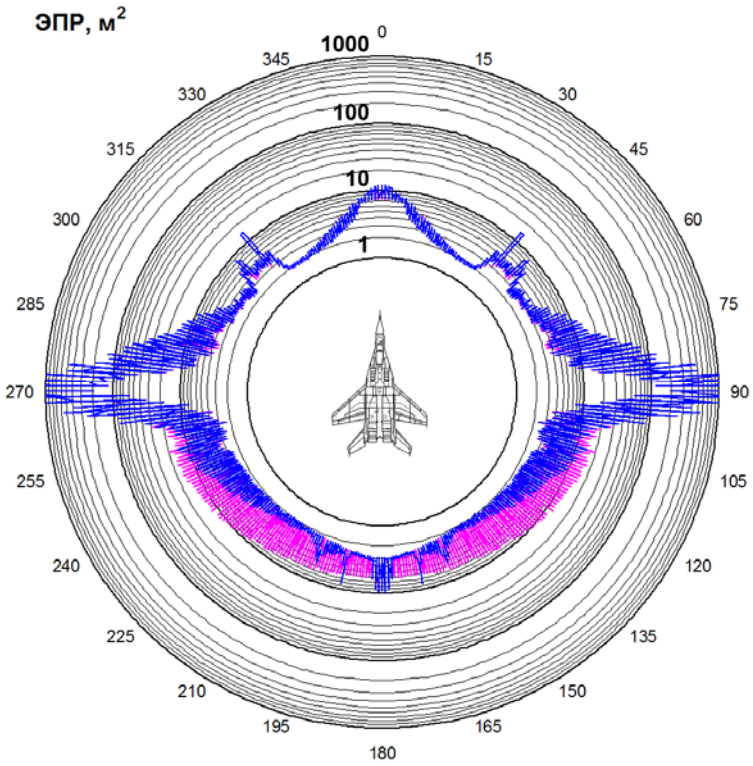


Рис. 3.121. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

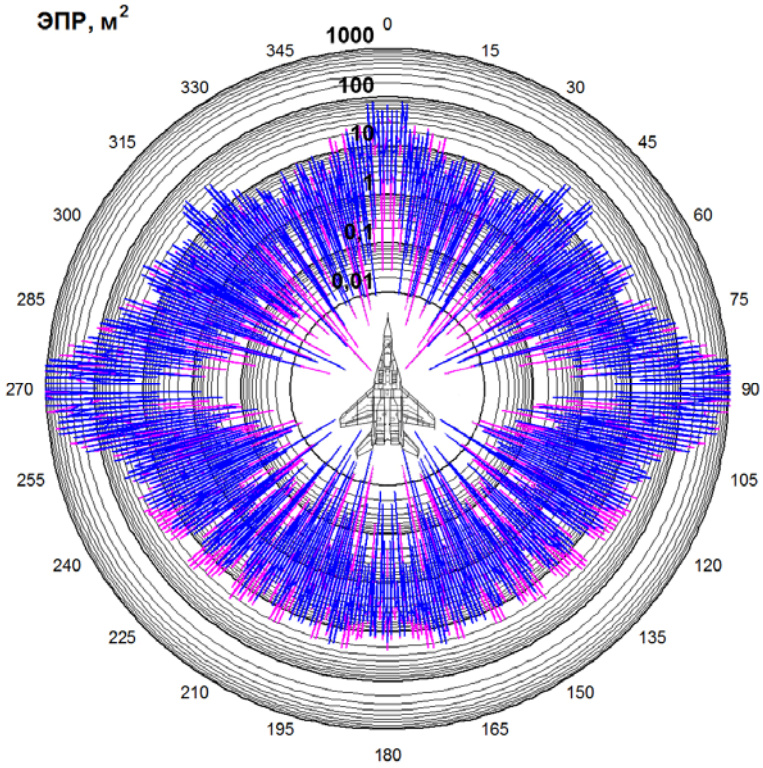


Рис. 3.122. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

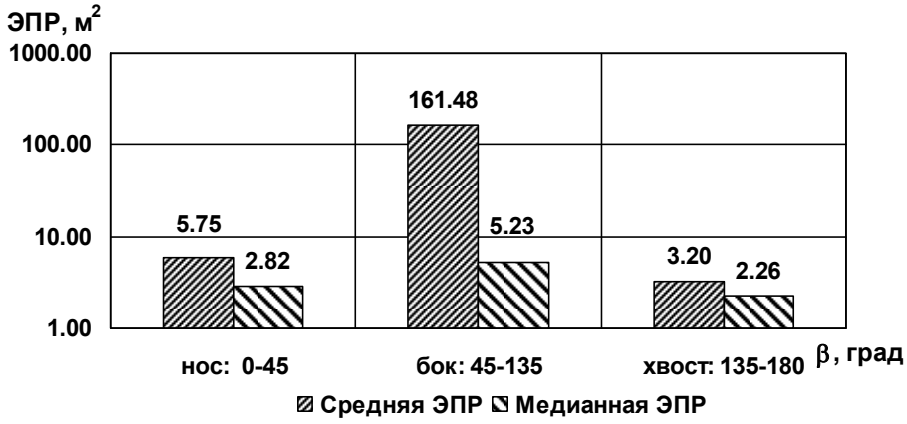


Рис. 3.123. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

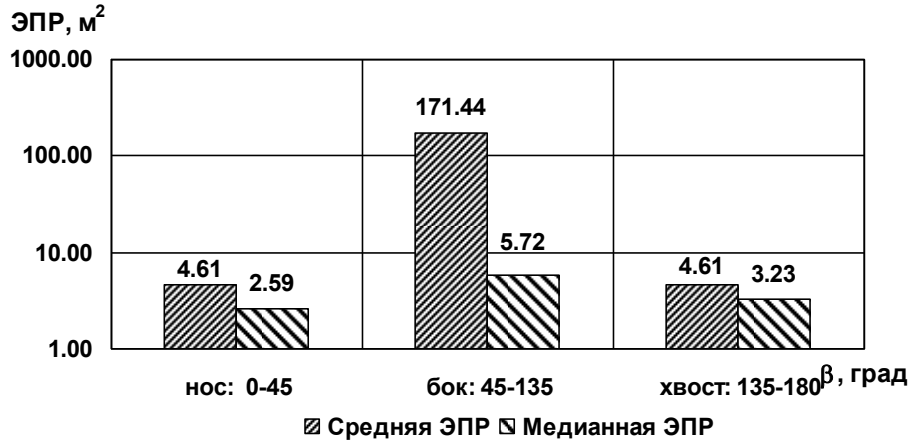


Рис. 3.124. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

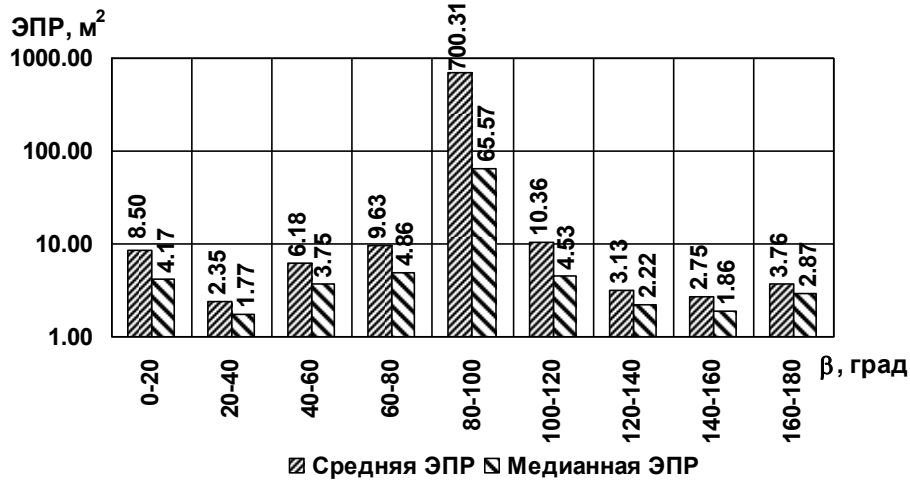


Рис. 3.125. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

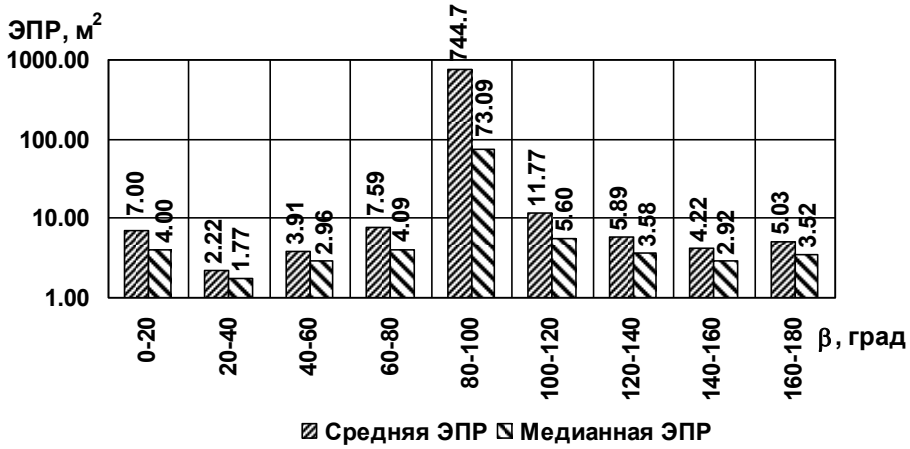


Рис. 3.126. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

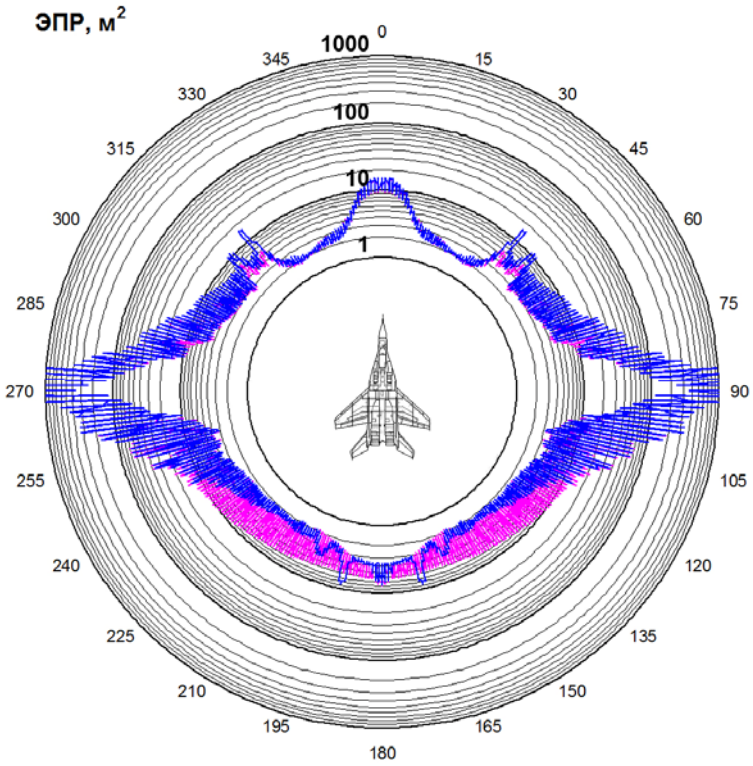


Рис. 3.127. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

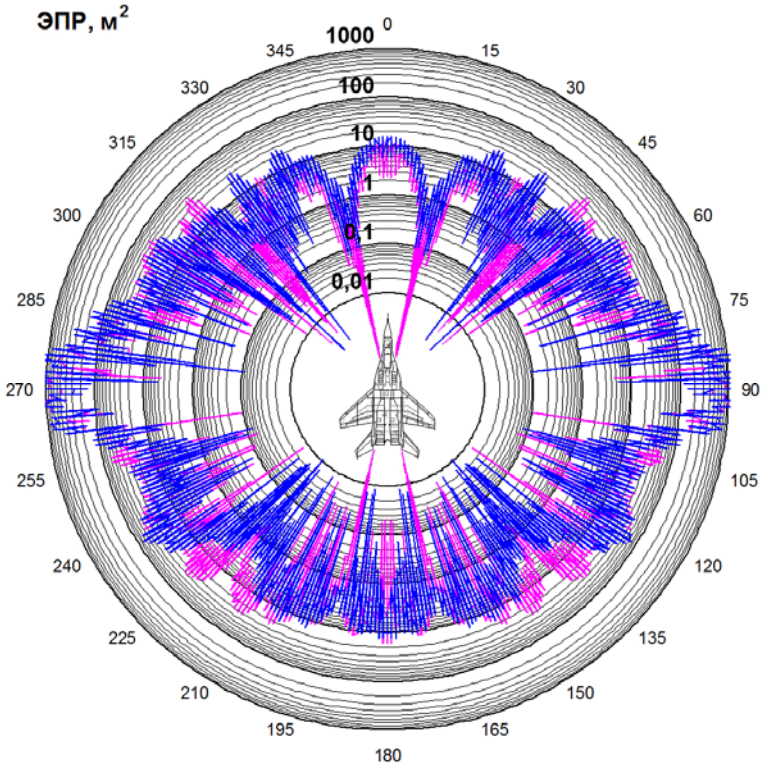


Рис. 3.128. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

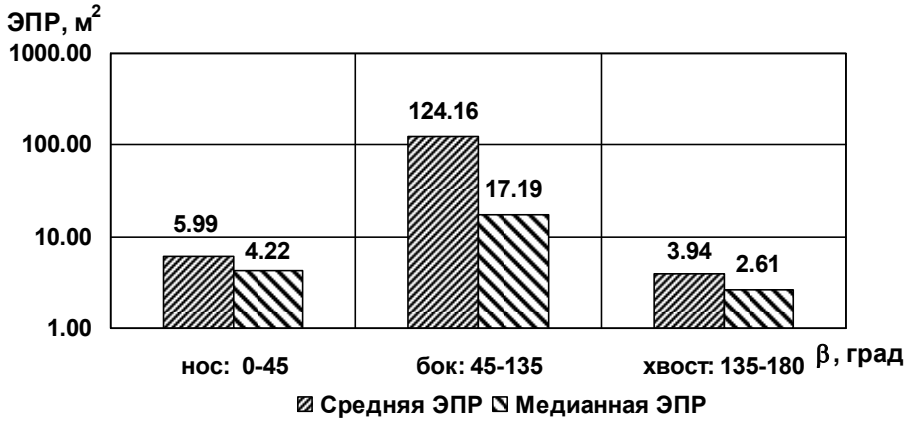


Рис. 3.129. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

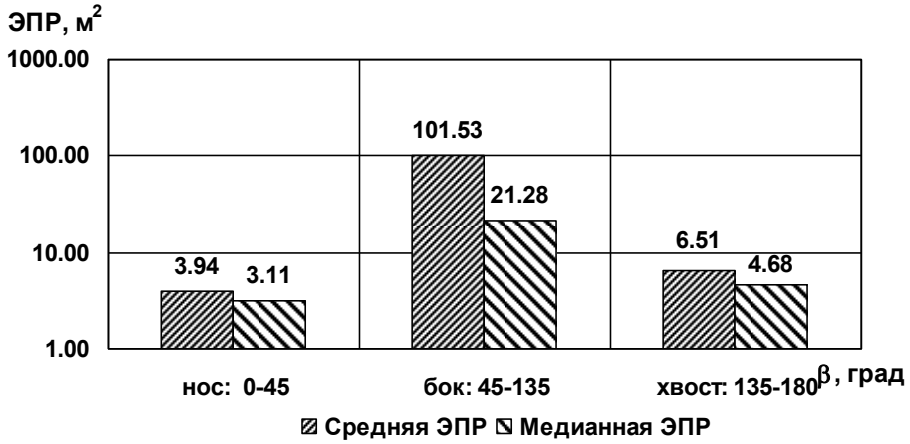


Рис. 3.130. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

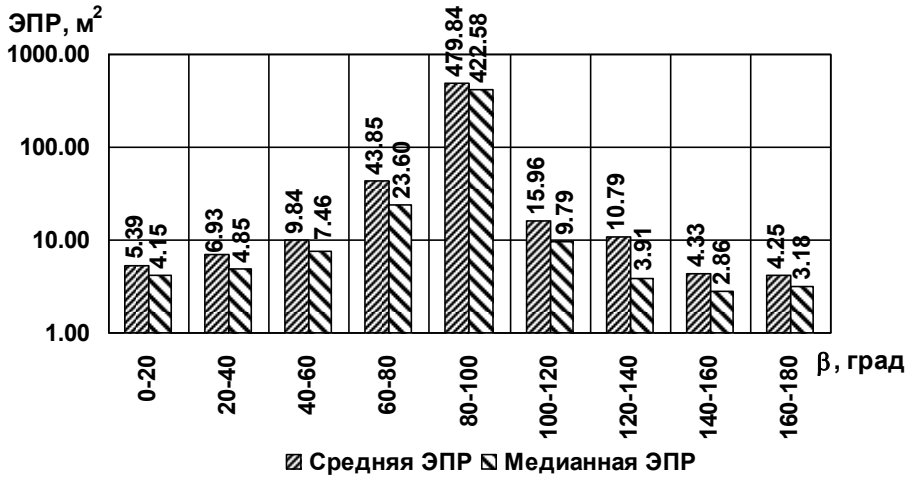


Рис. 3.131. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

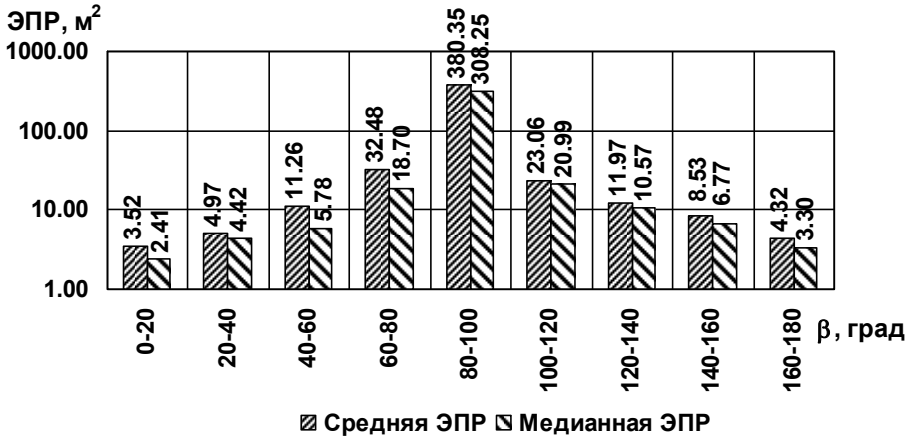


Рис. 3.132. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

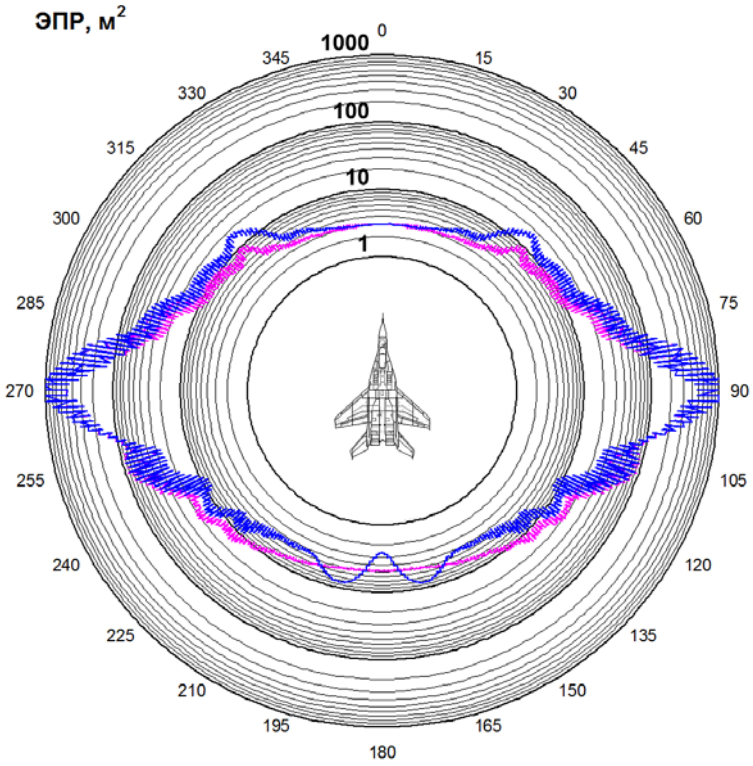


Рис. 3.133. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

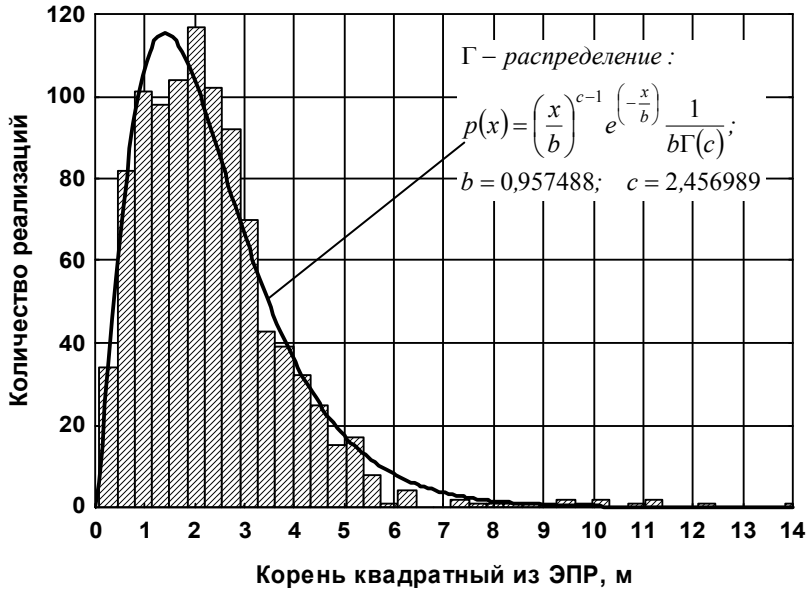


Рис. 3.134. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

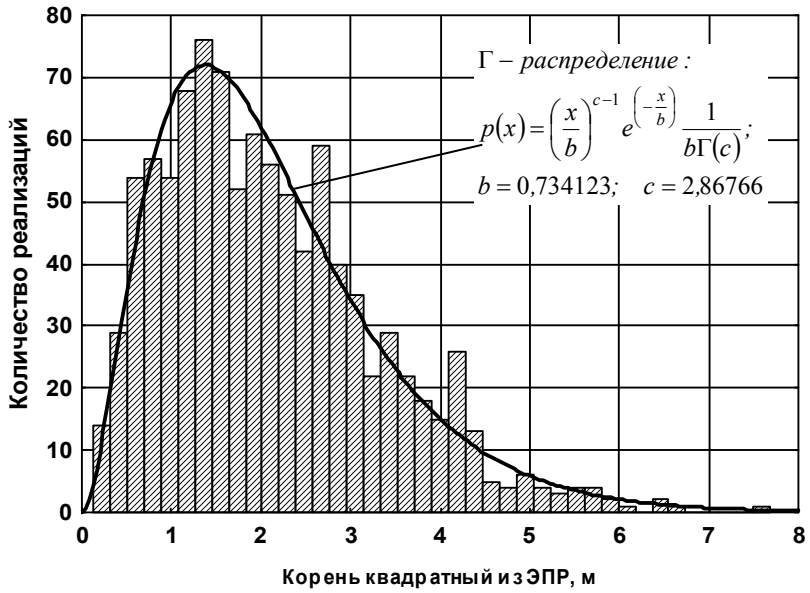


Рис. 3.135. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

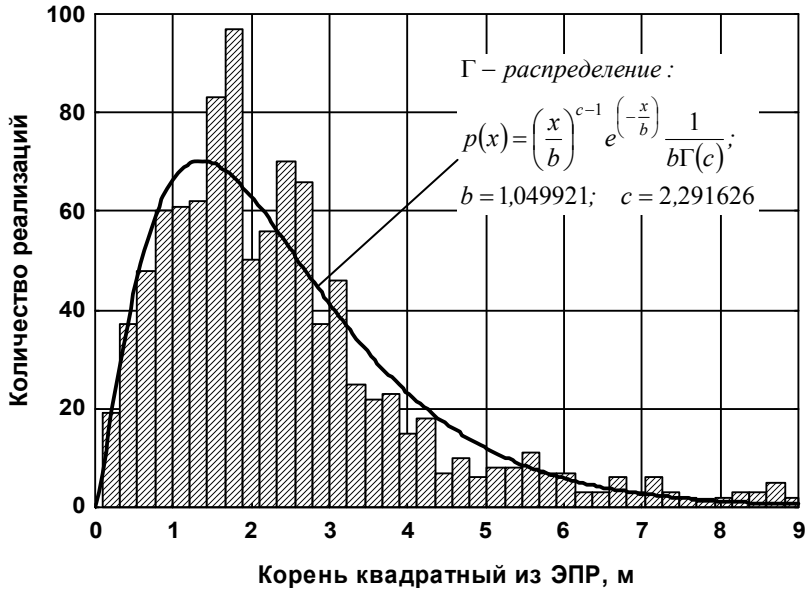


Рис. 3.136. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

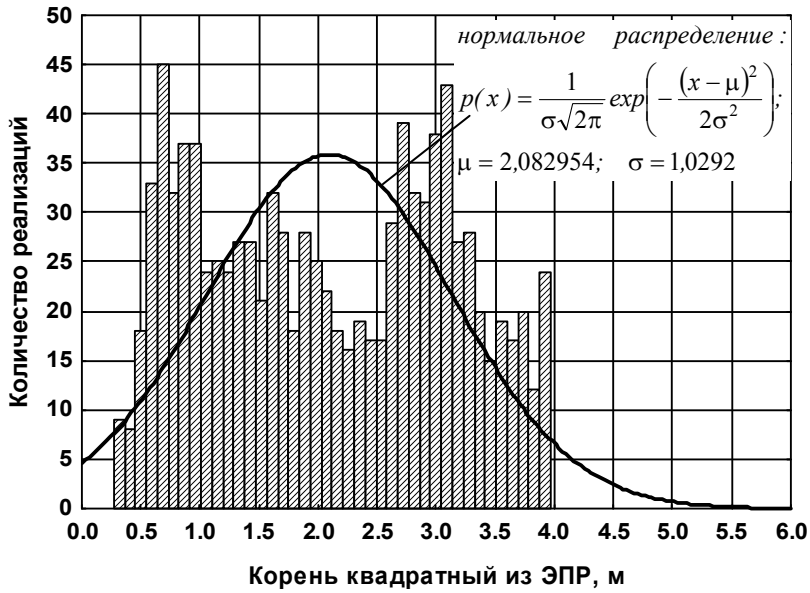


Рис. 3.137. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.5. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

Длина волны	Поляризация	Тип распределения	Параметры распределения
3 см	горизонтальная	Г -распределение: $p(x)=\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} \frac{1}{b\Gamma(c)}$, где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	$b=0{,}957488$ $c=2{,}456989$
3 см	вертикальная	Распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^{c}}$	$b=2{,}580824$ $c=1{,}891905$
10 см	горизонтальная	Г -распределение	$b=0{,}734123$ $c=2{,}86766$
10 см	вертикальная	Распределение Вейбулла	$b=2{,}339237$ $c=1{,}816584$
30 см	горизонтальная	Г -распределение	$b=1{,}049921$ $c=2{,}291626$
30 см	вертикальная	Г -распределение	$b=0{,}899074$ $c=2{,}517632$
180 см	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu=2{,}082954$ $\sigma=1{,}0292$
180 см	вертикальная	нормальное распределение	$\mu=1{,}619732$ $\sigma=0{,}950078$

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", опытно-демонстрационный 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-16C – одноместный усовершенствованный многоцелевой истребитель; F-16D – двухместный учебно-боевой вариант F-16C; F-16ADF – истребитель ПВО для национальной гвардии ВВС США; RF-16C (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-

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. Многоцелевой истребитель F-16

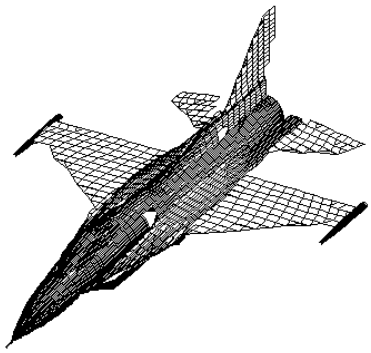


Рис. 3.139. Модель поверхности F-16

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

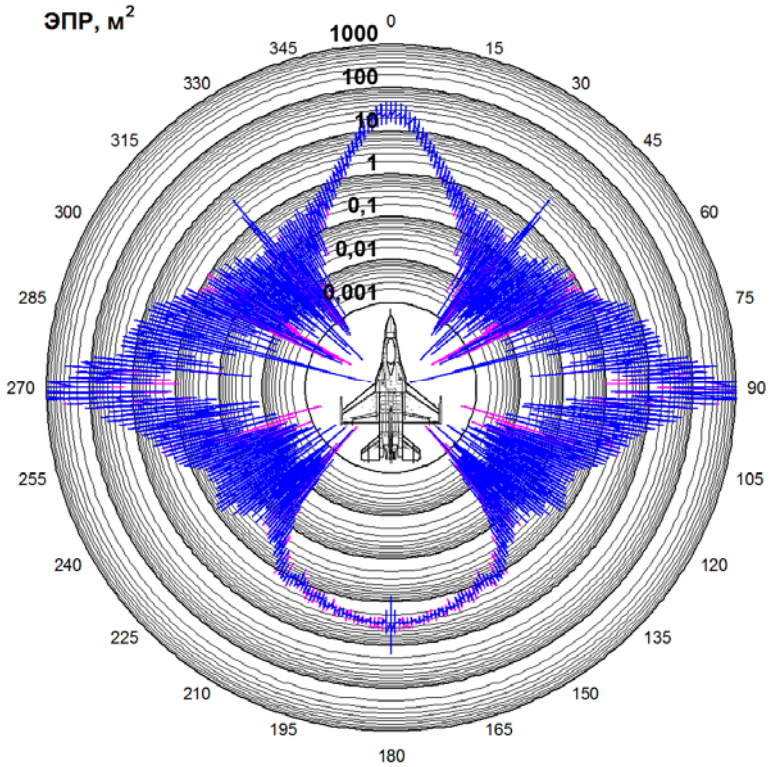


Рис. 3.140. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

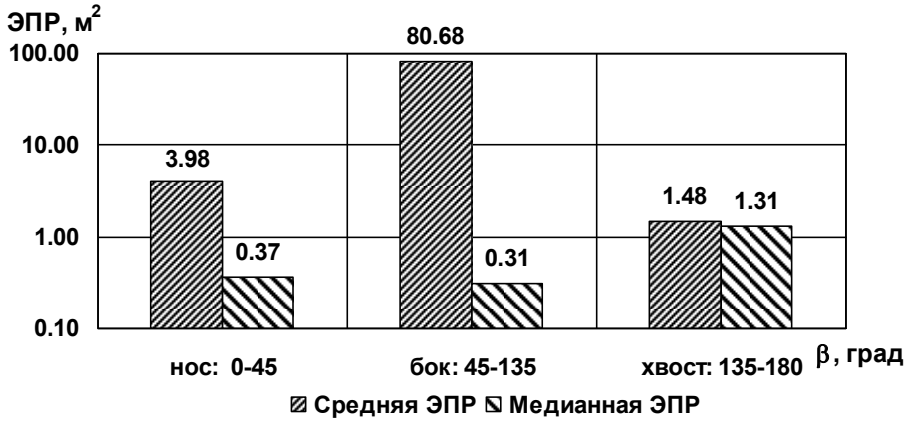


Рис. 3.141. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

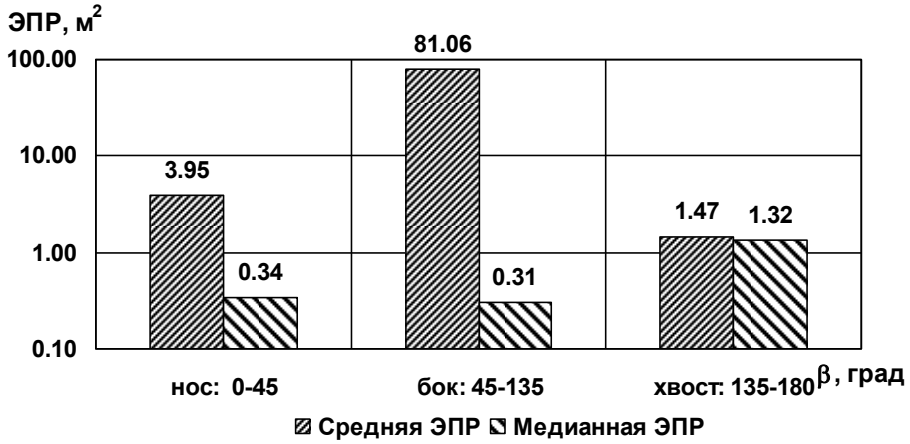


Рис. 3.142. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

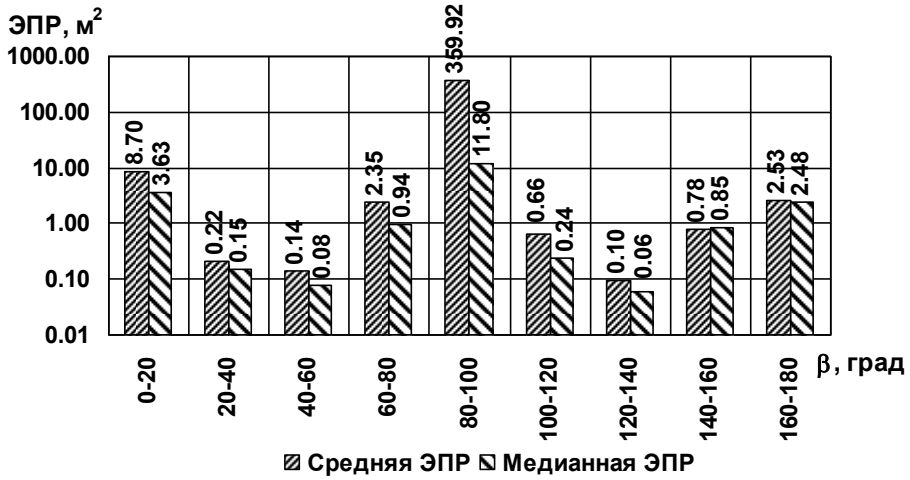


Рис. 3.143. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

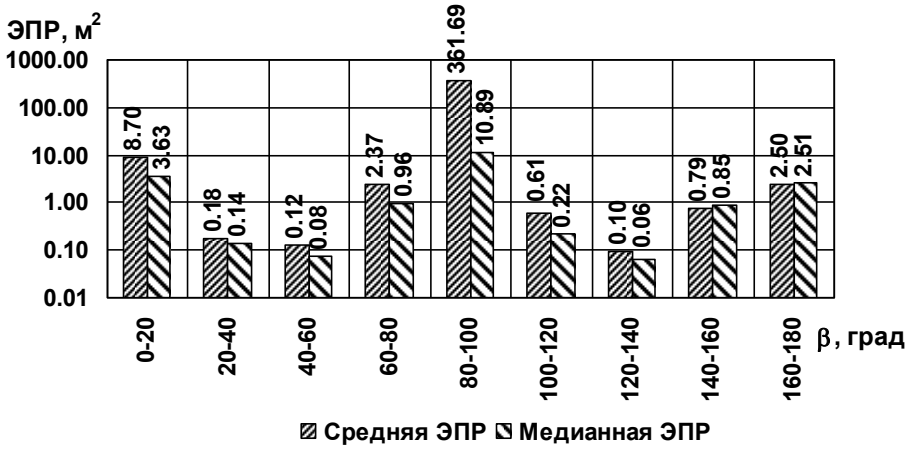


Рис. 3.144. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

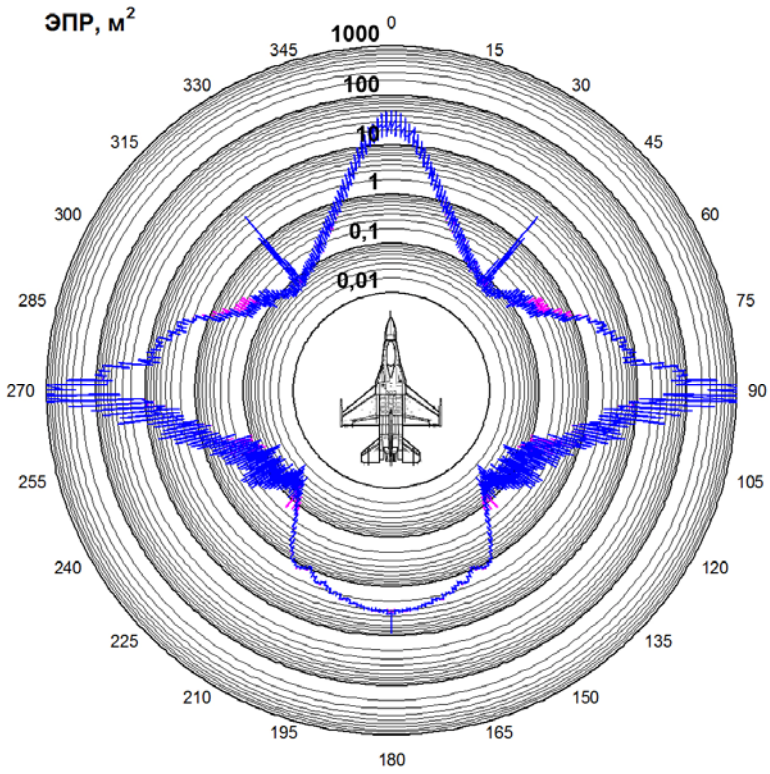


Рис. 3.145. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

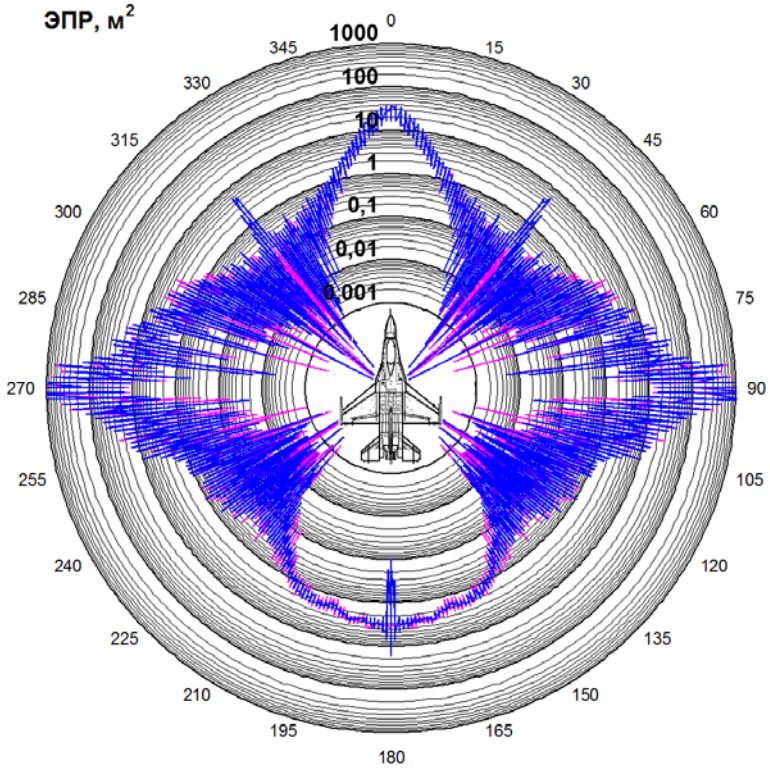


Рис. 3.146. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

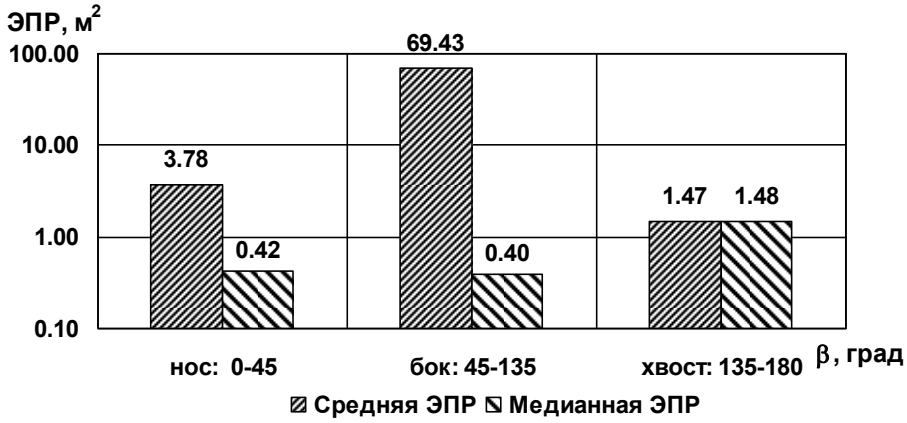


Рис. 3.147. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

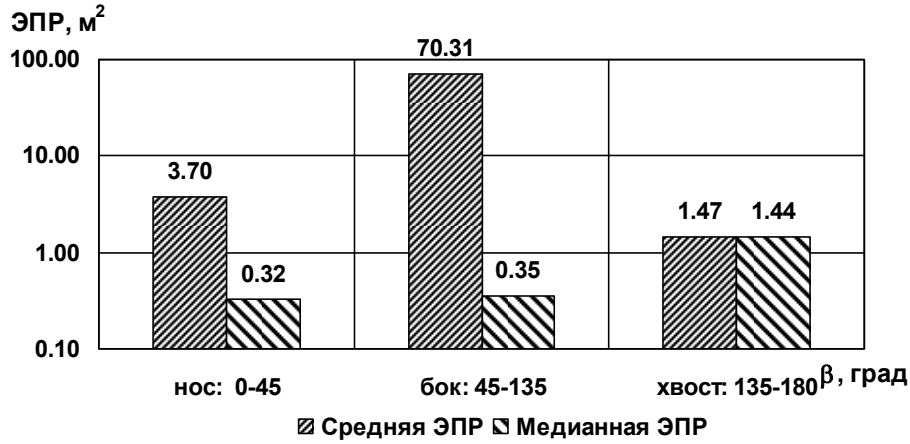


Рис. 3.148. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

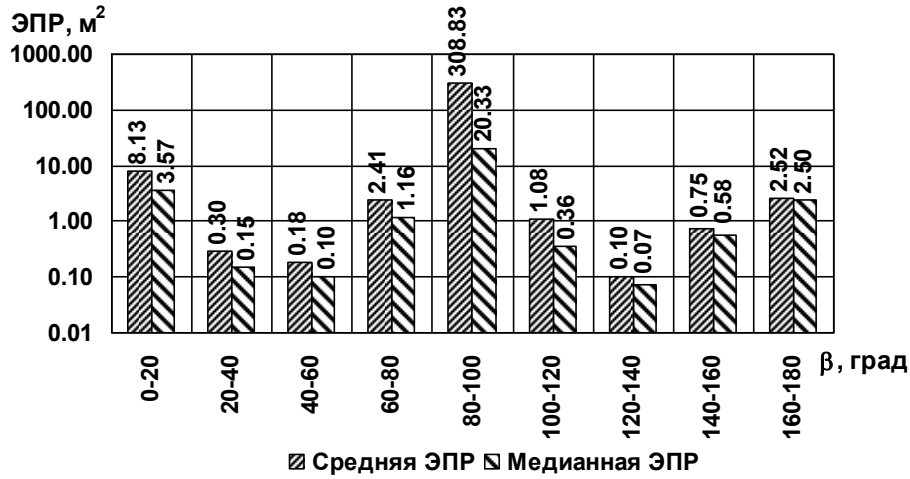


Рис. 3.149. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

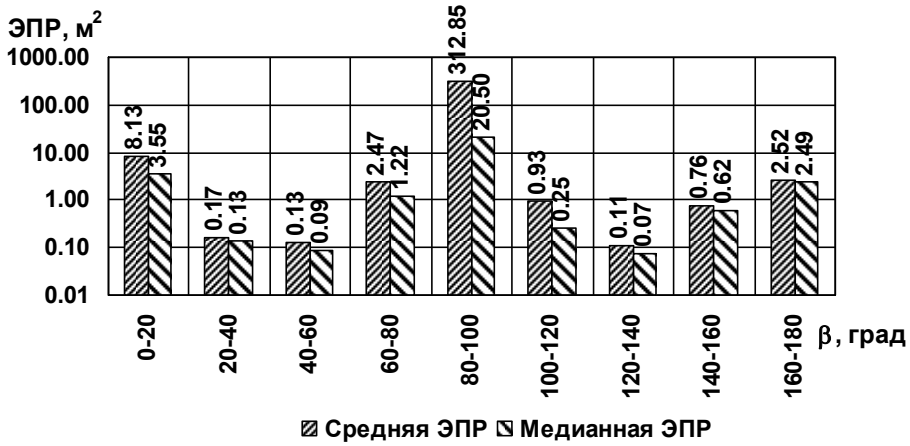


Рис. 3.150. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

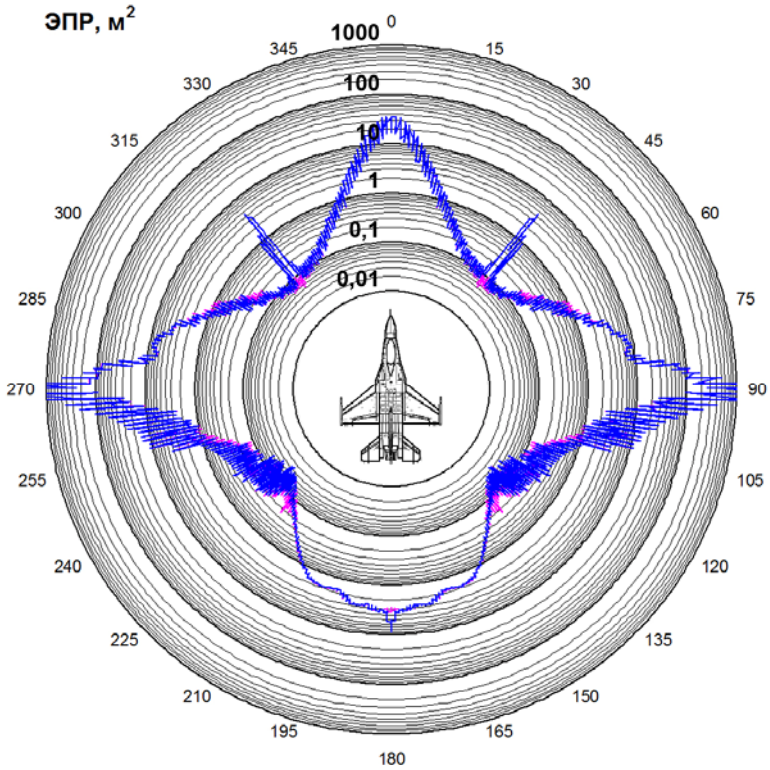


Рис. 3.151. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

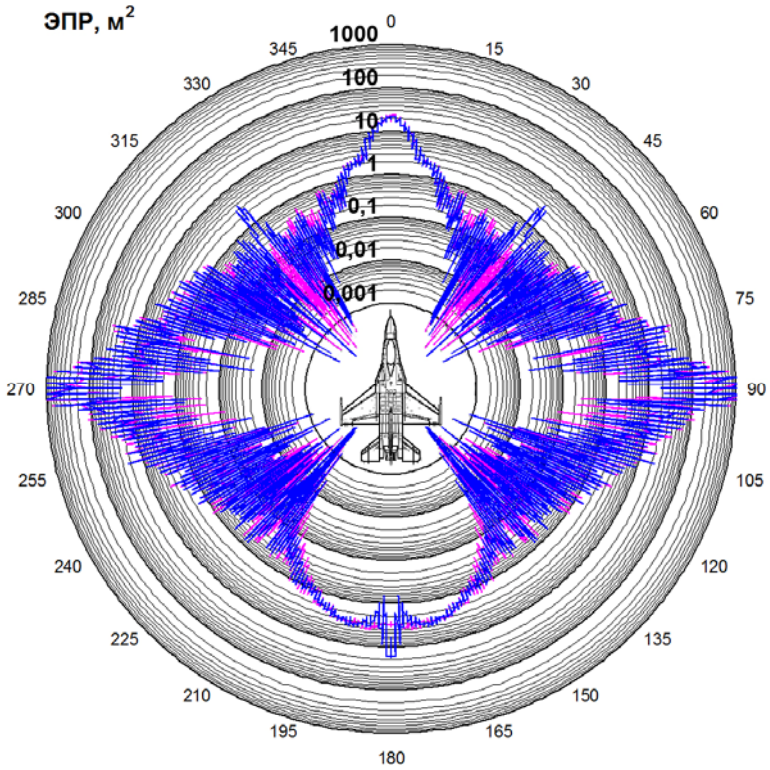


Рис. 3.152. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

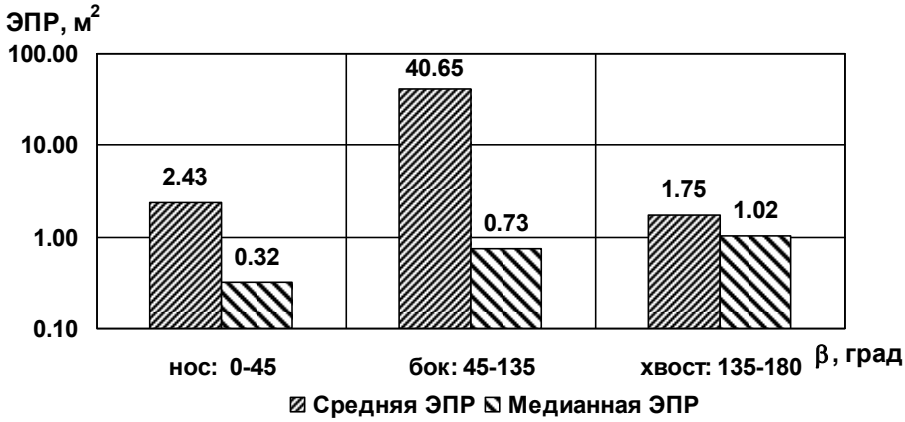


Рис. 3.153. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

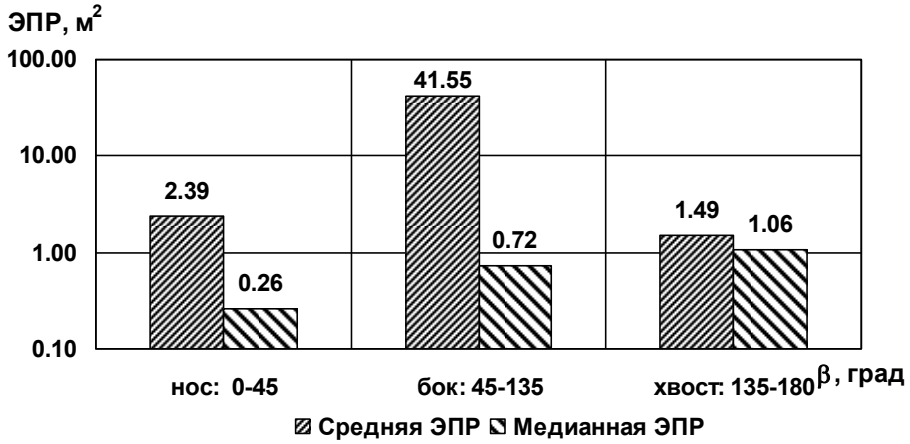


Рис. 3.154. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

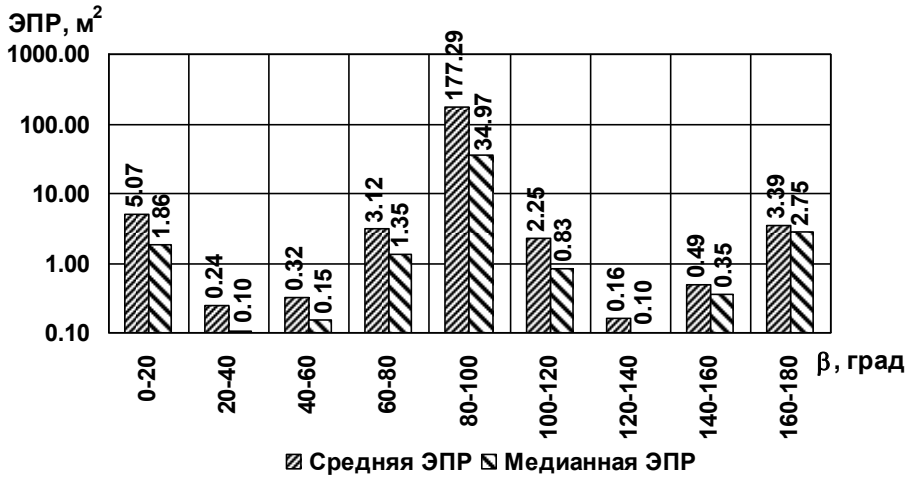


Рис. 3.155. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)



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)

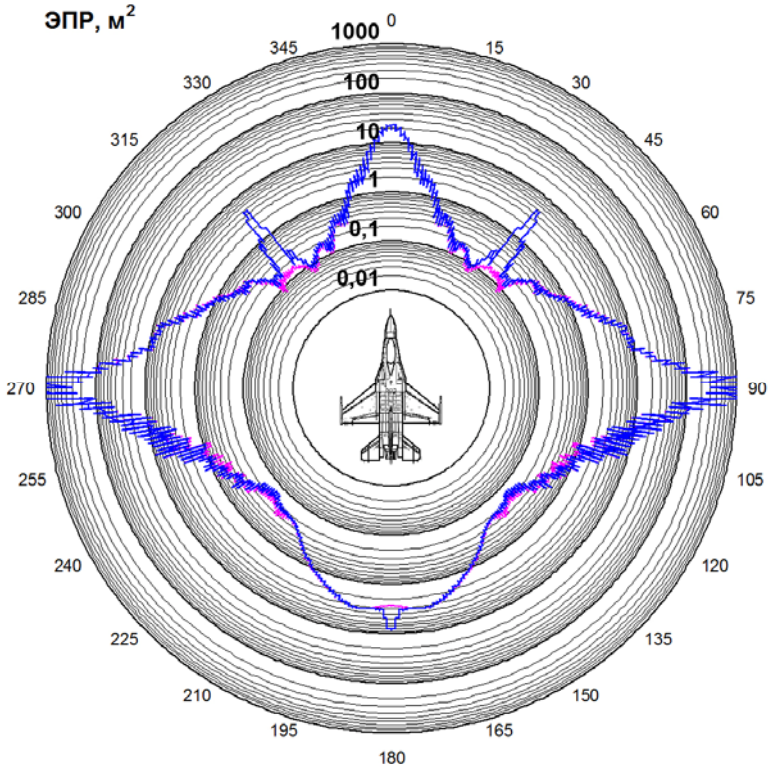


Рис. 3.157. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

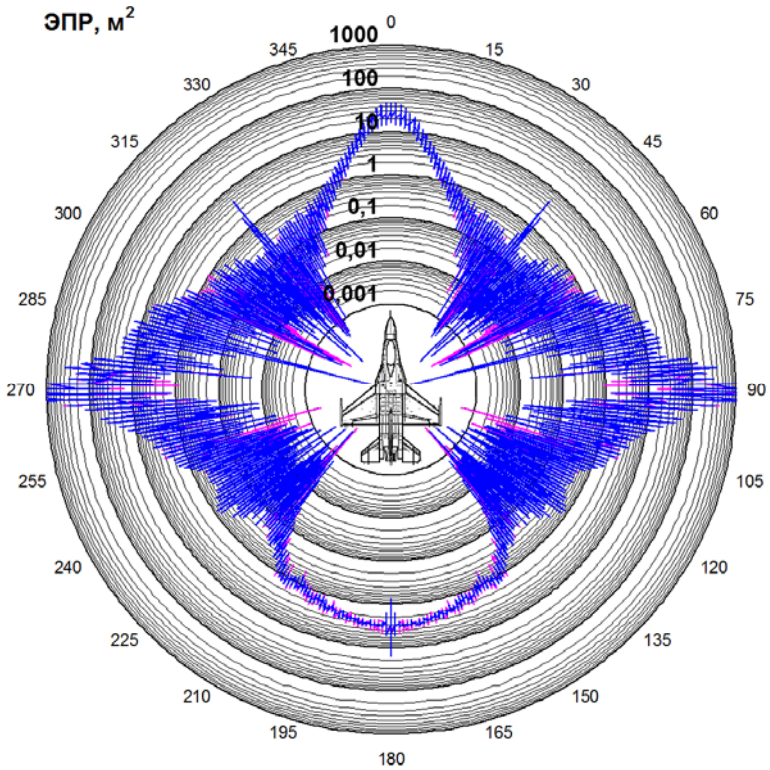


Рис. 3.158. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



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)

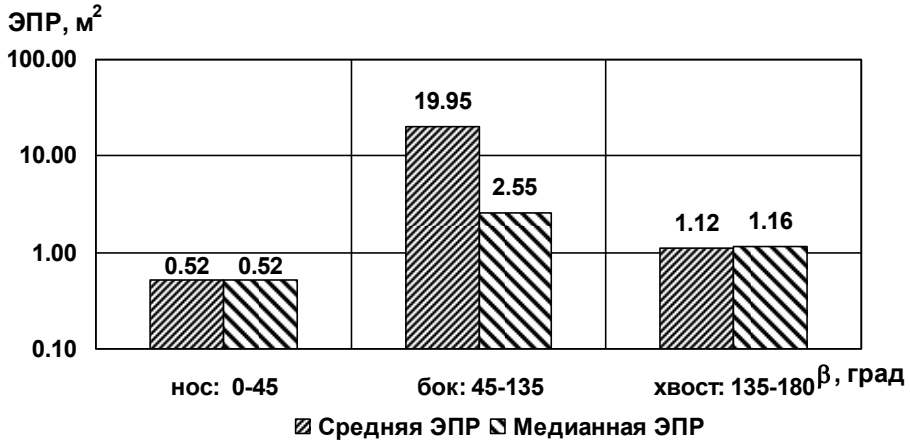


Рис. 3.160. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

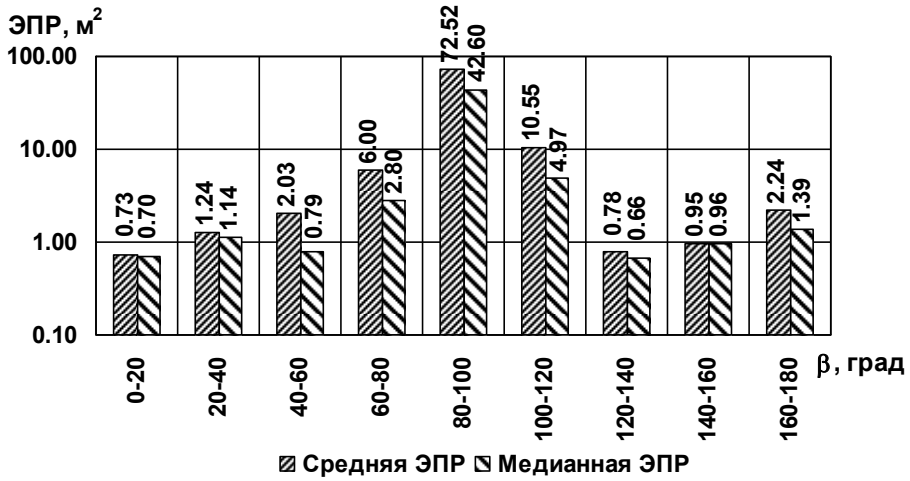


Рис. 3.161. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

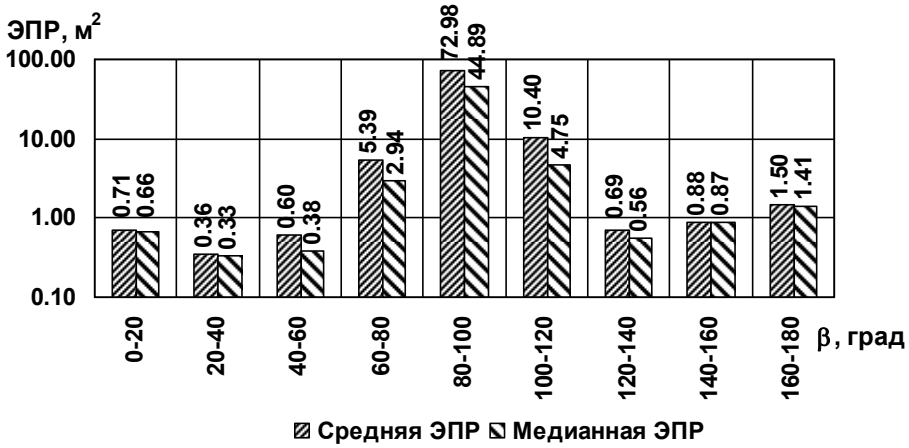


Рис. 3.162. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

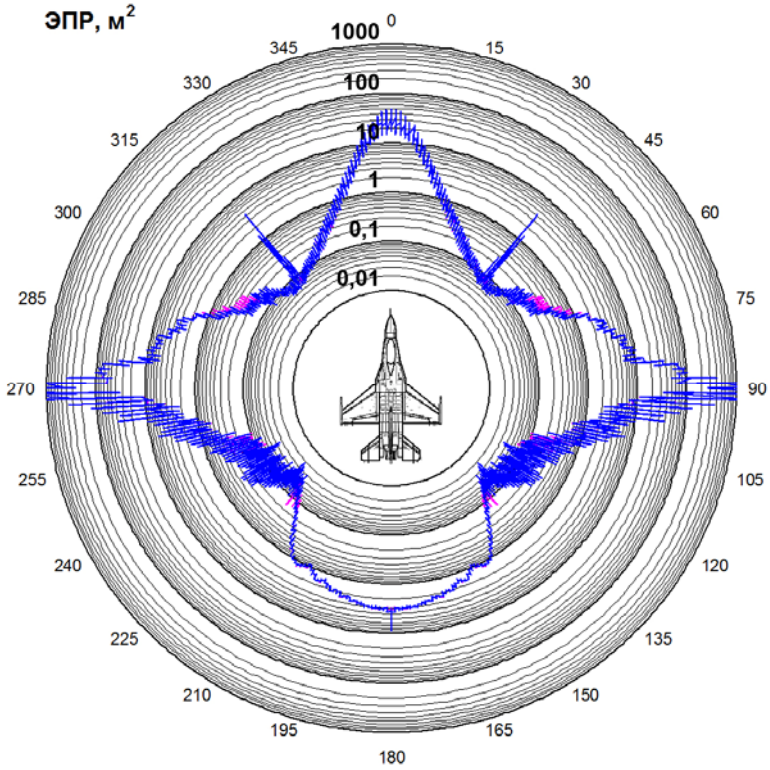


Рис. 3.163. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

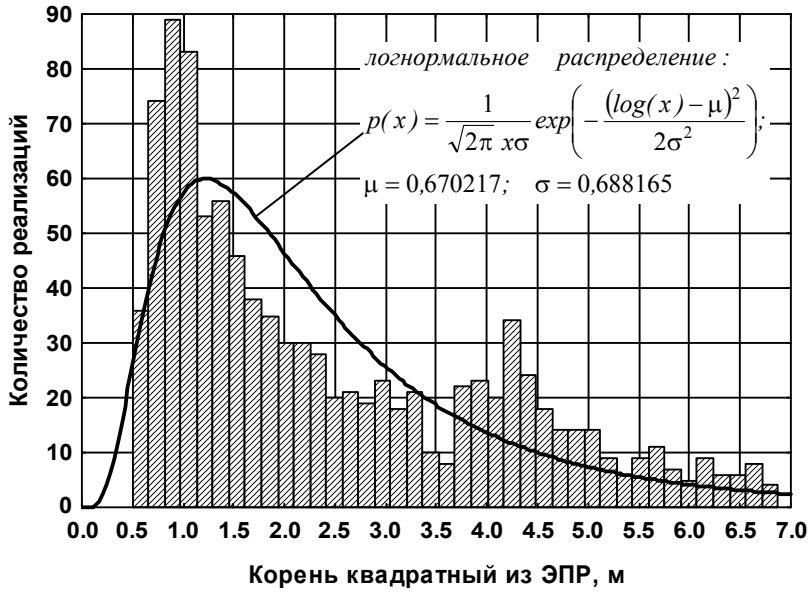


Рис. 3.164. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

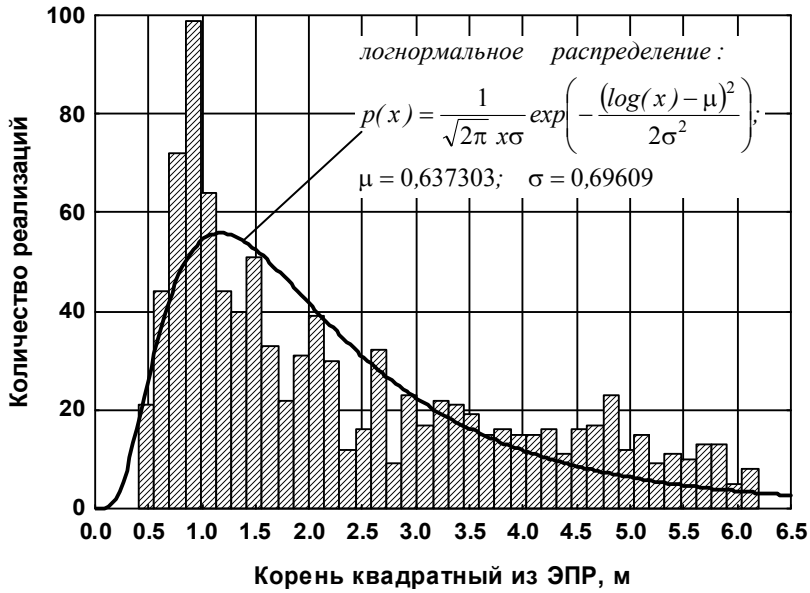


Рис. 3.165. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

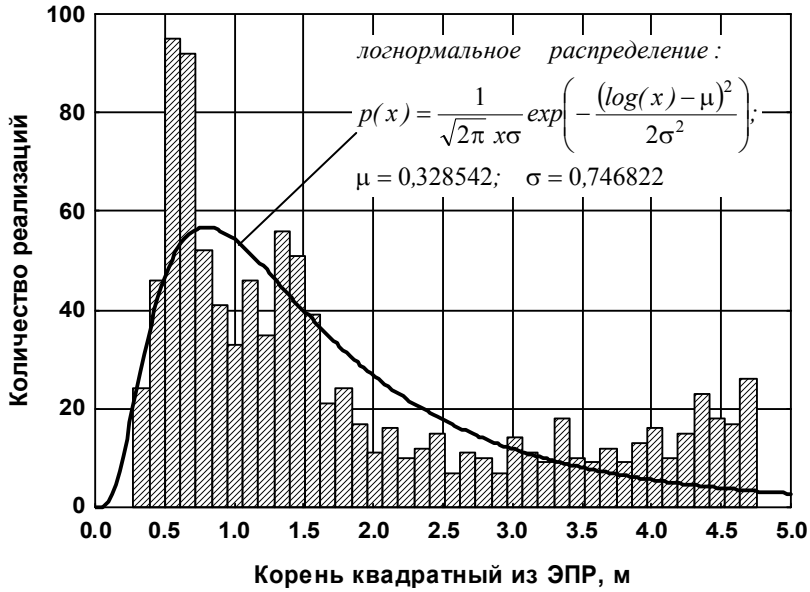


Рис. 3.166. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

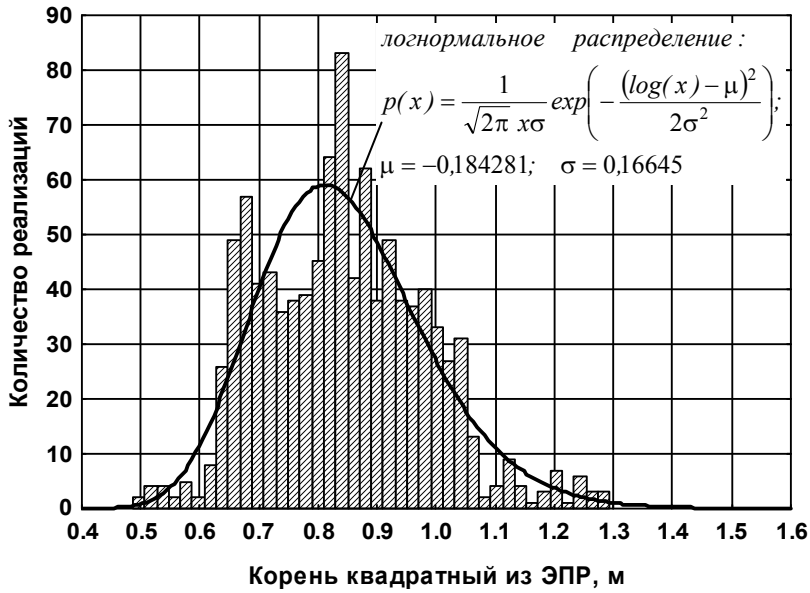


Рис. 3.167. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.6. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

Длина волны	Поляризация	Тип распределения	Параметры распределения
3 см	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma}exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$,	$\mu = 0{,}670217$ $\sigma = 0{,}688165$
3 см	вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}670444$ $\sigma = 0{,}687541$
10 см	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}637303$ $\sigma = 0{,}69609$
10 см	вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}637907$ $\sigma = 0{,}694457$
30 см	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}328542$ $\sigma = 0{,}746822$
30 см	вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}351826$ $\sigma = 0{,}730708$
180 см	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = -0{,}184281$ $\sigma = 0{,}16645$
180 см	вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = -0{,}187933$ $\sigma = 0{,}12564$

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 B-52H. С заменой ядерных боевых частей на обычные, AGM-86 остается эффективным оружием в ближайшем обозримом будущем [97].

Первый запуск AGM-86B 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.

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



Рис. 3.168. Крылатая ракета AGM-86

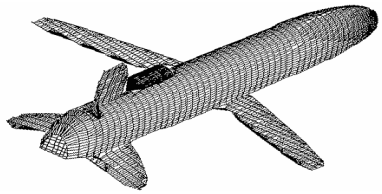


Рис. 3.169. Модель поверхности AGM-86

Характеристики планера		**Параметры модели поверхности ракеты**	
Длина ракеты	6,32 м	Количество участков эллипсоидов модели	12
Диаметр	0,62 м		
Размах крыла	3,66 м	Количество прямых кромочных участков в модели	15

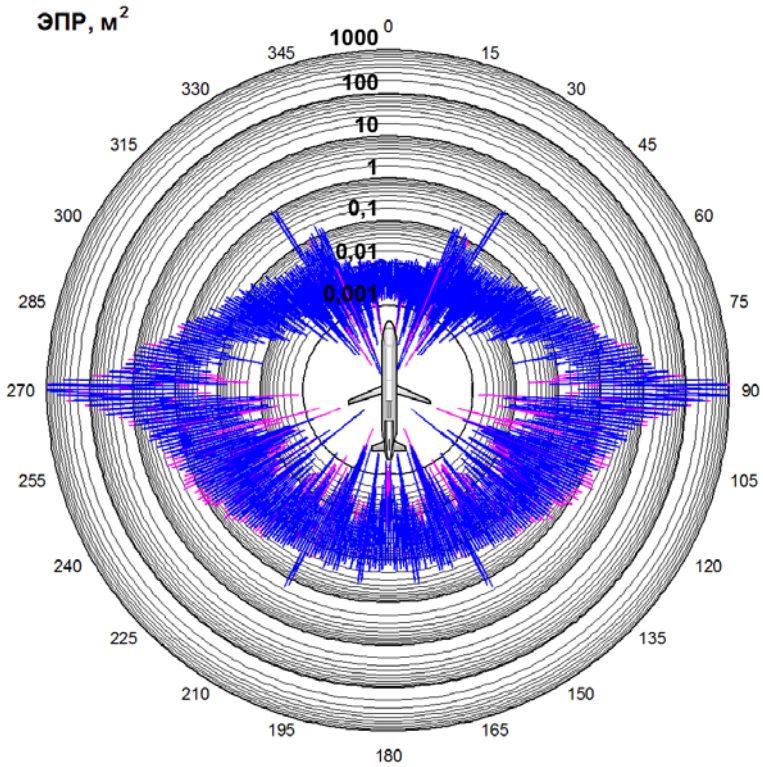


Рис. 3.170. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

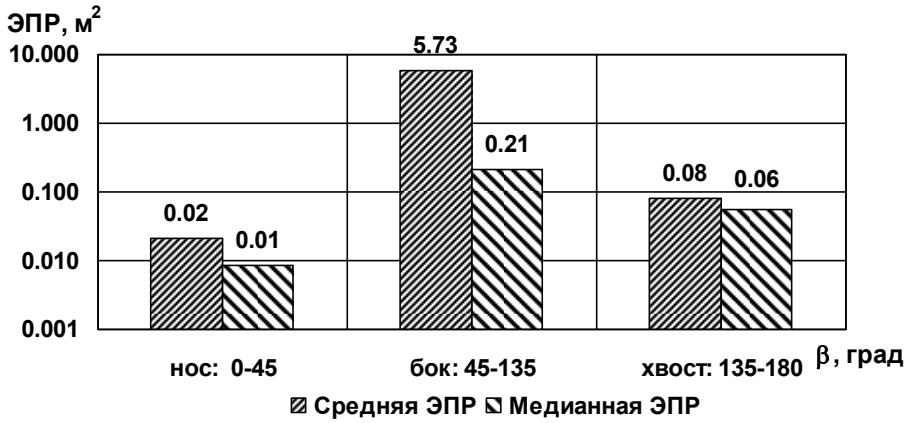


Рис. 3.171. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

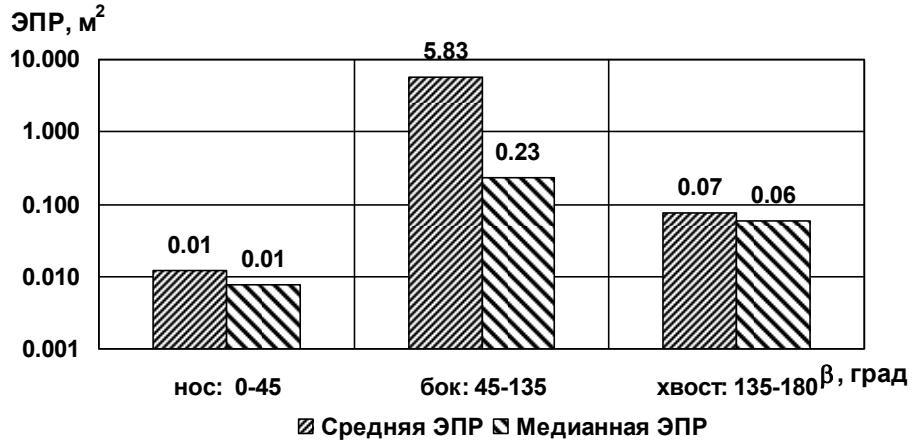


Рис. 3.172. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

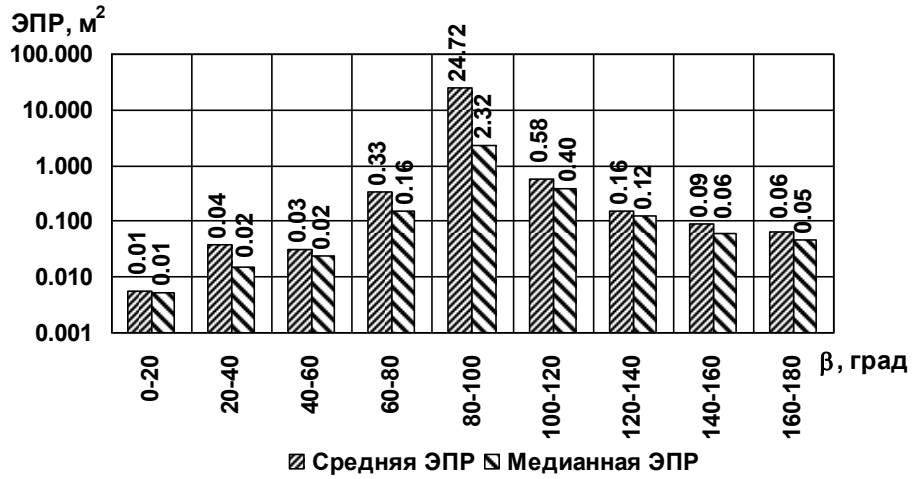


Рис. 3.173. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

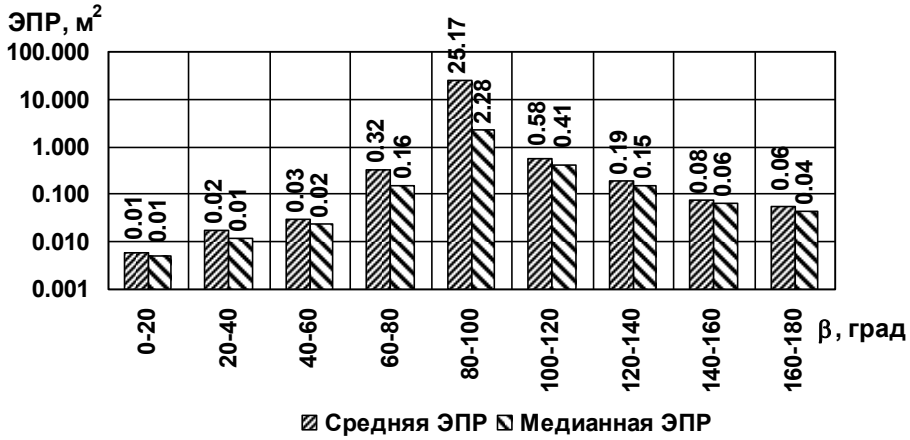


Рис. 3.174. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

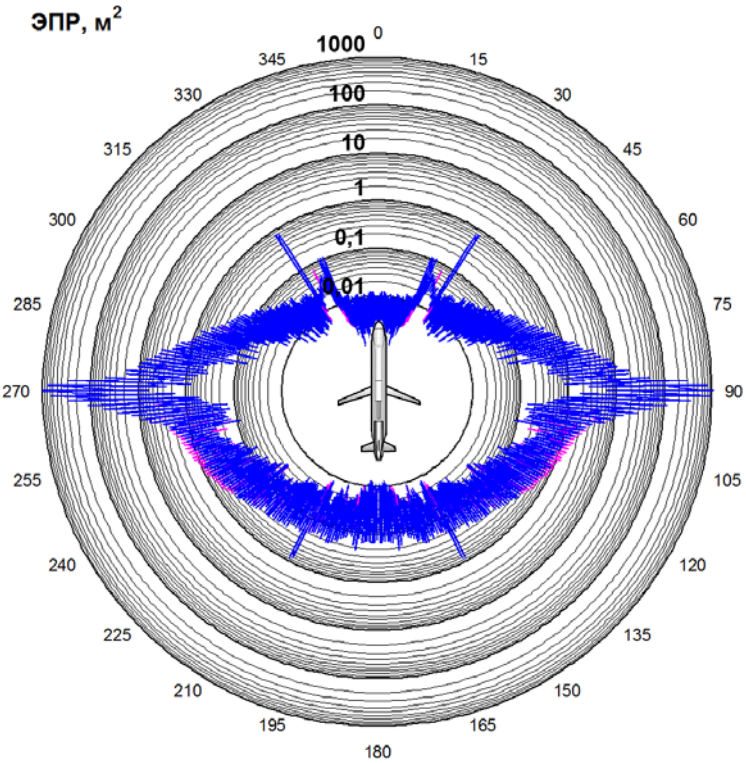


Рис. 3.175. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 10 ГГц (длина волны 3 см)

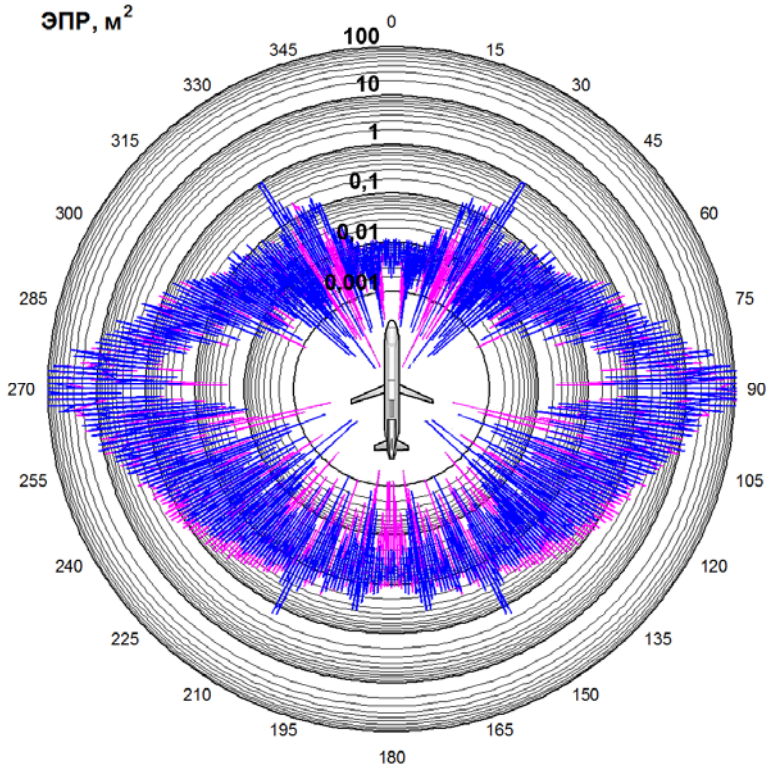


Рис. 3.176. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

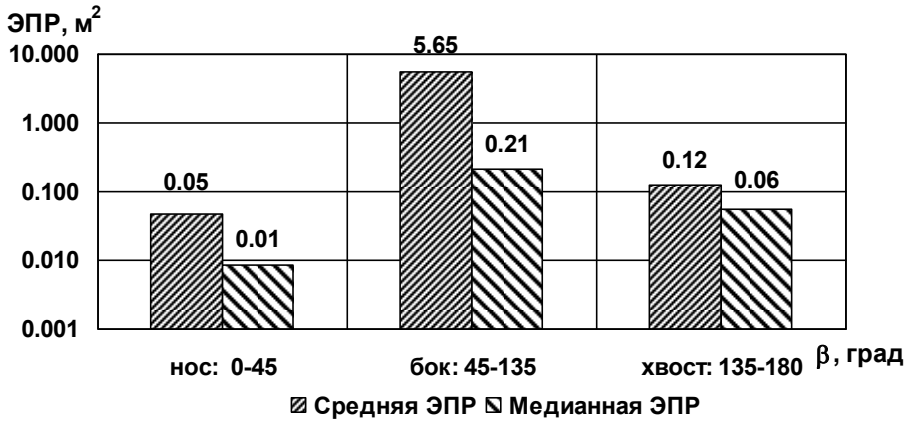


Рис. 3.177. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

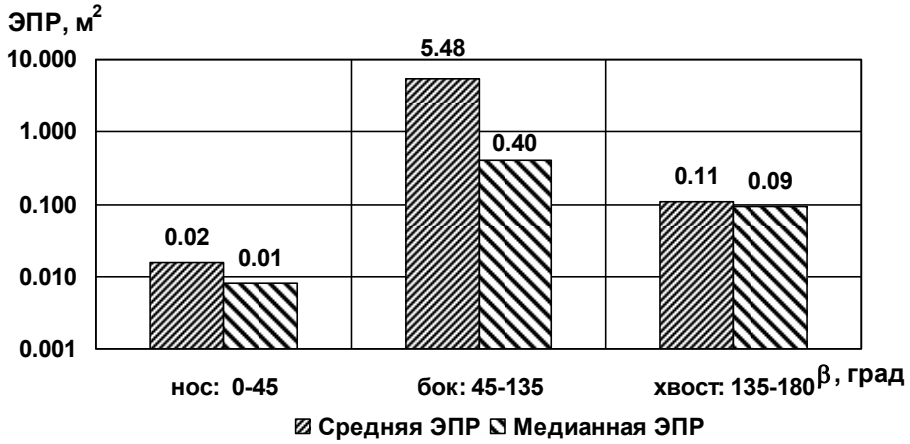


Рис. 3.178. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

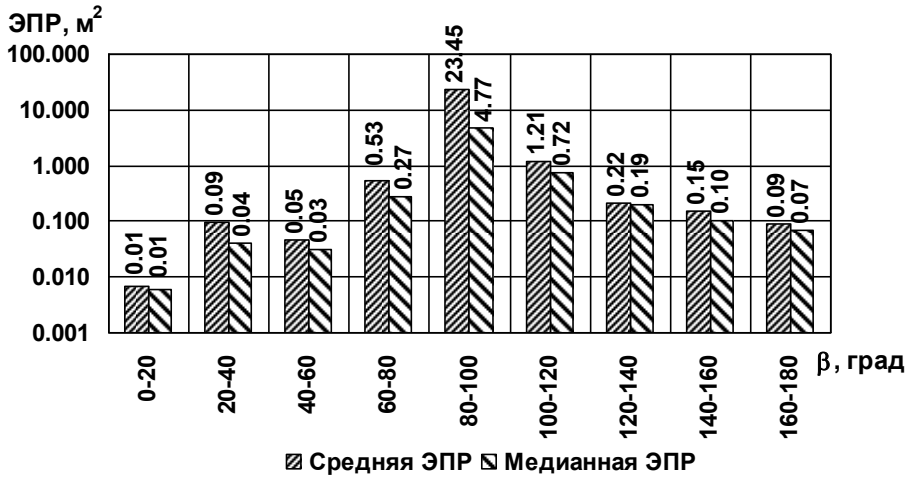


Рис. 3.179. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

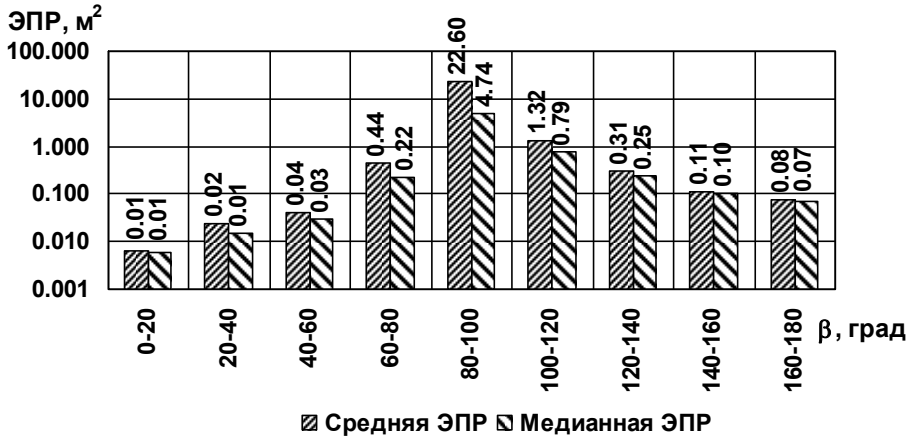


Рис. 3.180. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

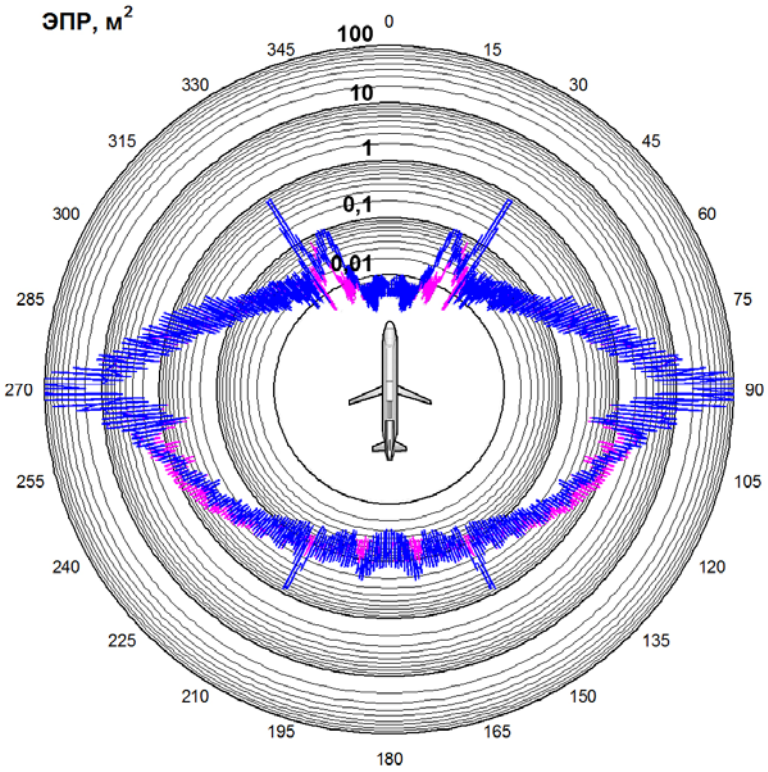


Рис. 3.181. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 3 ГГц (длина волны 10 см)

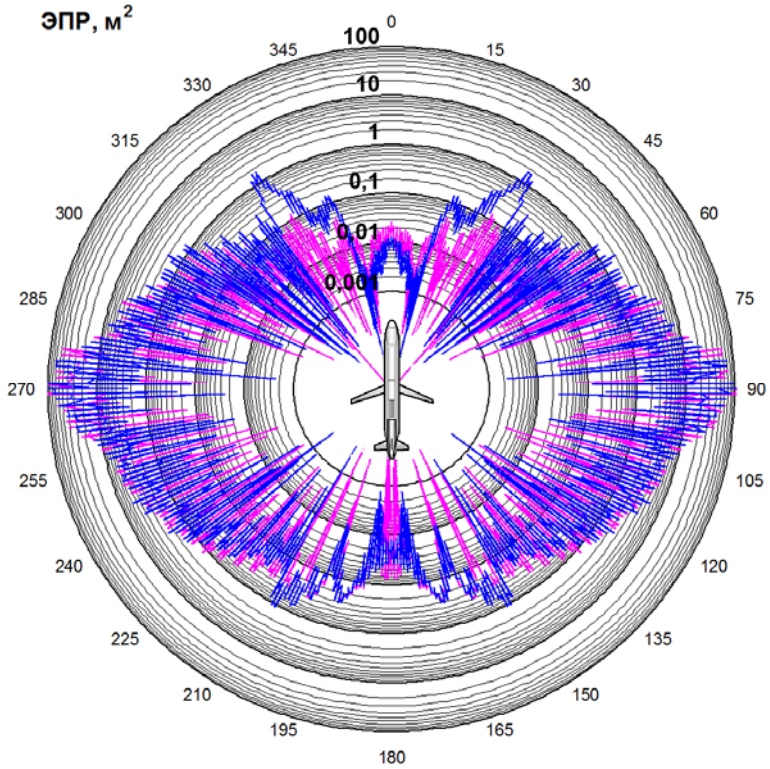


Рис. 3.182. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

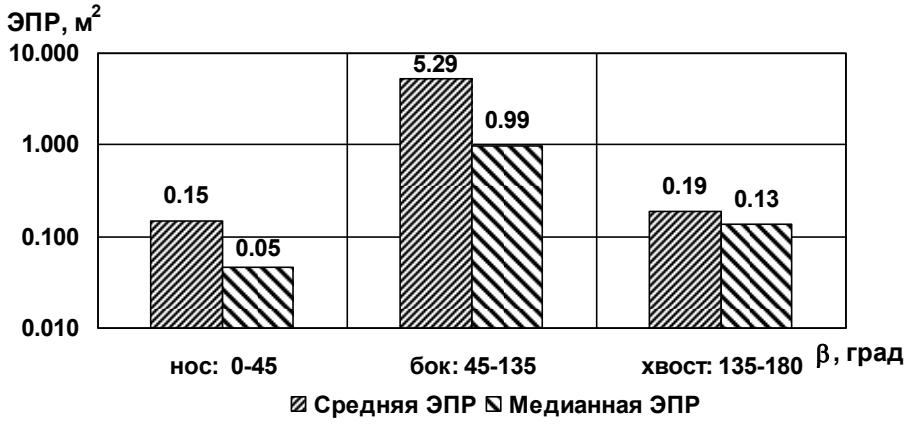


Рис. 3.183. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

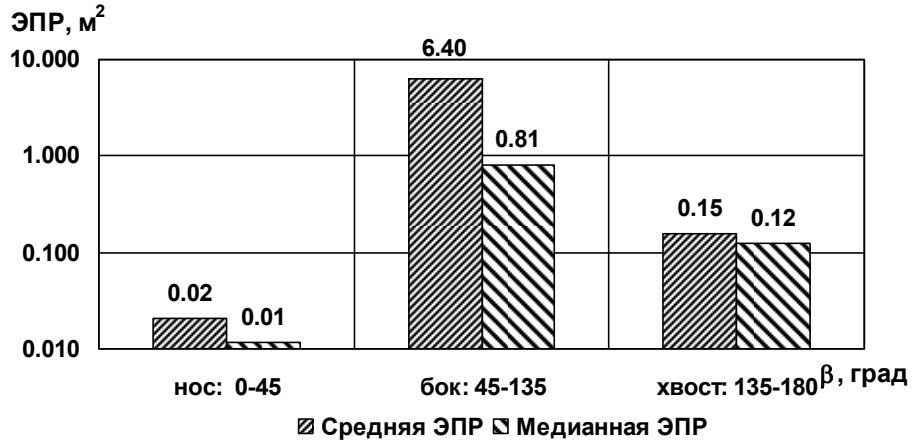


Рис. 3.184. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

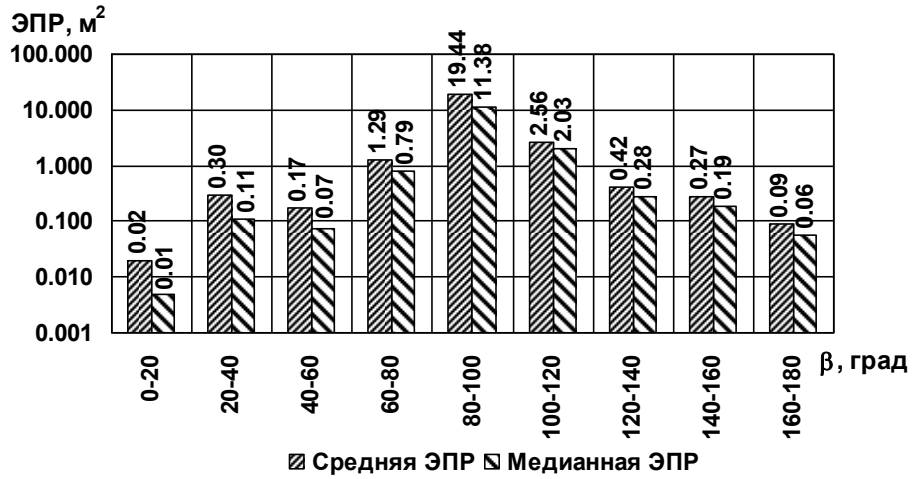


Рис. 3.185. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

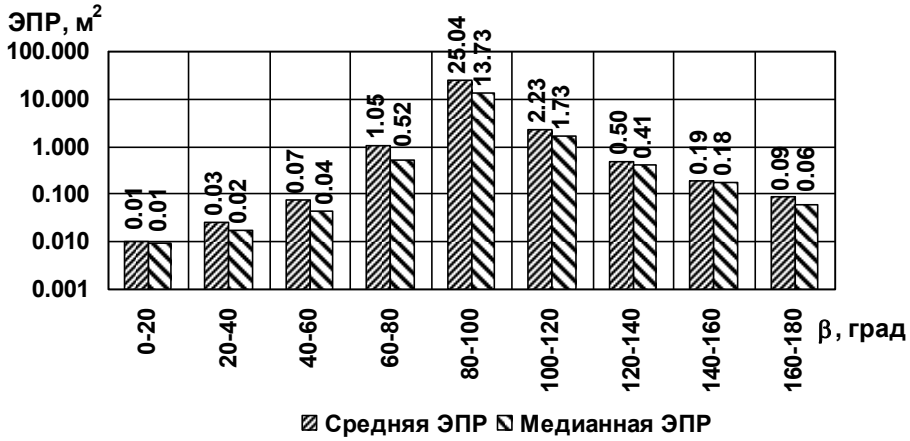


Рис. 3.186. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

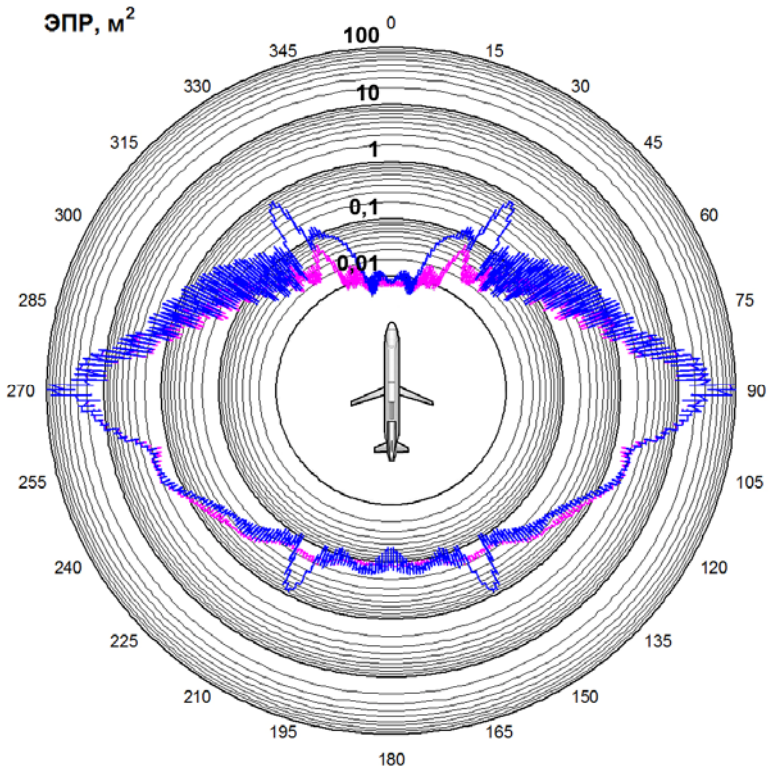


Рис. 3.187. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 1 ГГц (длина волны 30 см)

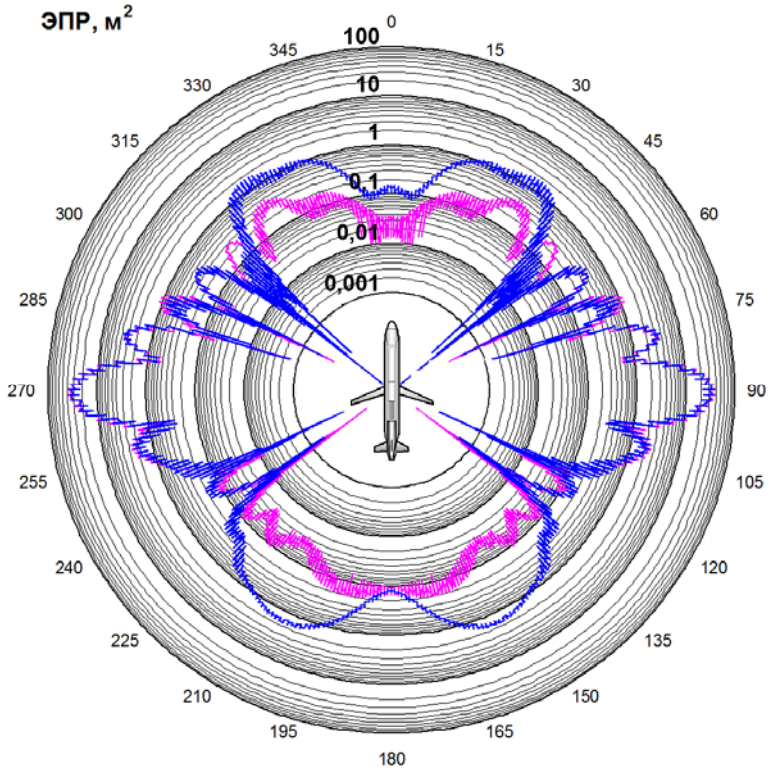


Рис. 3.188. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

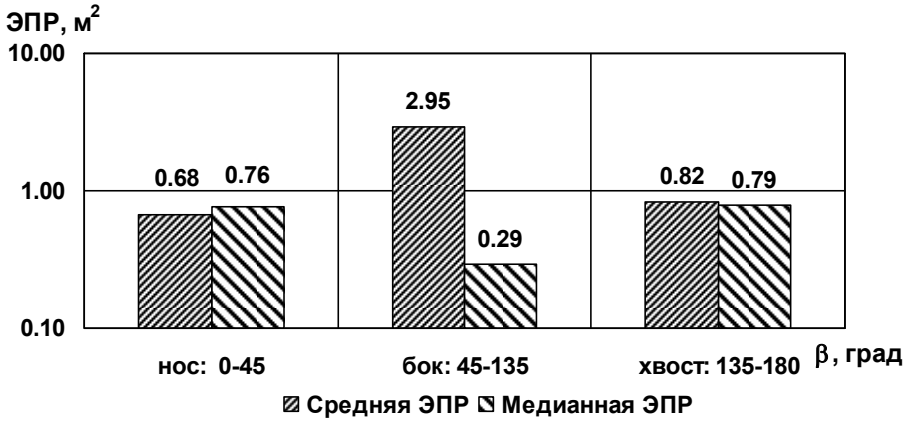


Рис. 3.189. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)



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)

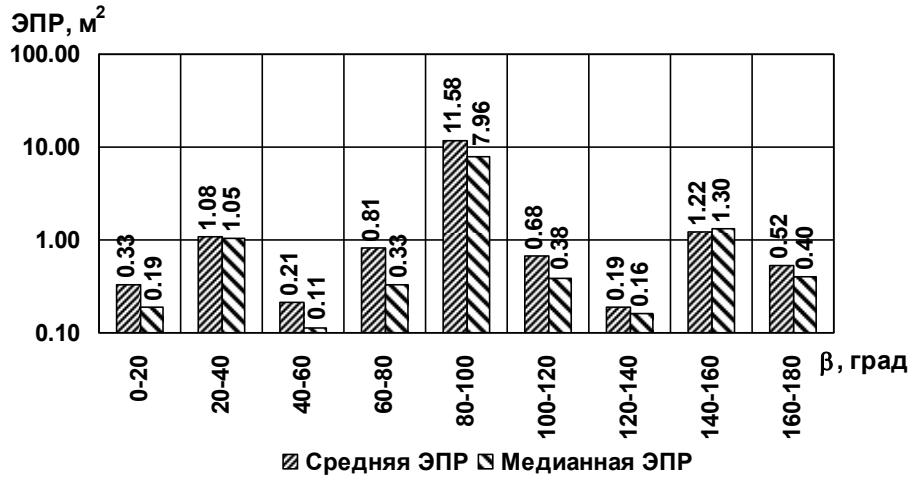


Рис. 3.191. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

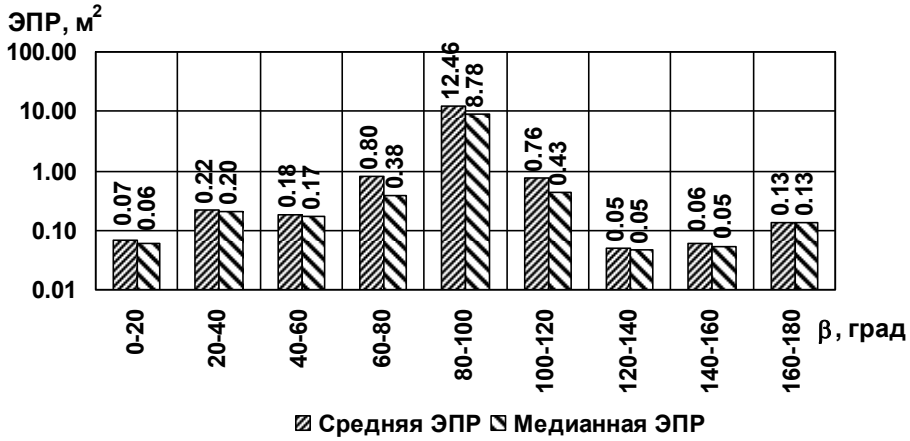


Рис. 3.192. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации и частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

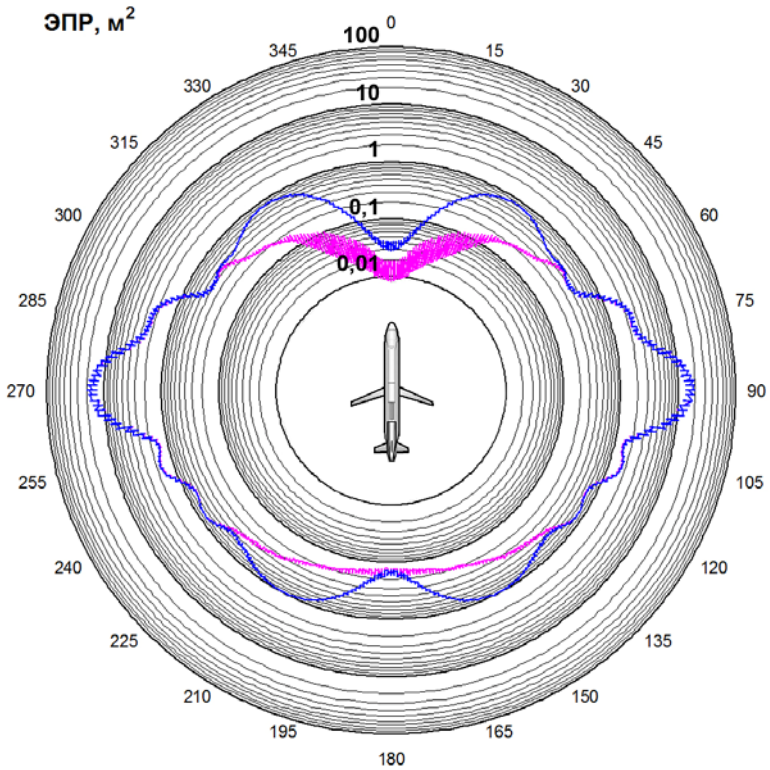


Рис. 3.193. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР при зондировании на частоте 166 МГц (длина волны 180 см)

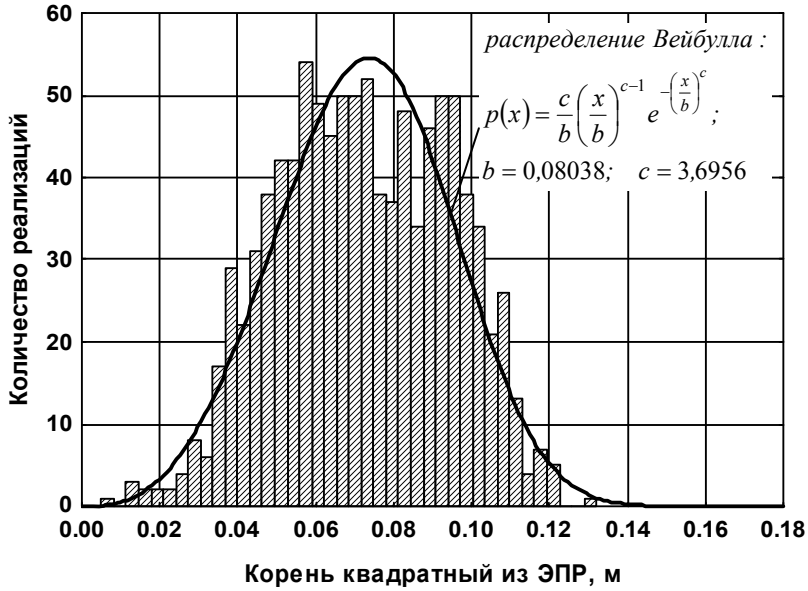


Рис. 3.194. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 10 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

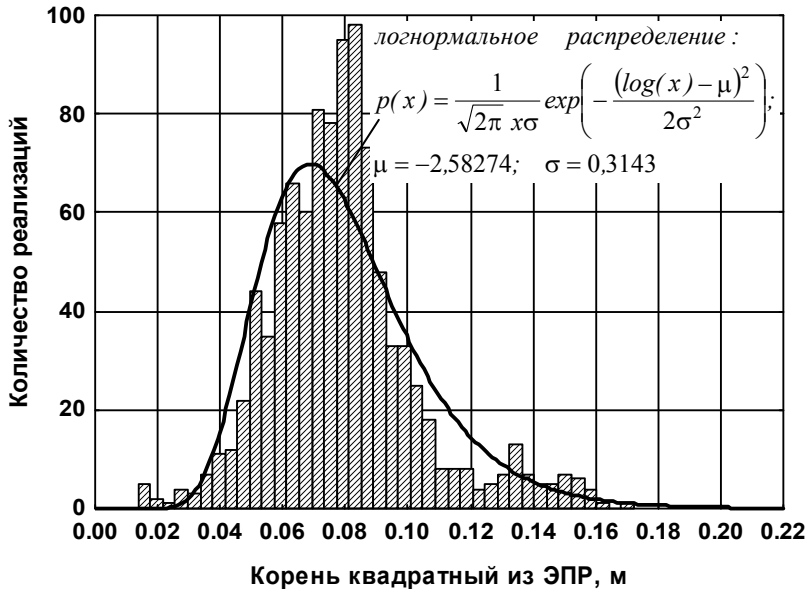


Рис. 3.195. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 3 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

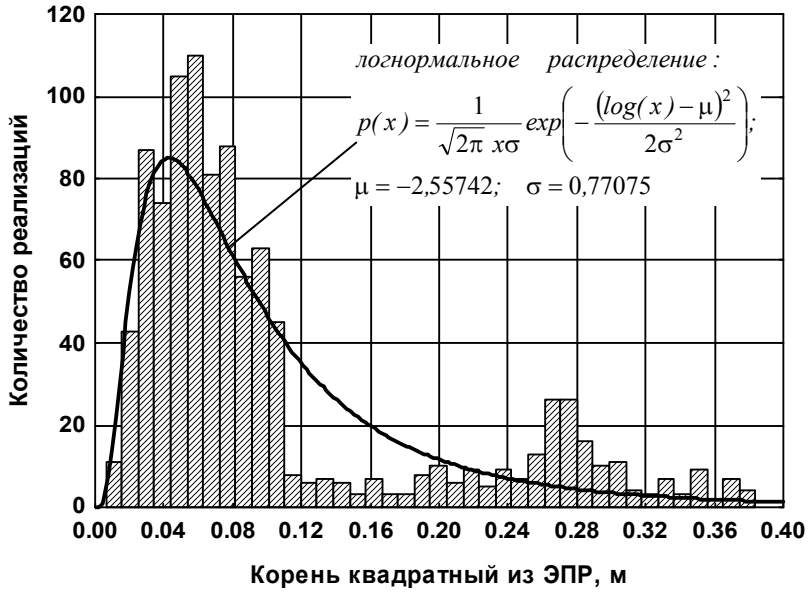


Рис. 3.196. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 1 ГГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

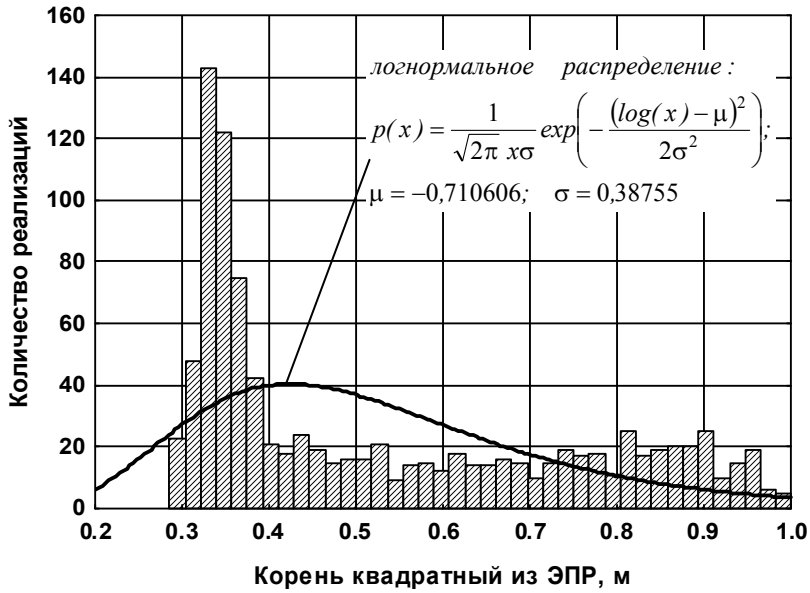


Рис. 3.197. Распределение амплитудного множителя отраженного на частоте 166 МГц сигнала в случае горизонтальной поляризации

Таблица 3.7. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала

Длина волны	Поляризация	Тип распределения	Параметры распределения
3 см	горизонтальная	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	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma} exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$,	$\mu = -2{,}58274$ $\sigma = 0{,}3143$
10 см	вертикальная	β - распределение: $p(x)=\frac{\Gamma(\nu+\omega)}{\Gamma(\nu)\Gamma(\omega)} x^{\nu-1}(1-x)^{\omega-1}$, где $\Gamma(\nu)$ – гамма-функция	$\nu = 12{,}21349$ $\omega = 145{,}0882$
30 см	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = -2{,}55742$ $\sigma = 0{,}77075$
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	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = -0{,}710606$ $\sigma = 0{,}38755$
180 см	вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = -1{,}43561$ $\sigma = 0{,}32425$

3.2. Характеристики рассеяния наземных объектов

Расчеты характеристик рассеяния наземных объектов были получены для следующих основных углов места зондирования ε (рис. 3.198): 1° (зондирование наземными радиолокационными системами); 10° и 30° (зондирование радиолокационными системами воздушных объектов). Шаг изменения азимута зондирования составлял 1°, азимут β отсчитывался от лобового ракурса (0° соответствует зондированию в лоб танка, 180° – зондирование в направлении кормовой части корпуса). Результаты расчетов приведены для частоты облучения равной 10 ГГц (длина волны 3 см).

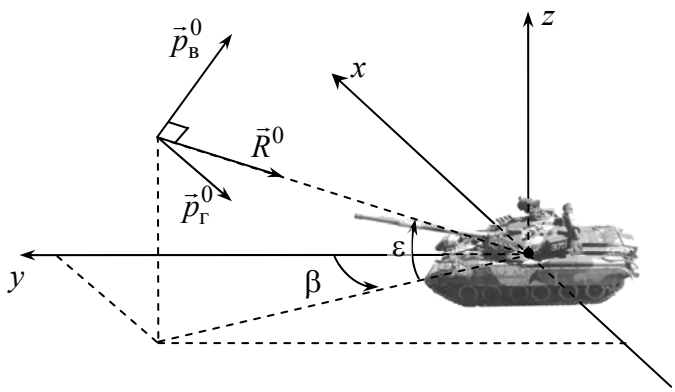
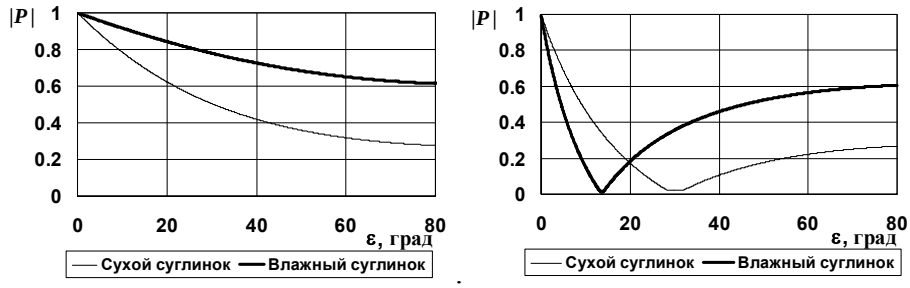


Рис. 3.198. Геометрия облучения наземного объекта

Результаты получены для случая совмещенного приема для двух ортогональных поляризаций зондирующего сигнала: горизонтальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны $\vec{p}_{\text{г}}^{\,0}$ параллелен подстилающей поверхности; вертикальной – вектор напряженности электрического поля падающей волны $\vec{p}_{\text{в}}^{\,0}$ ортогонален $\vec{p}_{\text{г}}^{\,0}$ и лежит в плоскости, перпендикулярной подстилающей поверхности 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.

Результаты расчетов приведены для двух типов подстилающей поверхности, имеющих наиболее характерные значения относительной диэлектрической проницаемости, а именно: для сухого суглинка ($\varepsilon' = 3 + j0{,}4$); для влажного суглинка (относительная влажность 20%, $\varepsilon' = 17 + j0{,}9$; относительная магнитная проницаемость для обоих типов почв равна 1). В случае угла места зондирования $\varepsilon = 1°$ диаграммы приведены только для сухого суглинка, так как модули коэффициентов отражения $|P|$ от разных подстилающих поверхностей при малых углах места практически одинаковы и приближаются к 1 (рис. 3.199). Различия между ними становятся более существенными при увеличении угла места.



а б

Рис. 3.199. Модуль коэффициента отражения от сухого и влажного суглинков при горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации зондирующего сигнала

Для наземных объектов гистограммы распределения амплитудного множителя отраженного сигнала (квадратного корня из ЭПР) приведены для двух углов места зондирования: $\varepsilon = 1°$ и $\varepsilon = 30°$, в двух основных диапазонах азимутов облучения: –10°…10° и 10°…30°. Для получения этих гистограмм в указанных диапазонах шаг изменения азимута выбирался равным 0,02°. Так же, как и для воздушных объектов, предложены теоретические плотности вероятности распределения амплитуд отраженных

сигналов, наиболее согласующиеся с полученными в вычислительном эксперименте данными.

3.2.1. Характеристики рассеяния основного боевого танка Т-90

Танк Т-90 российского производства представляет собой последнюю модификацию машин Т-72 и принят на вооружение в 1993 году [98]. Танк Т-90 сохраняет особенность советского танкостроения – классическую компоновочную схему, при которой основное вооружение расположено в башне, силовая установка и трансмиссия – в кормовой части корпуса, а экипаж – отдельно: командир танка и наводчик в боевом отделении, механик-водитель – в отделении управления. Внешне Т-90 (рис. 3.200) практически полностью повторяет форму танка Т-72Б. Сам танк Т-72 разрабатывался конструкторским бюро "Уралвагонзавода" и был создан как один из вариантов модернизации танка Т-64А производства Харьковского завода им. Малышева [99].

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности танка, представленная на рис. 3.201.



Рис. 3.200. Основной боевой танк Т-90

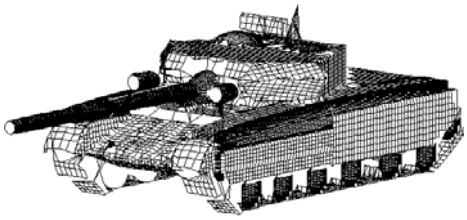


Рис. 3.201. Модель поверхности Т-90

Характеристики корпуса		**Параметры модели поверхности танка**	
Длина танка с пушкой	9,53 м	Количество участков эллипсоидов модели	89
Ширина	3,46 м		
Высота	2,23 м	Количество кромочных участков в модели	34
Боевой вес	46,5 т		

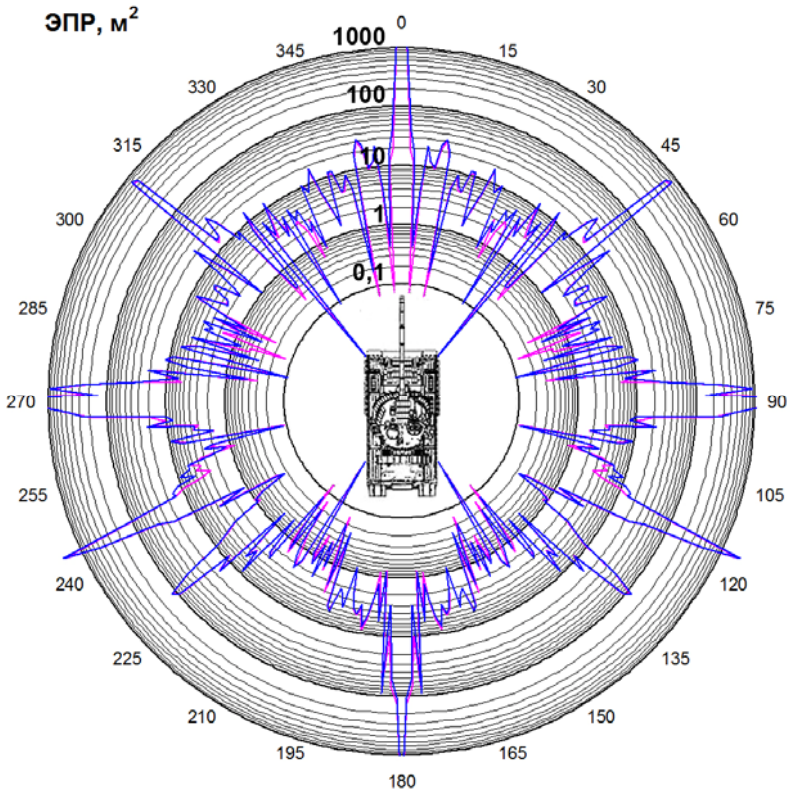


Рис. 3.202 Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

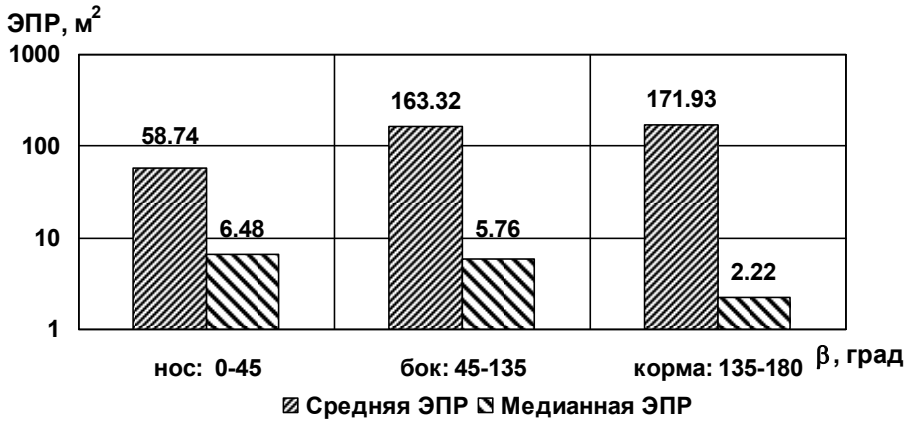


Рис. 3.203. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

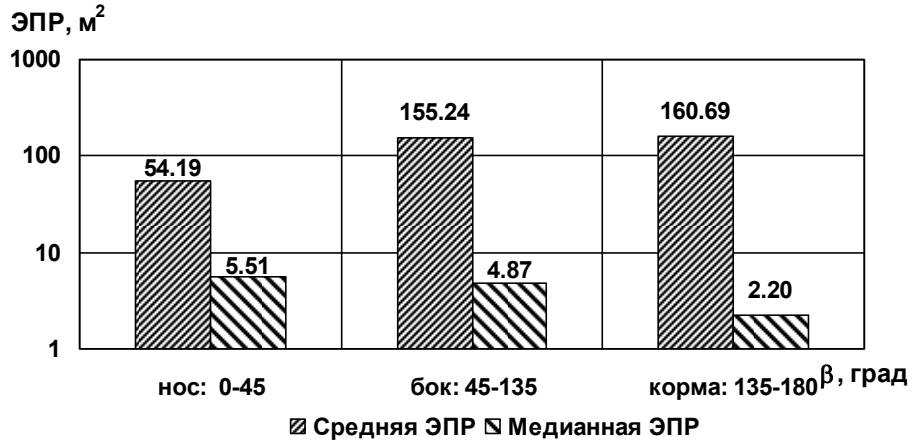


Рис. 3.204. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

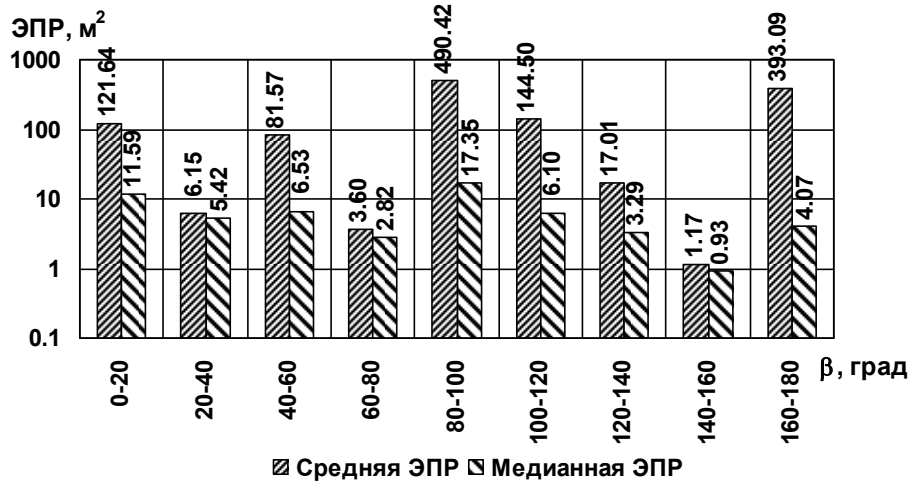


Рис. 3.205. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

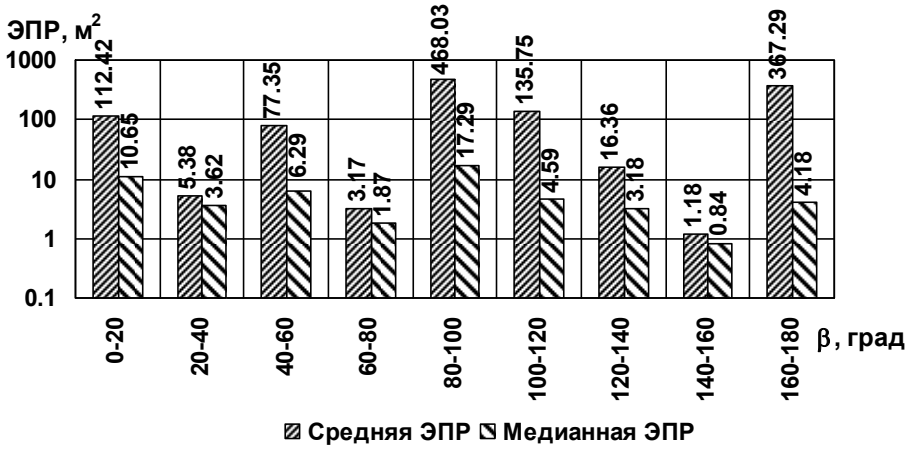


Рис. 3.206. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

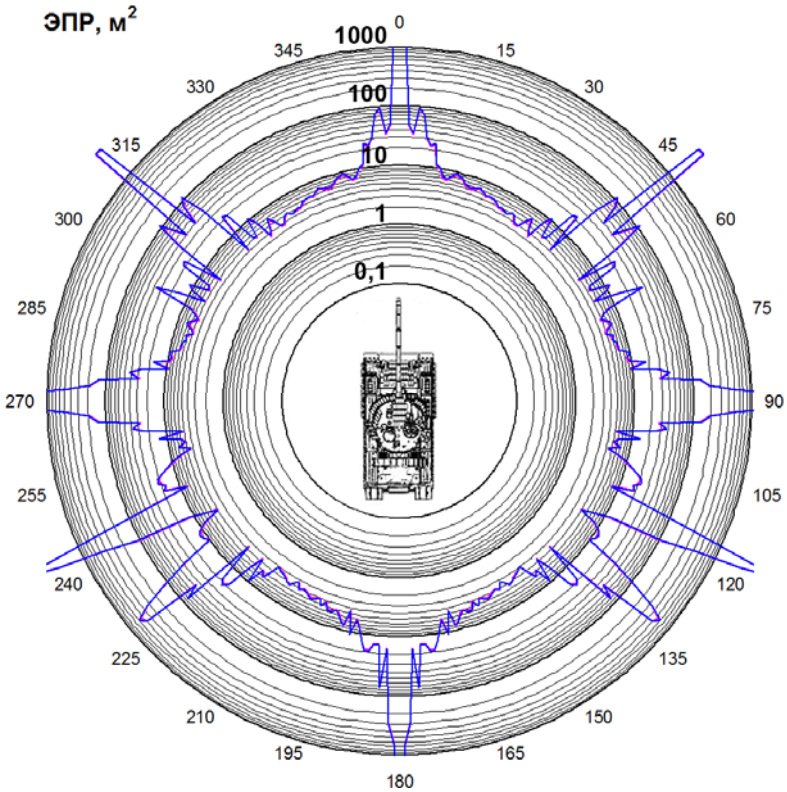


Рис. 3.207. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

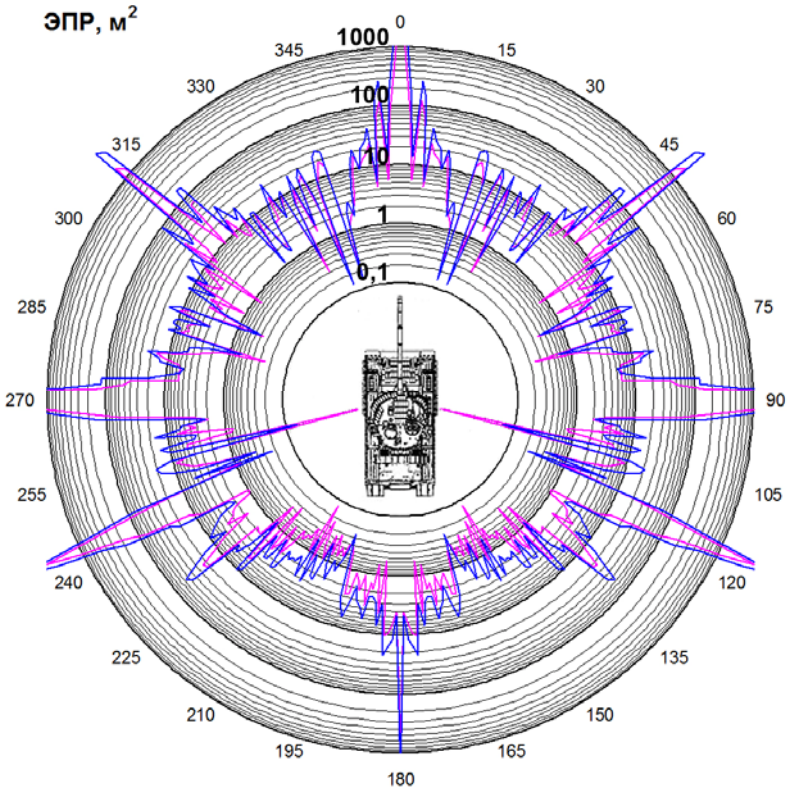


Рис. 3.208. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

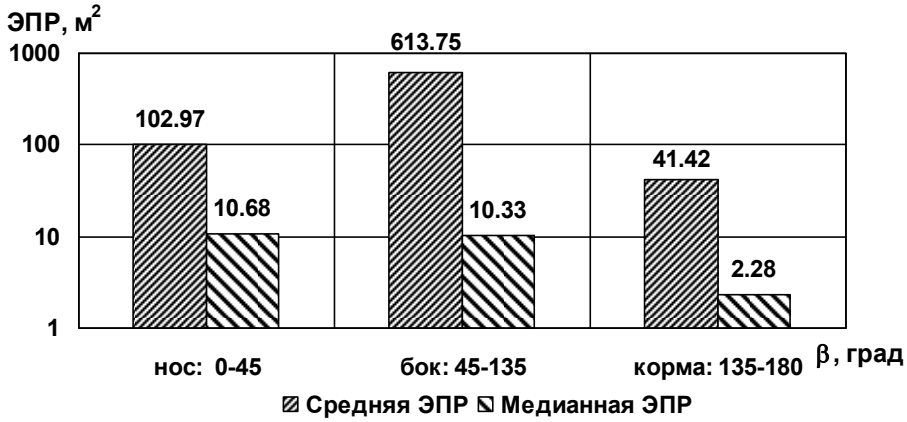


Рис. 3.209. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

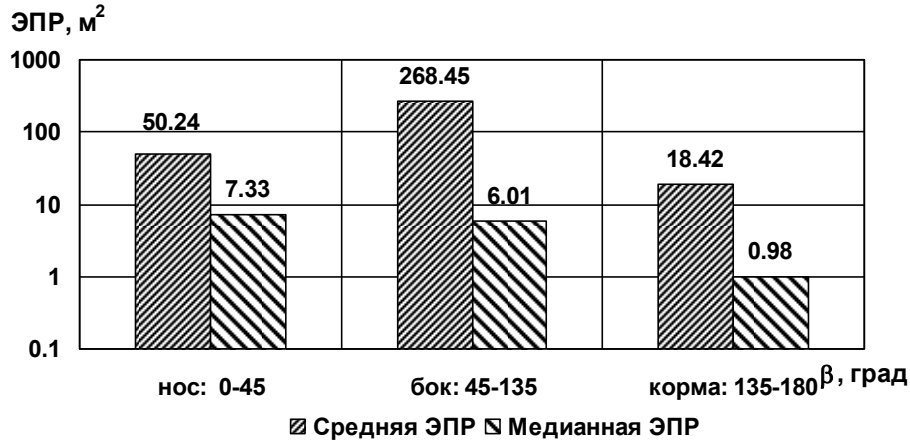


Рис. 3.210. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

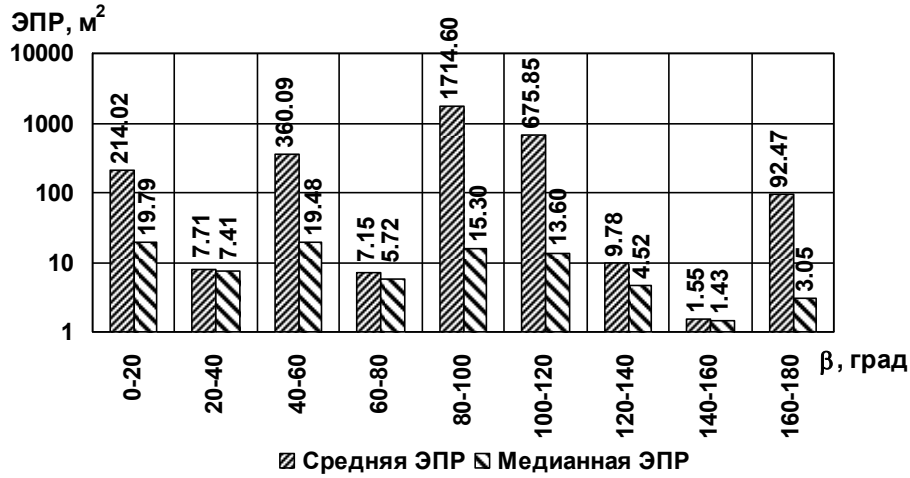


Рис. 3.211. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

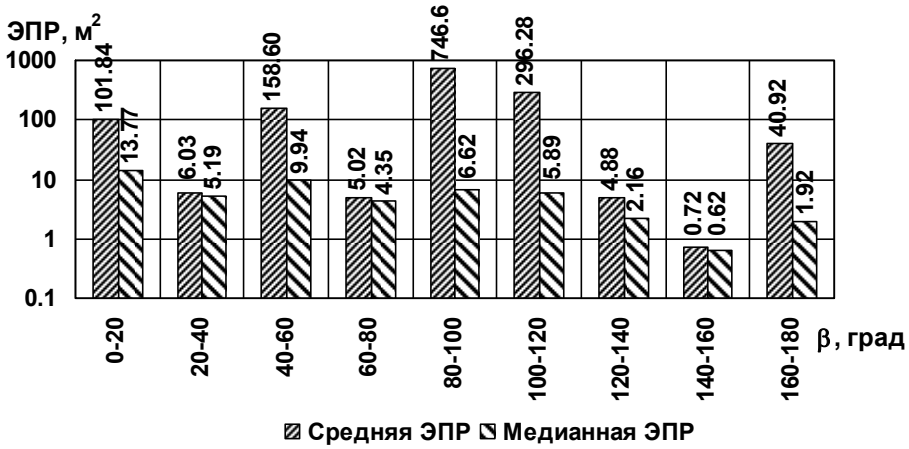


Рис. 3.212. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

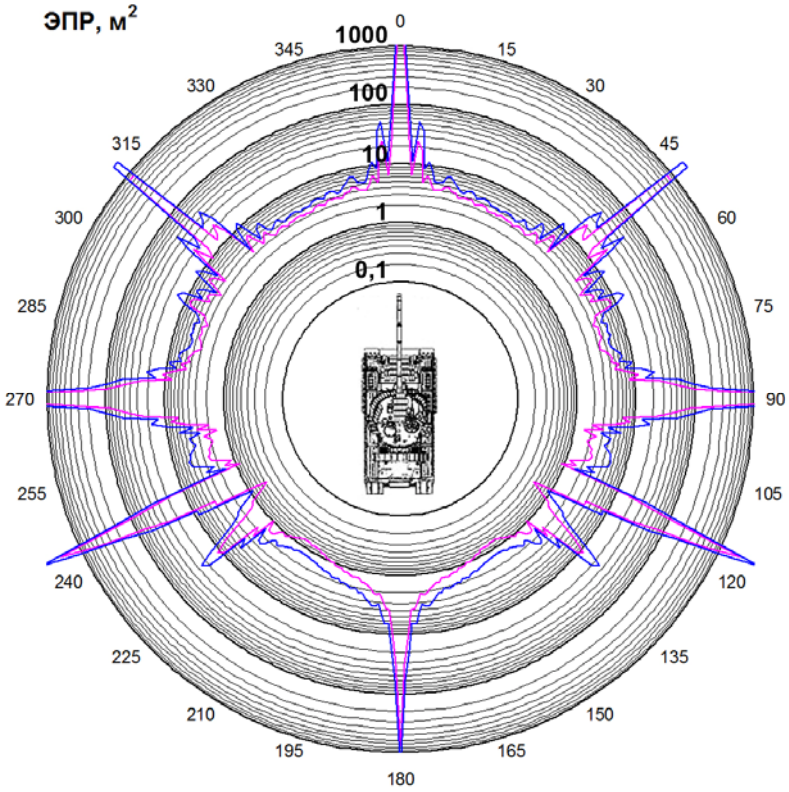


Рис. 3.213. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

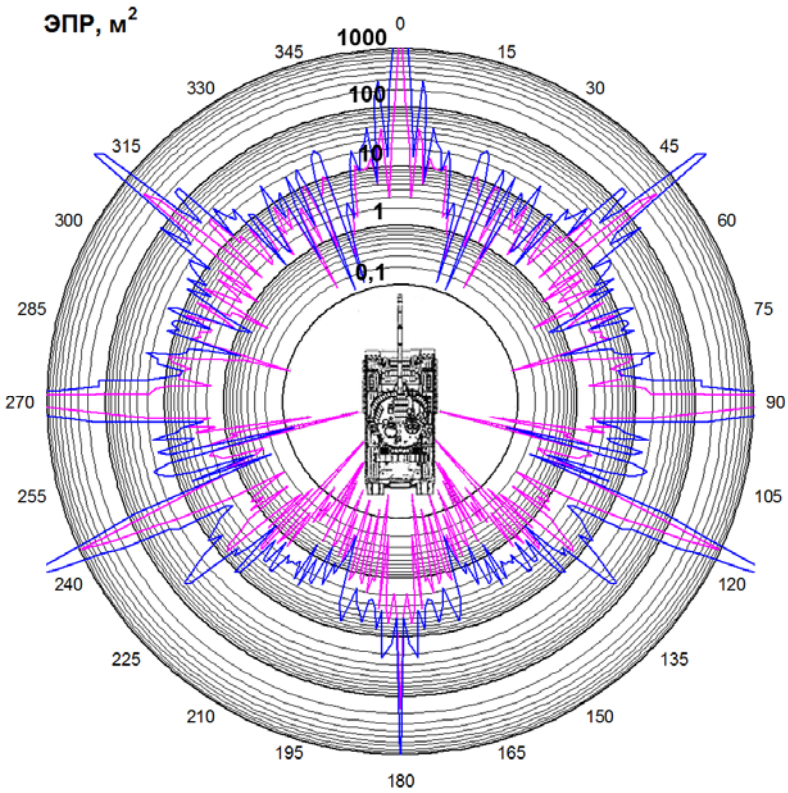


Рис. 3.214. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

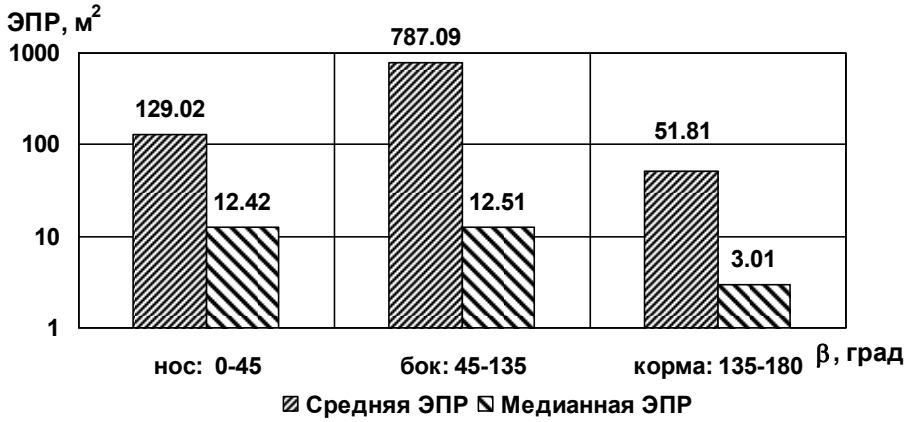


Рис. 3.215. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

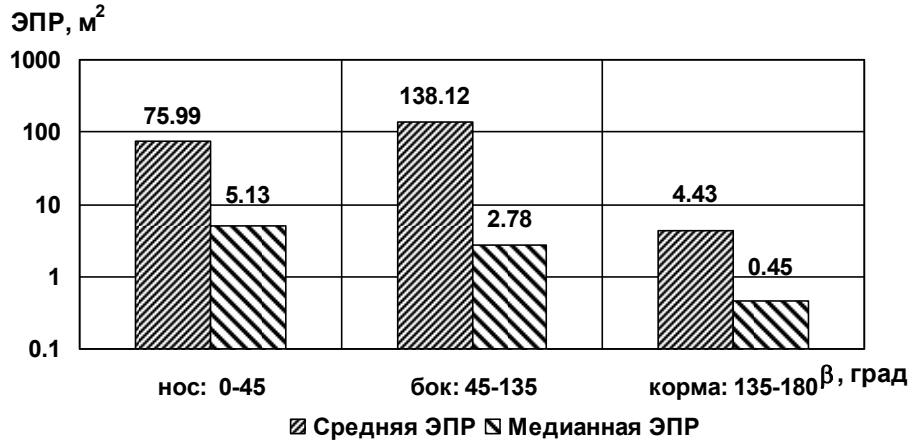


Рис. 3.216. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

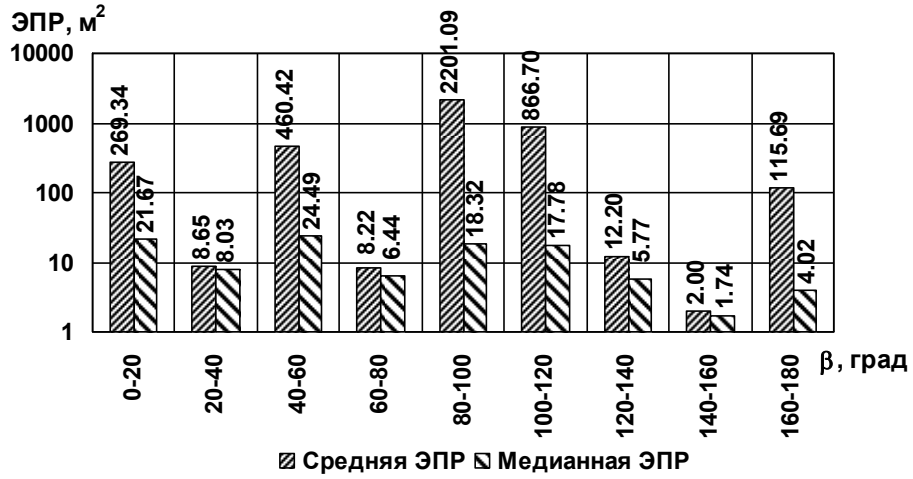


Рис. 3.217. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

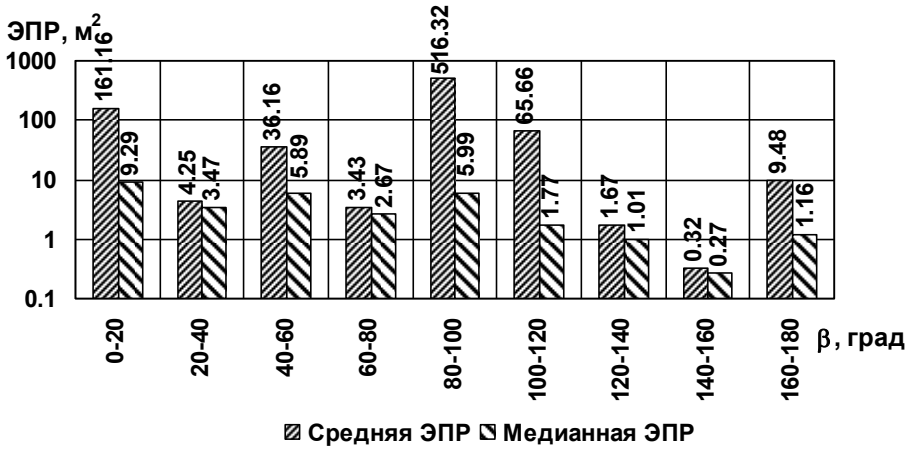


Рис. 3.218. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

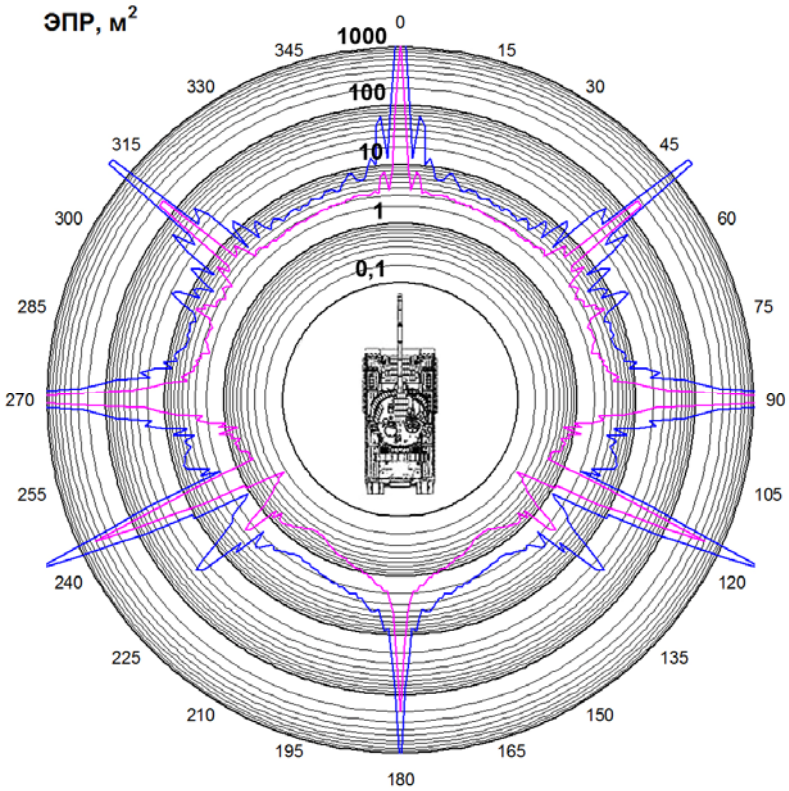


Рис. 3.219. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10\,°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

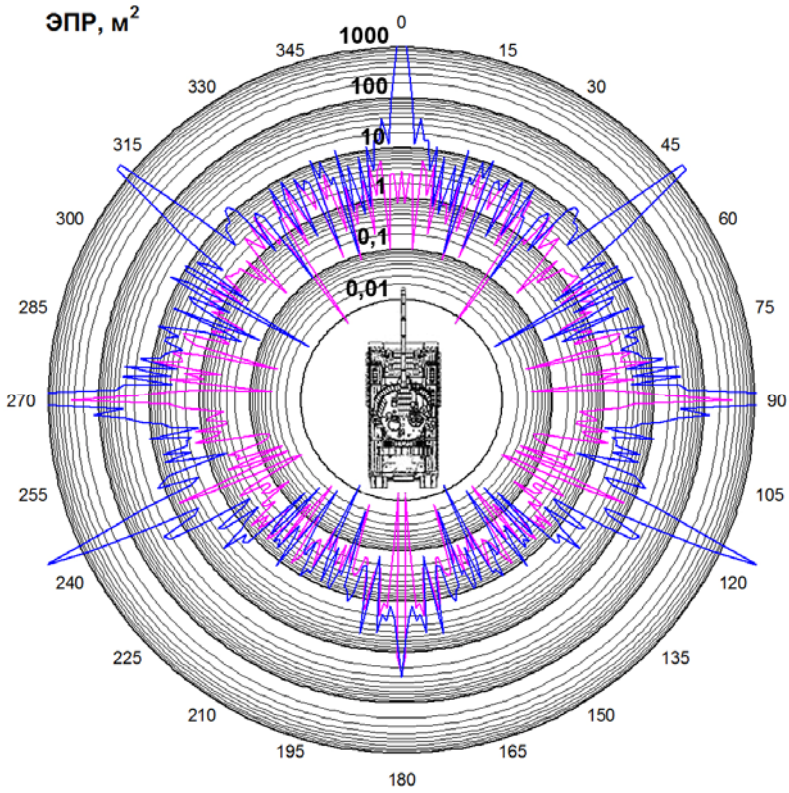


Рис. 3.220. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

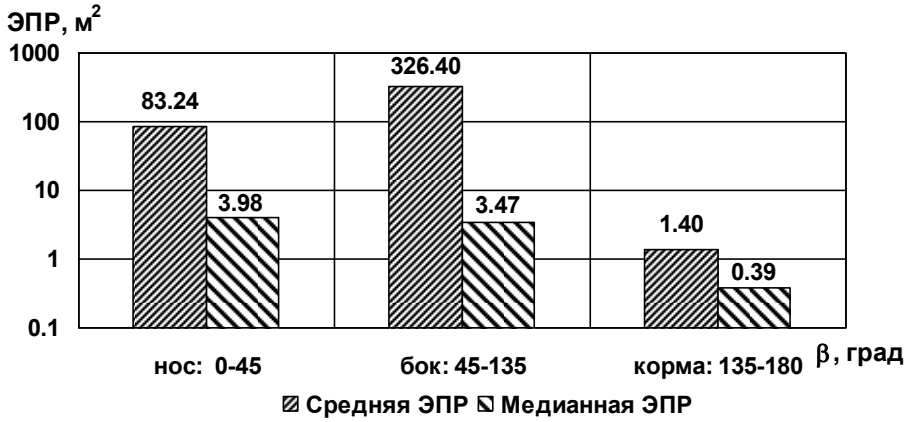


Рис. 3.221. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

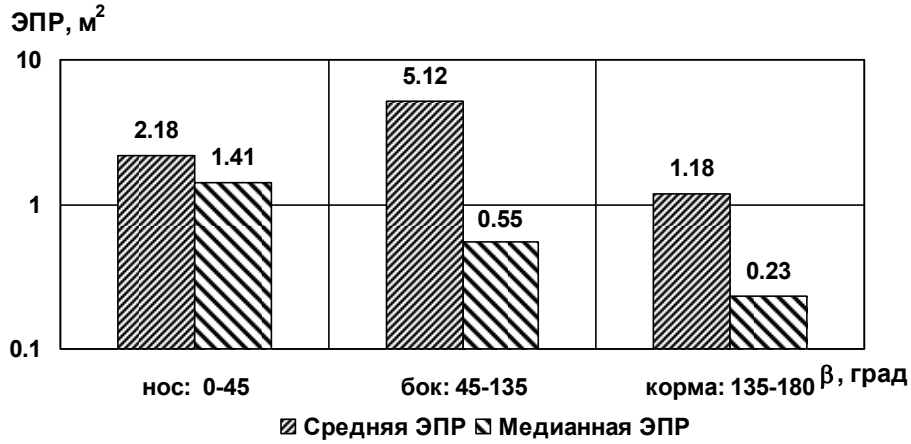


Рис. 3.222. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

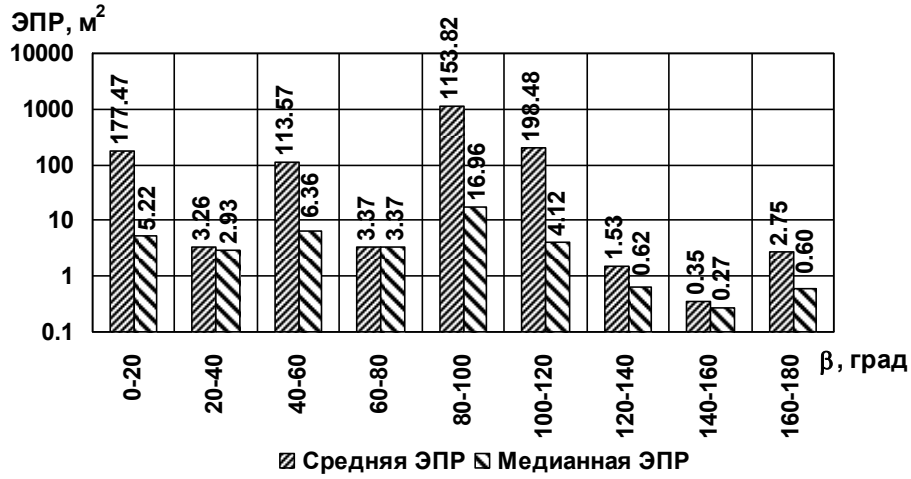


Рис. 3.223. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

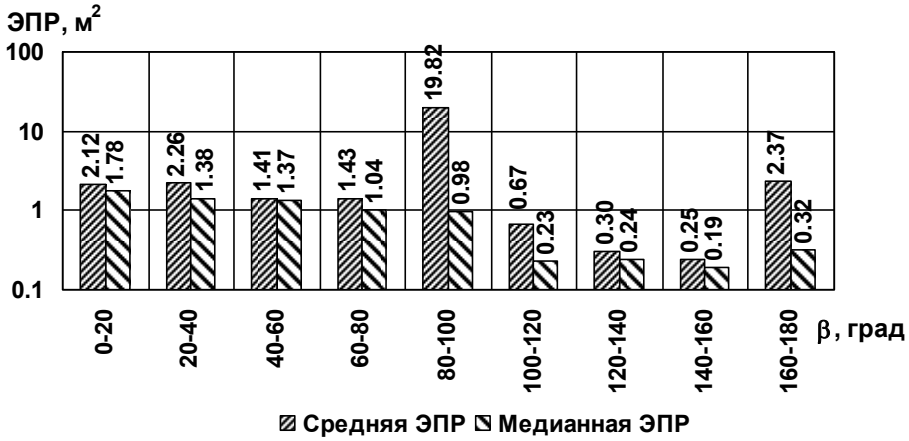


Рис. 3.224. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

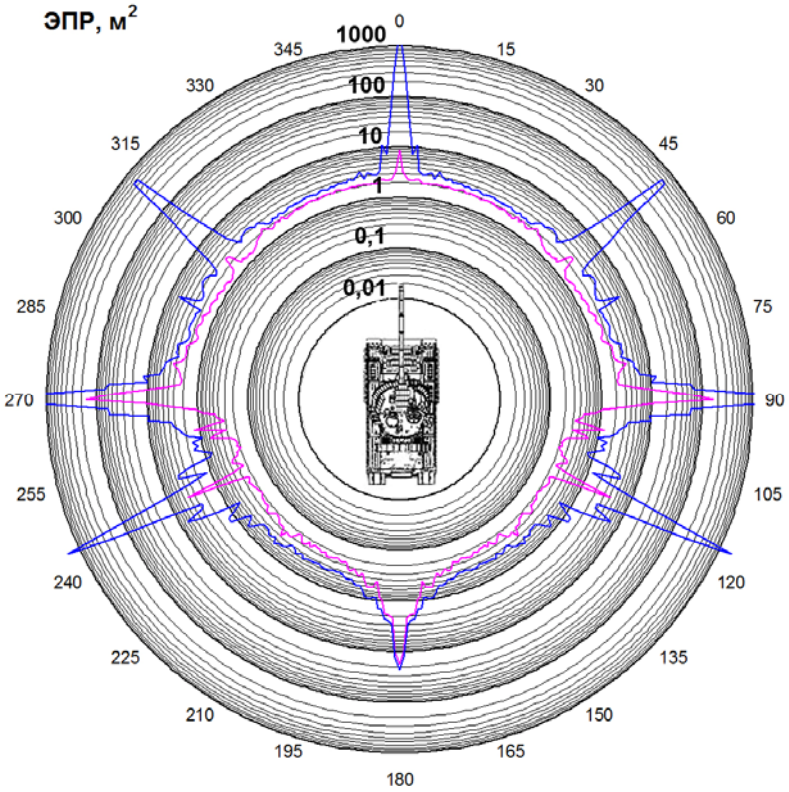


Рис. 3.225. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

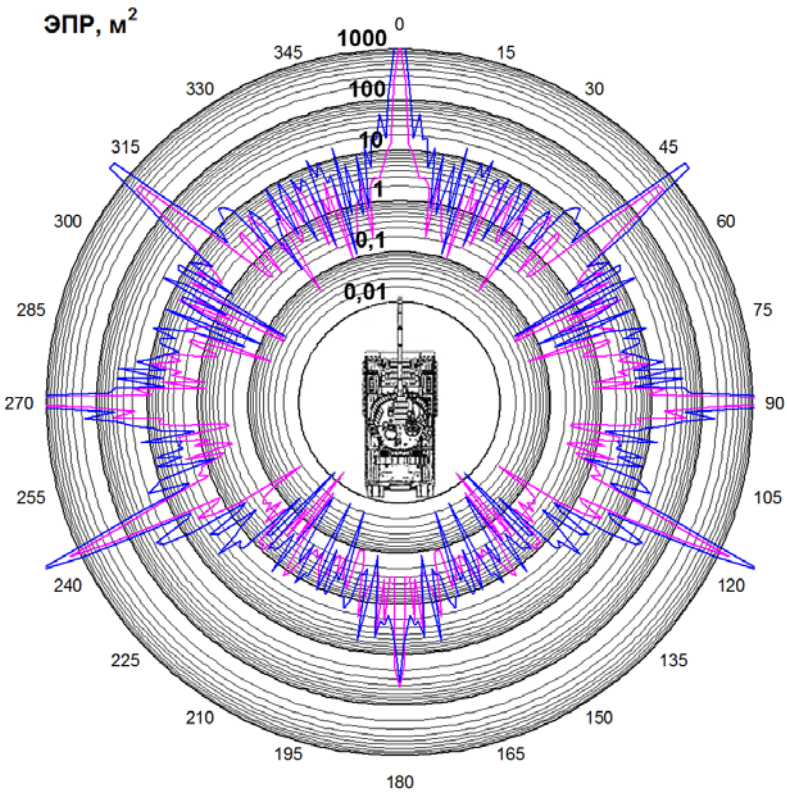


Рис. 3.226. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

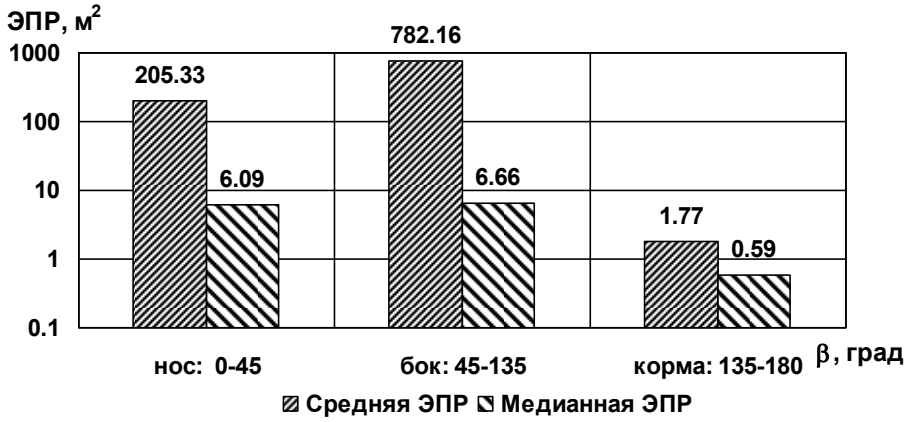


Рис. 3.227. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

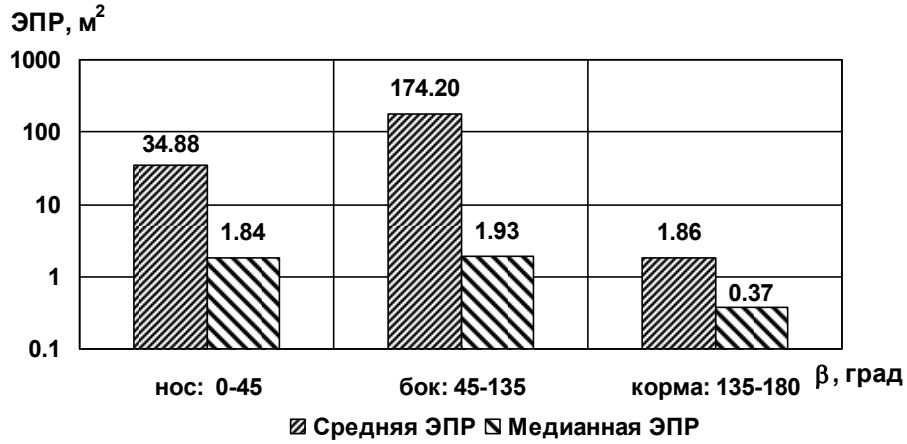


Рис. 3.228. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

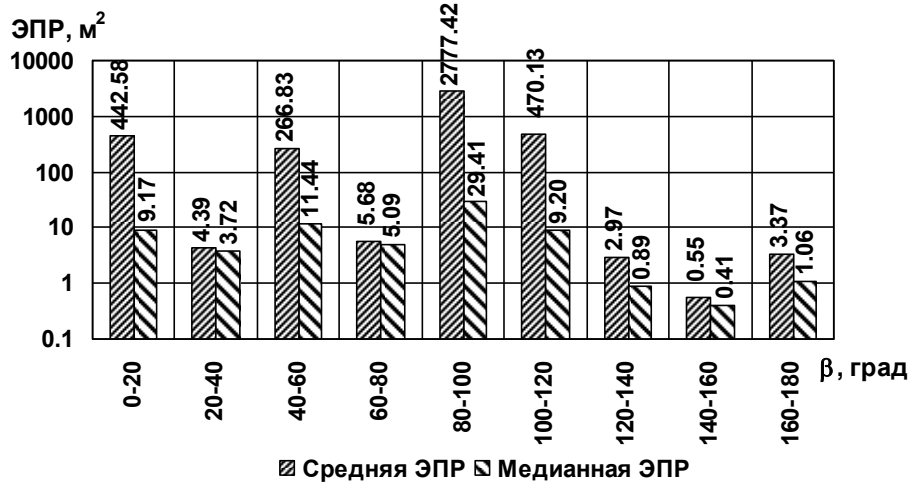


Рис. 3.229. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

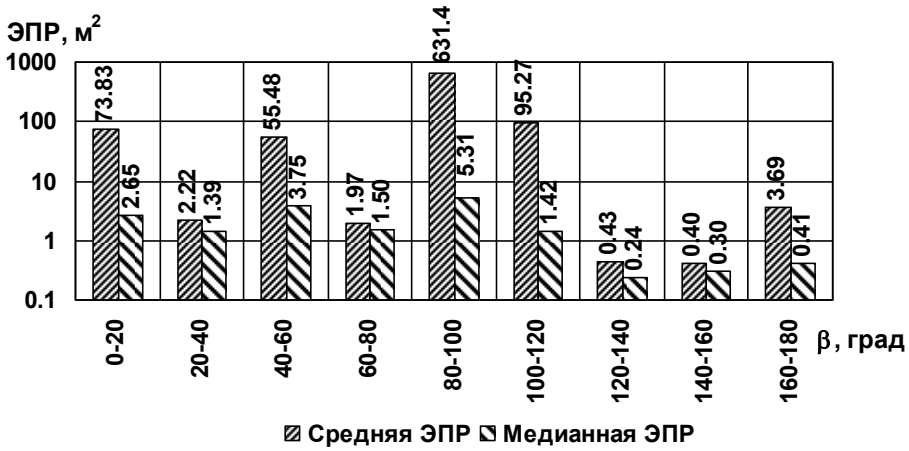


Рис. 3.230. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

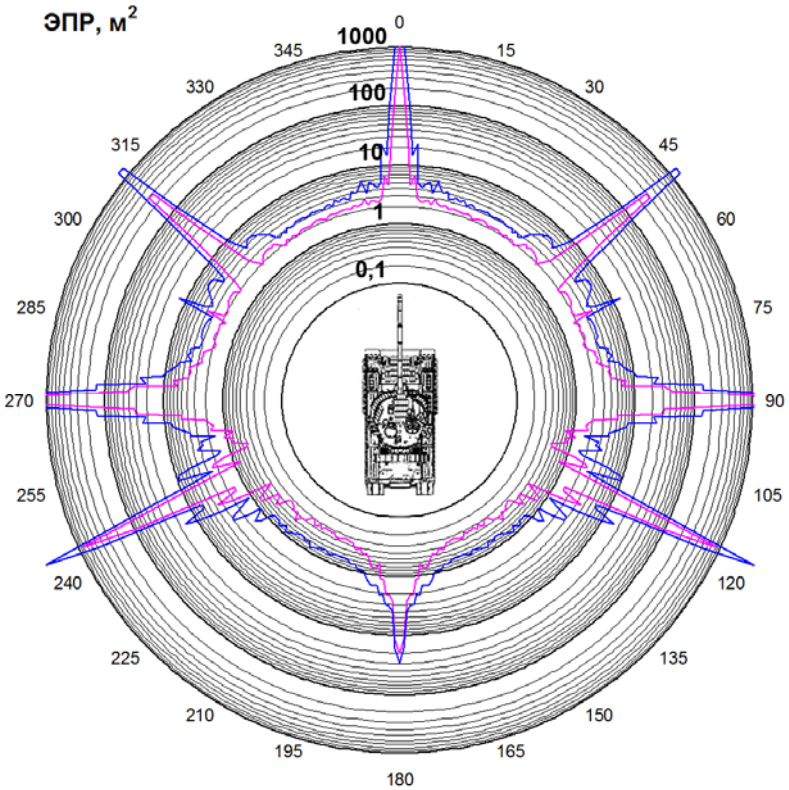


Рис. 3.231. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

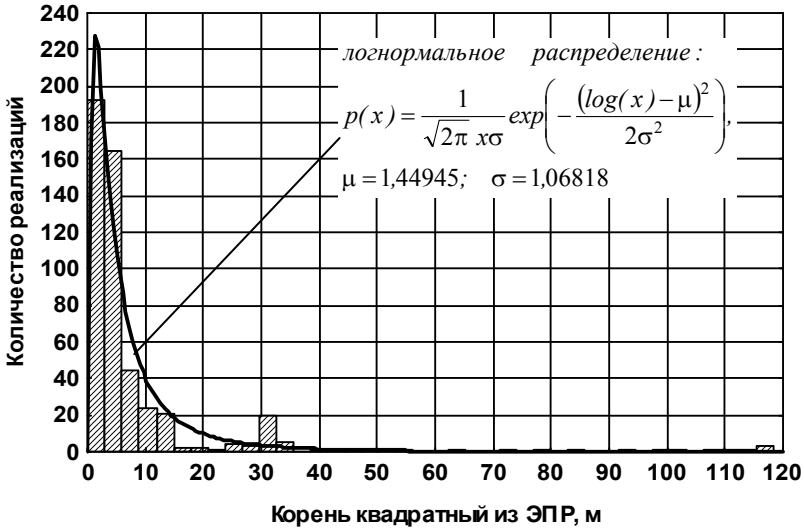


Рис. 3.232. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon=1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

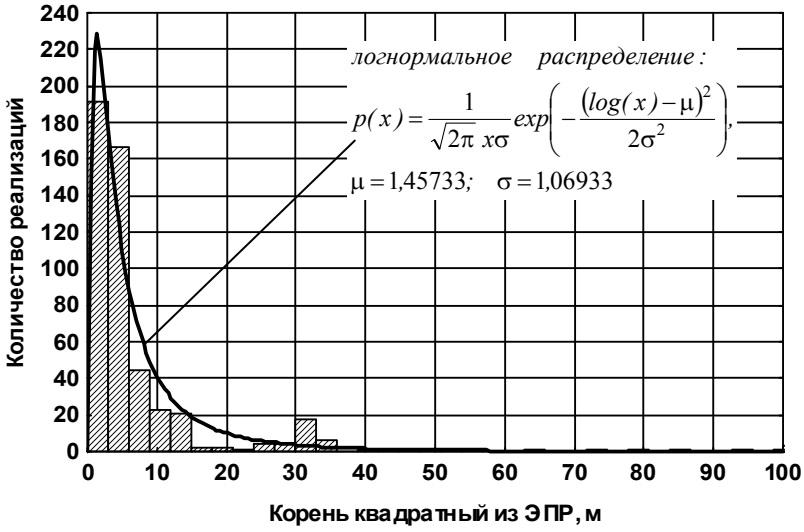


Рис. 3.233. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon=1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

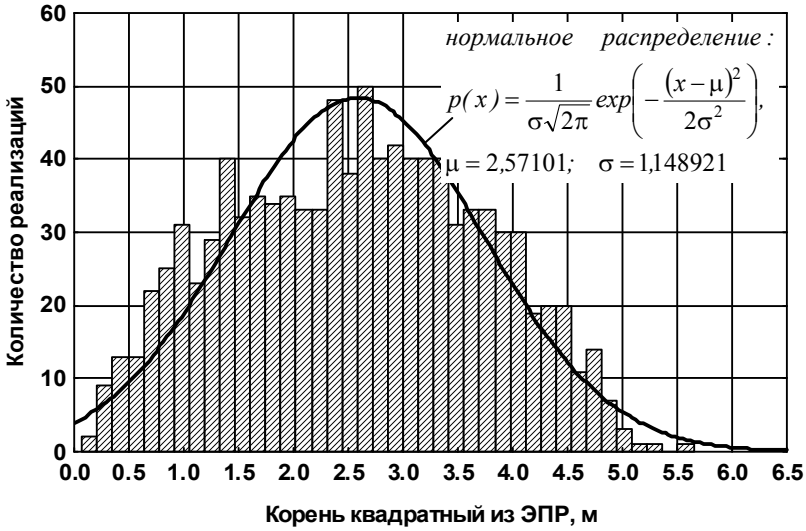


Рис. 3.234. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

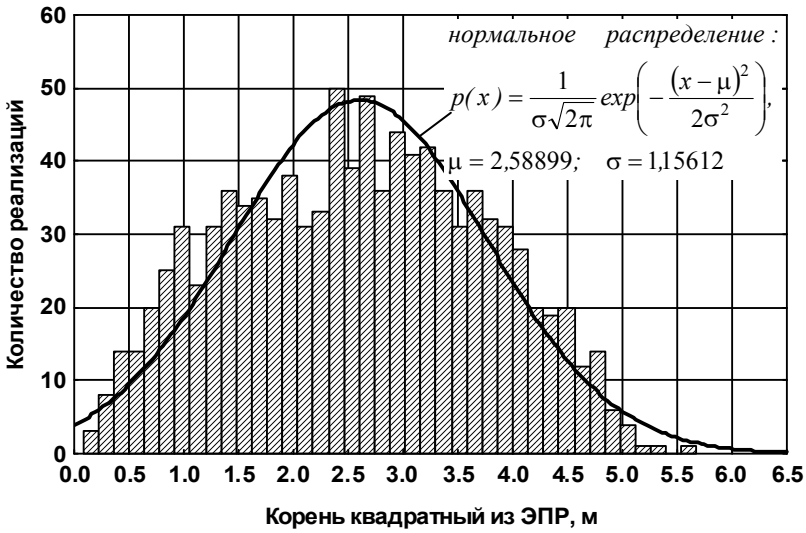


Рис. 3.235. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.8. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 1°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
–10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma}exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1{,}44945$ $\sigma = 1{,}06818$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 1{,}40716$ $\sigma = 1{,}09705$
	влажный суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 1{,}45733$ $\sigma = 1{,}06933$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 1{,}36692$ $\sigma = 1{,}09704$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 2{,}57101$ $\sigma = 1{,}148921$
		вертикальная	распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^{c}}$	$b = 2{,}75873$ $c = 2{,}32431$
	влажный суглинок	горизонтальная	нормальное распределение	$\mu = 2{,}58899$ $\sigma = 1{,}15612$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 2{,}671515$ $c = 2{,}320417$

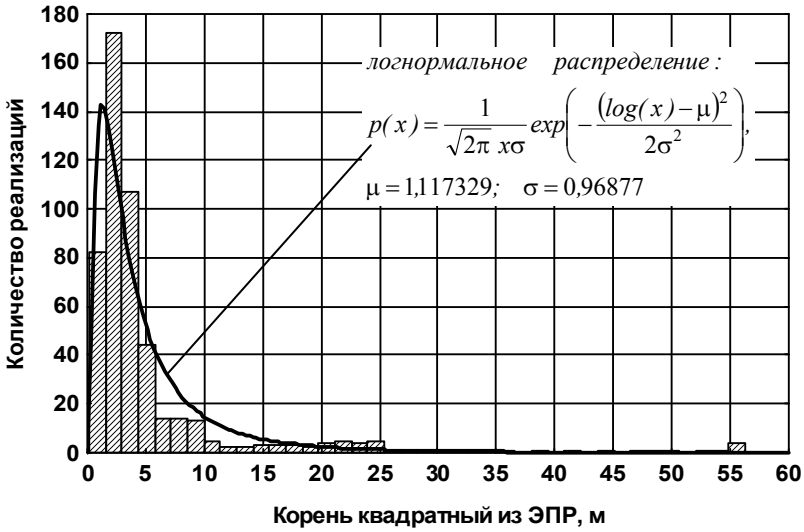


Рис. 3.236. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

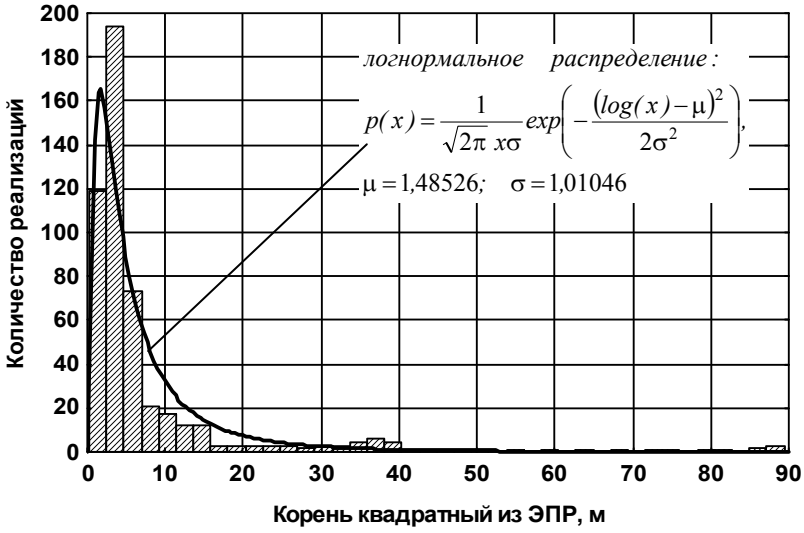


Рис. 3.237. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

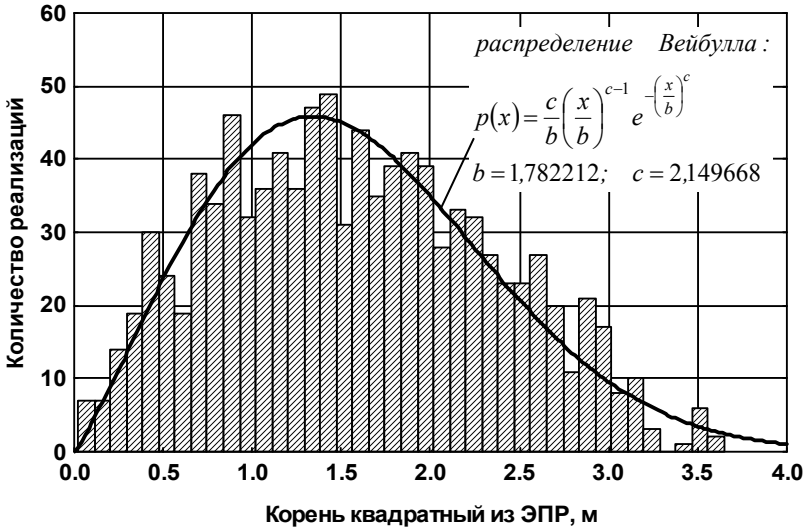


Рис. 3.238. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

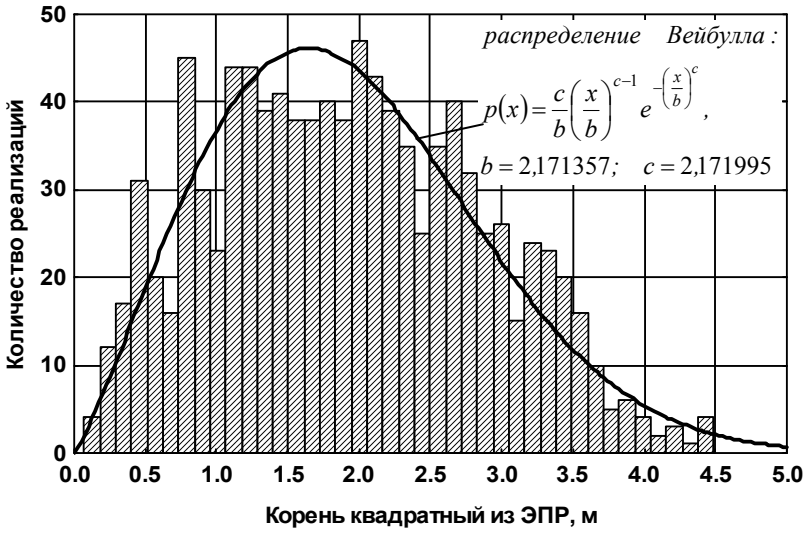


Рис. 3.239. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.9. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 30°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
-10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma}exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1{,}117329$ $\sigma = 0{,}96877$
		вертикальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 1{,}588124$ $\sigma = 0{,}732297$
	влажный суглинок	горизонтальная	логнормальное распределение	$\mu = 1{,}48526$ $\sigma = 1{,}01046$
		вертикальная	логнормальное распределение	$\mu = 0{,}71735$ $\sigma = 1{,}04842$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$b = 1{,}782212$ $c = 2{,}149668$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 1{,}381546$ $c = 2{,}163581$
	влажный суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла	$b = 2{,}171357$ $c = 2{,}171995$
		вертикальная	распределение Рэлея: $p(x)=\frac{x}{b^2}exp\left(-\frac{x^2}{2b^2}\right)$	$b = 0{,}927724$

3.2.2. Характеристики рассеяния основного боевого танка Leopard-2

Leopard-2 несомненно один из наиболее успешных проектов последнего поколения основных боевых танков. Общее количество выпущенных танков составляет более 3200 единиц. Leopard-2 стоит на вооружении армий таких стран как Австрия, Дания, Германия, Нидерланды, Норвегия, Швейцария, Швеция, Финляндия. В марте 2003 года подписан контракт на поставку 170 Leopard-2 модификации 2A6EX для вооруженных сил Греции. В марте 2006 года Чили подписала контракт на поставку 118 танков Leopard-2 модификации 2A4, снимаемых с вооружения армии Германии [100].

Танк имеет классическую схему общей компоновки (рис. 3.240). Люк механика-водителя находится в передней части корпуса со смещением к правому борту. Он частично перекрывается башней при положении пушки вперед. Несмотря на большой угол наклона верхнего лобового листа (81°), механик-водитель в боевом положении управляет машиной сидя. Внутренний объем отделения управления составляет 2,4 м^3.

Рабочие места командира танка и наводчика находятся справа от пушки, заряжающего – слева от нее. Высота от вращающегося полика боевого отделения до крыши башни равна 1650 мм, что является минимально допустимой величиной для обеспечения нормальных условий работы заряжающего стоя. Внутренний объем боевого отделения равен 10,1 м^3.

Моторно-трансмиссионное отделение с продольно расположенным дизельным двигателем занимает объем 6,9 м^3 в кормовой части корпуса танка и имеет герметичную огнеупорную перегородку, отделяющую его от боевого отделения.

Значительный внутренний объем машины (19,4 м^3) предопределил большую массу (55,2 т) и общую ширину (3700 мм)

танка, а следовательно, необходимость демонтажа бортовых экранов при его транспортировке по железной дороге.

Основным вооружением танка является 120-мм гладкоствольная пушка, разработанная фирмой "Рейнметалл". Ствол имеет теплозащитный кожух и эжектор, изготовленный из стеклопластика.

Защита лобовой части корпуса и башни представляет собой многослойные комбинированные броневые преграды. Корпус и башня сварные. В верхнем лобовом листе корпуса снаружи имеется люк для монтажа и демонтажа пакетов наполнителя комбинированной броневой преграды. Защита бортов корпуса усилена за счет съемных противокумулятивных экранов, которые в передней части имеют толщину 110 мм и являются многослойными. Лобовые листы башни расположены вертикально.

Для расчетов использовалась идеально проводящая модель поверхности танка (рис. 3.241), которая состояла из 57 гладких и 24 кромочных участков.



Рис. 3.240. Основной боевой танк Leopard-2A4

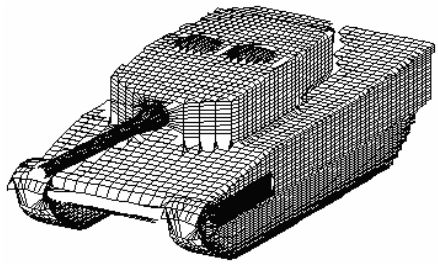


Рис. 3.241. Модель поверхности Leopard-2

Характеристики корпуса		**Параметры модели поверхности танка**	
Длина танка с пушкой	9,67 м	Количество участков эллипсоидов модели	57
Ширина	3,70 м		
Высота	2,48 м	Количество кромочных участков в модели	24
Боевой вес	55,15 т		

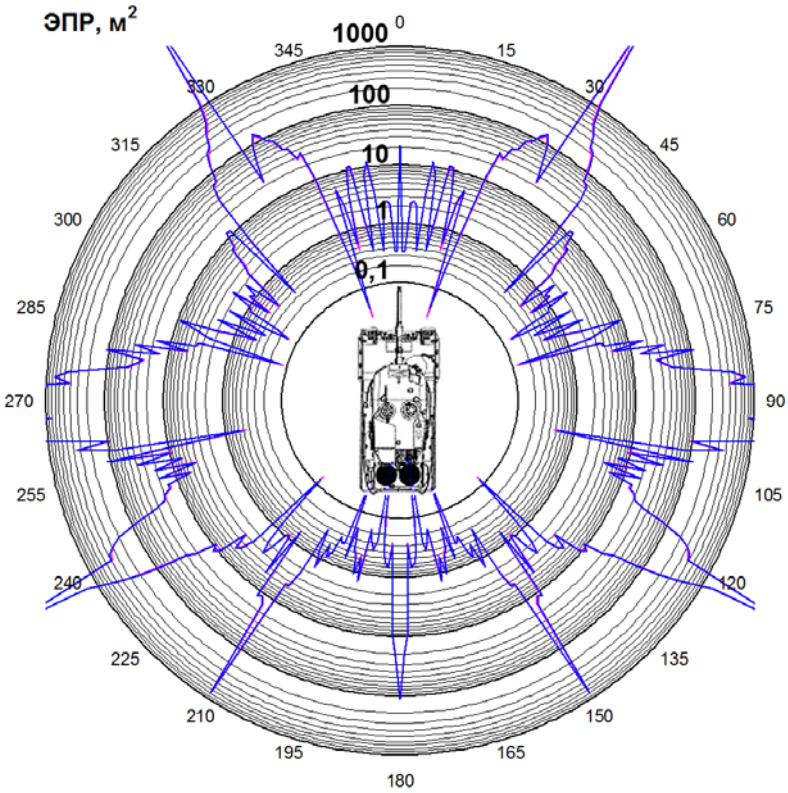


Рис. 3.242. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

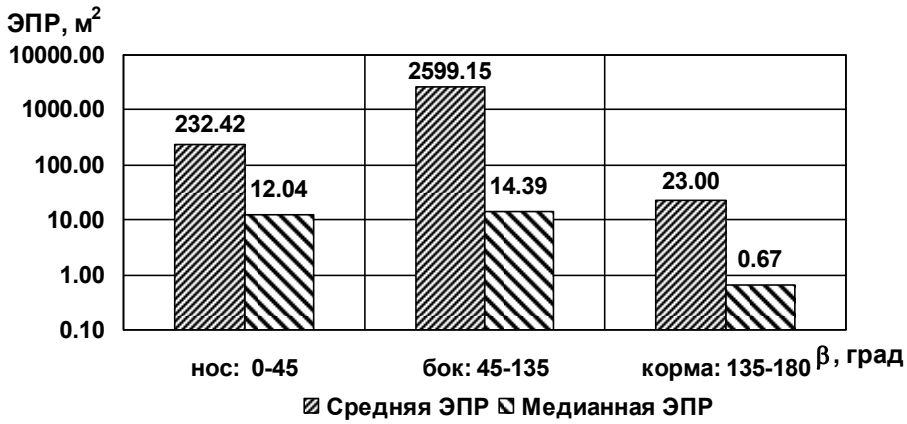


Рис. 3.243. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

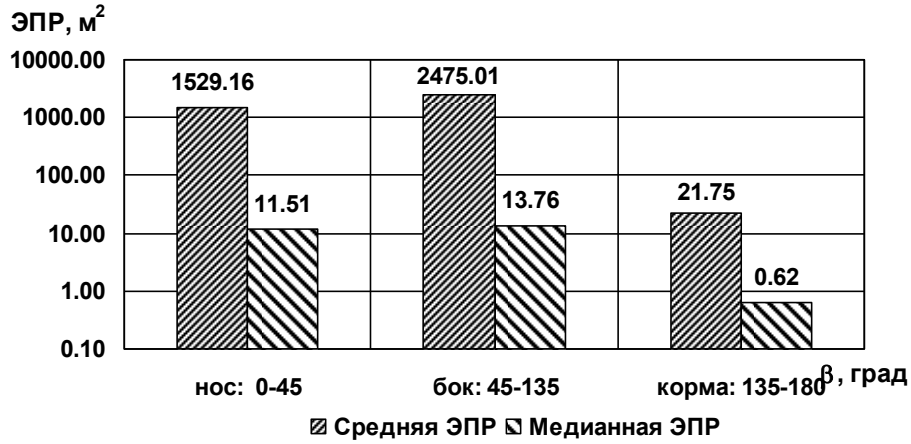


Рис. 3.244. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

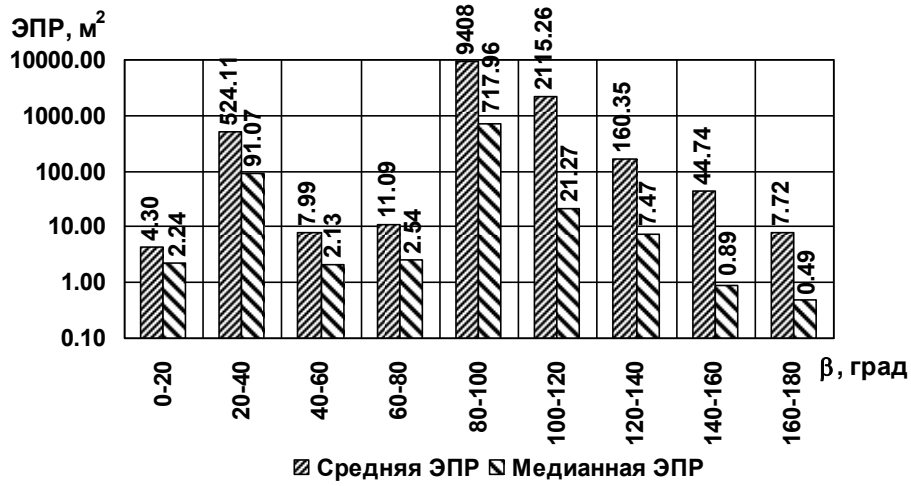


Рис. 3.245. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.246. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

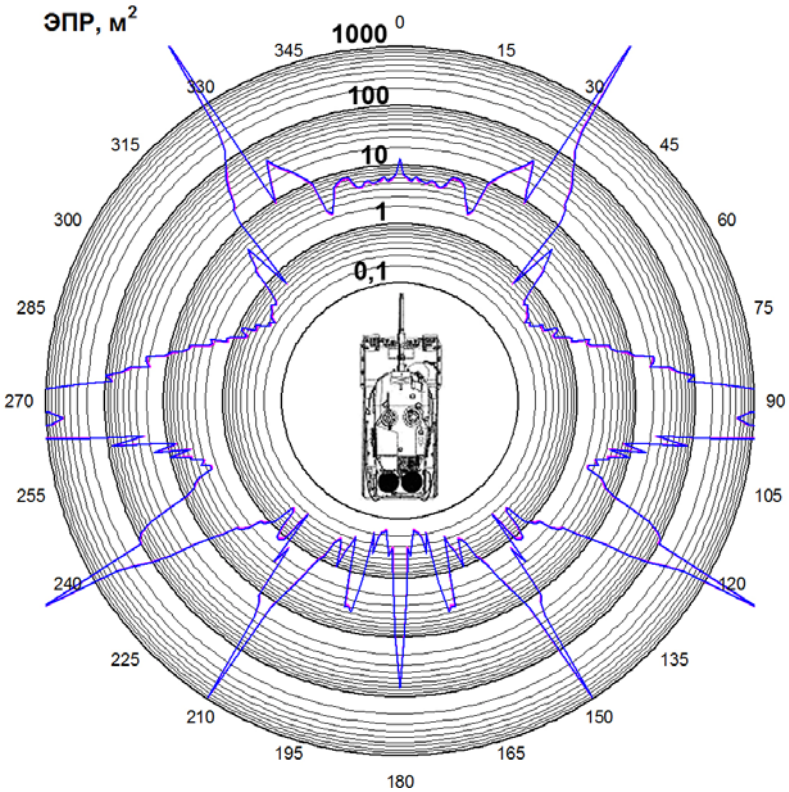


Рис. 3.247. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

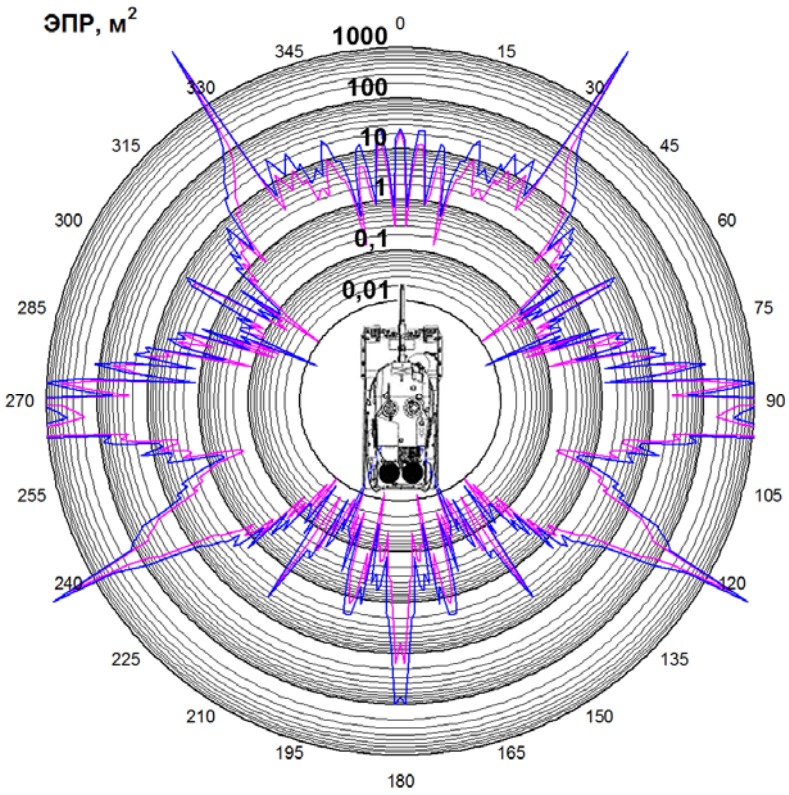


Рис. 3.248. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.249. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

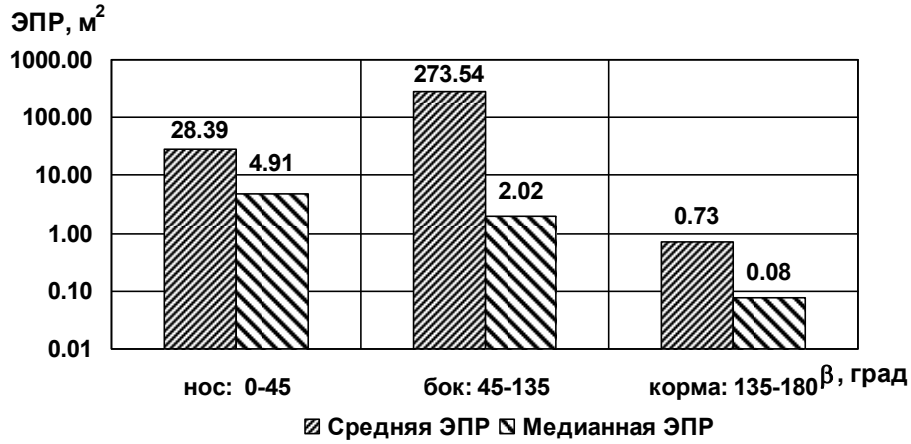


Рис. 3.250. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

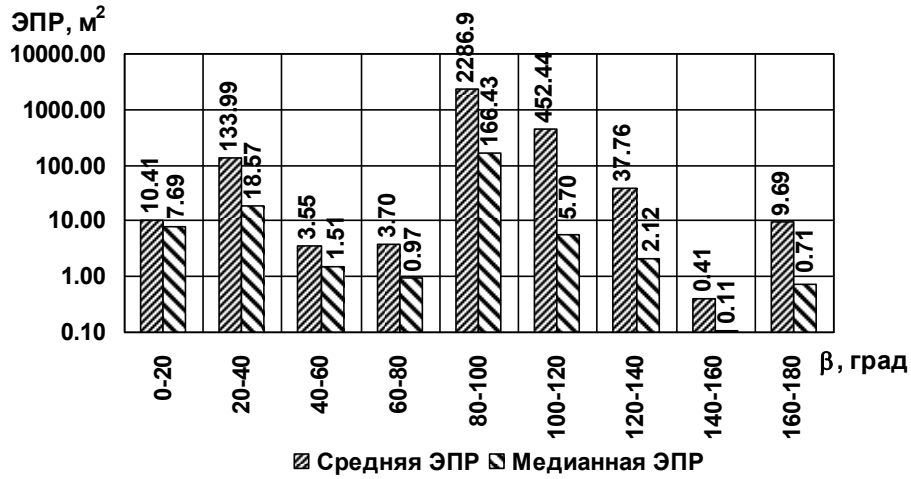


Рис. 3.251. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.252. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

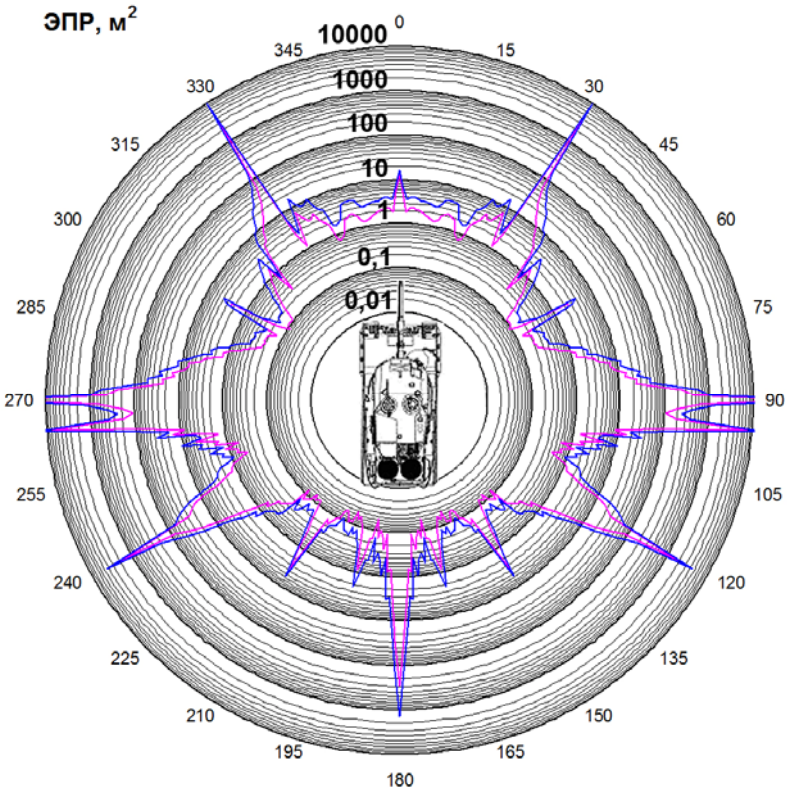


Рис. 3.253. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

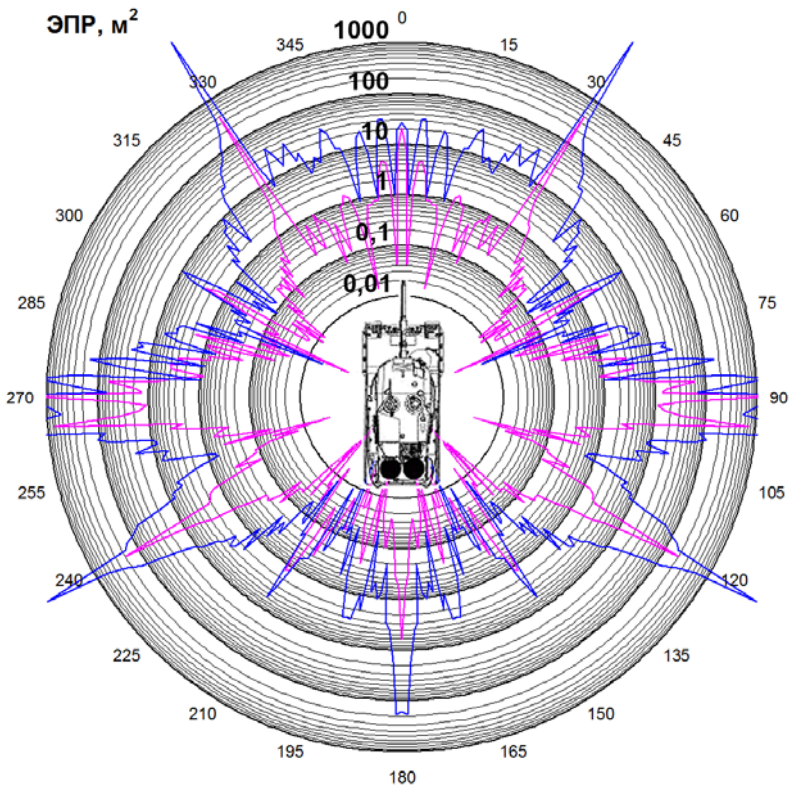


Рис. 3.254. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

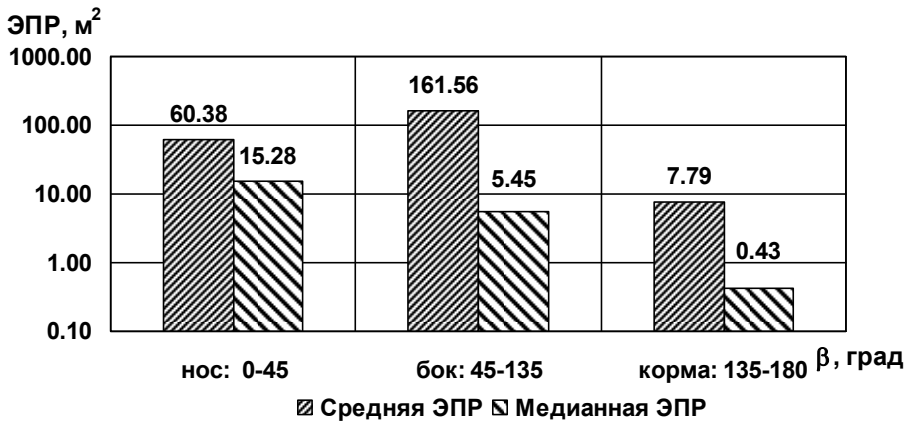


Рис. 3.255. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

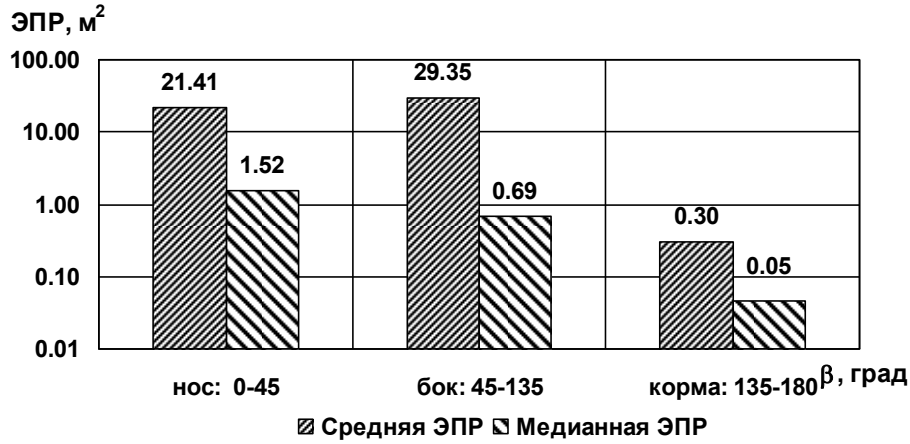


Рис. 3.256. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

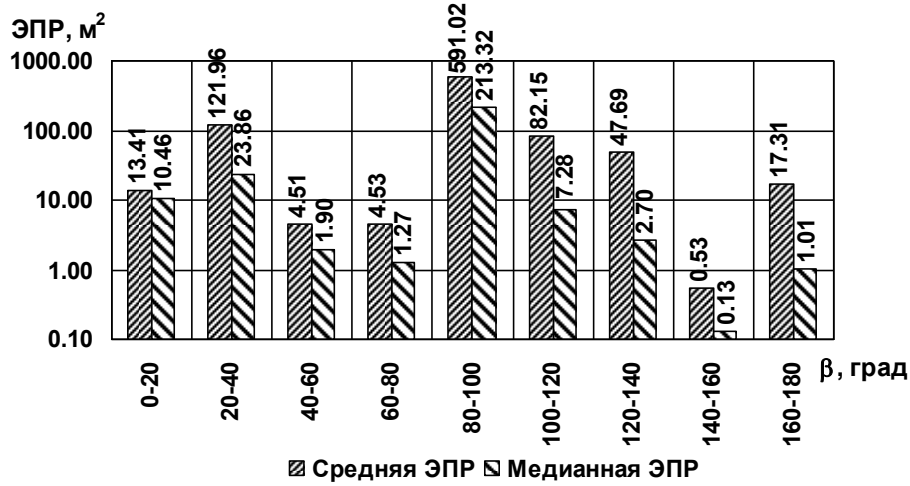


Рис. 3.257. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

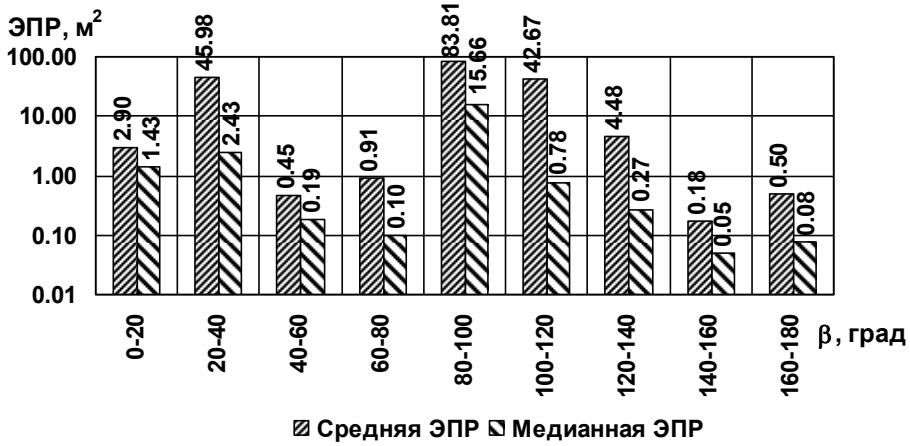


Рис. 3.258. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

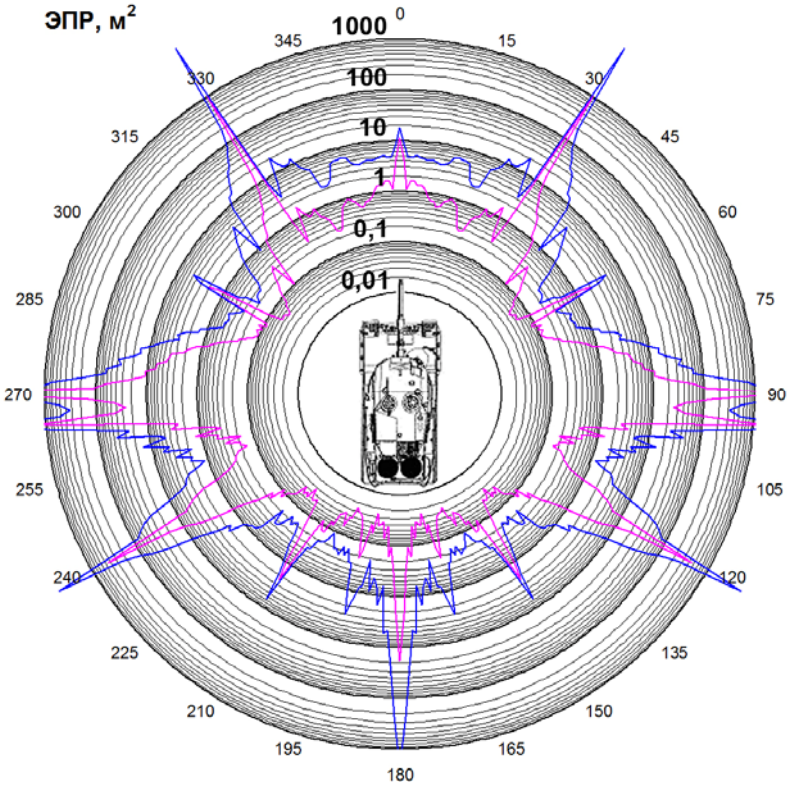


Рис. 3.259. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

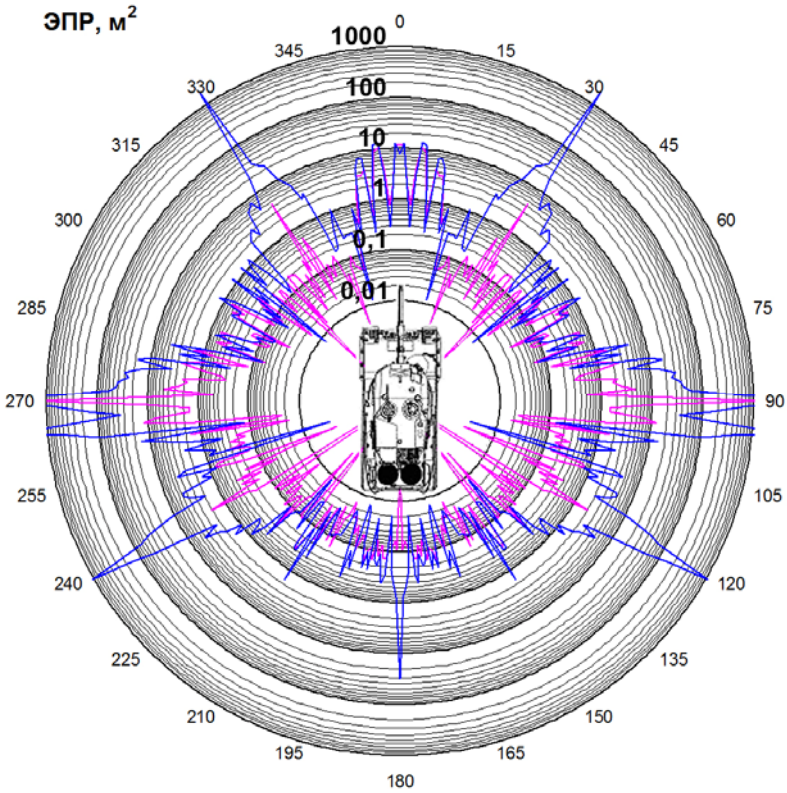


Рис. 3.260. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.261. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

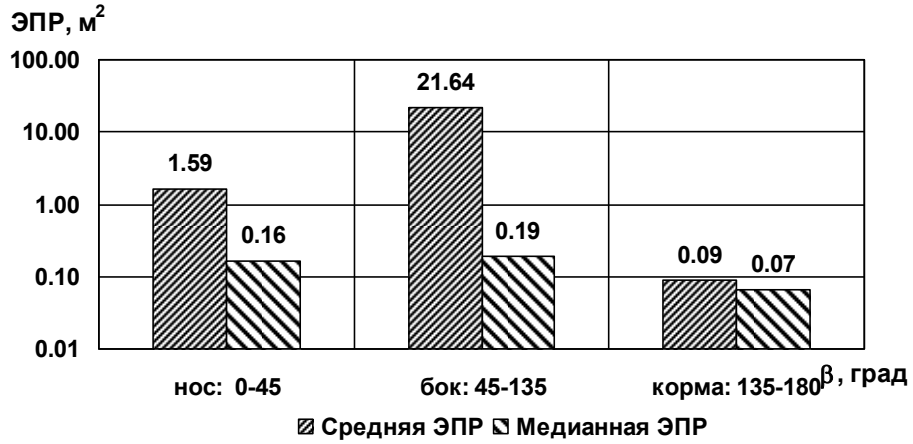


Рис. 3.262. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

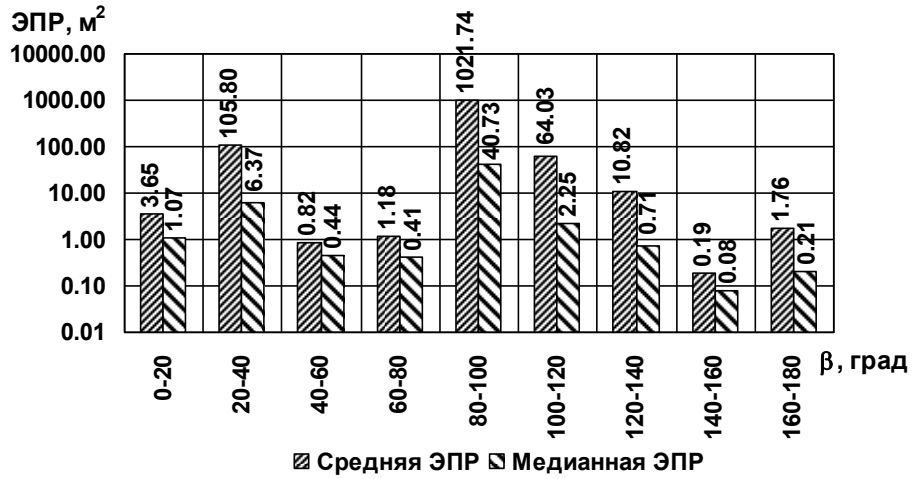


Рис. 3.263. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

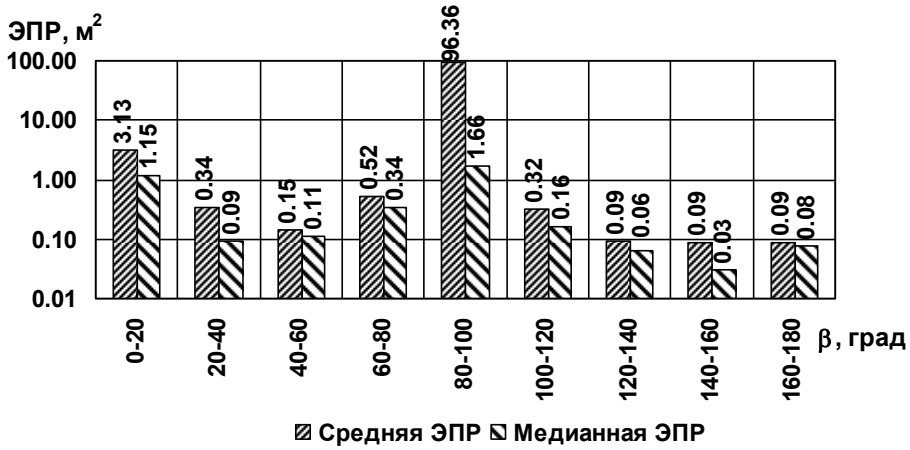


Рис. 3.264. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

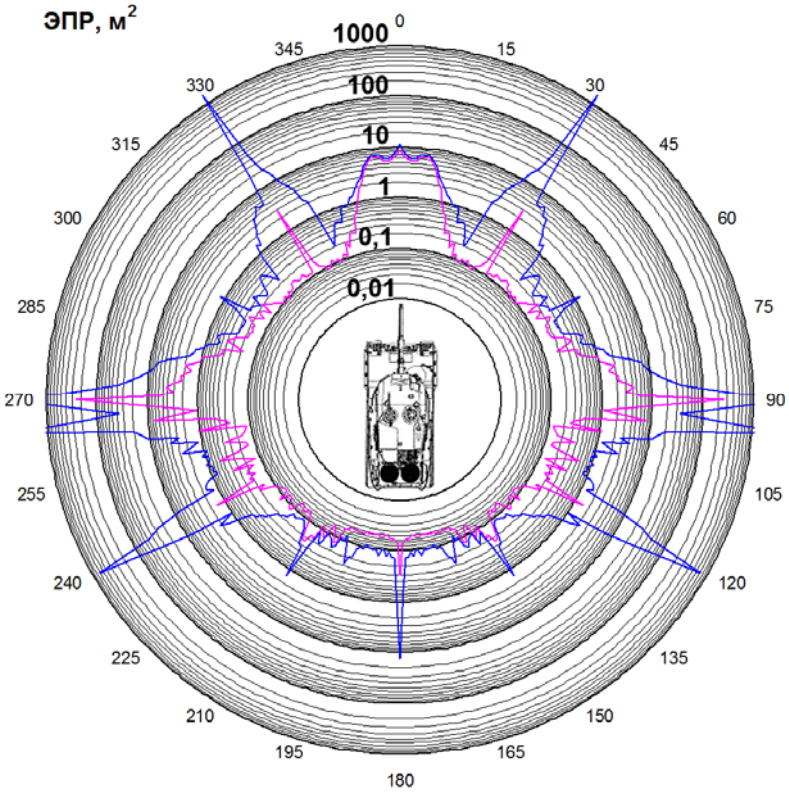


Рис. 3.265. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

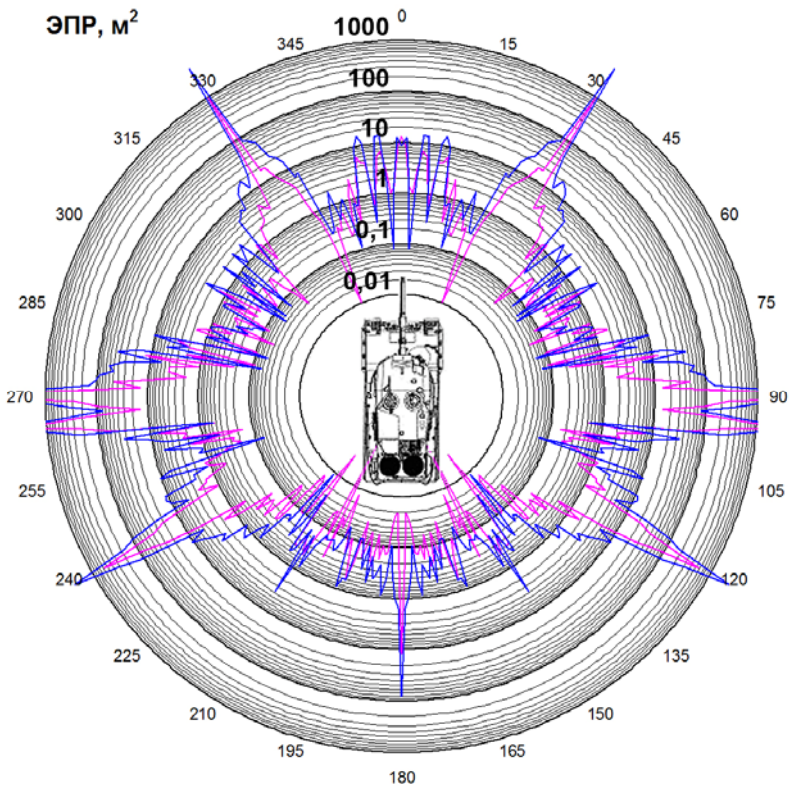


Рис. 3.266. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)



Рис. 3.267. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

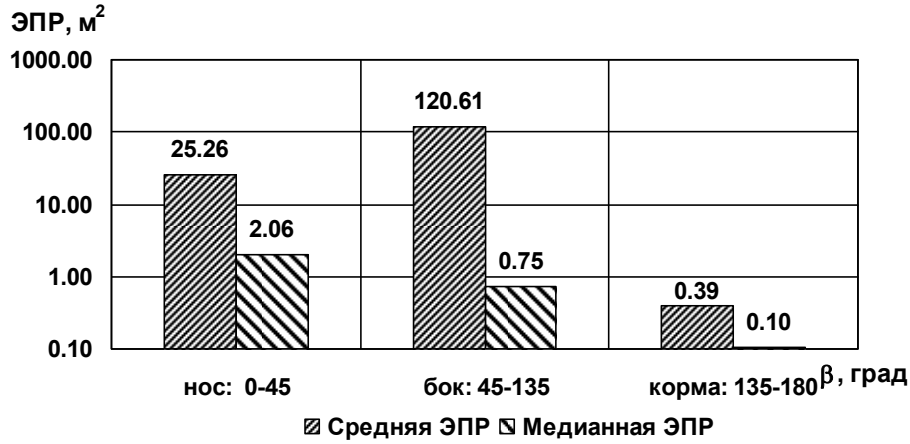


Рис. 3.268. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

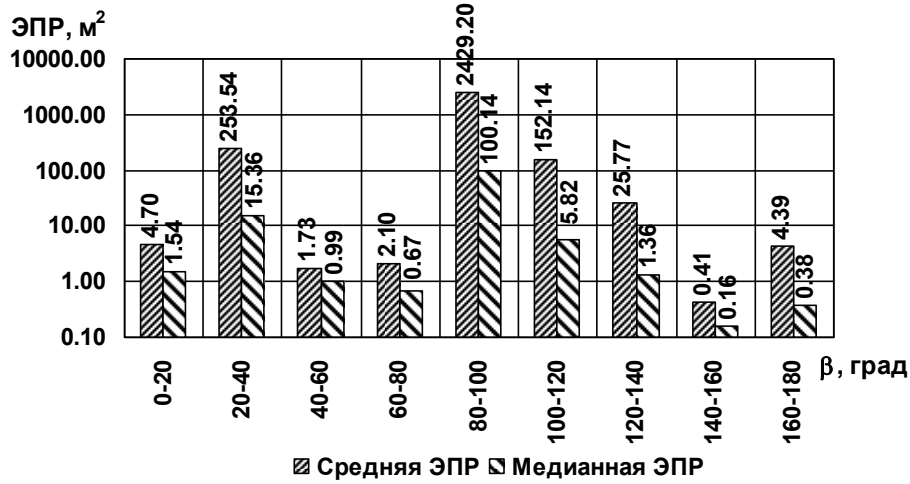


Рис. 3.269. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

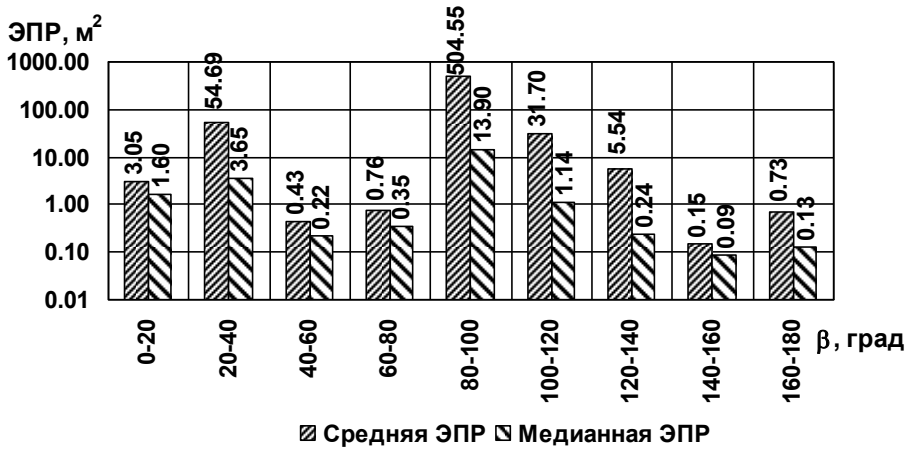


Рис. 3.270. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

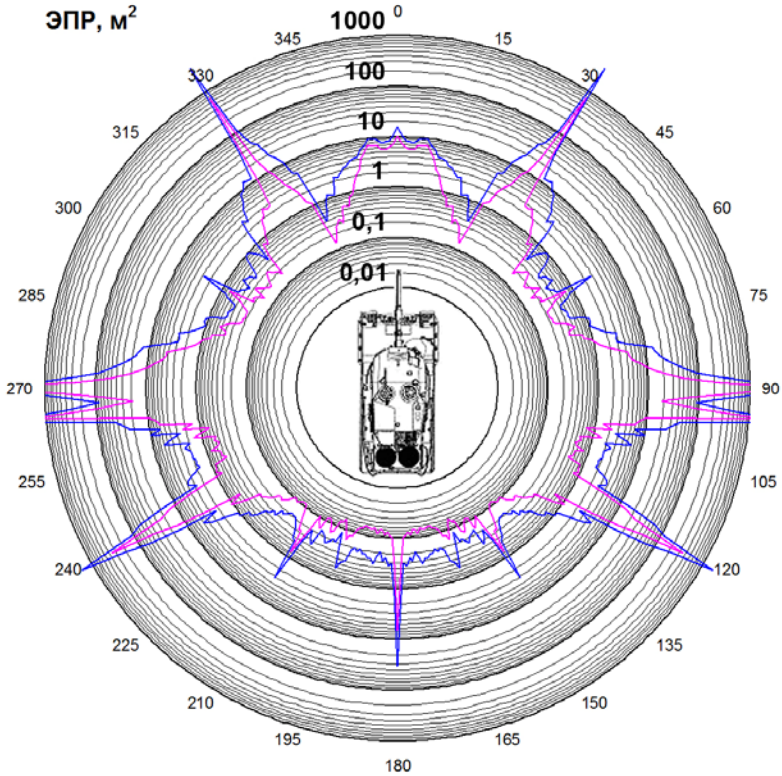


Рис. 3.271. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

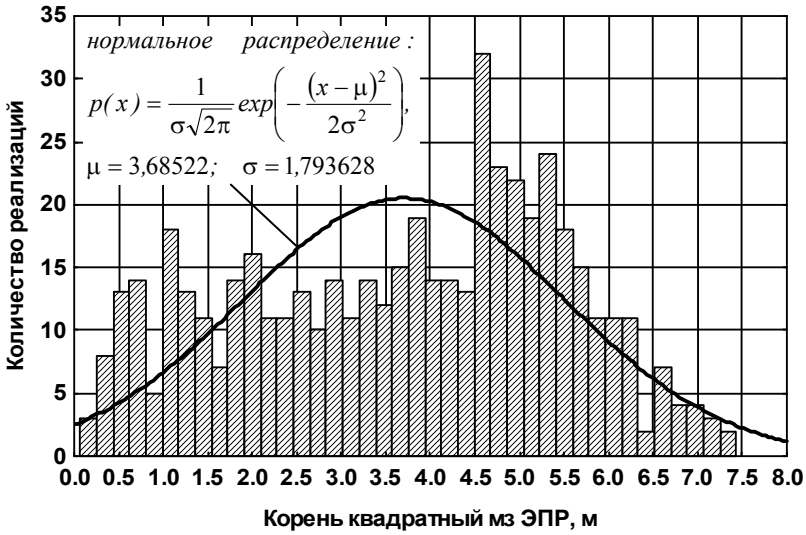


Рис. 3.272. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

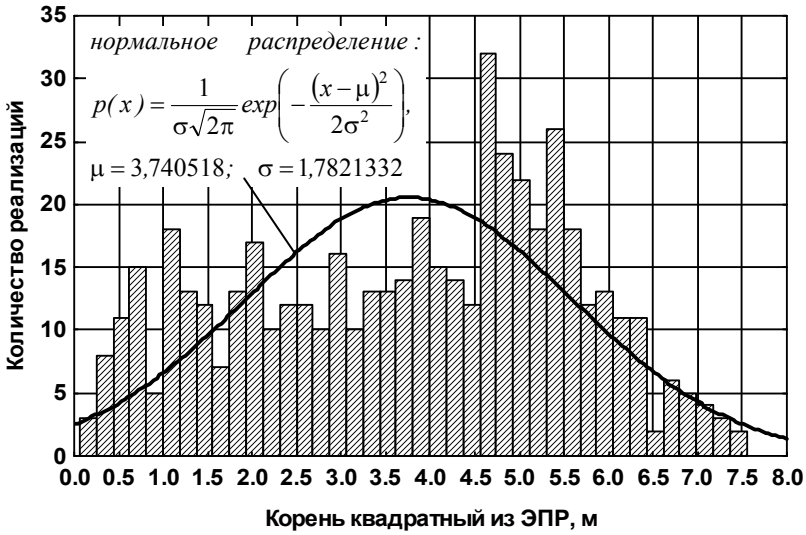


Рис. 3.273. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

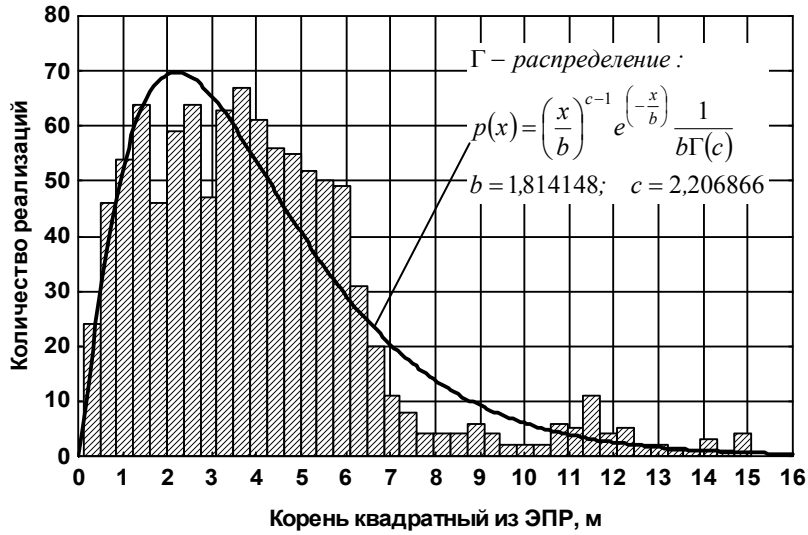


Рис. 3.274. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

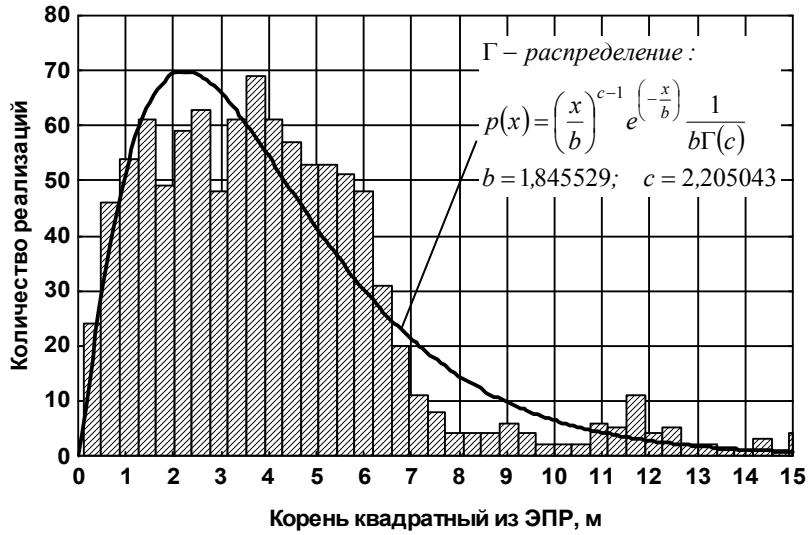


Рис. 3.275. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.10. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 1°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
–10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 3{,}68522$ $\sigma = 1{,}793628$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 3{,}518374$ $\sigma = 1{,}710021$
	влажный суглинок	горизонтальная	нормальное распределение	$\mu = 3{,}740518$ $\sigma = 1{,}821332$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 3{,}28975$ $\sigma = 1{,}595294$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	Γ -распределение: $p(x)=\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{\left(-\frac{x}{b}\right)}\frac{1}{b\Gamma(c)}$, где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	$b = 1{,}814148$ $c = 2{,}206866$
		вертикальная	Γ -распределение	$b = 1{,}7225911$ $c = 2{,}21231$
	влажный суглинок	горизонтальная	Γ -распределение	$b = 1{,}845529$ $c = 2{,}205043$
		вертикальная	Γ -распределение	$b = 1{,}594283$ $c = 2{,}220279$

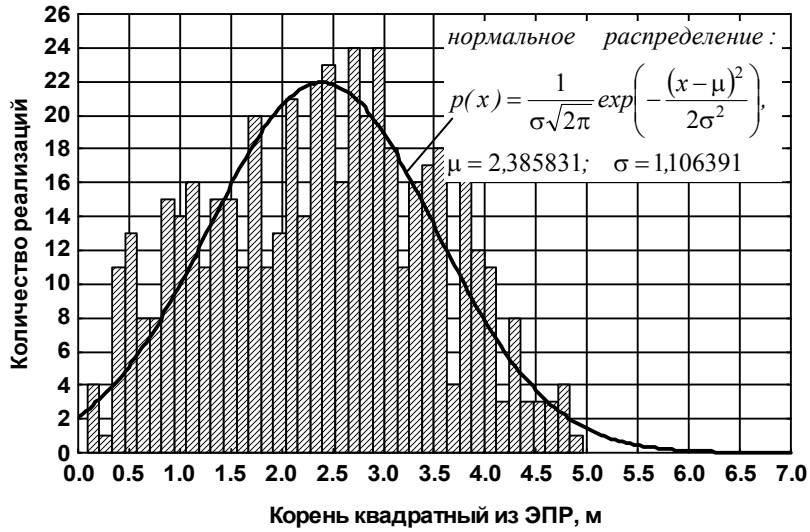


Рис. 3.276. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

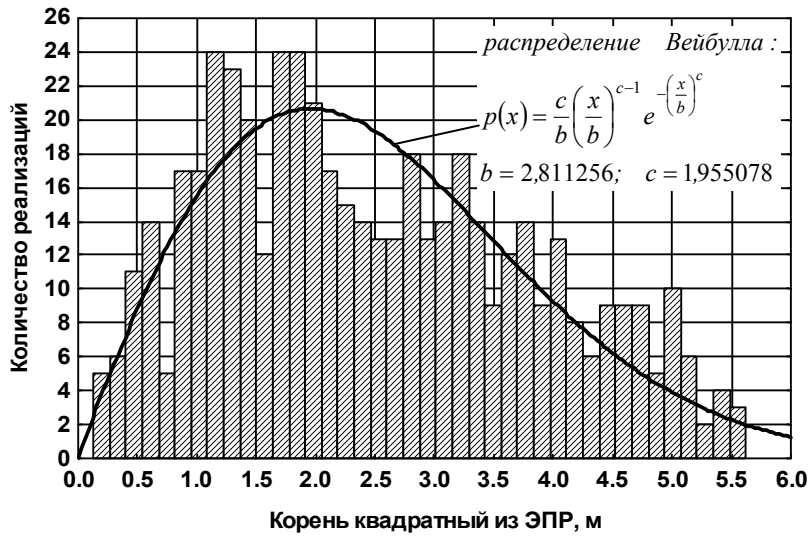


Рис. 3.277. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

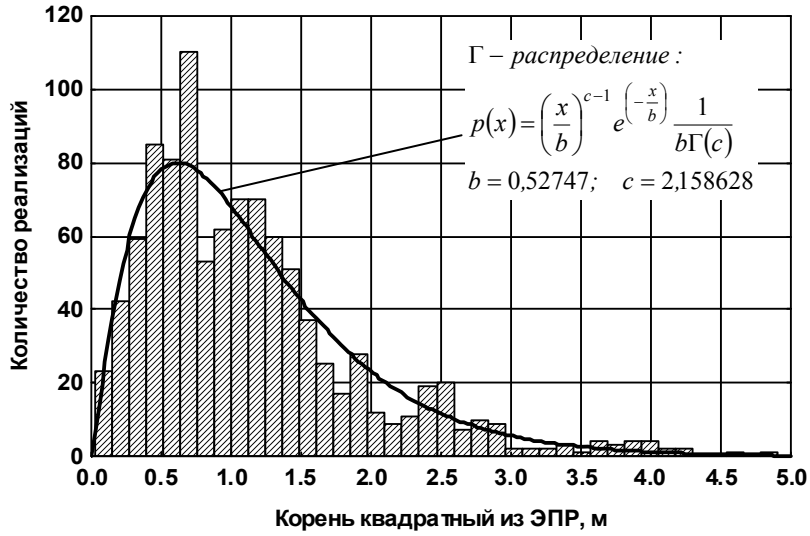


Рис. 3.278. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

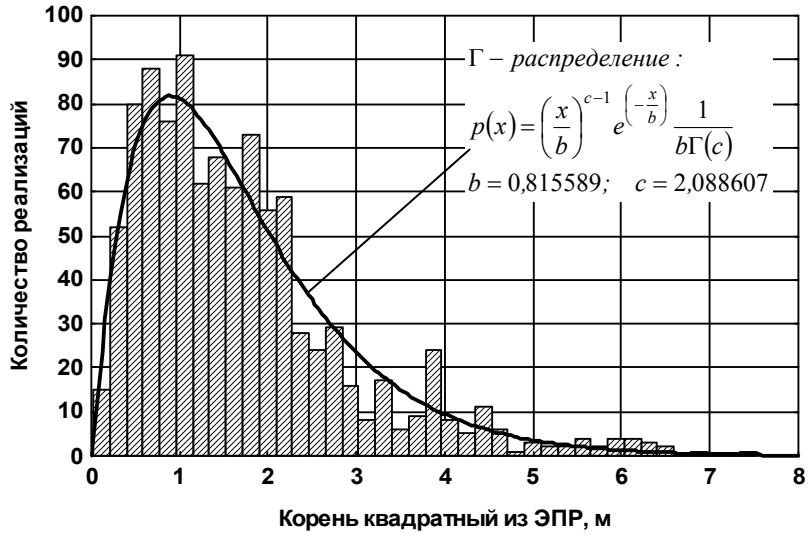


Рис. 3.279. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.11. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 30°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
−10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 2{,}385831$ $\sigma = 1{,}106391$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 2{,}171519$ $\sigma = 0{,}98248$
	влажный суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$b = 2{,}811256$ $c = 1{,}955078$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 1{,}89439$ $\sigma = 0{,}838508$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	Γ -распределение: $p(x)=\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{\left(-\frac{x}{b}\right)}\frac{1}{b\Gamma(c)}$, где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	$b = 0{,}52747$ $c = 2{,}158628$
		вертикальная	логнормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,x\sigma}exp\left(-\frac{(log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = -1{,}04413$ $\sigma = 0{,}709801$
	влажный суглинок	горизонтальная	Γ -распределение	$b = 0{,}815589$ $c = 2{,}088607$
		вертикальная	Γ -распределение	$b = 0{,}42271$ $c = 2{,}362732$

3.2.3. Характеристики рассеяния основного боевого танка M1A1 Abrams

Первые серийные танки М1 "Абрамс" были изготовлены в 1980 г. на государственном танковом заводе в Лиме, штат Огайо, однако массовое производство началось только в сентябре 1981 г. Производство "базового" варианта Ml прекратилось в январе 1985 г., всего построено 2374 танка этой модификации [101].

Корпус танка представляет собой сварную конструкцию с большим углом наклона верхнего лобового бронелиста (рис. 3.280).

В передней части корпуса находится отделение управления объемом 2,5 м^3. Боевое отделение объемом 10,4 м^3 включает среднюю часть корпуса и башню кругового вращения. В башне расположено основное и вспомогательное вооружение – стабилизированная в двух плоскостях 105-мм нарезная пушка М68Е1 и спаренный с ней пулемет М240 калибра 7,62 мм. На командирской башенке смонтирован зенитный пулемет Браунинг М2 калибра 12,7 мм, а перед люком заряжающего – еще один MAG-58.

Большое внимание при создании танка Ml уделялось резкому увеличению его защищенности по сравнению с предшествующими машинами (М60). Задача эта решалась комплексно: за счет снижения заметности танка, увеличения толщины брони, использования бронирования нового типа, уменьшения зон бронирования, ослабленных вырезами, и рациональной внутренней компоновки машины. Снижению заметности способствует низкий силуэт танка и специальная окраска с текстурой, обладающей лучшей маскировочной способностью по сравнению с покрытием танков М60.

Корпус и башня танка цельносварные, без использования крупных литых деталей. Корпус сваривается из пяти крупногабаритных элементов. Башня состоит из наружной (лицевой) и внутренней (тыльной) оболочек из броневой стали, соединенных поперечными ребрами жесткости, между которыми заложены пакеты –

наполнители из стальных и неметаллических материалов. Ходовая часть прикрыта секционированными экранами (семь секций на борт) с разнесенным бронированием, между которым находится наполнитель. Толщина каждой секции (кроме передней) составляет примерно 70 мм, общая масса экранов обоих бортов – 1,5 т. Дифференция бронелистов по толщине применяется по всему танку на основе статистики распределения попаданий снарядов: толщина верхнего бронелиста корпуса изменяется от 50 мм в нижней части до 125 мм вблизи барбета башни, толщина брони, прикрывающей моторно-трансмиссионное отделение варьируется от 25 до 32,5 мм, башни – от 25 до 125 мм, бортов корпуса – от 45 до 60 мм. В целом на бронезащиту приходится примерно 56% всей массы танка. Броня выполнена на основе английской композиционной брони "Чобхэм".

Использованная для расчетов модель танка (рис. 3.281) состояла из 53 участков эллипсоидов и 22 кромочных участков.



Рис. 3.280 Основной боевой танк M1A1 Abrams

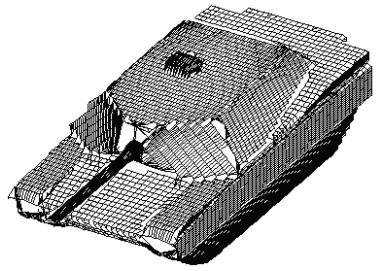


Рис. 3.281. Модель поверхности M1A1 Abrams

Характеристики корпуса		**Параметры модели поверхности танка**	
Длина танка с пушкой	9,828 м	Количество участков эллипсоидов модели	53
Ширина	3,65 м		
Высота	2,438 м	Количество кромочных участков в модели	22
Боевой вес	57,15 т		

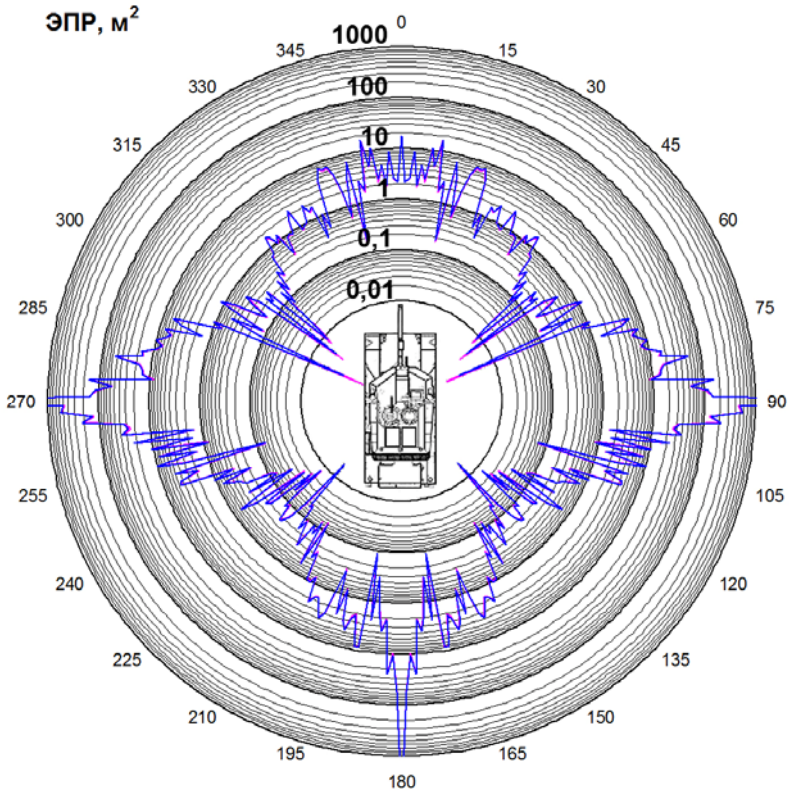


Рис. 3.282. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

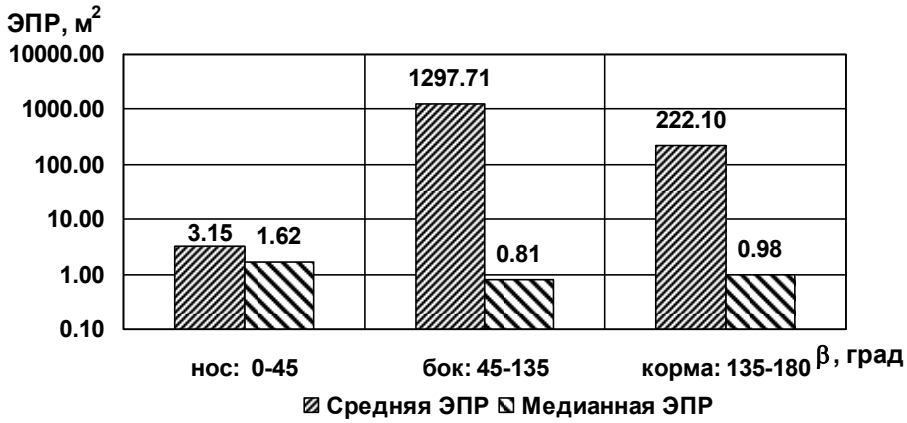


Рис. 3.283. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.284. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

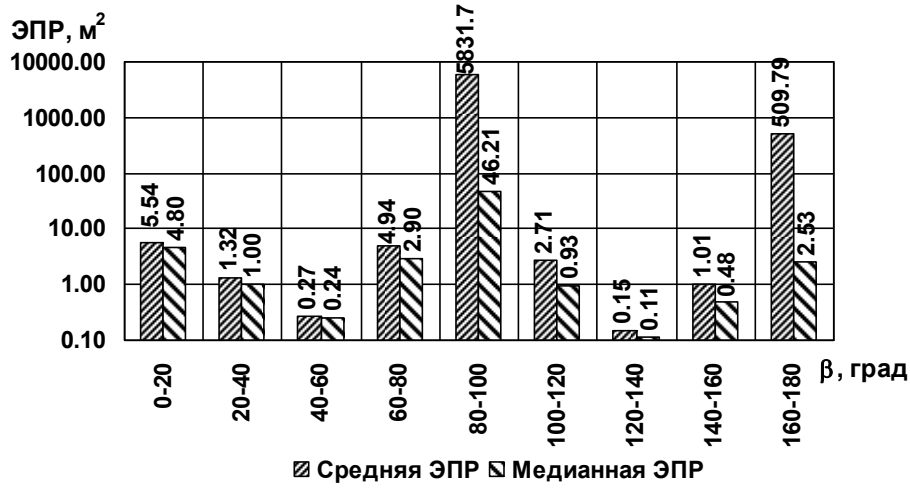


Рис. 3.285. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.286. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

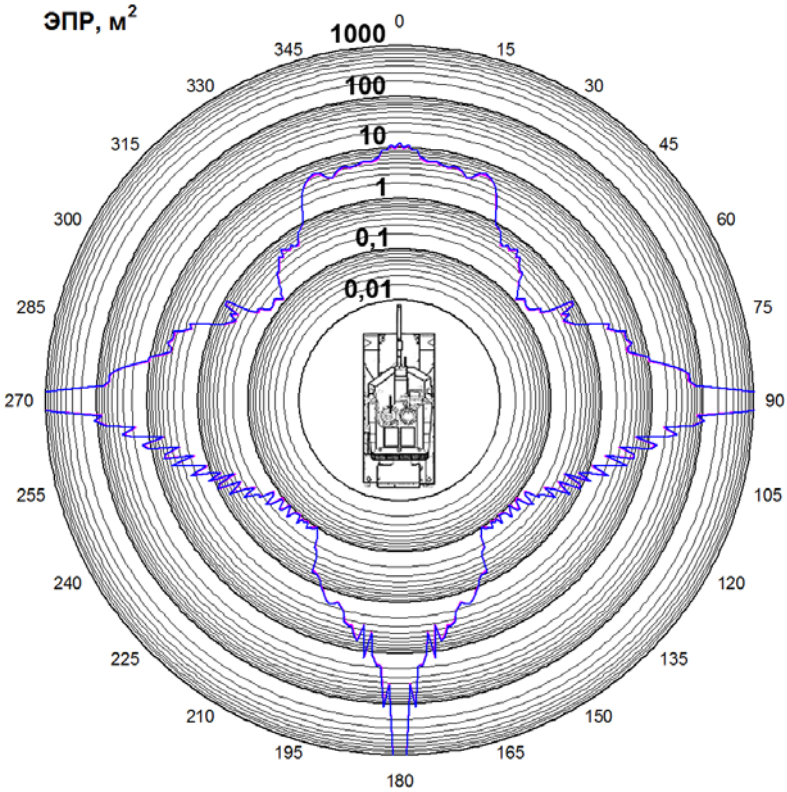


Рис. 3.287. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

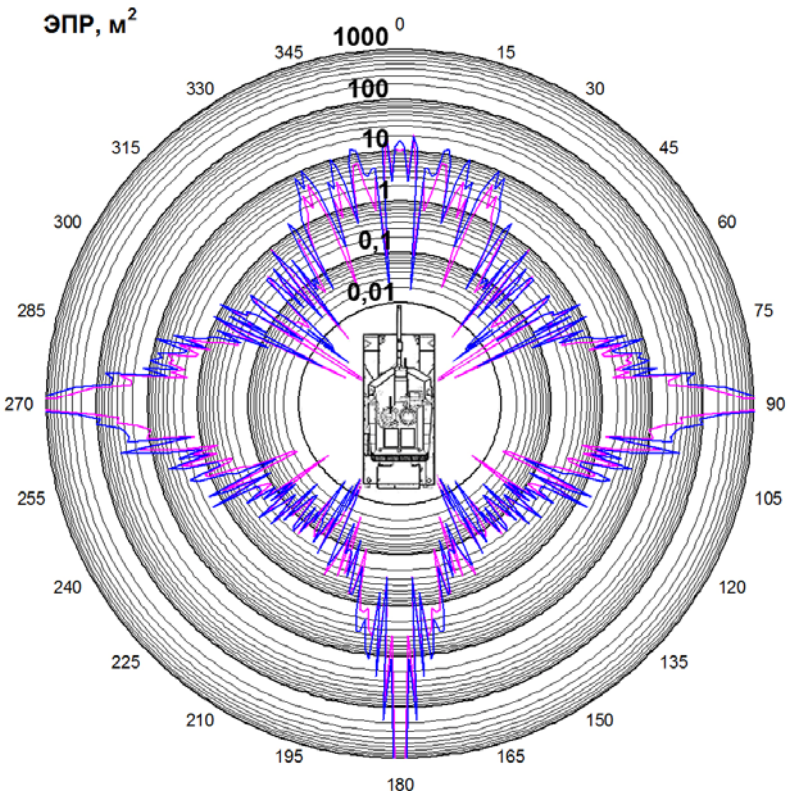


Рис. 3.288. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.289. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.290. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

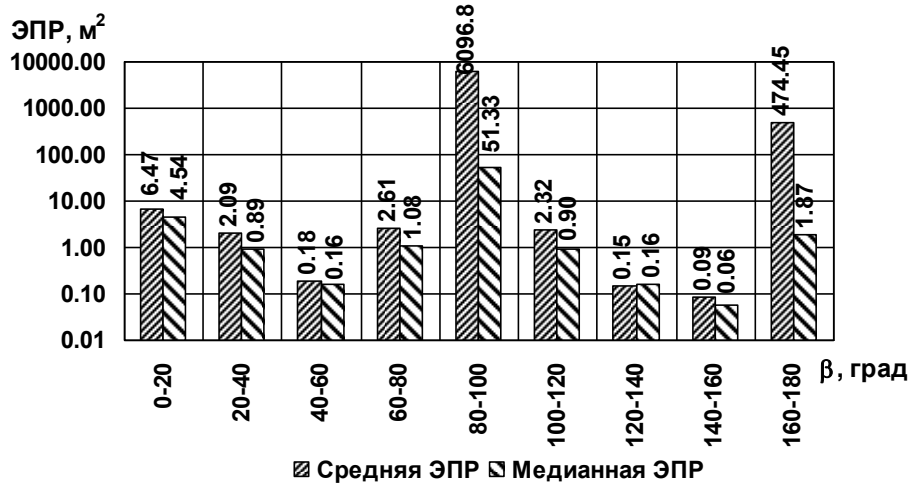


Рис. 3.291. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)



Рис. 3.292. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

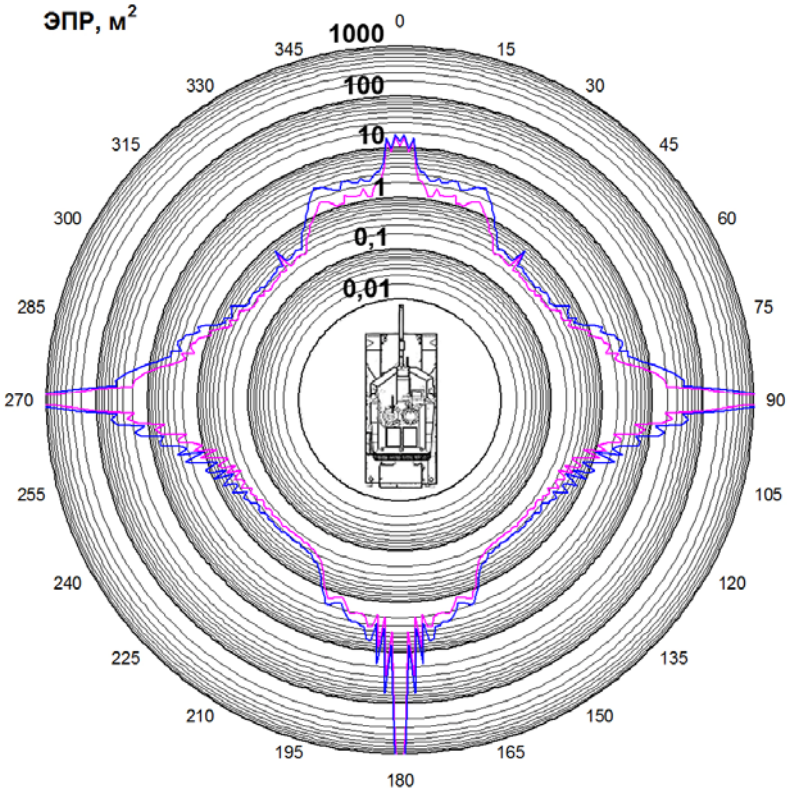


Рис. 3.293. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

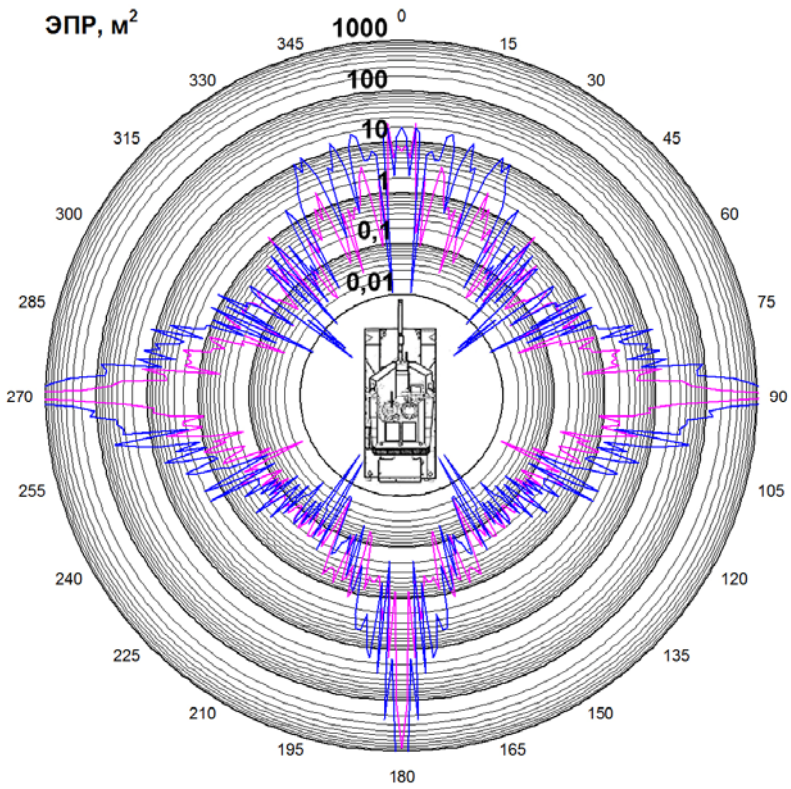


Рис. 3.294. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

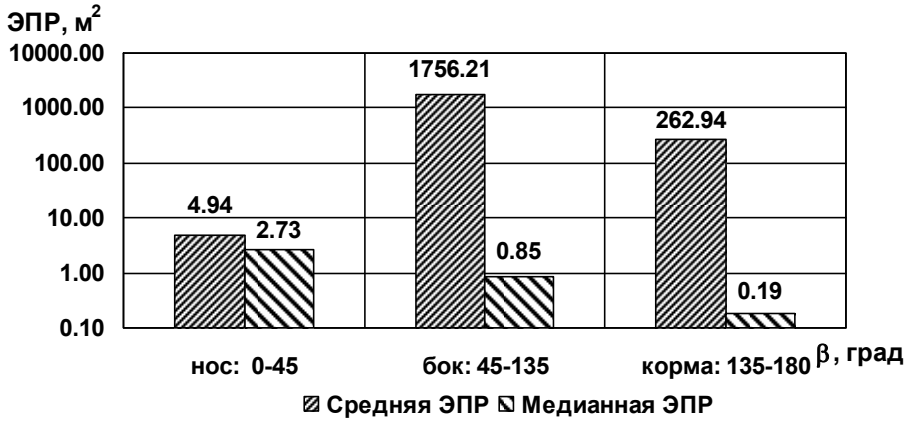


Рис. 3.295. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)



Рис. 3.296. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

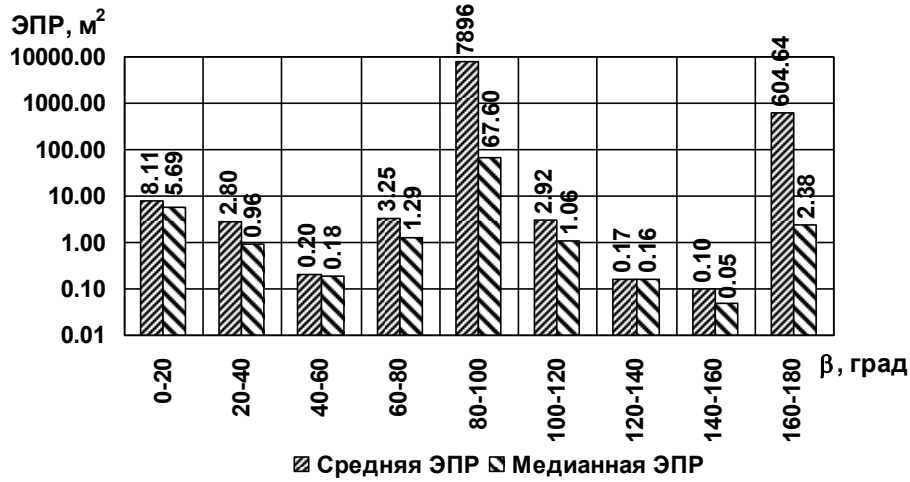


Рис. 3.297. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

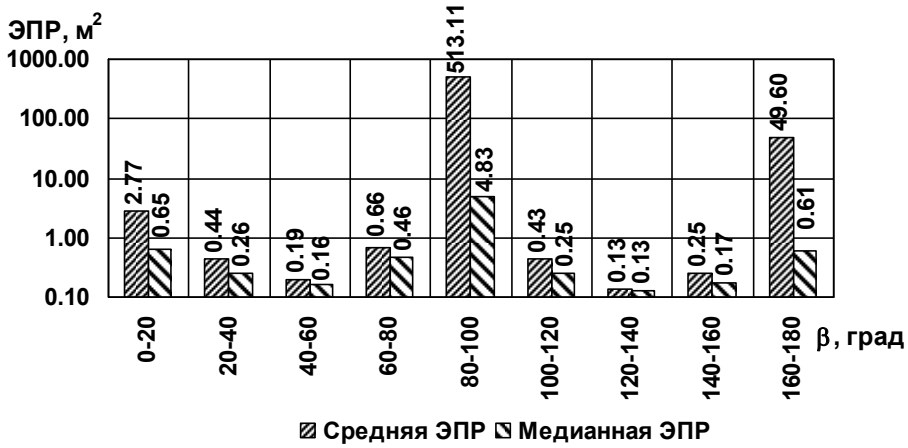


Рис. 3.298. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

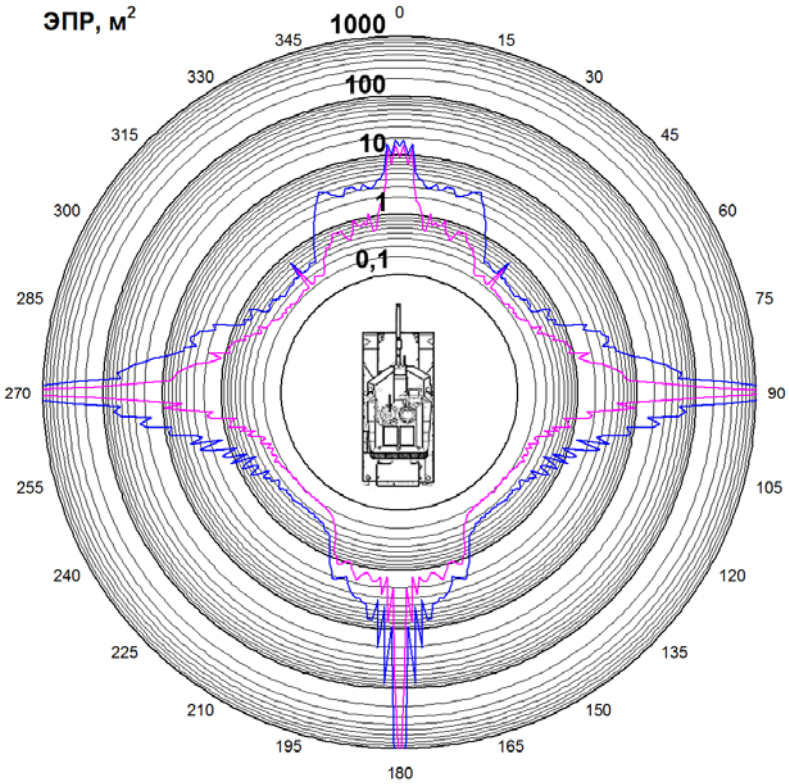


Рис. 3.299. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 10°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

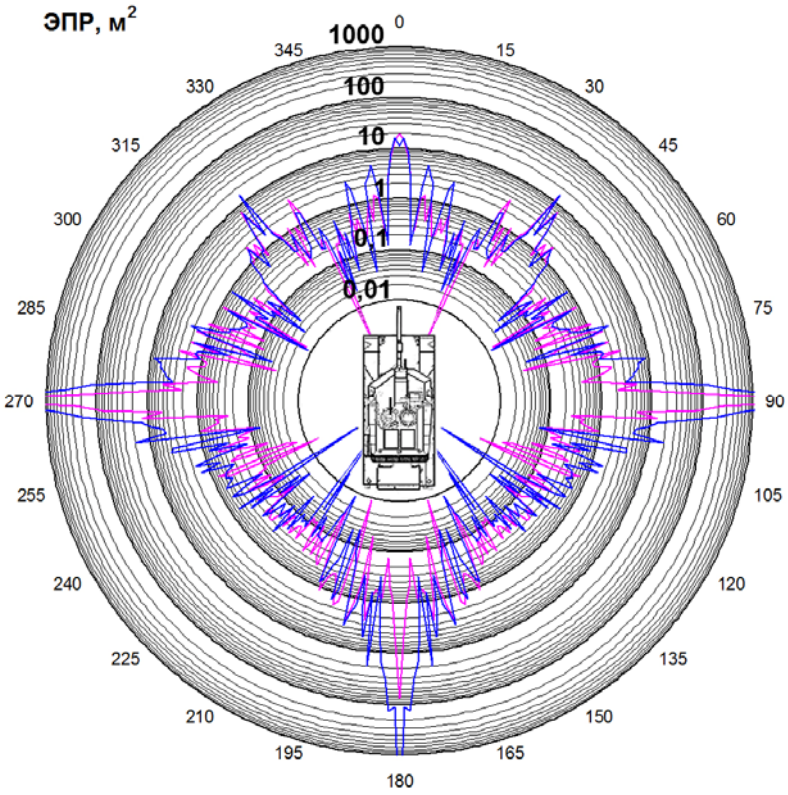


Рис. 3.300. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

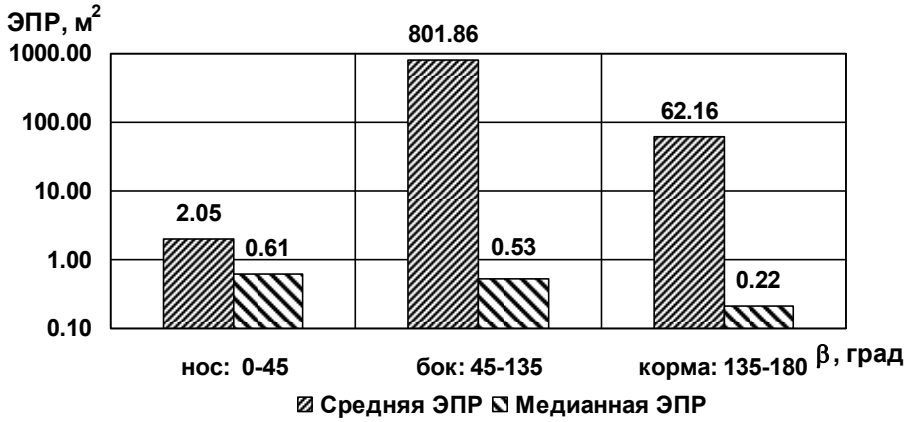


Рис. 3.301. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

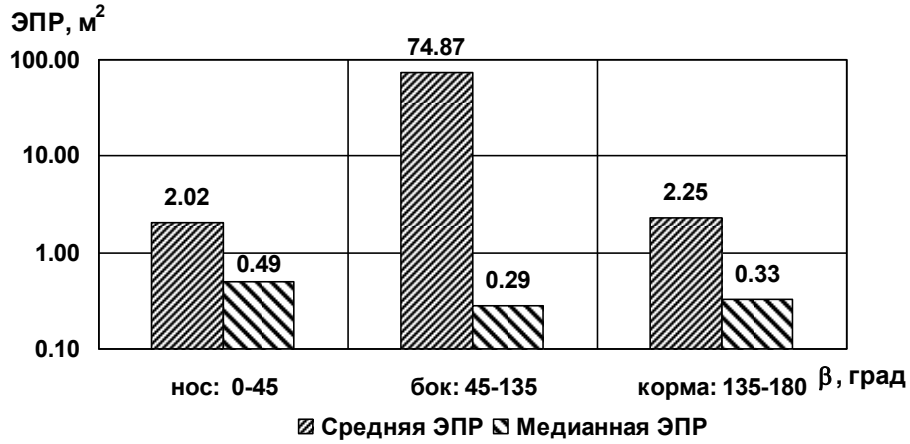


Рис. 3.302. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

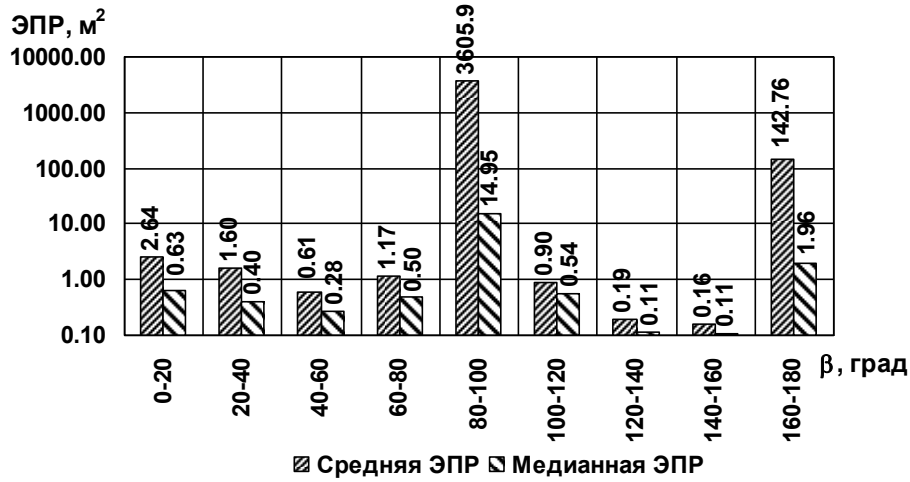


Рис. 3.303. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

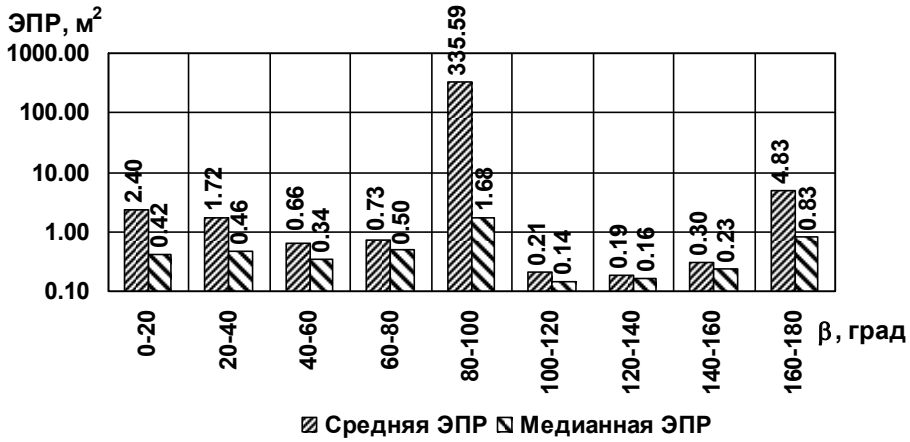


Рис. 3.304. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

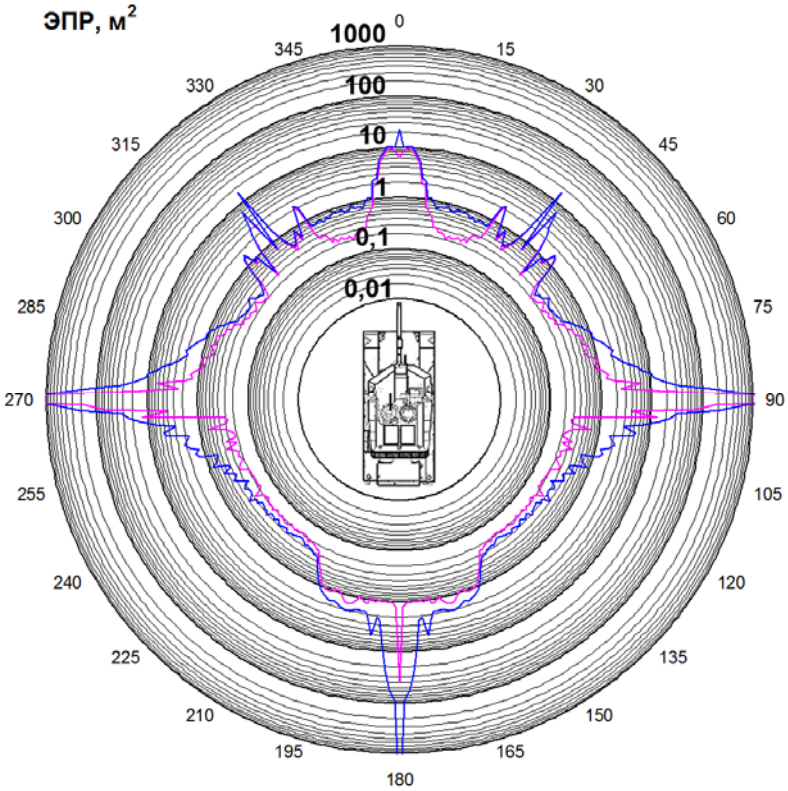


Рис. 3.305. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

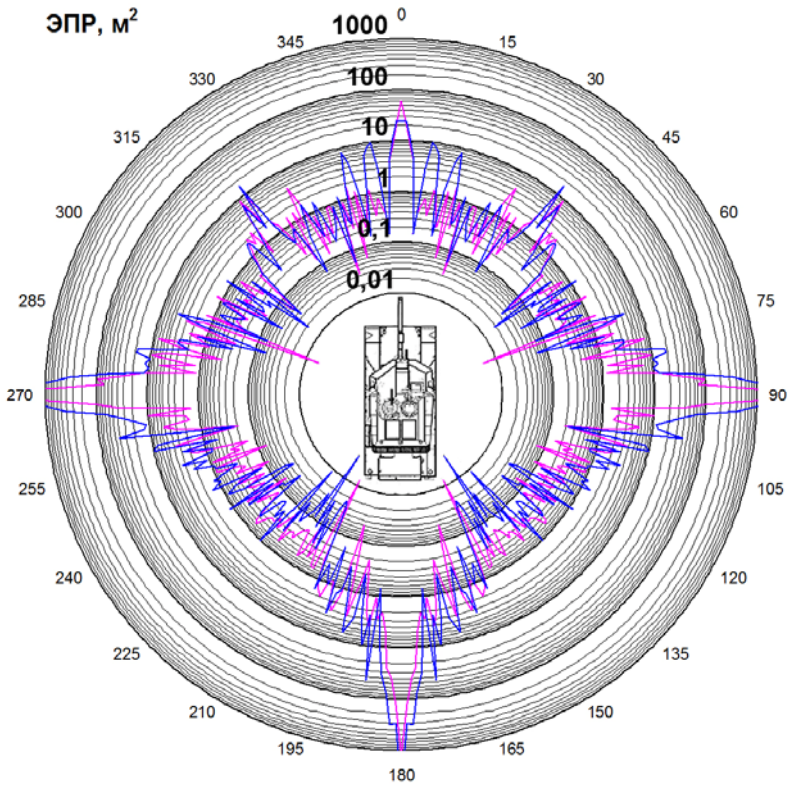


Рис. 3.306. Круговые диаграммы мгновенной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

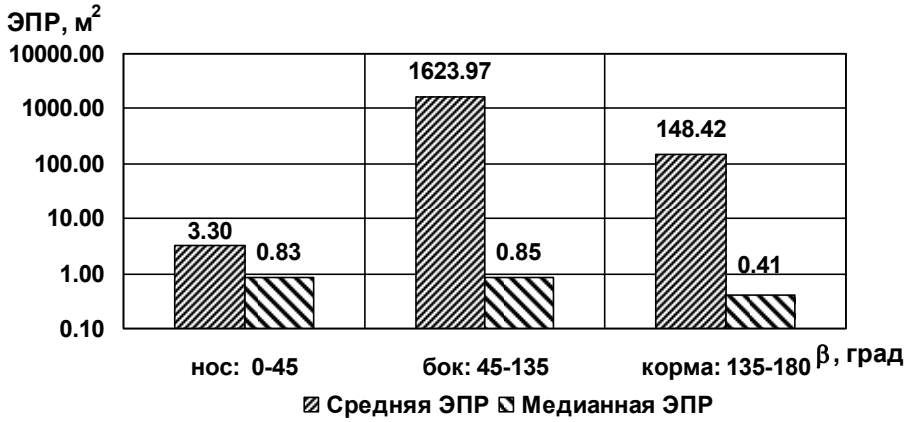


Рис. 3.307. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

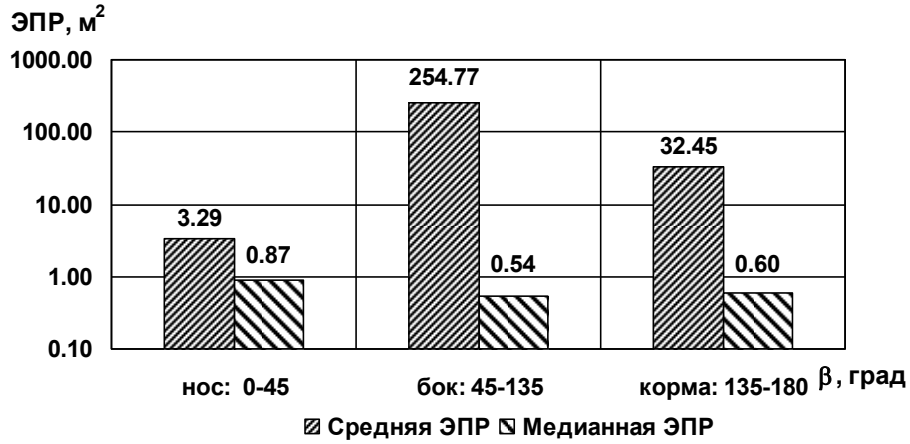


Рис. 3.308. Диаграммы средней и медианной ЭПР в трех диапазонах азимутальных углов при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

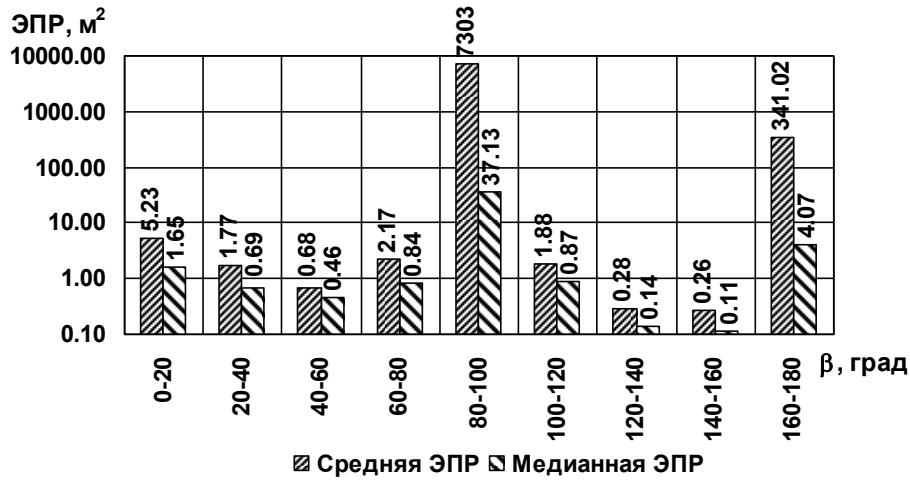


Рис. 3.309. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

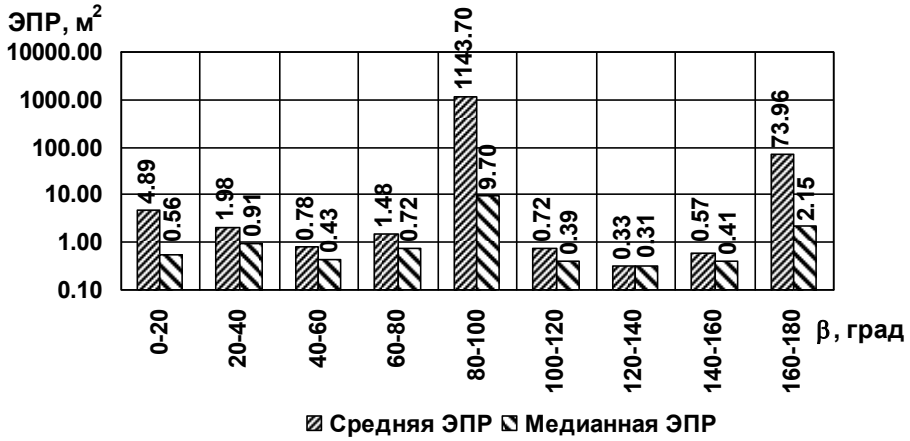


Рис. 3.310. Диаграммы средней и медианной ЭПР в двадцатиградусных диапазонах азимута при зондировании на вертикальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

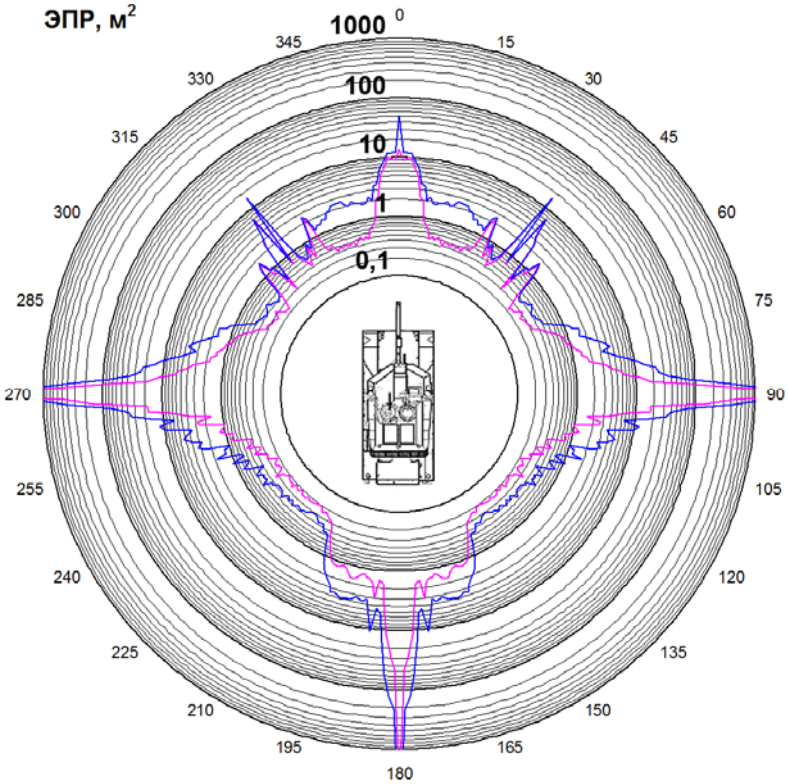


Рис. 3.311. Круговые диаграммы некогерентной ЭПР ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

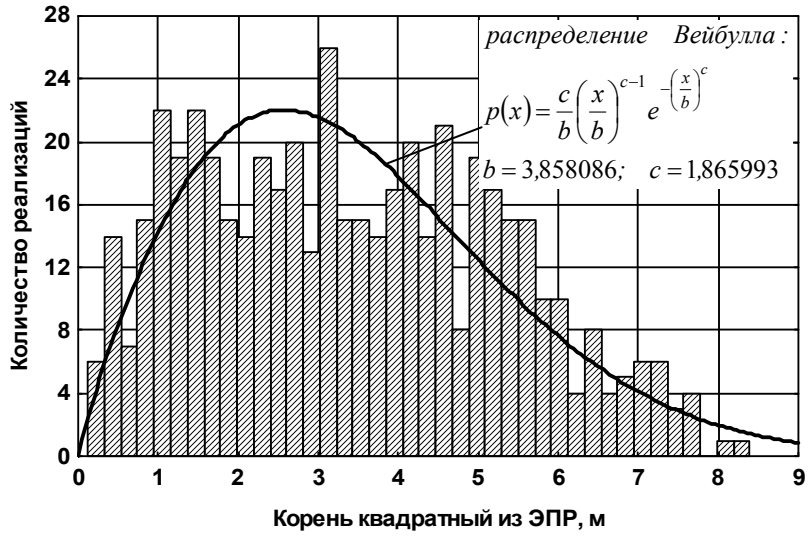


Рис. 3.312. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

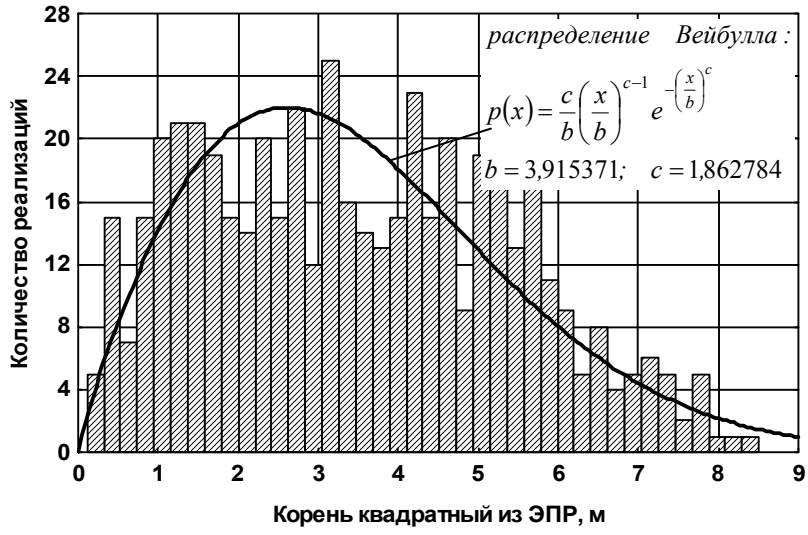


Рис. 3.313. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

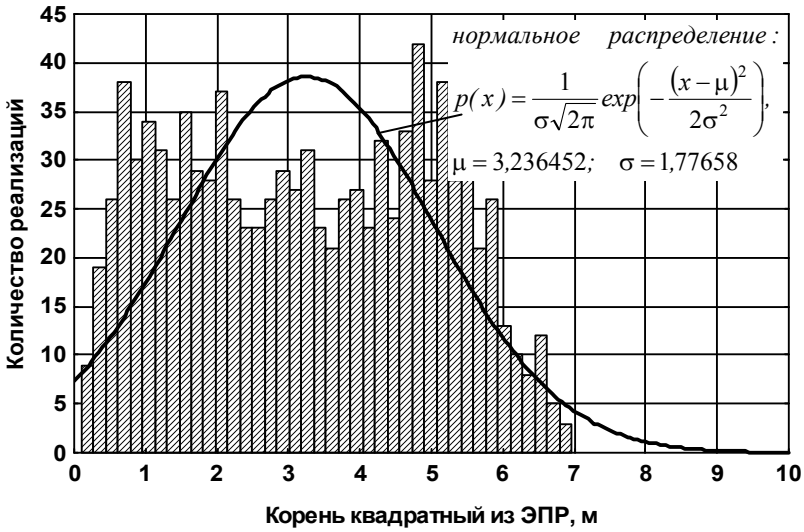


Рис. 3.314. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

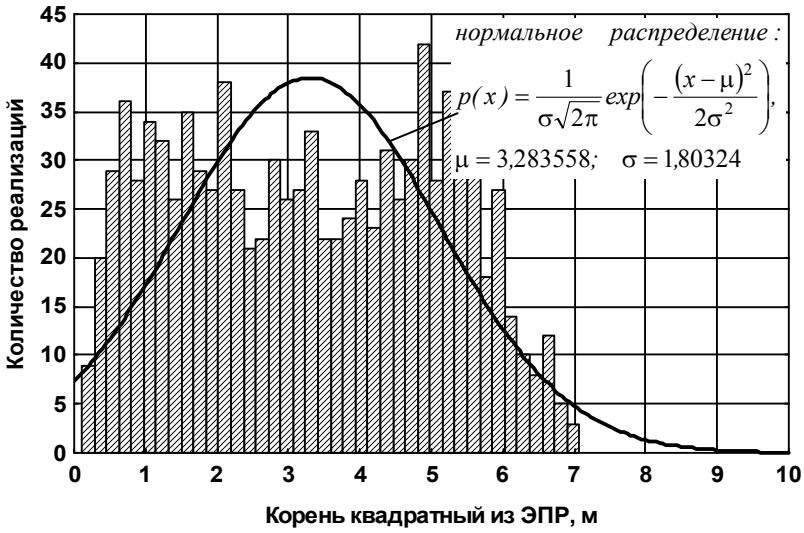


Рис. 3.315. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 1°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.12. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 1°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
–10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^{c}}$	$b = 3{,}858086$ $c = 1{,}865993$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 3{,}683428$ $c = 1{,}873687$
	влажный суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла	$b = 3{,}915371$ $c = 1{,}862784$
		вертикальная	распределение Вейбулла	$b = 3{,}444218$ $c = 1{,}884252$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	нормальное распределение: $p(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\mu = 3{,}236452$ $\sigma = 1{,}77658$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 3{,}085798$ $\sigma = 1{,}69432$
	влажный суглинок	горизонтальная	нормальное распределение	$\mu = 3{,}283558$ $\sigma = 1{,}80324$
		вертикальная	нормальное распределение	$\mu = 2{,}878823$ $\sigma = 1{,}5822$

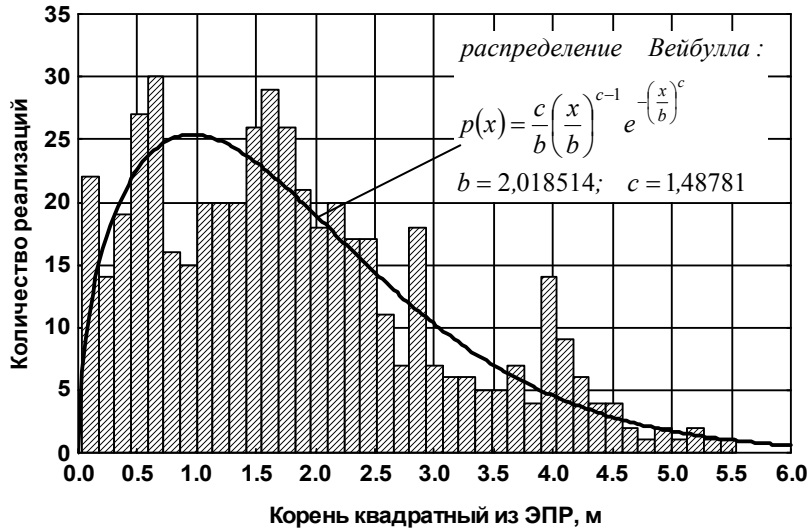


Рис. 3.316. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

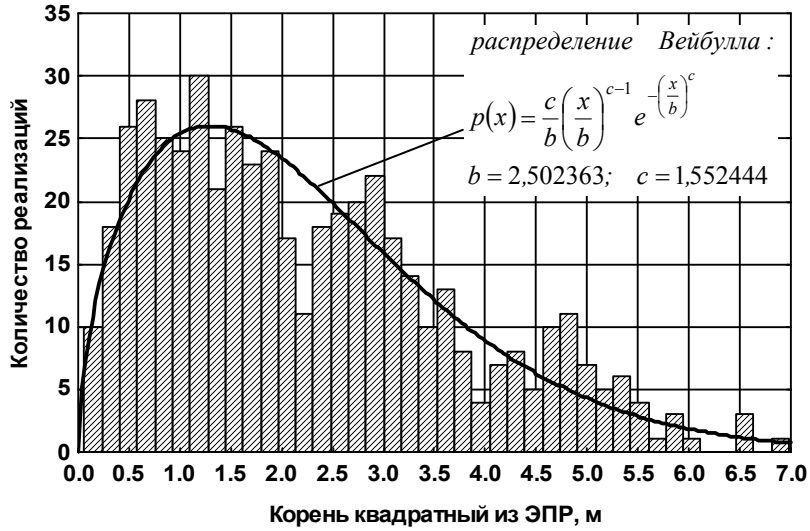


Рис. 3.317. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов –10°...+10° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

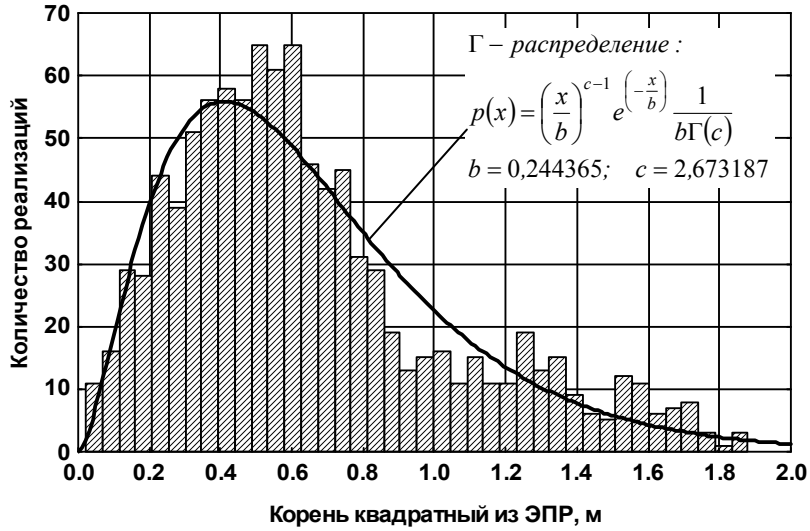


Рис. 3.318. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – сухой суглинок)

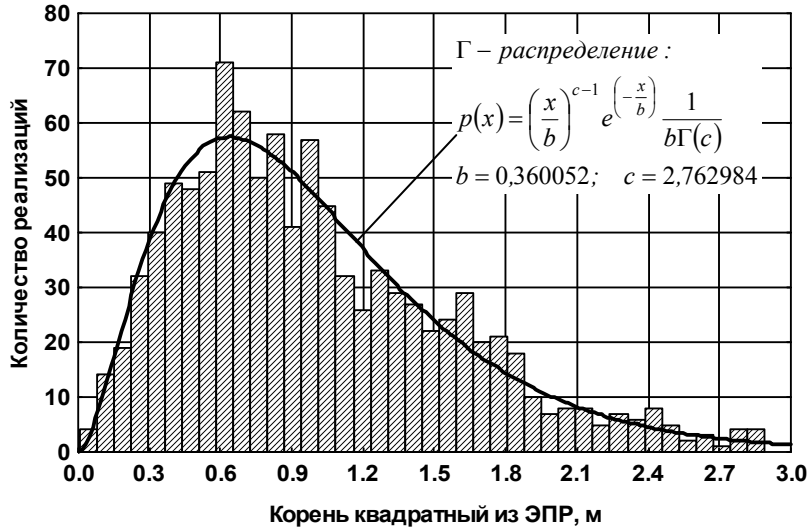


Рис. 3.319. Распределение амплитудного множителя отраженного сигнала в диапазоне азимутов 10°...30° при зондировании на горизонтальной поляризации ($\varepsilon = 30°$, подстилающая поверхность – влажный суглинок)

Таблица 3.13. Параметры законов распределения амплитуд отраженного сигнала при угле места зондирования 30°

Диапазон азимутов	Тип грунта	Поляризация зондирующего сигнала	Тип распределения	Параметры распределения
–10°...+10°	сухой суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла: $p(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^{c}}$	$b=2{,}018514$ $c=1{,}48781$
		вертикальная	Γ -распределение: $p(x)=\left(\frac{x}{b}\right)^{c-1}e^{\left(-\frac{x}{b}\right)}\frac{1}{b\Gamma(c)}$, где $\Gamma(c)$ – гамма-функция	$b=0{,}988648$ $c=1{,}84323$
	влажный суглинок	горизонтальная	распределение Вейбулла	$b=2{,}502363$ $c=1{,}552444$
		вертикальная	Γ -распределение	$\mu=1{,}133567$ $\sigma=1{,}817716$
10°...30°	сухой суглинок	горизонтальная	Γ -распределение	$b=0{,}244365$ $c=2{,}673187$
		вертикальная	Γ -распределение	$b=0{,}200213$ $c=2{,}838689$
	влажный суглинок	горизонтальная	Γ -распределение	$b=0{,}360052$ $c=2{,}762984$
		вертикальная	Γ -распределение	$b=0{,}230819$ $c=3{,}47689$