

## КАЧЕСТВЕННО ПОДГОТОВЛЕННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ СНИЖАЕТ ЭПР САМОЛЕТА



**Валерий ВОЖДАЕВ,**  
ведущий научный сотрудник  
ЦАГИ им. проф.  
Н.Е. Жуковского,  
кандидат технических наук

**В**еличина эффективной площади рассеяния (ЭПР), характеризующая радиолокационную заметность летательного аппарата, определяется, в основном, тремя факторами: формой аппарата, используемыми материалами, а также технологией производства (качеством внешней поверхности — волнистостью, наличием ступенек, щелей и т.п.).

Испытания, проведенные за рубежом на малозаметном экспериментальном самолете XST (Experimental Stealth Technology — прототип F-117), показали, что выступающие головки заклепок могут повысить ЭПР самолета на несколько порядков (Зарубежное военное обозрение, 1993, №1). В дальнейшем летные испытания, проведенные в ходе создания американского бомбардировщика B-2, убедительно подтвердили, что выступающие головки заклепок могут значительно увеличить радиолокационную заметность самолета (Richardson D., Stealth Warplanes).

Рассеивающие свойства радиолокационных отражателей качественно и количественно отличаются в зависимости от соотношения размеров отражателя и длины волны электромагнитного поля. По этой причине при изучении частотных свойств объектов различают три основных области:

1) низкочастотную или длинноволновую область, называемую также рэлеевской, где характерные размеры тела малы по сравнению с длиной волны;

2) резонансную область, где характерные размеры тела сравнимы с длиной волны;

3) высокочастотную или коротковолновую область, называемую также оптической, где характерные размеры тела велики по сравнению с длиной волны.

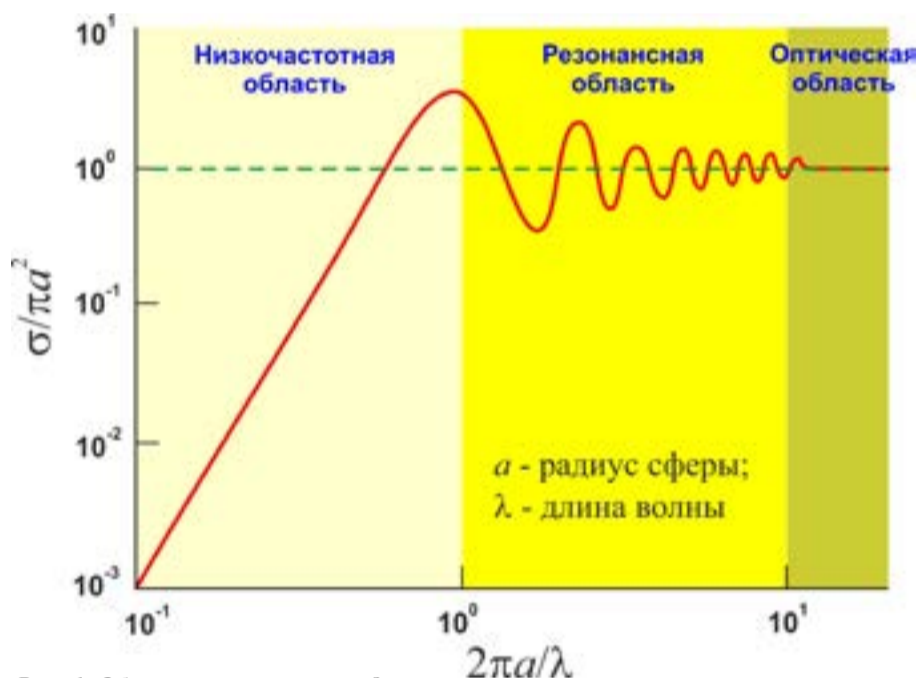


Рис. 1. Области отражения радиоволн

Рассмотрим частотную зависимость ЭПР на примере металлической сферы (рис. 1). При исследовании зависимости рассеивающих свойств от длины волны британским физиком Рэлеем было установлено, что величина отражения в низкочастотной области изменяется обратно пропорционально четвертой степени длины волны или прямо пропорционально четвертой степени волнового числа. Следует отметить, что эта зависимость в низкочастотной (рэлеевской) области характерна для любого объекта, наибольший размер которого значительно меньше длины волны. К таким объектам относятся неоднородности поверхности летательного аппарата (заклепки, сварные точки и т.д.).

Расчеты, выполненные на основании приближения Рэля, показывают, что в сантиметровом диапазоне длин волн величина ЭПР неоднородностей на два-три порядка ниже, чем в миллиметровом диапазоне (рис. 2а). Для количественной оценки вклада ЭПР щелей при длине волны проведена серия расчетов по методике, основанной на вычислении коэффициентов дифракции (IEEE Trans. on Antennas and Propagat., Vol. 37, №6), базирующихся на методе интегральных уравнений для определения погонной величины ЭПР металлической щели длиной 1 м, глубиной 2 мм и шириной, меняющейся от 0,5 до 4 мм (рис. 2 б).

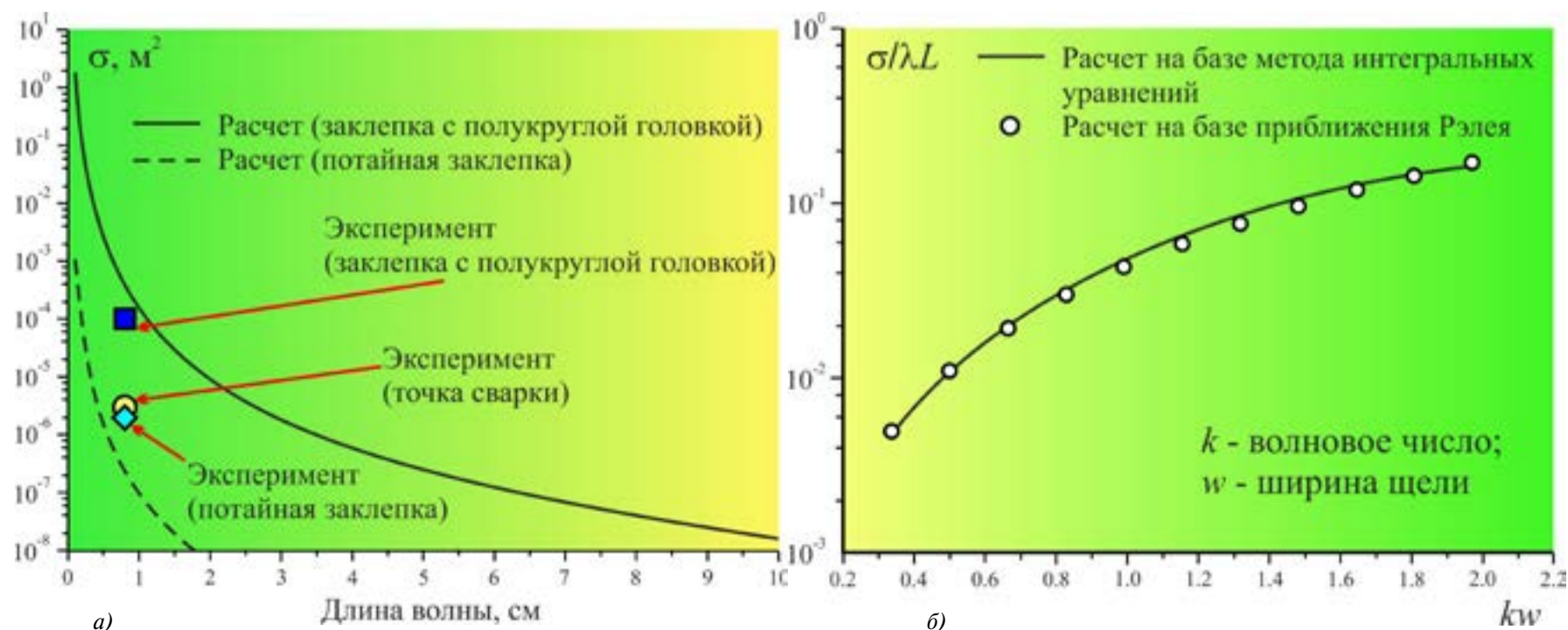


Рис. 2. ЭПР неоднородностей поверхности: а — влияние длины волны на ЭПР заклепки; б — зависимость ЭПР щели глубиной 2 мм от ее ширины

Эти данные достаточно хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью приближения Рэля.

Одним из способов снижения вклада заклепок и щелей может стать подход, примененный на экспериментальном демонстраторе стелс-технологий Boeing «Bird of Prey» (рис. 3). Верхние и нижние части фюзеляжа «Bird of Prey» выполнены практически цельными элементами, изготовленными из композитных материалов. Вследствие чего минимизируется число технологических стыков, отражение от которых имеет большое значение для самолетов с предельно малым уровнем ЭПР.

Динамика роста использования композитных материалов (КМ) в конструкции зарубежных боевых самолетов показана на рис. 4 (The Effects of Advanced Materials on Airframe Operating and Support Costs, Published by RAND, 2003). В конструкции планера истребителя F-22 широко использованы полимерные КМ, включая термопластичные (12%) и терморезистивные (10%) углепластики (Miller J., Lockheed Martin's Skunk Works).

Однако в ряде случаев избежать наличия стыков панелей обшивки непросто. Стыки необходимо группировать вдоль минимального числа направлений (рис. 5). Для сниже-

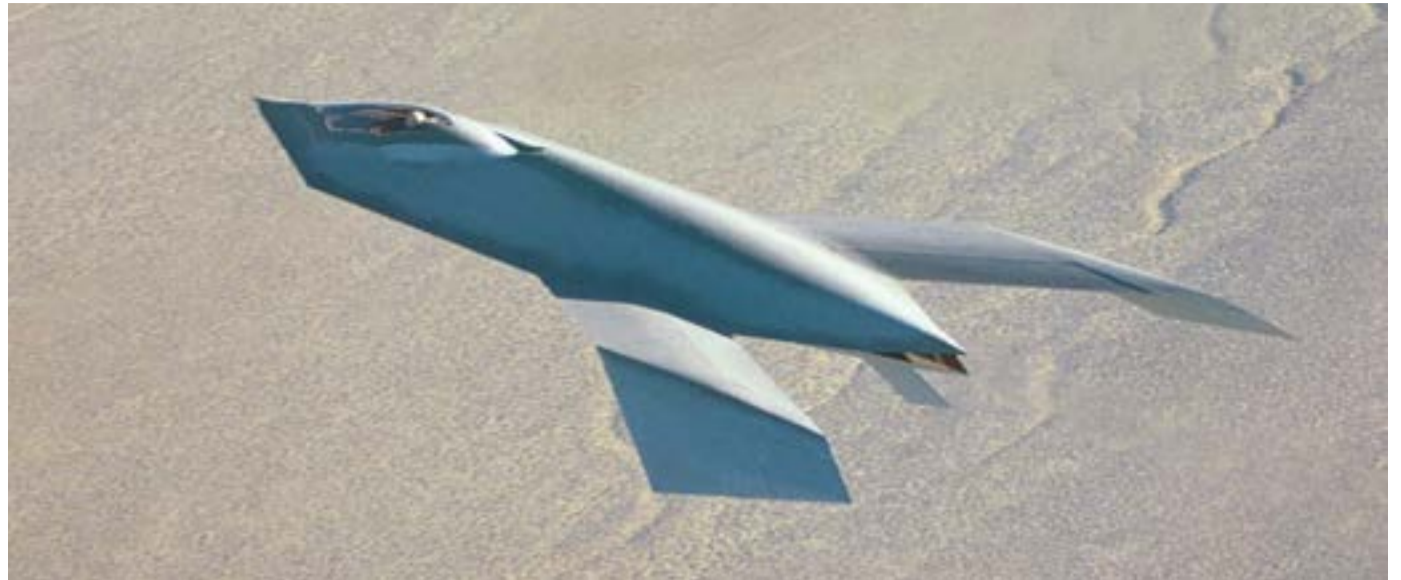


Рис. 3. Зарубежный экспериментальный самолет «Bird of Prey», обладающий предельно малыми величинами ЭПР

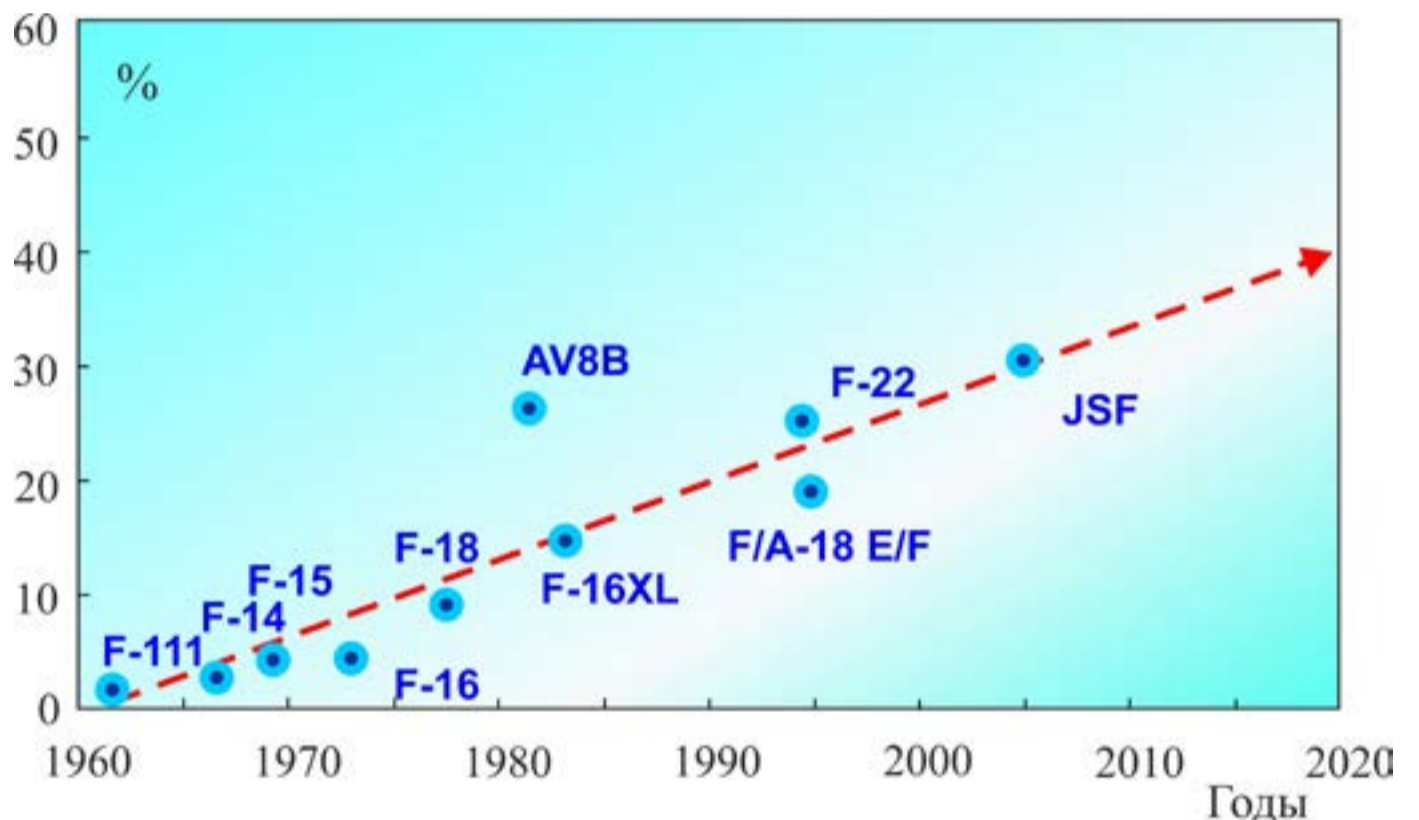


Рис. 4. Доля композитных материалов в общем весе конструкции самолета

ния уровня отражения от кромок отсеков вооружения на зарубежном истребителе пятого поколения F-22 до начала серийного производства планировалась установка 6-7 пилообразных зубцов на один люк. Однако в результате было установлено по 2 зубца на люк, причем они были сделаны больше и длиннее. Большие зубцы потребовали конструктивной доработки для усиления фиксации, которая увеличила вес люков, но в итоге сократилось число дополнительных отражений электромагнитной энергии (Техническая информация ЦАГИ, 1993, №1-2).

На малозаметном самолете B-2 щели на внешней поверхности заделаны

специальными лентами и листами, наклеенными на обшивку. Щели между поверхностями управления и крылом закрываются эластичными полосами. Такой способ был применен на зарубежном экспериментальном истребителе пятого поколения YF-23.

С применением методики, основанной на выражениях, следующих из точных решений интегральных уравнений, было проведено сравнение уровней ЭПР щелей, не заполненных и заполненных тремя различными радиопоглощающими покрытиями (РПП) с заданными радиофизическими характеристиками. Второе покрытие является известным зарубежным РПП Crowloy VX113.

Как следует из результатов расчетов, представленных на рис. 6а для металлической щели глубиной 3 мм, наиболее значительное снижение ЭПР достигается для наполнителя РПП № 3 с большим значением диэлектрической проницаемости. На рис. 6б приведены результаты расчетов ЭПР щелей с одним наполнителем (РПП № 1) и различными материалами дна — металлом, РПП № 1 и воздухом. Наибольшие и наименьшие значения ЭПР достигаются, соответственно, в тех случаях, когда в качестве дна щели используется металл или воздух.

Таким образом, при создании летательного аппарата с предельно малыми уровнями ЭПР необходима тщательная конструктивная и технологическая обработка поверхности для минимизации уровня отражения от неоднородностей и несовершенств поверхности. **АИ**

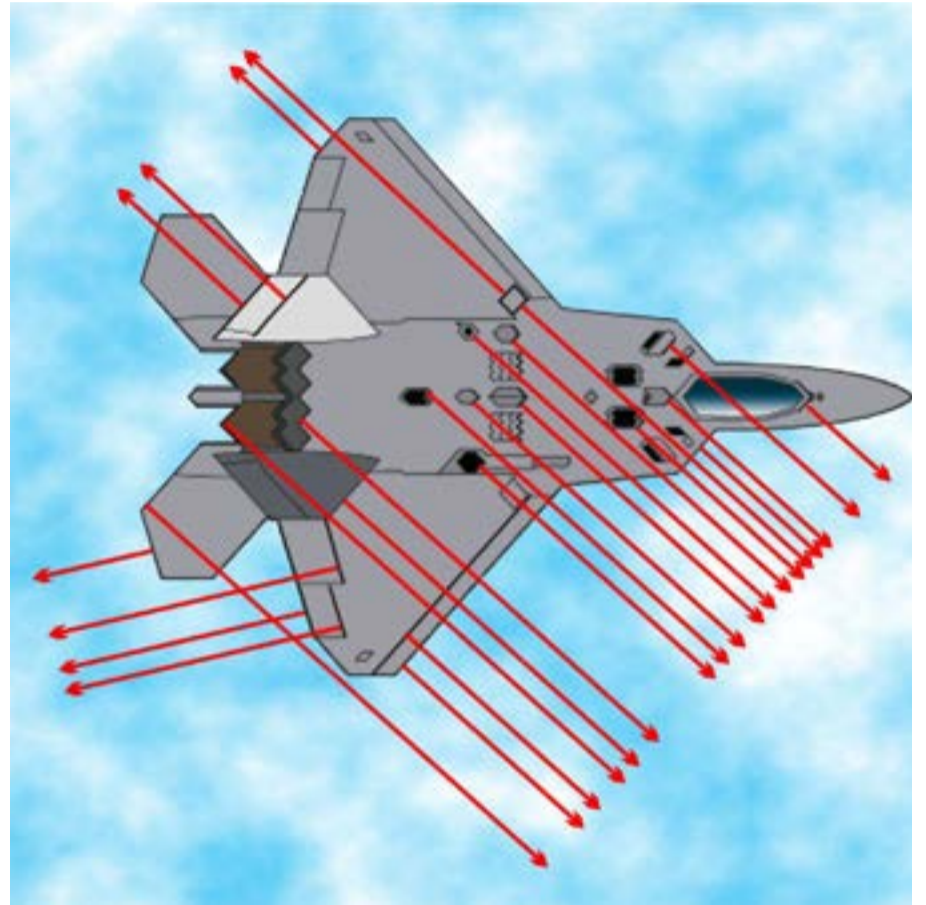


Рис. 5. Направления отражений от элементов внешней поверхности F-22

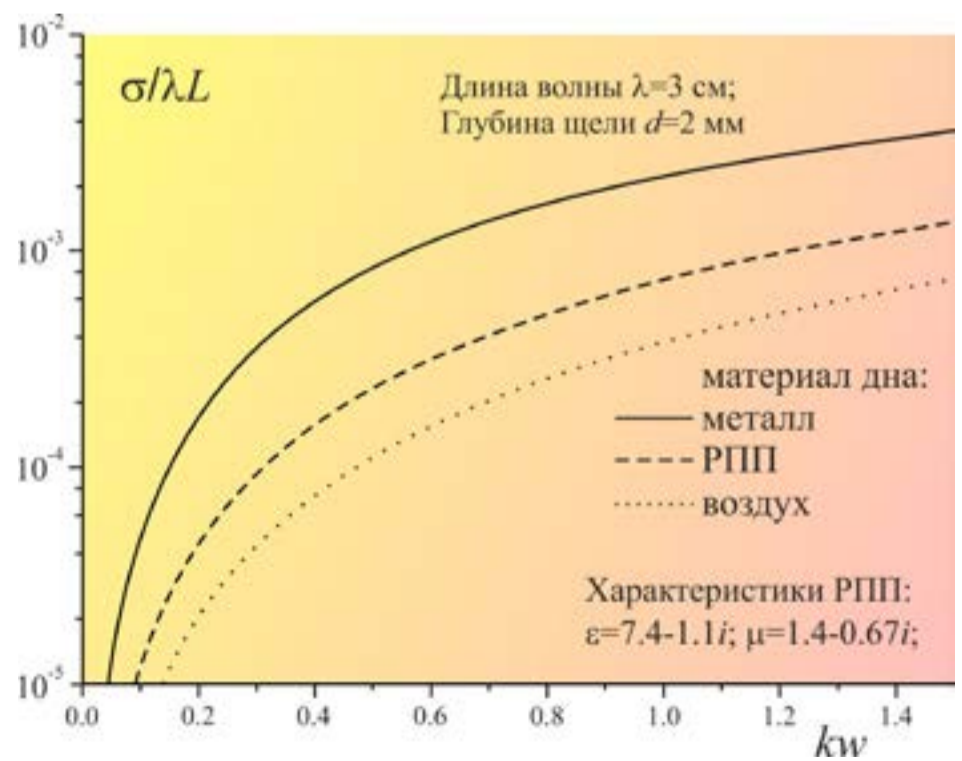
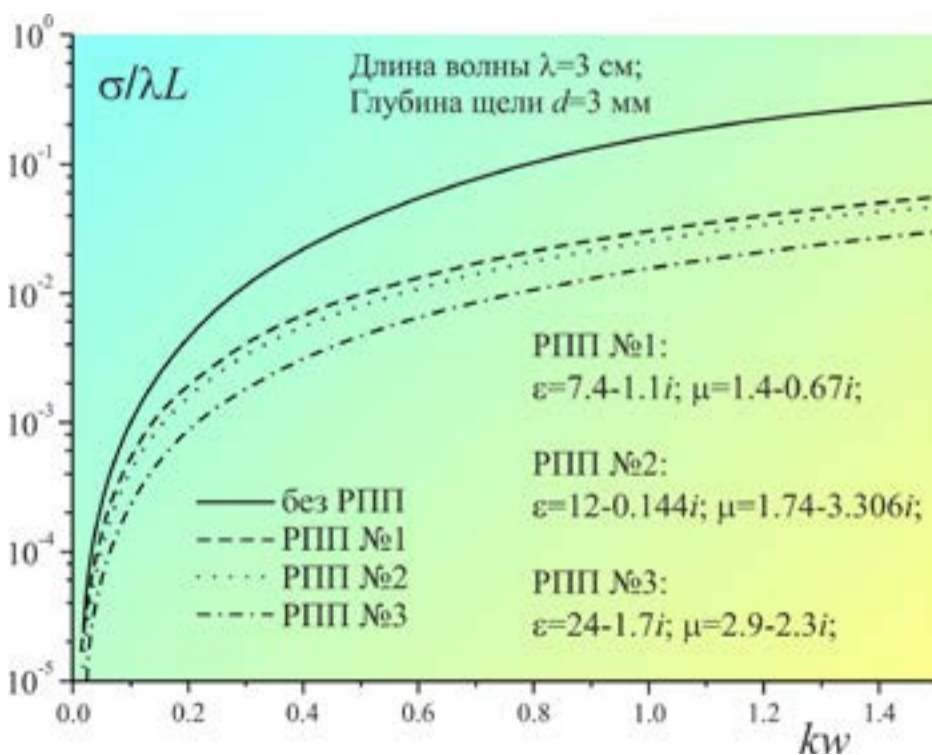


Рис. 6. Влияние РПП на относительную величину ЭПР щели длиной  $L$ : а — РПП на стенках щели; б — РПП на дне щели