

составляет $0,74 \text{ м}^2$ при ЭПР полностью покрытой модели $0,23 \text{ м}^2$, а идеально проводящей – $6,81 \text{ м}^2$. Анализ рисунков показывает существенное отличие между вариантами оптимального распределения ограниченного количества РПМ для двух различных диапазонов углов облучения самолета.

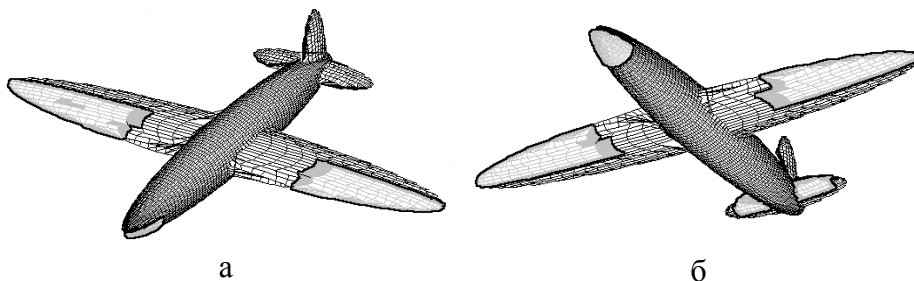


Рис. 2.36. Оптимальное распределение для усреднения ЭПР в диапазоне изменения азимута $-20^\circ \dots +20^\circ$ и угла места $0^\circ \dots -20^\circ$

Предложенный метод оптимизации использования РПМ на поверхности объекта сложной формы является простым и легко реализуемым в виде алгоритмов и программ для ЭВМ. С его помощью получена приближенная оценка снижения ЭПР в конечных диапазонах изменения ракурсов облучения и приема при оптимальном использовании РПМ на части поверхности объекта. Можно сделать вывод, что для широкого диапазона ракурсов можно достичь существенного снижения ЭПР, используя РПМ только на 20–25% поверхности модели.

2.2.7 Снижение уровня вторичного излучения кромочного локального участка рассеяния за счет изменения его формы

В данном пункте предлагается способ снижения обратного вторичного излучения кромочного локального участка рассеяния. В основе предлагаемого способа лежит метод расчета характеристик рассеяния изломов поверхности радиолокационных объектов, описанный в п.2.2.4. Проводится анализ результатов расчетов

эффективной поверхности рассеяния модельной кромки в зависимости от ее формы.

Практически все радиолокационные объекты (аэродинамические и наземные) имеют на своей поверхности изломы (острые кромки). Наличие изломов на поверхности может приводить к увеличению ЭПР объекта. В связи с этим необходимо, во-первых, учитывать вклад кромочных локальных участков в общее поле, рассеянное объектом, во-вторых, принимать меры по снижению уровня вторичного излучения кромок.

При расчетах использован метод оценки вклада кромочных локальных участков рассеяния, снабженных радиопоглощающими покрытиями, во вторичное излучение объекта [33, 55]. В основе использованного метода лежит решение модельной задачи о произвольном падении плоской электромагнитной волны на идеально проводящий клин с радиопоглощающим цилиндром на ребре [45]. В качестве примера рассмотрим острую прямолинейную кромку длиной 0,6 м (рис. 2.37). Внешний угол кромки равен 360° (кромка плоская). Облучение проводилось в плоскости граней кромки, азимут 0° соответствует нормальному падению зондирующей волны на кромку. Азимуты -90° и 90° соответствуют зондированию вдоль линии прямой кромки. Вектор поляризации падающей волны \vec{p} параллелен плоскостям граней кромки. Длина зондирующей волны равна 3 см. На рис. 2.38 приведена зависимость ЭПР прямолинейной кромки от азимута зондирования.

Зависимость ЭПР имеет главный максимум при нормальном падении зондирующей волны на кромку ($0,08 \text{ м}^2$). Ширина главного максимума порядка полутора градусов по уровню 0,5. Несмотря на достаточно узкий диапазон углов, в котором данная кромка может вносить вклад в общее поле, рассеянное объектом, может возникнуть задача, требующая снижения максимального уровня ЭПР при зондировании данного кромочного участка при любых ракурсах зондирования либо в заданном диапазоне углов (например, снижение ЭПР при нулевом азимуте).

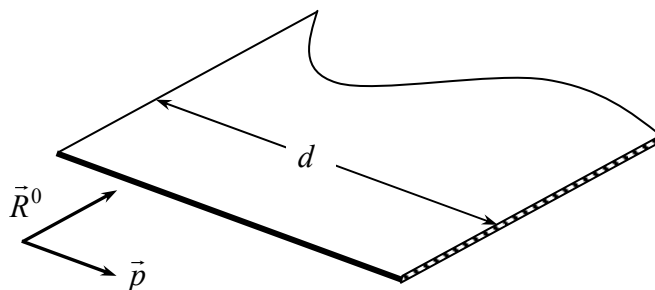


Рис. 2.37. Прямолинейная кромка

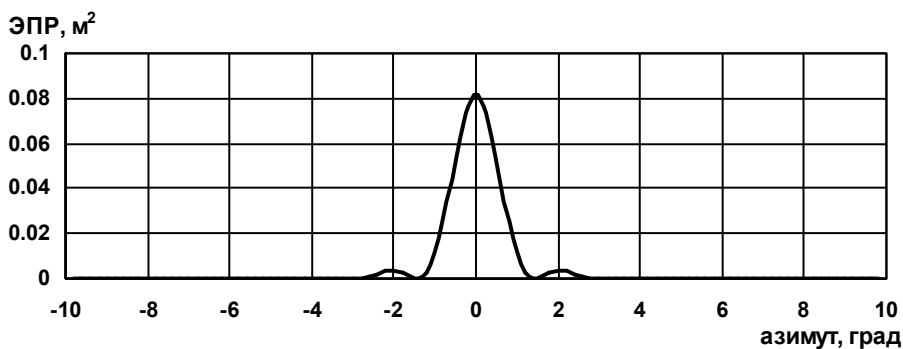


Рис. 2.38. Зависимость ЭПР прямолинейной кромки от азимута

В качестве альтернативы прямой кромке рассмотрены следующие варианты: пилообразный излом кромки (рис. 2.39а), три пилообразных излома кромки (рис. 2.39б), кромка в виде участка окружности (рис. 2.39в), кромка в виде трех одинаковых участков окружности (рис. 2.39г). Во всех рассматриваемых случаях расстояние d между крайними точками кромок фиксировано. В качестве изменяемого параметра для всех четырех вариантов принята высота зубца (сегмента окружности) h .

На рис. 2.40 представлены зависимости ЭПР от азимута для кромки в виде одного пилообразного излома (рис. 2.39,а). Тонкой линией приведена зависимость ЭПР при высоте зубца $h=0,05$ м, толстой линией – при высоте зубца излома $h=0,10$ м. Максимумы рассеяния соответствуют направлениям ортогонального зондирования участков кромки.

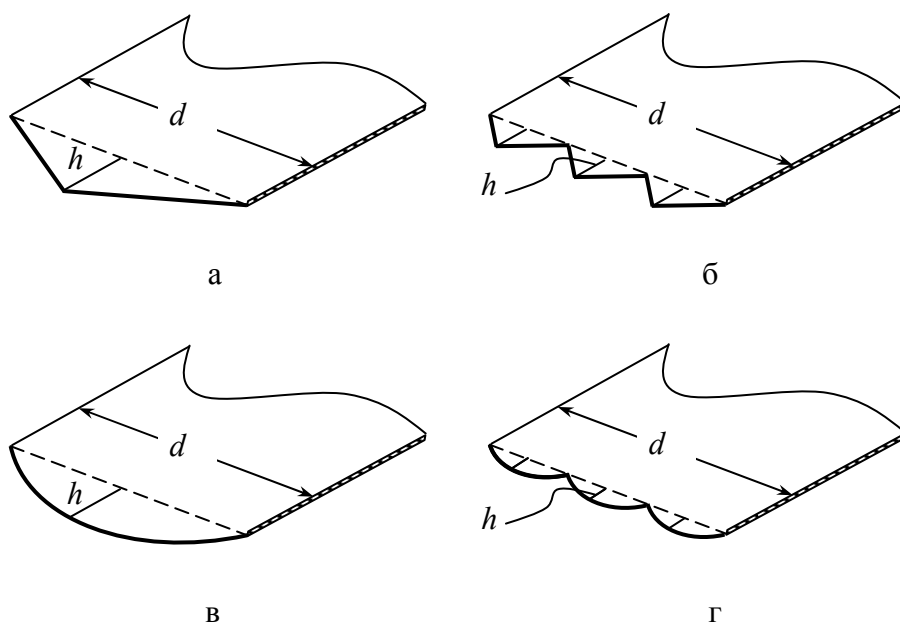


Рис. 2.39. Варианты изменения формы кромочного локального участка рассеяния

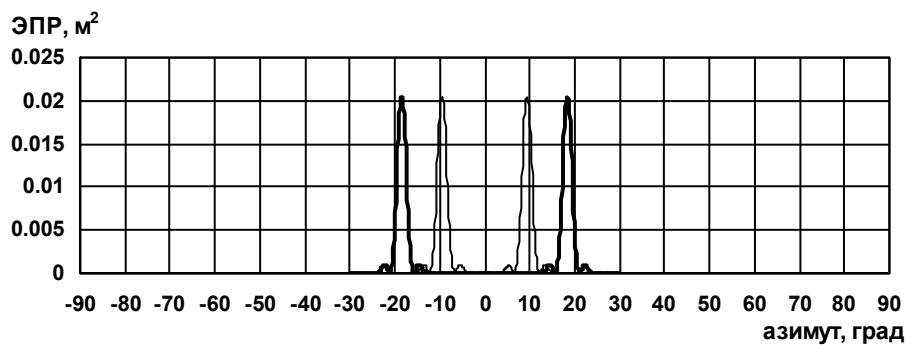


Рис. 2.40. Зависимости ЭПР одного пилообразного излома от азимута зондирования

Как следует из приведенных графиков, использование пилообразного излома приводит к снижению максимального уровня ЭПР в четыре раза и уходу направлений максимумов рассеяния с нулевого азимута. "Платой" за этот выигрыш является

появление двух направлений зондирования, на которых ЭПР максимальна, а также расширение главных максимумов до 4° . Амплитуда и ширина максимумов при описанных изменениях высоты зубца h практически не изменяется, поскольку эти параметры определяются длиной участков кромки.

На рис. 2.41 приведены зависимости ЭПР от азимута зондирования для кромки в виде трех пилообразных изломов. Изломы именно такого вида использованы при снижении ЭПР кромок воздухозаборников бомбардировщика В2 [47]. Тонкой линией приведена зависимость ЭПР при высоте зубца $h=0,02$ м, толстой линией – при высоте зубца излома $h=0,05$ м. Также как и в случае одного пилообразного излома, максимумы рассеяния соответствуют направлениям зондирования, перпендикулярным парциальным участкам кромки. Значения максимумов ЭПР ниже, чем для кромки в виде одного излома. Разница в амплитудах главных максимумов определяется когерентным сложением вкладов участков кромки. Ширина максимумов ЭПР составляет уже величину порядка 10° , что объясняется уменьшением длины прямолинейных участков изломов.

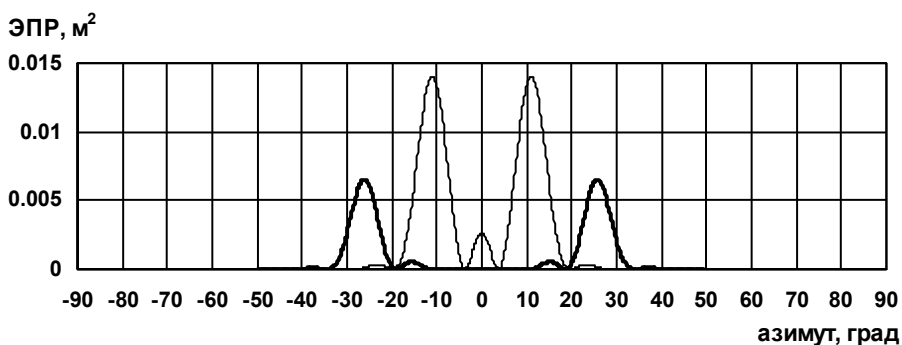
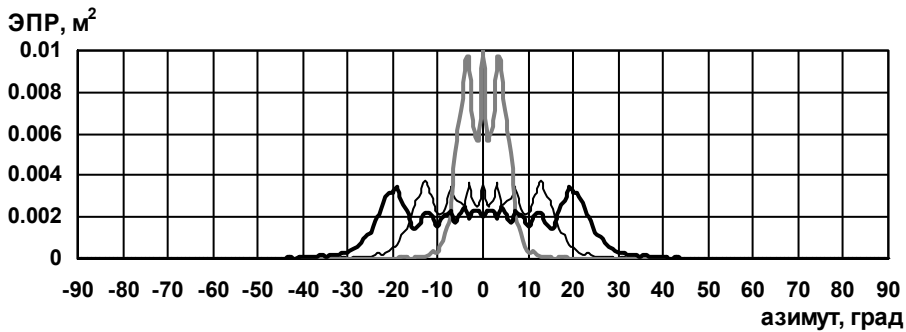


Рис. 2.41. Зависимости ЭПР трех пилообразных изломов от азимута зондирования

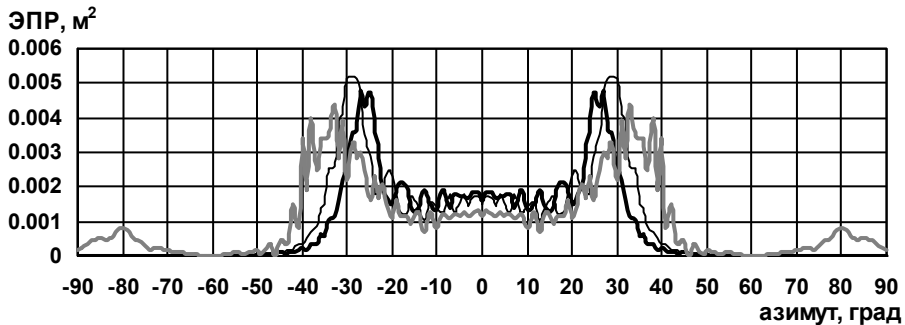
При оценке вклада прямолинейных изломов и изломов с эллиптической кромкой в общее поле, рассеянное объектом слож-

ной формы [33], было показано, что криволинейные изломы вносят меньший по величине вклад, однако в более широком диапазоне углов зондирования.

На рис. 2.42 представлены зависимости ЭПР от азимута для кромки в виде одного участка окружности (рис. 2.39в). На рис. 2.42а серой линией приведена зависимость ЭПР кромки при высоте сегмента окружности 0,02 м, тонкой линией – зависимость ЭПР при высоте сегмента окружности 0,05 м, толстой черной линией – зависимость ЭПР при высоте сегмента окружности $h=0,07$ м. На рис. 2.42б толстой черной линией приведена зависимость ЭПР при высоте сегмента окружности 0,09 м, тонкой линией – ЭПР при высоте сегмента окружности 0,10 м, серой линией – ЭПР при высоте сегмента окружности 0,15 м.



а



б

Рис. 2.42. Зависимости ЭПР от азимута для кромки в виде участка окружности

Как видно из приведенных зависимостей, уже при использовании сегмента высотой $h=0,02$ м происходит снижение ЭПР при нулевом азимуте в восемь раз по сравнению с ЭПР прямолинейной кромки, однако при этом происходит расширение главного максимума до 12° . Увеличение высоты сегмента приводит к дальнейшему расширению диапазона азимутов зондирования, при которых ЭПР кромки превышает $0,001 \text{ м}^2$.

Анализ графиков на рис. 2.42 показывает, что более приемлемой является высота сегмента $h=0,07$ м. Ширина диапазона азимутов зондирования, при котором ЭПР кромки превышает $0,001 \text{ м}^2$, составляет 50° , при этом практически во всем диапазоне зависимость ЭПР колеблется в районе $0,002 \text{ м}^2$, за исключением двух локальных максимумов ($0,0035 \text{ м}^2$). Необходимо отметить, что высота сегмента должна выбираться исходя из конструктивных особенностей того объекта, на котором расположен оптимизируемый кромочный локальный участок рассеяния. При этом использование кромок в виде участка окружности с любой высотой сегмента большей 5 см также является приемлемым с точки зрения снижения вторичного излучения излома поверхности, поскольку ЭПР такой кромки при любом ракурсе зондирования не превышает $0,005 \text{ м}^2$.

На рис. 2.43. приведены зависимости ЭПР от азимута для кромки в виде трех участков окружностей (рис. 2.39г).

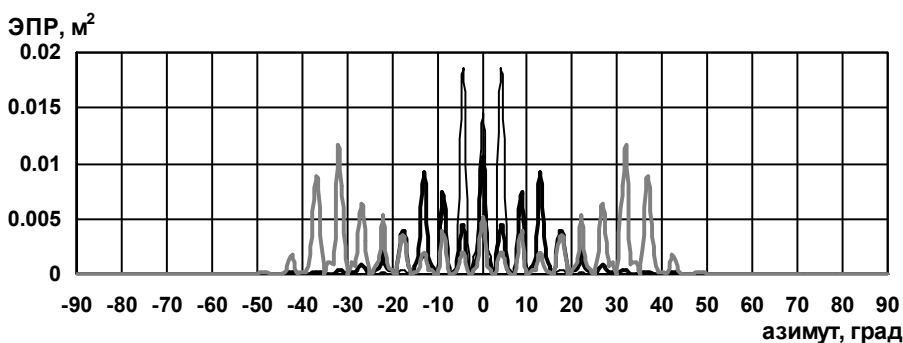


Рис. 2.43. Зависимости ЭПР от азимута для кромки в виде трех участков окружности

Зависимость ЭПР для кромки из трех сегментов высотой 1 см приведена тонкой линией, для сегментов высотой 2 см – черной толстой линией, для сегментов высотой 5 см – серой линией. Все приведенные зависимости имеют осциллирующий характер, определяемый когерентным сложением откликов от отдельных сегментов. Максимумы ЭПР для большинства зависимостей превышают $0,01 \text{ м}^2$, что существенно выше, чем для кромки, образованной одним сегментом. При этом ширина максимумов не превышает 2° , а при диапазоне азимутов зондирования $-40^\circ \dots 40^\circ$ зависимость ЭПР имеет 17 пиков, большинство из которых по амплитуде превышает $0,005 \text{ м}^2$. При этом максимумы зависимости ЭПР излома при высоте сегментов 2 см сконцентрированы в диапазоне ракурсов $-15^\circ \dots 15^\circ$ и их амплитуда не превышает $0,01 \text{ м}^2$.

Так как кромка состоит из трех сегментов, на каждом из которых практически при любом угле зондирования возникает локальный центр рассеяния ("блестящая точка"), то можно сказать, что величина максимумов будет существенно изменяться от длины зондирующей волны. В связи с этим использование излома в виде конкретной конфигурации из нескольких секторов приводит к снижению его ЭПР в довольно узком частотном диапазоне зондирующих сигналов.

Изменение формы кромочного локального участка рассеяния позволяет существенно снизить максимальный уровень его ЭПР. Выбор формы кромки определяется требованиями, выдвигаемыми к максимальным значениям ЭПР излома и к характеру зависимости ЭПР от азимута зондирования.

2.3. Метод расчета характеристик рассеяния наземных объектов сложной формы

Предлагаемый метод основывается на методе расчета характеристик рассеяния уединенного объекта, представленном в подразделе 2.1, но дополнительно позволяет учитывать наличие и