

2.2.6. Снижение средней ЭПР объекта сложной формы за счет оптимального распределения ограниченного количества РПМ на его поверхности

Существенный вклад в значение ЭПР объекта сложной формы вносят участки локального рассеяния на гладких выпуклых элементах поверхности [32, 33]. В целях маскировки именно эти участки поверхности объектов сложной формы покрывают РПМ. РПП обычно имеет довольно значительные вес и стоимость. В связи с этим возникает задача наиболее эффективного расположения РПМ на поверхности объекта с целью снижения ЭПР для определенных ракурсов облучения и приема при ограничении на количество используемого РПМ.

В данном подразделе предлагается метод покрытия поверхности объекта сложной формы РПМ, позволяющий заметно снизить среднюю ЭПР объекта в заданном диапазоне направлений облучения и приема при ограничении на площадь поверхности, снабженной РПП. Указанный квазиоптимальный выбор нанесения РПП осуществляется путем решения некоторой задачи целочисленного линейного программирования. Также приводятся результаты оптимизации нанесения РПП для упрощенной модели самолета и оценивается выигрыш в ЭПР модели для различных секторов облучения и приема.

Конструкционные особенности объекта и технология нанесения РПМ определяют разбиение поверхности на ряд участков, каждый из которых либо снабжен РПП, либо является идеально проводящим. При этом ЭПР объекта (некогерентная) приближенно может быть представлена в виде суммы парциальных ЭПР указанных участков

$$\sigma(\theta) = \sum_{i=1}^N \sigma_i(\theta), \quad (2.83)$$

где N – количество участков разбиения поверхности объекта, θ –

угол облучения или приема, функцией которого является ЭПР. Поскольку в конечном итоге нас будут интересовать значения ЭПР объекта, усредненные в некотором диапазоне углов облучения или приема, то приближенное представление ЭПР формулой (2.83) вполне приемлемо для проведения расчетов. При этом для расчета парциальных ЭПР отдельных участков использован метод, предложенный в п. 2.2.1.

Введем среднюю ЭПР всего объекта и среднюю ЭПР i -го участка поверхности для диапазона углов $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sigma(\theta) d\theta, \quad (2.84)$$

$$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sigma_i(\theta) d\theta. \quad (2.85)$$

Проведя усреднение в указанном диапазоне для соотношения (2.83), получим

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=1}^N \bar{\sigma}_i. \quad (2.86)$$

Именно сумму парциальных ЭПР отдельных участков поверхности (2.86), усредненных в конечном диапазоне углов облучения или приема, и будем минимизировать. Введем обозначения для ЭПР i -го участка поверхности объекта сложной формы: $\bar{\sigma}_{i1}$ — средняя ЭПР i -го участка в случае идеально проводящей поверхности в указанном диапазоне углов, $\bar{\sigma}_{i2}$ — средняя ЭПР этого же участка в случае использования на его поверхности РПМ. В таком случае для ЭПР объекта сложной формы, полностью покрытого РПМ, можно записать

$$\bar{\sigma}_2 = \sum_{i=1}^N \bar{\sigma}_{i2}. \quad (2.87)$$

Вычитая (2.87) из (2.86), получим:

$$\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_2 = \sum_{i=1}^N (\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma}_{i2}) = \sum_{i=1}^N \kappa_i (\bar{\sigma}_{i1} - \bar{\sigma}_{i2}) = \sum_{i=1}^N \kappa_i \Delta \sigma_i. \quad (2.88)$$

Здесь κ_i – целочисленный коэффициент, равный нулю, если i -ый участок поверхности объекта покрыт РПМ, и единице, если этот участок идеально проводящий.

Пусть S_0 – максимально возможная площадь поверхности объекта, допускающая покрытие РПМ, S – полная площадь поверхности объекта ($S_0 < S$), причем

$$S = \sum_{i=1}^N S_i. \quad (2.89)$$

Запишем ограничение на площадь используемого РПП с помощью $\kappa_i (i = 1, \dots, N)$:

$$\sum_{i=1}^N (1 - \kappa_i) S_i \leq S_0 \quad (2.90)$$

или

$$\sum_{i=1}^N \kappa_i S_i \geq S - S_0. \quad (2.91)$$

Решение задачи квазиоптимального размещения РПМ на поверхности объекта свелось к задаче целочисленного программирования – нахождению набора бинарных коэффициентов κ_i , минимизирующего выражение (2.88) и удовлетворяющего ограничительному условию (2.91). Решение указанной задачи целочислен-

ного линейного программирования может быть проведено одним из стандартных методов, например, аддитивным алгоритмом либо методом ветвей и границ [56].

В качестве иллюстрации применения метода была использована упрощенная модель самолета (рис. 2.30), состоящая из четырех трехосных эллипсоидов. Размеры полуосей эллипсоидов: фюзеляж – $a = 1,25$ м, $b = 1,25$ м, $c = 9$ м; крылья – $a = 0,5$ м, $b = 11$ м, $c = 2$ м; горизонтальный стабилизатор – $a = 0,3$ м, $b = 3$ м, $c = 1$ м; вертикальный стабилизатор – $a = 3$ м, $b = 0,3$ м, $c = 1$ м. Центры эллипсоидов фюзеляжа и крыльев совмещены и смещены относительно центров эллипсоидов стабилизаторов на расстояние 7,6 м.

ЭПР модели рассчитывалась при частоте зондирующего сигнала 10 ГГц. При расчетах использован РПМ толщиной 1,3 мм с относительными проницаемостями $\epsilon'_1 = 20 + j0,1$, $\mu'_1 = 1.35 + j0,8$. Данный материал обеспечивает снижение коэффициента отражения проводящей пластины на 15 дБ при нормальном падении и зондирующем сигнале с указанной частотой.

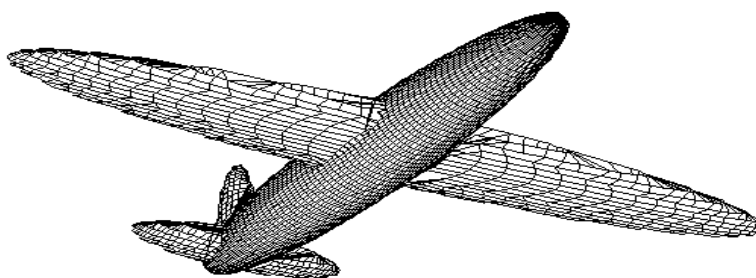


Рис. 2.30. Модель самолета

Для оценки ЭПР частично покрытой модели самолета поверхность объекта была разбита на 140 частей с площадями от 0,3 до 4,5 м². Были получены значения средних парциальных ЭПР для каждого участка поверхности при наличии и отсутствии РПМ для различных диапазонов углов облучения и приема.

На рис. 2.31 представлена зависимость средней ЭПР модели самолета от площади оптимально использованного РПМ для азимута $-10^\circ \dots +10^\circ$ относительно оси самолета и углов места $0^\circ \dots -8^\circ$ относительно плоскости крыла (совмещенный прием при облучении из нижней полусферы).

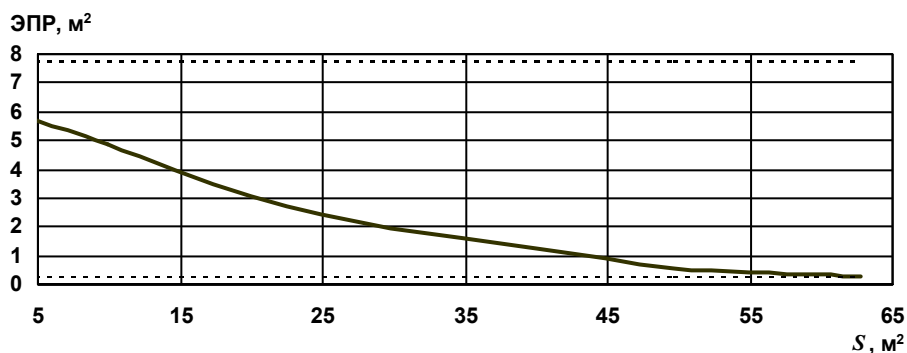


Рис. 2.31. Зависимость средней ЭПР от площади оптимально размещенного РПП при совмещенном приеме

На рис. 2.32 приведена аналогичная зависимость средней ЭПР для разнесенного приема при лобовом зондировании и бистатическом угле, изменяющемся в области: по азимуту $-10^\circ \dots +10^\circ$ и по углу места $0^\circ \dots -8^\circ$. Значение средней ЭПР при разнесенном приеме снижается быстрее чем при совмещенном приеме.

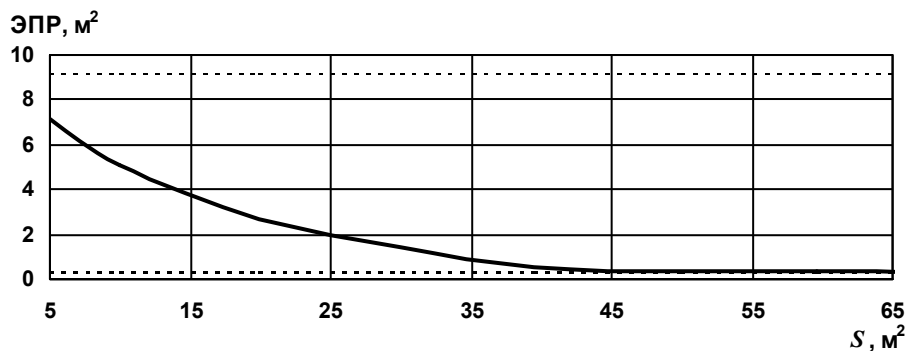


Рис. 2.32. Зависимость средней ЭПР от площади оптимально размещенного РПП при разнесенном приеме

Очевидно, это связано с меньшими перемещениями локальных центров рассеяния на поверхности объекта и, соответственно, несколько иным оптимальным распределением РПМ на поверхности самолета. Приемлемые значения ЭПР достигаются при оптимальном покрытии РПМ всего лишь 20–25% поверхности модели.

Результаты, аналогичные приведенным выше, но полученные при большем телесном угле усреднения, представлены на рис. 2.33, 2.34 соответственно для совмещенного и разнесенного приема.

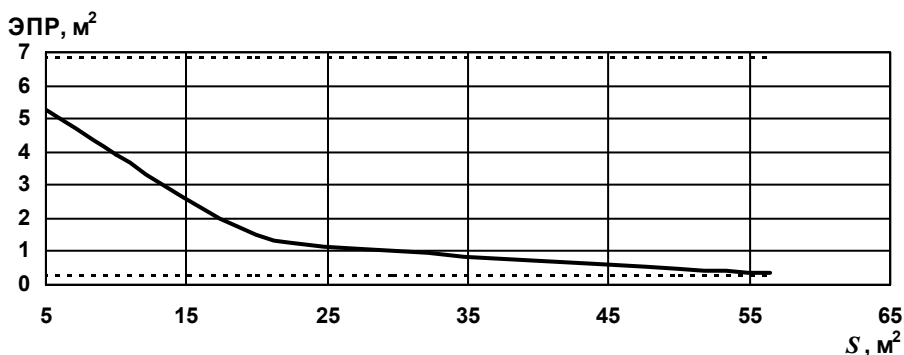


Рис. 2.33. Зависимость средней ЭПР от площади оптимально размещенного РПП при совмещенном приеме и большем телесном угле усреднения

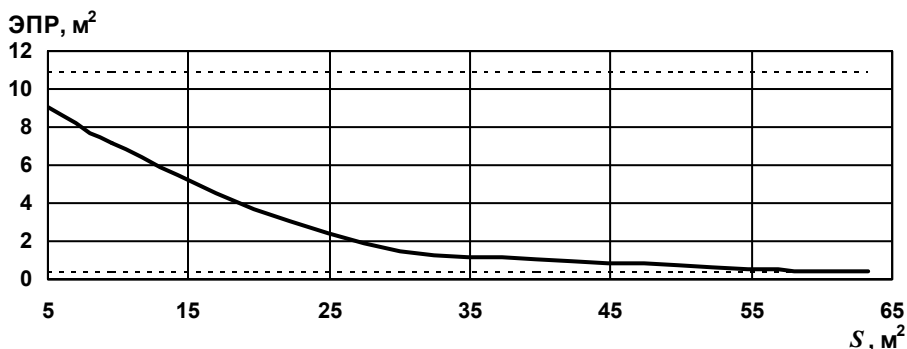


Рис. 2.34. Зависимость средней ЭПР от площади оптимально размещенного РПП при разнесенном приеме и большем телесном угле усреднения

В этом случае усреднение по азимуту проводилось в диапазоне углов $-20^\circ \dots +20^\circ$, а по углу места – $0^\circ \dots -20^\circ$. Необходимо отметить, что при площади РПМ $50 \dots 60 \text{ м}^2$ оптимальное размещение позволяет получить ЭПР, практически равную ЭПР полностью покрытой модели.

В качестве примера квазиоптимального размещения РПМ рассмотрим распределение покрытия по поверхности самолета в двух случаях. На рис. 2.35 представлено оптимальное распределение РПМ для усреднения ЭПР при совмещенном приеме в диапазоне изменения азимута $-5^\circ \dots +5^\circ$ и угла места $-3^\circ \dots +3^\circ$. Вид самолета из верхней полусферы представлен на рис. 2.35а, вид из нижней полусферы – на рис. 2.35б. Места размещения РПМ показаны серым цветом и обведены рамкой.

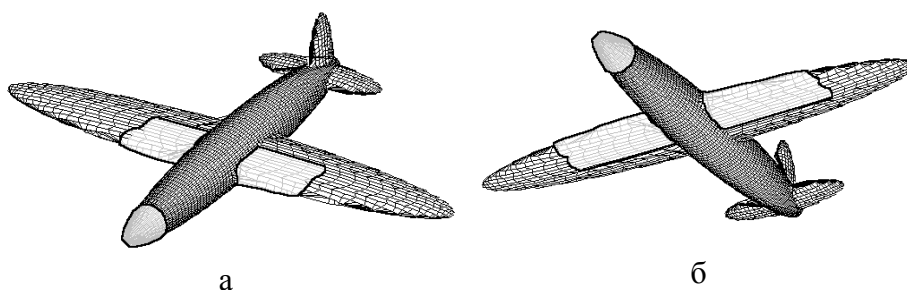


Рис. 2.35. Оптимальное распределение для усреднения ЭПР при совмещенном приеме в диапазоне изменения азимута $-5^\circ \dots +5^\circ$ и угла места $-3^\circ \dots +3^\circ$

Площадь РПМ – 40 м^2 . ЭПР самолета с таким расположением РПМ для лобового ракурса составляет $0,68 \text{ м}^2$ при ЭПР полностью покрытой модели $0,26 \text{ м}^2$, а идеально проводящей $8,11 \text{ м}^2$.

На рис. 2.36 представлено оптимальное распределение РПМ для усреднения ЭПР при совмещенном приеме в диапазоне изменения азимута $-20^\circ \dots +20^\circ$ и угла места $0^\circ \dots -20^\circ$.

Площадь РПМ также составляет 40 м^2 . Средняя ЭПР самолета в заданном телесном угле с таким расположением РПМ

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.

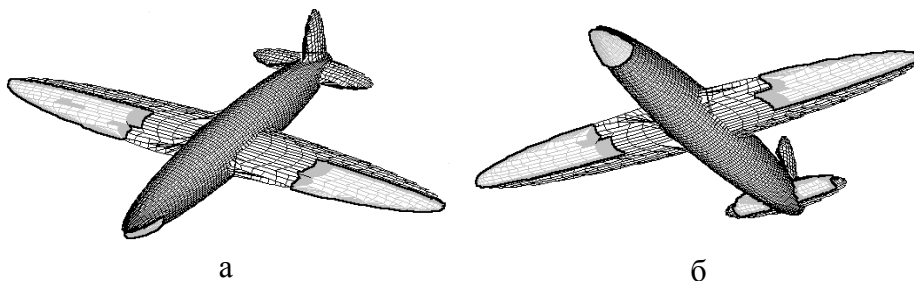


Рис. 2.36. Оптимальное распределение для усреднения ЭПР в диапазоне изменения азимута $-20^\circ \dots +20^\circ$ и угла места $0^\circ \dots -20^\circ$

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