

# ВОЗДУХОЗАБОРНИК ОПРЕДЕЛЯЕТ ЭПР САМОЛЕТА В ПЕРЕДНЕЙ ПОЛУСФЕРЕ

Для самолета традиционной компоновки в передней и задней полусферах доминантными рассеивателями являются воздухозаборник и сопло соответственно. Это иллюстрирует полученная с использованием оптических методов диаграмма эффективной площади рассеяния (ЭПР), характеризующая радиолокационную заметность современного зарубежного истребителя типа F-15 (рис. 1). Для летательного аппарата, преодолевающего систему ПВО, наиболее важно обеспечить малую величину ЭПР на ракурсах передней полусферы, поэтому канал воздухозаборника в значительной мере определяет вероятность обнаружения этого летательного аппарата.



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

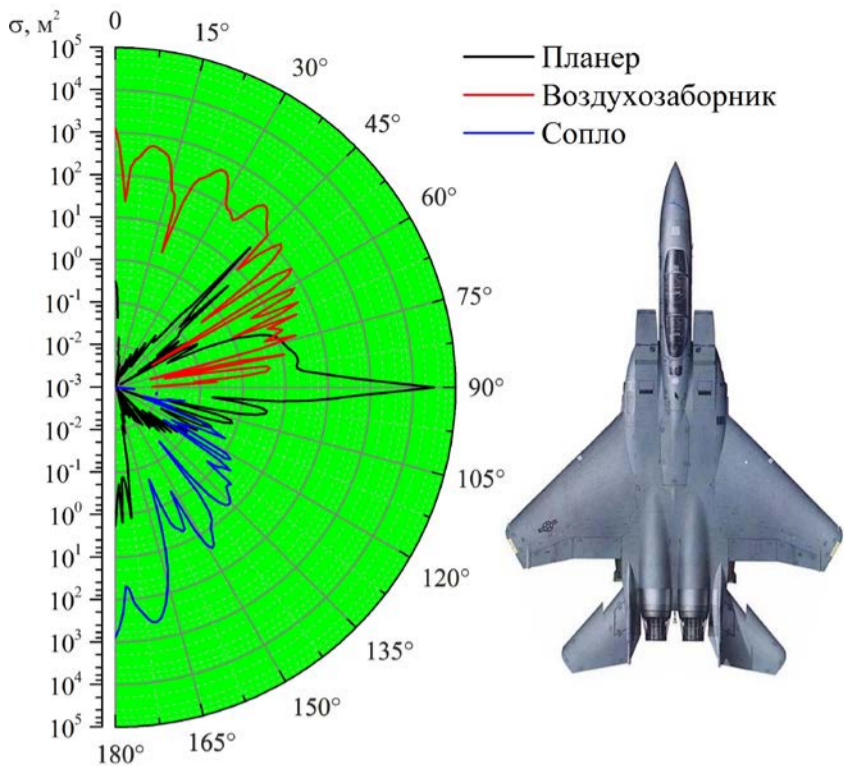


Рис. 1. Диаграмма ЭПР зарубежного истребителя типа F-15

компрессора (рис. 3). Измерения выполнялись на частотах от 6 до 18 ГГц (диапазон длин волн 1,7—5 см) при вертикальной и горизонтальной поляризациях. Для исключения вклада в величину ЭПР от внешней поверхности экспериментальной модели канал был помещен в специальную капсулу малоотражающей оживальной формы. Вклады в общий уровень рассеяния полости воздухозаборника и капсулы выделены отдельно (рис. 4, а).

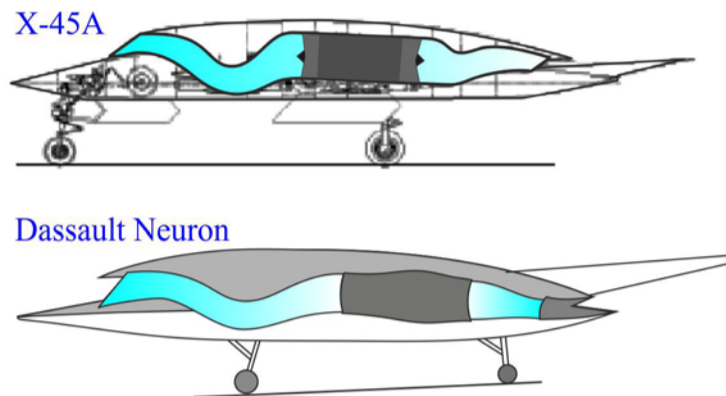


Рис. 2. Каналы воздухозаборников современных зарубежных БПЛА

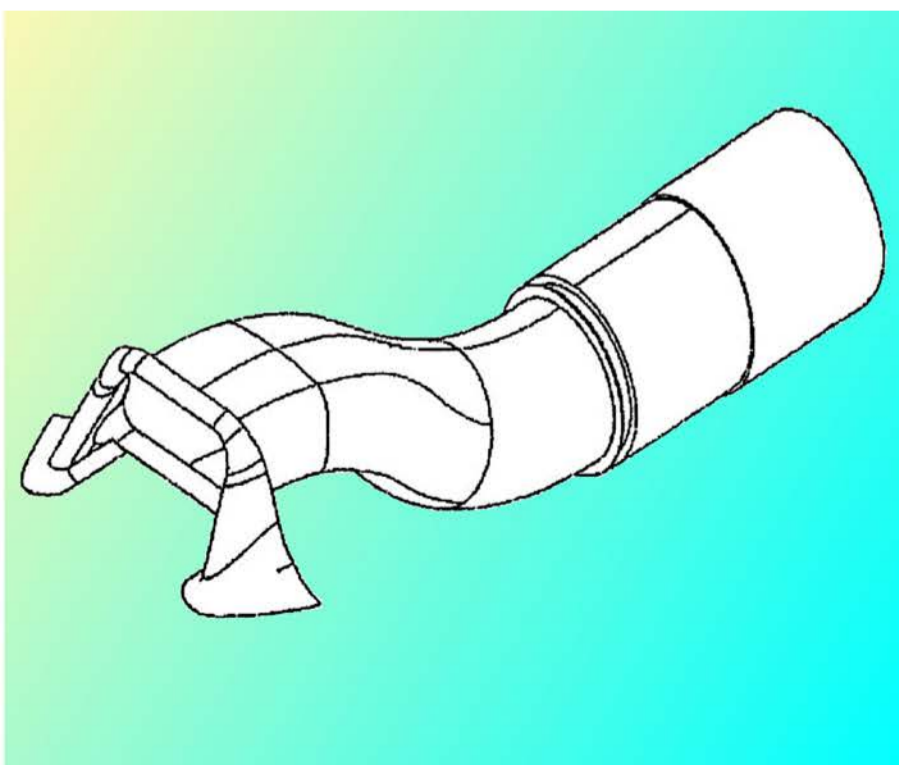
Одним из основных способов снижения вклада воздухозаборника в общую величину ЭПР самолета является применение искривленных каналов воздухозаборника, благодаря которым экранируются зеркальные отражения от первых ступеней компрессоров двигателей. По многочисленным данным, имеющимся в открытых средствах информации, на многих зарубежных малозаметных беспилотных летательных аппаратах (БПЛА X-45А, X-47В, Dassault Neuron и др.) используются воздухозаборники с искривленными (S-образными) каналами (рис. 2). На полигоне закрытого типа, расположенном в центре по исследованию электромагнитных явлений в Южной Африке, в городе Претория, были проведены измерения характеристик заметности модели канала воздухозаборника сложной S-образной формы [IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2000, V.42, №6]. Экспериментальная модель воздухозаборника двигателя включала разделитель канала, а также элементы, имитирующие первую ступень

Среднее значение ЭПР полости с непрямым каналом на осевых ракурсах приблизительно равно  $2S_{\text{вх}}$  ( $S_{\text{вх}}$  – площадь входа в воздухозаборник) [Knott E., Shaeffer J., Tuley M., Radar Cross Section, SciTech Publishing, 2004]. Средний уровень ЭПР канала составляет примерно  $0,063 \text{ м}^2$ , а  $2S_{\text{вх}} = 0,065 \text{ м}^2$  (см. рис. 4, а). Данный результат подтверждает то, что даже при отсутствии прямой видимости первой ступени компрессора полость воздухозаборника отражает значительную часть электромагнитной энергии обратно на радар, и для достижения малых величин ЭПР требуется применение радиопоглощающего покрытия (РПП) (рис. 4, б).

Рис. 3. Измерительная модель для определения характеристик рассеяния канала воздухозаборника S-образной формы: а) — полная модель; б) — полость воздухозаборника



а)



б)

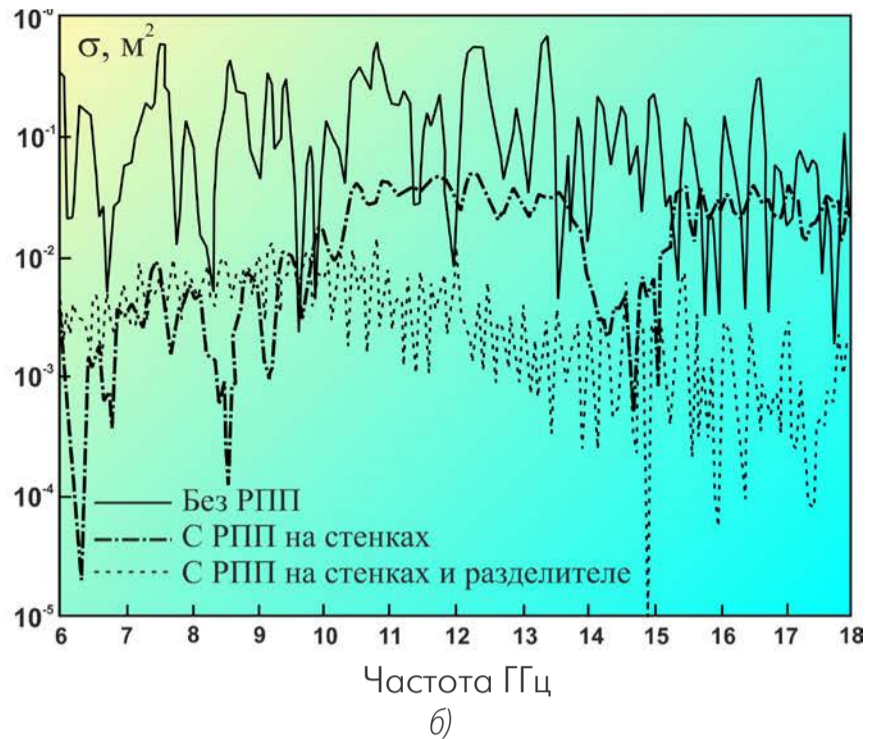
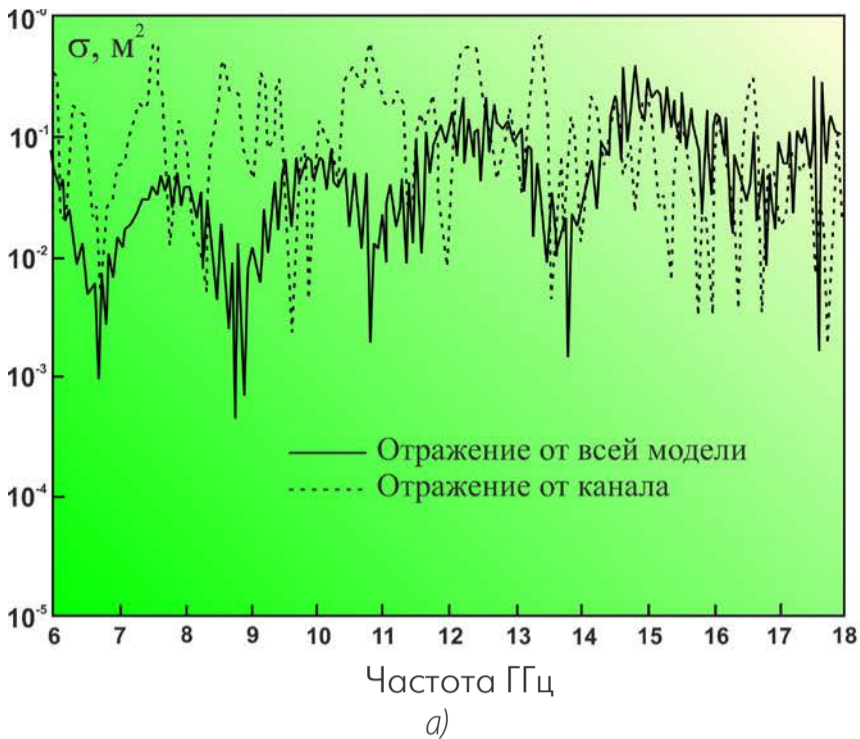


Рис. 4. Заметность модели воздухозаборника на горизонтальной поляризации: а) — вклад полости в общий уровень заметности; б) — влияние РПП на снижение заметности

С использованием метода геометрической оптики (ГО) были проведены расчеты ЭПР канала, показанного на рис. 3. Метод ГО предназначен для определения ЭПР воздухозаборников, размеры которых значительно больше длины облучающей волны. Из результатов расчетов видно (рис. 5), что при частоте меньше 13 ГГц метод ГО дает значения ЭПР, заниженные по сравнению с экспериментальными величинами. Частота 13 ГГц соответствует длине волны 2,3 см. При этом площадь входа в воздухозаборник, являющаяся характерной, равна 0,032 м<sup>2</sup>. Вследствие такого соотношения размеров воздухозаборника и длины волны метод ГО не обеспечивает удовлетворительной точности (см. рис. 5). При увеличении частоты (при уменьшении длины волны) метод ГО начинает работать лучше, и совпадение с экспериментальными данными становится достаточно удовлетворительным.

больше длины облучающей волны. Следует иметь в виду, что в вышеописанном эксперименте использовалась масштабная модель, размеры которой существенно меньше размеров канала реального воздухозаборника. В связи

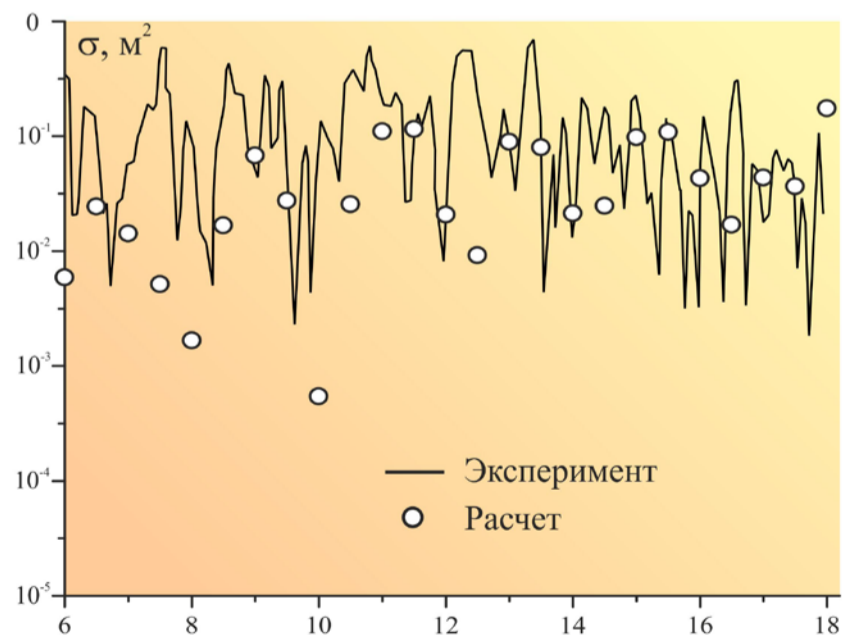


Рис. 5. Сравнение расчетных и экспериментальных значений ЭПР канала S-образной формы

Как продемонстрировано выше, метод геометрической оптики может обеспечить удовлетворительную точность в случаях, когда размеры воздухозаборника значительно

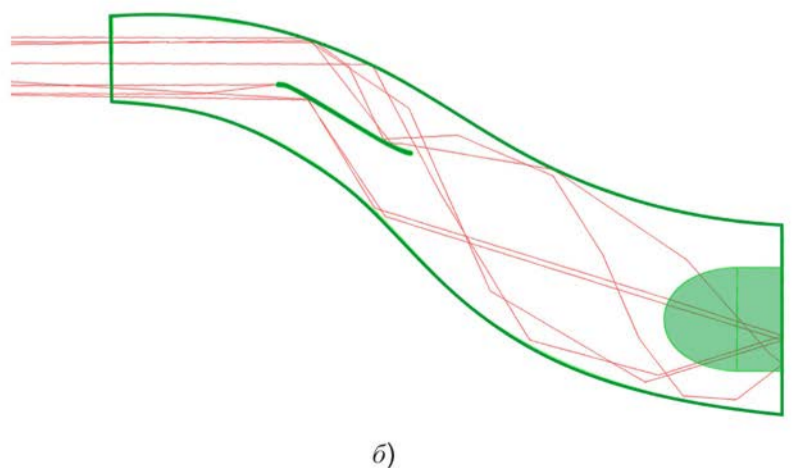
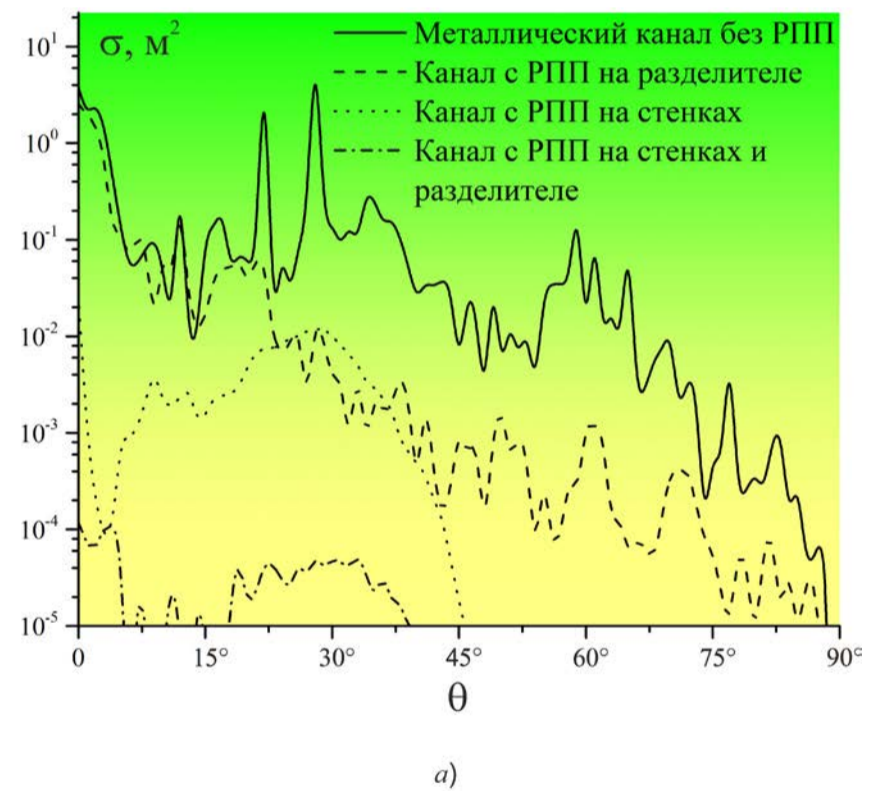


Рис. 6. Характеристики заметности воздухозаборника S-образной формы: а) — диаграмма ЭПР; б) — трассировка лучей внутри канала

с этим были проведены расчеты ЭПР вышеуказанного канала, увеличенного до размеров реальных воздухозаборников. Большинство современных радиолокационных станций работают в сантиметровом диапазоне длин волн, поэтому расчетная длина облучающей волны составила 3,2 см.

Расчеты по методу ГО показывают, что величина ЭПР металлического канала на осевых ракурсах равна примерно  $3,7 \text{ м}^2$  (рис. 6, а). Для летательного аппарата, проектируемого с целью достижения предельно малых значений ЭПР, это серьезный вклад в общий уровень заметности. Применение S-образных каналов существенно снижает ЭПР воздухозаборника за счет экранирования первой ступени компрессора. При этом остается вклад от переотражений лучей падающей волны между стенками канала. Лучевая картина внутри канала воздухозаборника показывает, что на определенных ракурсах облучения часть падающих лучей отражается в направлении на приемную антенну (рис. 6, б). Вклад от переотражений лучей реализуется в достаточно широком диапазоне ракурсов (см. рис. 6, а). В связи с этим, как уже отмечено выше, для удовлетворения требований по обеспечению малой заметности недостаточно канала сложной формы, блокирующего прямую видимость первой ступени компрессора двигателя.

Для устранения вклада от переотражений лучей падающей волны следует покрыть стенки канала поглотителем электромагнитного излучения. В качестве радиопоглощающих покрытий широко применяются интерференционные (резонансные) покрытия, которые состоят из чередующихся слоев диэлектрика и проводящего материала. Слои имеют толщину, равную четверти длины волны или кратную нечетному числу четвертей волны. Вследствие этого отраженные от чередующихся слоев электромагнитные колебания находятся в противофазе. Практическим примером резонансного поглотителя электромагнитных волн может служить зарубежный материал Crowley VX113, диэлектрические и магнитные свойства которого приведены в работе [IEEE Transactions Antennas Propagation, 1987, V.35, №4].

Использование РПП на разделителе потока практически не снижает значения ЭПР на осевых ракурсах. Однако на ракурсах облучения, больших  $20^\circ$ , происходит значительное уменьшение ЭПР из-за наличия РПП на разделителе (см. рис. 6, а). По сравнению с уровнями ЭПР металлического воздухозаборника

уровни ЭПР воздухозаборника с РПП на стенках канала намного ниже, на осевом ракурсе облучения максимальная ЭПР составляет  $0,027 \text{ м}^2$ . Применение РПП на разделителе потока и на стенках канала позволяет реализовать предельно малые уровни ЭПР (см. рис. 6, а).

Еще одним из способов снижения уровня отражения от воздухозаборника является затенение входа в воздухозаборник элементами компоновки ЛА. При расположении воздухозаборника над крылом (такой воздухозаборник использован на В-2 «Spirit») имеет место частичное затенение крылом входа в воздухозаборник при облучении снизу (рис. 7, а). На беспилотных летательных аппаратах (типа Х-45А) воздухозаборник можно разместить в центре фюзеляжа, тогда при облучении снизу будет иметь место затенение входа в воздухозаборник носовой частью аппарата (рис. 7, б). При надфюзеляжном расположении воздухозаборника, примененном на Boeing «Bird of Prey», наблюдается полное затенение входа в воздухозаборник (рис. 7, в). Кроме того, в этом случае полностью отсутствует отражение и от внешней поверхности воздухозаборника.

Таким образом, применяя воздухозаборники затеняемые элементами компоновки ЛА, также воздухозаборники с искривленными каналами, на стенки которых нанесено радиопоглощающее покрытие, возможно практически устранить вклад в общую величину ЭПР самолета от канала воздухозаборника.

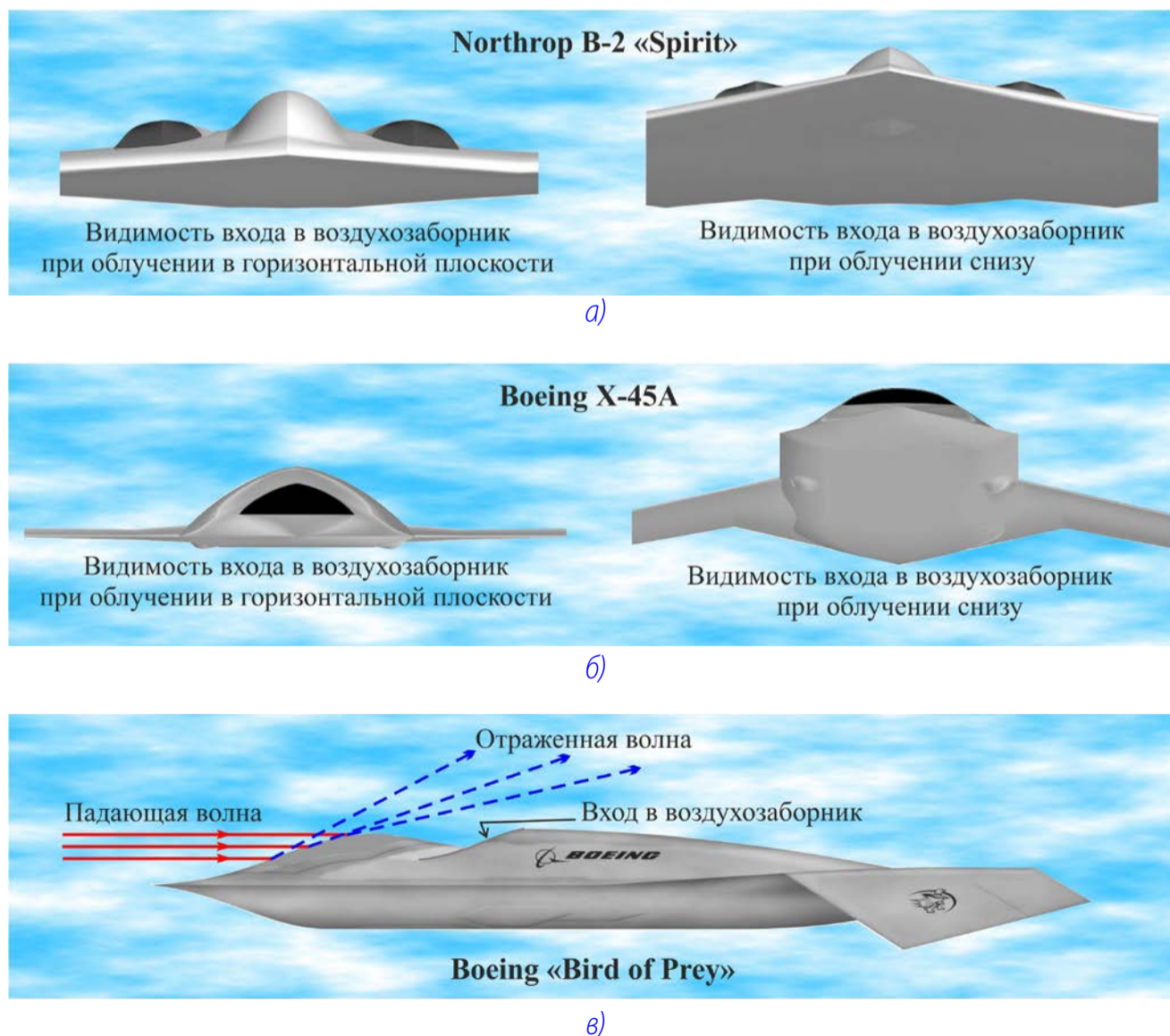


Рис. 7. Различные варианты расположения воздухозаборника: а) — над крылом; б) — в центре фюзеляжа; в) — над фюзеляжем