

УДК 629.7.022, 623.624.9

Е.А. Украинец

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО САМОЛЕТА С ПРЕОБРАЗУЕМЫМ КРЫЛОМ

Представлены результаты эксперимента с моделями беспилотного самолета с преобразуемым крылом в аэродинамической трубе Т-1 Харьковского университета Воздушных Сил и безэховой камере Харьковского национального университета. В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости коэффициента лобового сопротивления, подъемной силы, аэродинамического качества, характеристики рассеяния при различном положении преобразуемого крыла. На основе анализа полученных зависимостей определены оптимальные по критериям «максимальное аэродинамическое качество», «минимальное лобовое сопротивление», «минимальная радиолокационная заметность» варианты положения преобразуемого крыла относительно фюзеляжа.

Ключевые слова: преобразуемое крыло, аэродинамическая труба, безэховая камера, аэродинамические характеристики, характеристики радиолокационной заметности, модельный эксперимент, многоцелевой БПЛА.

Введение

Как известно [1], для удовлетворения противоречивым требованиям к самолету необходимо совмещение целого ряда качеств в одном неподвижном крыле, что невозможно без значительного компромисса по некоторым из них, поскольку каждому режиму полета соответствует свое оптимальное крыло. Удовлетворения всем режимам полета возможно достичь использованием крыла изменяемой геометрии, удлинение и угол стреловидности которого управляется в полете. В классической схеме изменения угла стреловидности несущая площадь крыла при изменении угла стреловидности консолей изменяется не так значительно, что снижает отношение максимальной скорости к минимальной. Кроме того, самолеты с изменяемой стреловидностью крыла имеют ряд недостатков, основными из которых являются:

- смещение аэродинамического фокуса при изменении стреловидности, что приводит к увеличению балансировочного сопротивления;
- возрастание массы конструкции из-за наличия силовой балки и закрепляемых на ней поворотных шарниров консолей, а также уплотнителей убранного положения крыла;
- необходимость строгой синхронизации изменения стреловидности, пониженная жесткость конструкции поворотного узла консолей, и, как следствие, ухудшение весового совершенства всего самолета [1, 2]. Указанные недостатки снижают дальность полета и/или массу целевой нагрузки, однако это снижение в некоторой мере компенсируется применением так называемого преобразуемого (складывающегося) крыла. Однако аэродинамические характеристики и характеристики радиолока-

ционной заметности аэродинамических компоновок с преобразуемым крылом изучены недостаточно полно.

Целью статьи является экспериментальное определение аэродинамических характеристик и характеристик радиолокационной заметности аэродинамической компоновки БПЛА преобразуемым (складывающимся) крылом.

Основной раздел

Для проведения эксперимента в аэродинамической трубе Т-1 Харьковского университета Воздушных Сил была изготовлена модель БПЛА с преобразуемым (складывающимся) крылом и фюзеляжем треугольной формы поперечного сечения. При изготовлении модели соблюдался принцип модульности, что позволяло использовать общие элементы конструкции и облегчало проведение сравнительного анализа аэродинамических характеристик и характеристик радиолокационной заметности. Для проведения модельного эксперимента в безэховой камере поверхность модели металлизировалась. На рис. 1 представлены чертежи исследуемых моделей, на рис. 2 – 4 – внешний вид моделей в рабочей части аэродинамической трубы Т-1. При обезразмеривании аэродинамических сил в качестве характерного размера принимались площади крыла, крыла и площади нижней поверхности фюзеляжа, площади нижней поверхности фюзеляжа соответственно.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- зависимость $C_{ya} = f(\alpha)$ для модели фюзеляжа носит нелинейный характер, при этом из-за ограничений системы подвески критический угол атаки в эксперименте не был достигнут;

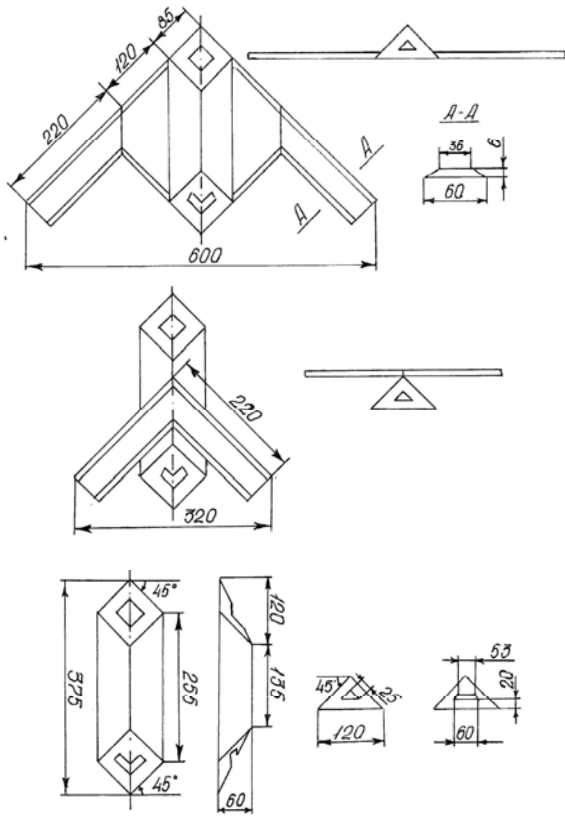


Рис. 1. Схема моделей БПЛА с преобразуемым крылом

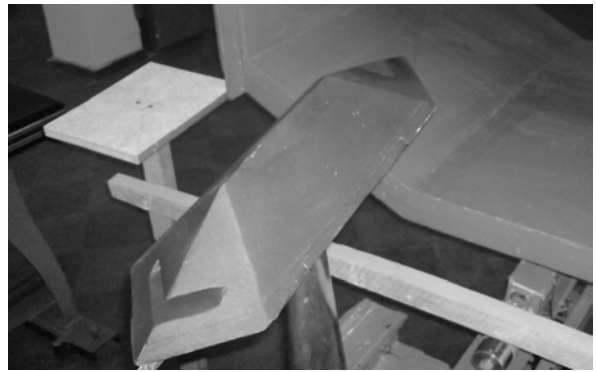


Рис. 4. Фотография внешнего вида модели БПЛА в рабочей части аэродинамической трубы Т-1 (крыло полностью убрано)

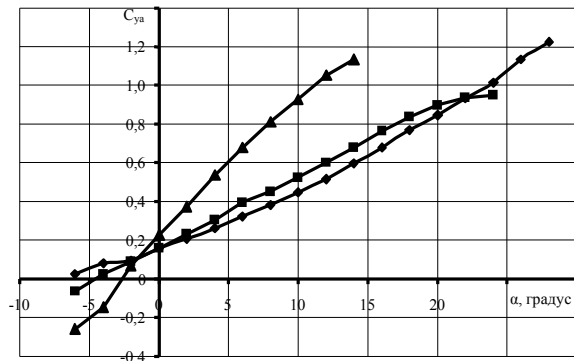


Рис. 5. Зависимости коэффициентов подъемной силы моделей от угла атаки

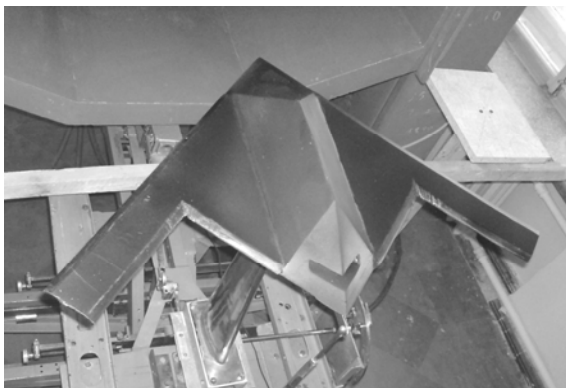


Рис. 2. Фотография внешнего вида модели БПЛА в рабочей части аэродинамической трубы Т-1 (крыло выпущено)

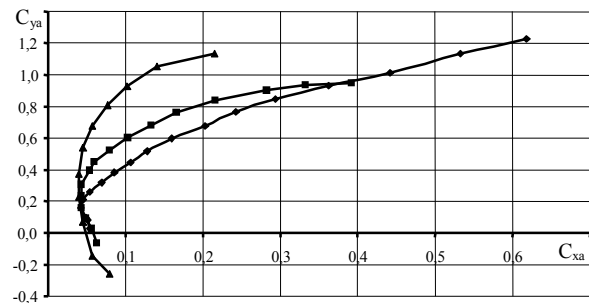


Рис. 6. Поляры моделей



Рис. 3. Фотография внешнего вида модели БПЛА в рабочей части аэродинамической трубы Т-1 (крыло частично убрано)

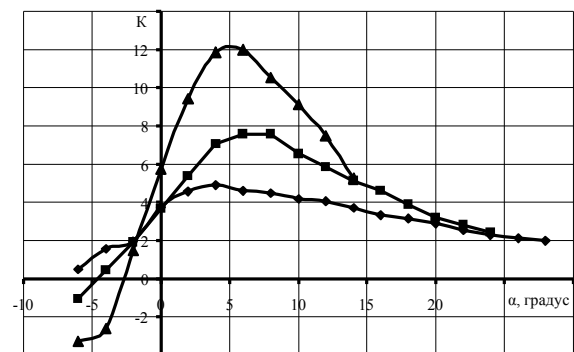


Рис. 7. Зависимости аэродинамического качества моделей от угла атаки

– несущие свойства модели с выпущенным крылом на линейном участке зависимости $C_{ya} = f(\alpha)$ наибольшие: $C_{ya}^{\alpha} \approx 4,70$ для модели с выпущенным крылом против $C_{ya}^{\alpha} \approx 2,00$ для модели с убраным крылом, однако угол начала срыва потока меньше: $\alpha_{нс} \approx 11^{\circ}$ для модели с выпущенным крылом против $\alpha_{нс} \approx 19^{\circ}$ для модели с убраным крылом;

– модель с выпущенным крылом имеет высшее аэродинамическое качество $K \approx 12$ единиц и коэффициент максимальной подъемной силы $C_{ya_{max}}$, следовательно, эта модель является оптимальной альтернативой в смысле достижения наибольшей продолжительности полета и наилучших взлетно-посадочных характеристик.

Рассмотрим зависимость коэффициентов подъемной силы моделей от угла атаки (рис. 8) и поляр (рис. 9) при условии, что при обезразмеривании аэродинамических сил в качестве характерного размера принималась площадь выпущенного крыла.

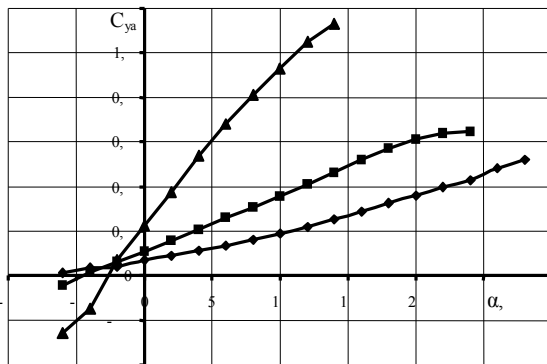


Рис. 8. Зависимости коэффициентов подъемной силы моделей от угла атаки

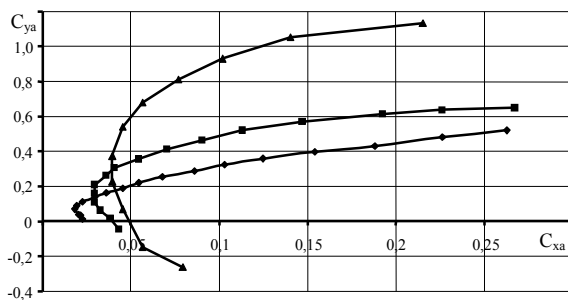


Рис. 9. Поляры моделей

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

– лобовое сопротивление модели БПЛА с полностью убраным крылом на малых углах атаки имеет наименьшее значение, что объясняется меньшей омываемой поверхностью, при этом аэродина-

мическое качество составляет 4,9 единиц. Следовательно, БПЛА с полностью убраным крылом является оптимальной альтернативой в смысле достижения максимальной скорости полета и минимальной радиолокационной заметности;

– аэродинамические характеристики модели БПЛА с частично убраным крылом занимают промежуточное положение, однако, в отличие от классической схемы преобразования крыла изменением угла стреловидности, огибающая поляр имеет «прогиб» вниз, что является недостатком данной схемы преобразования крыла.

Для определения характеристик радиолокационной заметности ЛА широко применяются безэховые камеры [3, 4]. Безэховой камерой (БЭК) называется помещение, облицованное изнутри радиопоглощающим материалом (РПМ) с целью уменьшения отражения от стен и обеспечения в некотором объеме камеры – безэховой зоне – заданного малого уровня отражений, то есть условий, приближающихся к условиям «свободного пространства». Следует отметить, что экспериментальные методы пригодны для измерения ЭПР любых объектов, кроме измерения ЭПР отдельных неоднородностей на поверхности. Эксперимент имеет важное преимущество перед расчетом – это возможность измерения диаграммы ЭПР всего сложного объекта целиком. При измерении ЭПР БПЛА сложной формы будут учтены и все переотражения между различными частями конструкции, которые трудно учесть при расчете. Без эксперимента нельзя обойтись в случае тестирования расчетных методов и программ, а также когда необходимо проводить измерение ЭПР предсерийного БПЛА [5]. Таким образом, выбранный метод определения характеристик радиолокационной заметности компоновок БПЛА – модельный эксперимент в безэховой камере. Используемая БЭК принадлежит Харьковскому национальному университету имени В.Н. Каразина, имеет криволинейные стенки, размеры $8,3 \times 5,2 \times 4$ м, принадлежит к 1 классу точности, то есть, спроектирована для точных измерений параметров радиосистем. Внутренние стены БЭК покрыты подогнанными вручную 8400 пирамидами РПМ рассеивающего типа, высота каждой пирамиды равна 320 мм, угол при вершине около $\alpha = 30^{\circ}$. При таких размерах пирамиды в диапазоне углов падения $\theta = 0 \dots 40^{\circ}$ число отражений каждого луча не менее 4 и поглощение при каждом отражении 5...12 дБ. РПМ представляет собой радиопоглощающее пеностекло на основе углеродистого строительного пеностекла.

На рис. 10 представлена схема проведения экспериментальных исследований по определению характеристик рассеяния радиолокационных целей, на рис. 11 – 13 представлен внешний вид модели БПЛА в безэховой камере.

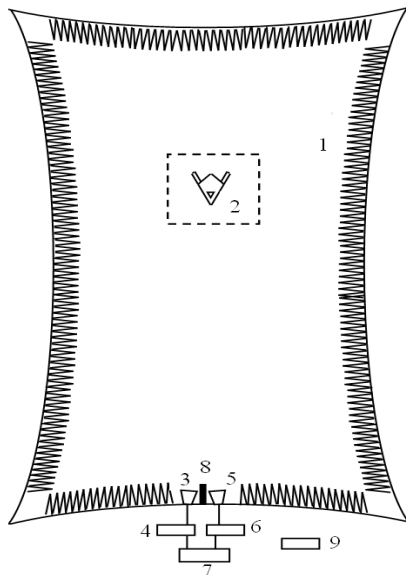


Рис. 10. Схема проведения эксперимента в БЭК: (1 – стены БЭК, покрытые шиповидным РПМ; 2 – объект исследований на поворотном устройстве; 3 – излучающая антенна П6-23А; 4 – генератор СВЧ сигналов Г4-111; 5 – принимающая антенна П6-23А; 6 – измеритель отношения напряжений В8-7; 7 – генератор импульсов Г5-63; 8 – экран; 9 – осциллограф)

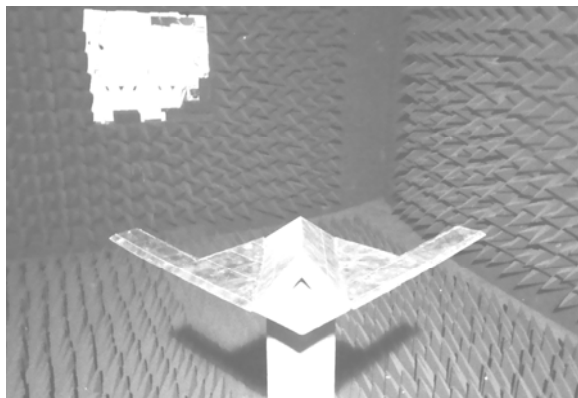


Рис. 11. Фотография внешнего вида модели БПЛА в безэховой камере (крыло выпущено)

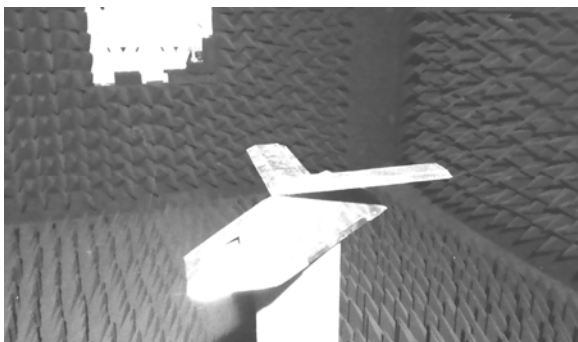


Рис. 12. Фотография внешнего вида модели БПЛА в безэховой камере (крыло частично убрано)

На рис. 14 – 18 представлены результаты эксперимента с моделью БПЛА с преобразуемым (складывающимся) крылом и фюзеляжем треугольной формы поперечного сечения в БЭК ХНУ, величина

ЭПР отнормирована по максимальному значению

$$\text{ЭПР } \bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} \text{ модели.}$$

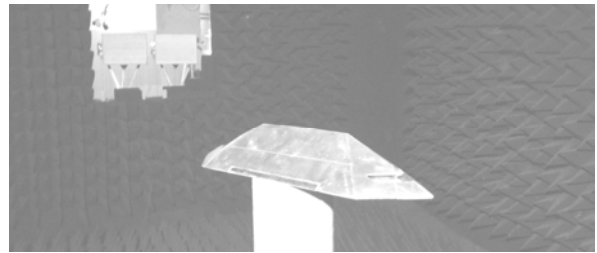


Рис. 13. Фотография внешнего вида модели БПЛА в безэховой камере (крыло убрано)

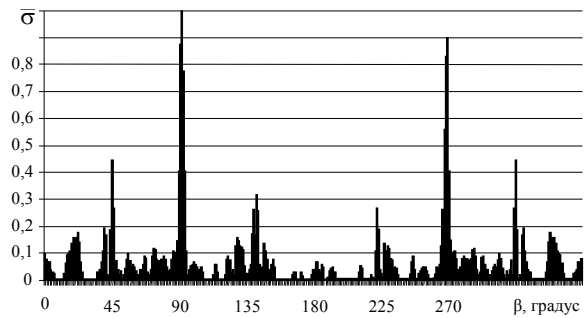


Рис. 14. Диаграмма относительной ЭПР модели БПЛА с выпущенным крылом при угле места $\varphi = -10^\circ$

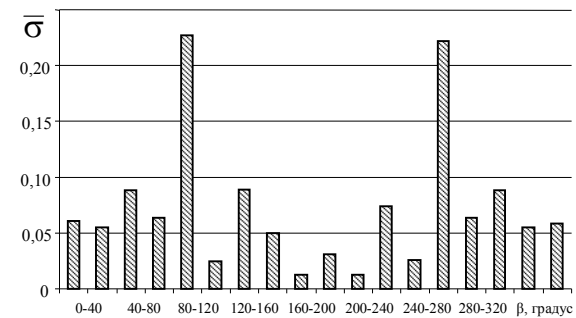


Рис. 15. Диаграмма относительной ЭПР модели БПЛА с выпущенным крылом при угле места $\varphi = -10^\circ$ в двадцатиградусных диапазонах азимута

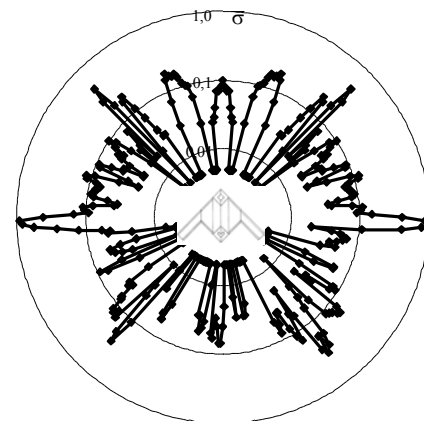


Рис. 16. Круговая диаграмма относительной ЭПР модели БПЛА с выпущенным крылом при угле места $\varphi = -10^\circ$

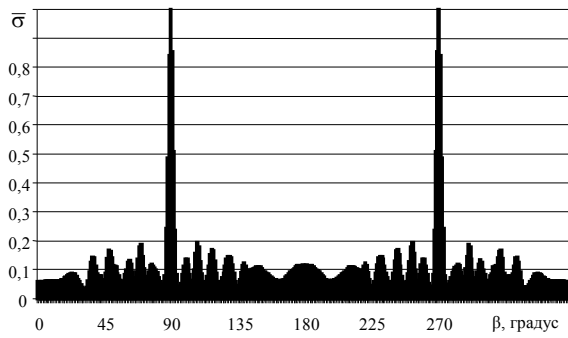


Рис. 17. Диаграмма относительной ЭПР БПЛА с полностью убраным крылом при угле места $\varphi = -10^\circ$

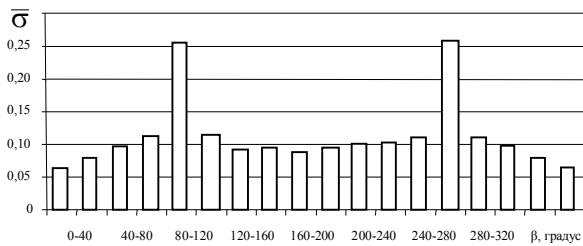


Рис. 18. Диаграмма относительной ЭПР модели самолета с полностью убраным крылом при угле места $\varphi = -10^\circ$ в двадцатиградусных диапазонах азимута

Выводы

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- максимум ЭПР в азимуте 90° обусловлен отражением от боковой панели фюзеляжа;
- максимум ЭПР модели с полностью выпущенным крылом в азимутах 45° и 315° ; 135° и 225° обусловлен отражением соответственно от передних и задних кромок крыла. Таким образом, существенный вклад в суммарную ЭПР БПЛА, вносимый от-

ражением от кромок крыла, непреодолимые трудности применения радиопоглощающих материалов на тонких кромках крыльев делает преобразование крыла в полете как эффективным способом снижения ЭПР, так и эффективным способом удовлетворения противоречивым требованиям аэродинамики к крылу многорежимного БПЛА;

– возрастание ЭПР в азимутах 22° и 338° обусловлены, вероятно, отражением от внутренних поверхностей воздухозаборника и сопла. Модель БПЛА выполнялась с протоком для моделирования реактивной струи двигателя, при этом из-за сложности выполнения S-образного внутреннего канала, внутренний канал был выполнен простой формы, что обусловило увеличение ЭПР в этих азимутах.

В дальнейшей работе предполагается создание летающей модели БПЛА с преобразуемым крылом.

Список литературы

1. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов [Текст] / под ред. Г.С. Бюшгенса. – М.: Наука, Физматлит, 1998. – 816 с.
2. Андреев Ю.В. Особенности проектирования и перспективы развития маневренных самолетов [Текст] / Ю.В. Андреев. – М.: МАИ, 1999. – 68 с.
3. Мицмакер М.Ю. Качество современных безэховых камер и радиопоглощающие материалы [Текст] / М.Ю. Мицмакер // Антенны. – М.: Связь, 1980. – Вып. 28. – С. 147-164.
4. Мицмакер М.Ю. Безэховые камеры СВЧ [Текст] / М.Ю. Мицмакер, В.А. Торгованов. – М.: Радио и связь, 1982. – 128 с.
5. Львова Л.А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов [Текст] / Л.А. Львова. – Снежинск. Изд-во: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. – 232 с.

Поступила в редколлегию 29.08.2014

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.В. Логинов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ МОДЕЛІ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАКА З КРИЛОМ, ЯКЕ ПЕРЕТВОРЮЄТЬСЯ

Є.О. Українець

Представлені результати експерименту з моделями безпілотного літака з крилом, яке перетворюється в аеродинамічній трубі Т-1 Харківського університету Повітряних Сил і безеховій камері Харківського національного університету. В результаті обробки експериментальних даних отримані залежності коефіцієнту лобового опору, піднімальної сили, аеродинамічної якості, характеристики розсіювання при різному положенні крила, яке перетворюється. На основі аналізу отриманих залежностей визначені оптимальні за критеріями «максимальна аеродинамічна якість», «мінімальний лобовий опір», «мінімальна радіолокаційна помітність» варіанти положення крила, яке перетворюється.

Ключові слова: крило, яке перетворюється, аеродинамічна труба, безехова камера, аеродинамічні характеристики, характеристики радіолокаційної помітності, модельний експеримент, багатоцільовий БПЛА.

AERODYNAMIC PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF RADAR VISIBILITY OF A MODEL OF THE PILOTLESS AIRPLANE WITH A TRANSFORMABLE WING

E.A. Ukrainets

Results of experiment with models of the pilotless airplane with a transformable wing in the wind tunnel T-1 of the Kharkov university of Air Forces and the echoless chamber of the Kharkov national university are presented. As a result of handling of experimental data relations of drag coefficient, lifting power, aerodynamic quality, the dispersion characteristic are received at various positions of a transformable wing. On the basis of the analysis of the received relations position versions of a transformable wing concerning a fuselage (optimum by criteria «the maximum lift-to-drag ratio», «the minimum drag», «the minimum radar visibility») are determined.

Keywords: a transformable wing, a wind tunnel, the echoless chamber, aerodynamic properties, characteristics of a radar visibility, modelling experiment, multi-purpose pilotless airplane.