

Розвиток, бойове застосування та озброєння авіації

УДК 629.7.02:623.746.3(06)

Е.А. Українець¹, А.Б. Котов¹, О.Б. Анипко¹, В.В. Ткачов², П.Н. Онипченко¹

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

²Национальный университет обороны Украины

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ САМОЛЕТА-ИСТРЕБИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ

Решение спектра боевых задач военным самолетом достигается нахождением рационального сочетания летно-технических, демаскирующих, эксплуатационных и других характеристик, в их совокупности на основе комплексного подхода к формированию его облика. В данной статье анализируются зависимости от ношения показателя, характеризующего радиолокационную заметность самолета, к показателю, характеризующему способность самолета к выполнению основной боевой задачи от компоновочного показателя.

Ключевые слова: радиолокационная заметность, самолет, летно-технические характеристики, компоновочный показателя, маневренные характеристики, маневренно-скоростной показатель.

Введение

Постановка проблемы. Важнейшей составной частью многовариантного проектирования является разработка критериев оценки конструктивно-компоновочных решений. Необходимо, чтобы критерий выражал главную цель, ради которой создается летательный аппарат. Для военного самолета цель определяется спектром боевых задач. Успех решения этих задач достигается нахождением рационального сочетания летно-технических, демаскирующих, эксплуатационных и других характеристик, в их совокупности на основе комплексного подхода к формированию облика самолета [1]. **Цель статьи.** разработать показатель радиолокационной заметности и маневренно-скоростной показатель которые позволят оценить влияния конструктивно-компоновочных решений на летно-технические характеристики самолета.

Изложение основного материала

Снижение радиолокационной заметности летательного аппарата требует рассмотрения не только его индивидуальной формы, но и специфики назначения, функционирования и условий применения. Многообразие методов борьбы с отражениями радиолокационного сигнала можно разделить на две группы:

- придание самолету специальной малоотражающей формы;
- использование покрытий, поглощающих падающую на его поверхность энергию [2].

Использованию покрытий, поглощающих падающую на его поверхность энергию, посвящены работы [3 – 7]. В работах [5, 6] разработаны методы определения ЭПР аэродинамических объектов слож-

ной формы с учетом дифракции на законцовках аэродинамических поверхностей, обечайках воздухозаборников, конических поверхностях, многократных отражений, различных физических свойств материалов покрытий. Индикатрисы ЭПР, получаемые расчетным или экспериментальным путем, носят сложный «псевдослучайный» характер, значения ЭПР в некоторых случаях изменяются на порядок при изменении азимутального угла на 1 градус, что затрудняет определение влияния компоновочной схемы на радиолокационную заметность самолета.

Конструктивно-компоновочные решения с рациональным сочетанием радиолокационной заметности и летно-технических характеристик самолета подчинены некоторым общим принципам. При создании малозаметных и модернизации существующих самолетов стремятся в максимальной степени соблюсти принципы конструирования летательных аппаратов с малыми квазиоптическими эффективными площадями в условиях наблюдения их наземными РЛС дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн. К числу таких принципов относят [2]:

- заострение носовой части и разбиение внешней поверхности на миниатюрные плоские отражатели (F-117A);
- затенение крылом входных и выходных каналов двигателей, целенаправленное размещение и конструирование воздухозаборников, использование специальных их конструкций (F-117A, B-2, F-22A);
- плавное вписывание фюзеляжа в крыло (B-2);
- снижение переотражений от внутренних стенок кабины пилота (F-117A, B-2, F-15C, F-22A);
- затенение крылом оперения, переход от сосредоточенного вертикально-горизонтального опе-

рения к разнесенному V-образному оперению (F-117A, F-22A);

– переход к внутрифюзеляжному размещению вооружения (F-117A, B-2, F-22A);

– уплощение участков крыла, рассчитанное на зеркальное переотражение энергии в сторону от локатора (F-117A);

– минимизация ширины щелей, уменьшение радиусов закруглений (F-117A, B-2, F-22A).

В метровом и декаметровом диапазоне волн перечисленные меры снижения радиолокационной заметности малоэффективны, поскольку в этом случае вторичное излучение приближается к резонансному [2].

В качестве эталона для анализа влияния конструктивно-компоновочных решений на радиолокационную заметность принимается металлическая сфера единичного радиуса, обладающая тем свойством, что величина ее ЭПР не зависит от ориентации относительно луча локатора, а в диапазоне малых

длин волн совпадает с площадью его поперечного сечения. Компоновочный показатель, характеризующий отношение площадей боковой и фронтальной проекций самолета к площади несущей поверхности, представим в виде:

$$K_m = \frac{H(D+L)}{S_{кр}}, \quad (1)$$

где H, D, L – соответственно высота, длина, размах крыла самолета (для эталона – диаметр); $S_{кр}$ – площадь крыла (для эталона – площадь поперечного сечения).

С учетом свойств принятого эталона показатель радиолокационной заметности имеет вид:

$$Z = HDLS_{кр}^{-1,5}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлена зависимость величины показателя радиолокационной заметности Z от величины компоновочного показателя K_m для ряда боевых самолетов, состоящих и ранее состоявших на вооружении.

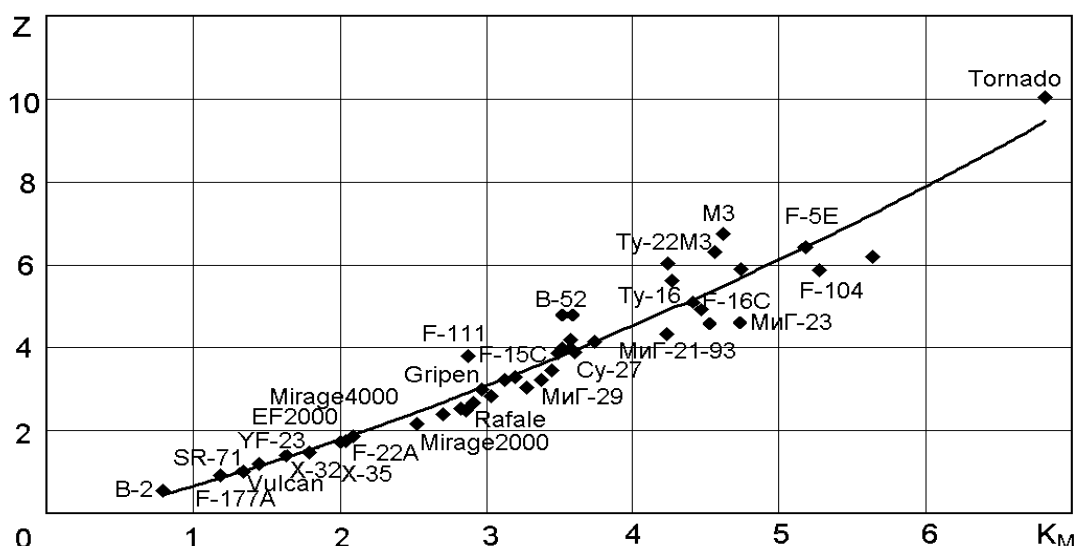


Рис. 1. Зависимость величины показателя радиолокационной заметности Z от величины компоновочного показателя K_m

Анализ приведенных на рис. 1 данных позволяет сделать вывод о том, что самолеты, при построении которых ставилась задача уменьшения радиолокационной заметности (B-2, F-117A, SR-71, X-32, X-35, EF2000, YF-23, F-22A), имеют меньшие значения компоновочного показателя и показателя радиолокационной заметности, чем у принятого эталона. При этом самолет B-2 выполнен по аэродинамической схеме «летающее крыло», F-117A, SR-71, X-32, EF2000, YF-23, Mirage4000 – «бесхвостки», X-35, YF-23, F-22A – самолеты нормальной аэродинамической схемы. Следует отметить, что боевые самолеты, при создании которых не ставилась задача уменьшения радиолокационной заметности, в большинстве случаев строились по нормальной аэродинамической схеме, как всесторонне исследованной и оправдавшей себя на практике [8].

Самолеты, у которых компоновочный показатель $K_m > 3,38$, принадлежат к нормальной аэродинамической схеме, при этом бомбардировщики, как правило, находятся над аппроксимирующей зависимостью:

$$Z = 0,0793K_m^2 + 0,8939K_m - 0,3155, \quad (3)$$

величина достоверности аппроксимации в диапазоне величины компоновочного показателя K_m от 0,8 до 6,8: $R^2 = 0,9244$.

Полученные данные в дальнейшем используются для анализа соотношений между летно-техническими характеристиками и радиолокационной заметностью самолетов-истребителей. Рассмотрим более подробно основные летно-технические и маневренные характеристики истребителей: максимальную скорость, практический потолок, даль-

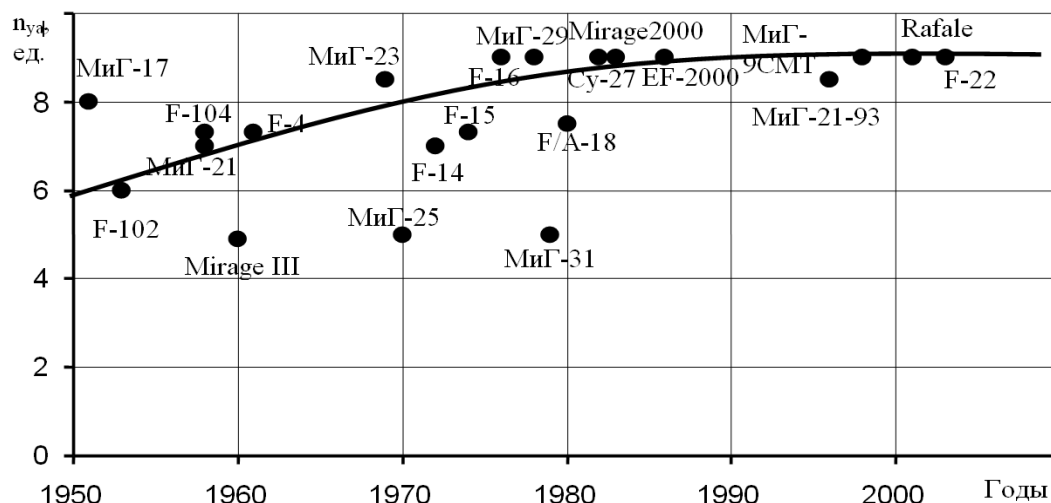


Рис. 4. Позиционирование величины максимальной установившейся перегрузки серийных самолетов-истребителей по годам первого полета

Анализ представленных данных позволяет сделать вывод о том, величина максимальной установившейся перегрузки серийных самолетов-истребителей ограничена физиологическим пределом летчика в противоперегрузочном костюме [9].

На рис. 5 представлены зависимости отношения показателя Z , характеризующего радиолокационную заметность, к показателю M_n , характеризующего способность самолета к выполнению основной задачи истребителя – завоеванию превосходства в воздухе (иными словами, показатель M_n характеризует маневренно-скоростные характеристики самолета) от компоновочного показателя K_m :

$$M_n = \frac{H_{пр} P_{max}}{H_a G_{п}} \frac{n_{уф}}{n_{уmax}} \frac{M_{ф}}{M_{max}}, \quad (4)$$

где $H_{пр}$ – практический потолок самолета, м; $H_a = 11000$ м; P_{max} – максимальная суммарная тяга двигателей на форсажном режиме, кН; $G_{п}$ – вес конструкции самолета, кН; $n_{уф}$ – фактическая нормальная перегрузка, допускаемая из условия прочности конструкции самолета; $n_{уmax} = 9$ – физиологический предел летчика в противоперегрузочном костюме; $M_{ф}$ – фактическое максимальное число Маха полета; $M_{max} = 2,2$ – максимальное рациональное для самолета-истребителя число Маха полета.

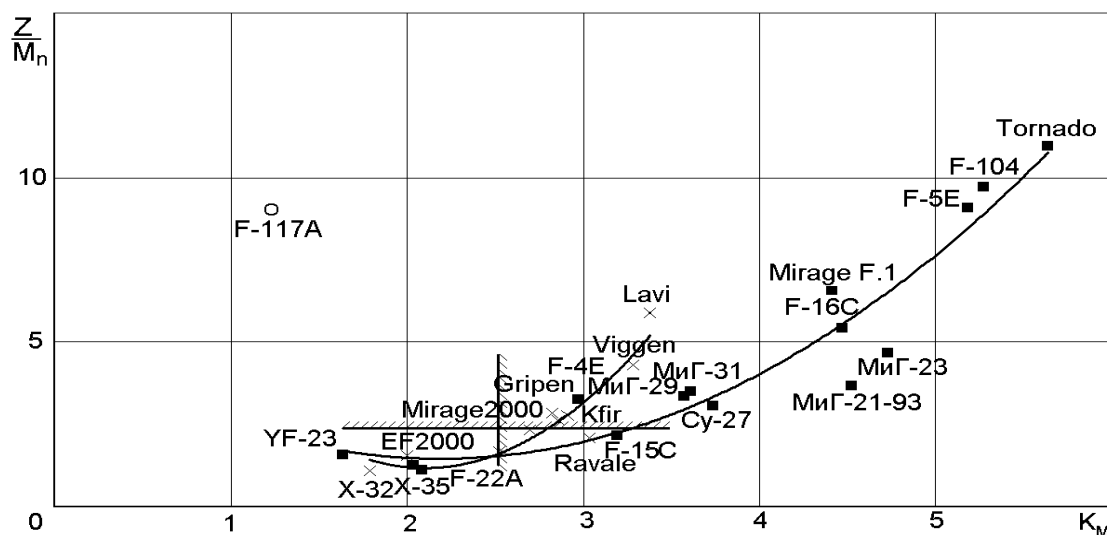


Рис. 5. Зависимости отношения Z/M_n от компоновочного показателя K_m
 (■ – истребители нормальной аэродинамической схемы
 × – истребители аэродинамической схемы «бесхвостка»)

Для истребителей нормальной аэродинамической схемы в диапазоне величины компоновочного показателя K_m от 1,63 до 5,63 аппроксимирующая зависимость описывается уравнением:

$$\frac{Z}{M_n} = 0,7844K_m^2 - 3,4379K_m + 5,2254 \quad (5)$$

с величиной достоверности аппроксимации:
 $R^2 = 0,9075$.

Для истребителей аэродинамической схемы «бесхвостка» в диапазоне K_m от 1,79 до 3,38 аппроксимирующая зависимость описывается уравнением:

$$\frac{Z}{M_n} = 2,4817K_m^2 - 10,45K_m + 12,177 \quad (6)$$

с величиной достоверности аппроксимации:
 $R^2 = 0,8632$.

Меньшие значения Z/M_n соответствуют лучшему сочетанию характеристик заметности и маневренно-скоростных характеристик. Значение показателя M_n для современного истребителя можно вычислить, поскольку известны рациональные значения практического потолка, предельной нормальной перегрузки и числа Маха полета. Так, предельная перегрузка определяется возможностями пилота в противоперегрузочном костюме $n_y = 9$ [9]; потребный практический потолок может не превышать 20000 м, поскольку цели, летящие с превышением 10000 м, гарантировано поражаются современным бортовым оружием современного истребителя; максимальное число Маха полета ограничивается величиной 2,2 из условия приемлемых потерь полного давления в S-образных воздухозаборниках современных «малозаметных» истребителей, рассчитываемых на сверхзвуковой крейсерский полет с $M=1,5$ [10]. Исключение возможности прямого облучения лопаток компрессора РЛС противника приданием S-образной формы воздухозаборника считается обязательным условием. Кроме того, превышение ограничения по числу Маха вызывает недопустимый с точки зрения тепловой заметности аэродинамический нагрев конструкции. Предельно допустимое значение показателя Z определяется выбранным эталоном.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

– среди истребителей нормальной аэродинамической схемы наиболее рациональным сочетанием характеристик заметности и маневренно-скоростных характеристик обладает истребители X-35 и F-22A;

среди истребителей аэродинамической схемы «бесхвостка» – истребители X-32, EF2000;

– истребители второго, третьего и четвертого поколений находятся за пределами области, ограниченной рациональными значениями показателей Z/M_n и K_m .

Оценка осредненного по азимуту значения ЭПР самолета осуществляется по формуле:

$$\sigma = \frac{ZS_{кр}^{-1,5} \gamma_v \sigma_{эТ}}{8K_c} \quad (7)$$

где $\sigma_{эТ} = 3,14$ – ЭПР эталона; γ_v – относительный объем металлических конструкций в объеме, определенном размерами H, D, L ($\gamma_v=1$ для цельнометаллического эталона, $\gamma_v=0,02$ – для самолетов-истребителей, для бомбардировщиков, отличающихся меньшей плотностью компоновки и самолетов с внутренним размещением вооружения γ_v имеет меньшие значения).

K_c – показатель качества мероприятий по снижению радиолокационной заметности самолета. K_c характеризует полноту выполнения принципов конструирования самолета с предельно малыми квазиоптическими эффективными площадями, принимает такие значения:

- 1 – при проектировании самолета не ставилась задача снижения радиолокационной заметности;
- 2 – проведена модернизация самолета первого типа для снижения радиолокационной заметности;
- 20 – самолет проектировался с целью максимально возможного уменьшения радиолокационной заметности.

В табл. 1 представлены результаты этой оценки ЭПР в сравнении со значениями, приведенными в работе [11]. Следует отметить, что, несмотря на противоречивые значения ЭПР, приводимые в различных источниках, полученные нами результаты могут служить для предварительной оценки принимаемых конструктивно-компоновочных решений на радиолокационную заметность самолета.

Таблица 1

Оценка ЭПР самолетов-истребителей

	L	D	H	$S_{кр}$	K_m	Z	K_c	σ	σ [86]
F-117A	13,21	20,09	3,78	105,9	1,1886	0,920514	20	0,2955	0,3
X-32	10,98	13,6	4	55	1,7876	1,464392	20	0,2346	0,3
X-35	10	15,5	4,01	50,2	2,0369	1,747513	20	0,2441	0,3
F-22A	13,56	18,92	5,01	78	2,0862	1,86585	20	0,5048	0,7
EF-2000	10,5	14,5	4	50	2,0000	1,722512	2	2,3915	1
F-15C	13,05	19,05	5,63	56,6	3,1929	3,286921	2	5,4963	4
F-16C	9,45	15,03	5,09	27,87	4,4708	4,913638	2	2,8390	3,7
МиГ-21-93	7,15	14,9	4,71	22,95	4,5252	4,563932	2	1,9705	2
Mirage 2000	9	15,33	4,55	41	2,7000	2,391224	1	4,9304	6
F-15A	13,05	19,05	5,63	56,6	3,1929	3,286921	1	10,9927	10
F-16A	9,45	15,03	5,09	27,87	4,4708	4,913638	1	5,6780	6
Mirage F.1	9,32	15,2	4,5	25	4,4136	5,099904	1	5,0068	3
Tornado	13,91	16,72	5,92	26,6	6,8169	10,03605	1	10,8137	10

Выводы

Таким образом, разработанные показатель радиолокационной заметности и маневренно-скоростной показатель позволяют производить оценку влияния принимаемых конструктивно-компоновочных решений на летно-технические характеристики и радиолокационную заметность истребителей.

Разработанный показатель радиолокационной заметности входит в виде инварианты в применяемую оценку осредненной по азимуту ЭПР самолета.

Введение показателя качества мероприятий по снижению радиолокационной заметности самолета Кс способствует расширению существующих классификации самолетов путем введения квалификационных признаков заметности, что необходимо заданию требуемого уровня демаскирующих характеристик проектируемого самолета. До настоящего времени разработаны классификации самолетов военного назначения в соответствии с назначением, характером действия, применяемыми двигателями, по техническому способу выполнения полета. Эти классификационные признаки отражают основные летно-тактические (скорость полета, диапазон высот боевого применения, дальность полета), маневренные характеристики самолетов, их вооружение и бомбовую нагрузку. В то же время, массовое поступление высокоточного оружия (ВТО) в Вооруженные Силы, применение технологии уменьшения радиолокационной, тепловой, визуальной и акустической заметности самолетов изменило характер боевых действий, тактику применения средств воздушного нападения (СВН). Существующие классификации не в полной мере отражают это изменение, не характеризуют самолеты по уровню заметности. Так, основной формой боевого применения обычных (не малозаметных) стратегических бомбардировщиков и самолетов тактической авиации являются действия группами самолетов. Ударные группы 1-го и 2-го эшелонов осуществляют полет, как правило, на предельно малых и малых высотах до рубежа обнаружения низколетящих целей средствами противовоздушной обороны. В этом случае, по высоте полета наиболее опасными для ПВО считаются воздушные цели, летящие на предельно малых высотах с использованием маскирующих свойств рельефа местности [12.]. В основу тактики малозаметных самолетов (МС) положено достижение скрытности и внезапности нанесения ударов по наиболее важным объектам. При этом МС самостоятельно или по внешнему целеуказанию выявляют, идентифицируют и уничтожают малоразмерные подвижные и неподвижные цели [13.]. В целом, тактика действий экипажей МС может носить более разнообразный характер, чем тактика экипажей обычных самолетов, а по высоте полета наиболее опасными

для ПВО считаются воздушные цели, летящие на больших, средних и предельно малых высотах.

К летательным аппаратам военного назначения относятся:

- стратегические бомбардировщики;
- истребители-бомбардировщики;
- тактические истребители;
- штурмовики;
- самолеты специального назначения;
- самолеты и вертолеты палубной и армейской авиации [13].

Аналогичная классификация приведена в [14.]: в соответствии с боевыми задачами и характером действий военная авиация делится по родам на бомбардировочную (ракетноносную), истребительно-бомбардировочную, истребительную, штурмовую, разведывательную, противолодочную, военно-транспортную и специальную.

Несколько иначе классифицируются средства воздушного нападения (СВН), являющиеся целями для зенитно-ракетных комплексов. СВН могут быть разделены на следующие основные типы:

- стратегические бомбардировщики;
- тактические истребители-бомбардировщики; штурмовики и истребители (палубная авиация);
- вертолеты;
- крылатые ракеты «воздух - земля», «земля - земля» и «корабль - земля»;
- дистанционно-пилотируемые летательные аппараты [12].

Существующие классификации могут быть расширены путем введения классификационных признаков уровня заметности:

1 уровень заметности – при проектировании самолета задача снижения заметности является приоритетной. Мероприятия по снижению радиолокационной, тепловой, визуальной и акустической заметности носят системный характер. Требование снижения заметности имеет решающее значение при выборе аэродинамической схемы самолета, конструкционных материалов, состава бортового оборудования.

2 уровень заметности – при проектировании самолета приоритет отдается задаче достижения высоких летно-тактических характеристик, величин полезной нагрузки. В последствии, для уменьшения заметности проводится модернизация, включающая маскировку противорадиолокационными покрытиями отдельных участков конструкции, замену традиционных конструкционных материалов элементов крыла, оперения, воздухозаборников на композитные материалы, установку экранно-выходных устройств двигателей, применение маскировочной окраски. Глубина модернизации по снижению уровня заметности такова, что целевое назначение и тактика применения таких самолетов не претерпева-

ет существенных изменений.

3 уровень заметности – при проектировании самолета приоритетна задача достижения высоких летно-тактических характеристик, величин полезной нагрузки, низких эксплуатационных затрат.

В соответствии с приведенными классификационными признаками при прочих равных условиях, наиболее опасными следует считать СВН I уровня заметности, поскольку МС будут назначаться для уничтожения наиболее важные цели: малоразмерные подвижные (РЛС, ЗРК), стационарные, в том числе, хорошо защищенные (командные пункты, пункты управления, узлы связи, склады боеприпасов, малоподвижные ЗРК на позициях [12].

Таким образом, разработанные классификационные признаки учитывают характер изменения боевых действий самолетов военного назначения в связи с массовым поступлением на вооружение ВТО и применением технологии уменьшения радиолокационной, тепловой, визуальной и акустической заметности.

Список литературы

1. Проектирование гражданских самолетов: Теория и методы / [Катырев И.Я., Неймарк М.С., Шейнин В.М. и др.]; под ред. Г.В. Новожилова. – М.: Машиностроение, 1991. – 672 с.
2. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов / Львова Л.А. – Снежинск. Изд-во: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. – 232 с.
3. Сухаревский О.И. Вторичное излучение аэродинамических объектов, изготовленных по технологии «Стелс» / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.А. Горельшев // Наука и оборона. – 1994. – Вып. 3. – С. 99-104.
4. Василец В.А. Снижение средней эффективной поверхности рассеяния объекта сложной формы при оптимальном распределении ограниченного количества радиопоглощающего материала на его поверхности / В.А. Василец // Радиотехника. – 2002. – Вып. 129. – С. 69-72.
5. Сухаревский О.И. Математическое моделирование радиолокационных характеристик элементов поверхности объектов сложной формы / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, К.И. Ткачук, В.Д. Батиев, С.А. Тузики // Радиотехник: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 136. – С. 81-85.
6. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. – М.: Советское радио, 1962. – 244 с.
7. Сухаревский О.И. Математическое моделирование радиолокационных характеристик элементов поверхности объектов сложной формы / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, К.И. Ткачук, В.Д. Батиев, С.А. Тузики // Радиотехник: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 136. – С. 81-85.
8. Цихош Э. Сверхзвуковые самолеты / Э. Цихош. – М.: Мир, 1983. – 250 с.
9. Алимов В.И. Проблема потери сознания летчиками-истребителями при маневрировании с большими перегрузками / В.И. Алимов // Авиастроение, экспресс-информация. – 1987. – № 17. – Режим доступа: <http://www.paralay.com/ppsl.html>.
10. Ильин В. Истребитель Локхид-Мартин F-22 «Рэптор» / В. Ильин, И. Кудишин // Авиация и космонавтика. – 1998. – Вып. 33 (1). – С. 7-21.
11. Лагарьков А.Н. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А.Н. Лагарьков, М.А. Погосян // Вестник Российской Академии наук. – 2003. – Т. 79, № 9. – С. 779-787.
12. Єрмошин М.О. Аеродинамічні цілі зенітних ракетних військ / М.О. Єрмошин, В.М. Федай. – Х.: ХВУ, 2003. – 284 с.
13. Пособие по изучению правил стрельбы на зенитных ракетных комплексах войск Противовоздушной обороны Сухопутных войск. – М.: Военное издательство, 1988. – Часть 6. – 120 с.
14. Информационный программный продукт «Справочник военной авиации». [Электронный ресурс]: – Волгоград: Студия «Korax», 2001. – Режим доступа: <http://www.korax.narod.ru>.

Поступила в редколлегию 24.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.А. Калкаманов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ВИРІШЕНЬ ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА НА ОСНОВІ ІЄРАРХІЇ ПОМІТНОСТІ РАДІОЛОКАЦІЇ

Є.О. Українець, О.Б. Котів, О.Б. Аніпко, В.В. Ткачов, П.М. Оніпченко

Вирішення спектру бойових завдань військовим літаком досягається знаходженням раціонального поєднання льотно-технічних, таких, що демаскують, експлуатаційних і інших характеристик, в їх сукупності на основі комплексного підходу до формування його зовнішності. У даній статті аналізується залежності відношення показника, що характеризує помітність радіолокації літака, до показника, що характеризує зойбіність літака до виконання основного бойового завдання від компоновального показника.

Ключові слова: помітність радіолокації, літак, льотно-технічні характеристики, компоновальний показника, маневрені характеристики, маневрено-швидкісний показник.

GROUND OF STRUCTURAL DECISIONS OF AIRPLANE-DESTROYER ON BASIS OF RADIO-LOCATION NOTICEABLENESS HIERARCHY

E.A. Ukraineec, A.B. Kotov, O.B. Anipko, V.V. Tkachov, P.N. Onipchenko

The decision of spectrum of urgent tasks is arrived at a service airplane finding of rational combination air-technique, unmasking, operating and other descriptions, in their aggregate on the basis of the complex going near forming of his look. In this article analysed dependence of relation of index, characterizing radio-location noticeable of airplane, to the index, characterizing the capacity of airplane for the performance of basic battle objective from a layout index.

Keywords: radio-location noticeable, airplane, air-technique descriptions, layout index, manoeuvre descriptions, manoeuvre-speed index.