

И. О. Бобарика

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКРАНОПЛАНА СХЕМЫ «УТКА» С УЧЕТОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЕГО НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассматривается влияние взаимного расположения несущих поверхностей проектируемого экраноплана на его характеристики. Определяются возможные изменения аэродинамических характеристик, габаритных размеров и весовых параметров аппарата при рациональном взаимном расположении несущих поверхностей с учетом их интерференции.

Ключевые слова: экраноплан, интерференция, взаимовлияние, эксперимент.

При проектировании экранопланов схемы «утка» несущие поверхности (НП) традиционно выполняются сильно разнесенными в продольной плоскости для минимизации отрицательной интерференции между НП и обеспечения устойчивости аппарата [1]. Однако, это влечет за собой существенное увеличение массы и габаритных размеров аппарата. Предлагается сближенное в продольной плоскости взаимное расположение НП, при котором основное крыло располагается в ближнем вихревом следе за ПГО таким образом, что несвернутая вихревая пелена за ПГО оказывается приведенной в носок основного крыла. При таком взаимном расположении НП носок основного крыла оказывается в зоне пониженного давления, при этом реализуется безударное обтекание основного крыла [2]. В результате, за счет уменьшения аэродинамического сопротивления основного крыла существенно увеличивается аэродинамическое качество НП. При этом рациональным взаимным расположением НП считается такое, при котором достигается наибольшее аэродинамическое качество системы.

Разработанная математическая модель описана в [3] и позволяет привести сходящую с ПГО вихревую пелену в носок основного крыла с помощью:

- изменения угла атаки ПГО;
- изменения отстояния ПГО от экрана;
- изменения расстояния между НП.

В качестве примера для НП из профиля Göttingen 434 проведены теоретические изыскания и построено семейство кривых их рациональных взаимных расположений для различных относительных отстояний основного крыла от экрана $\bar{h}_{кр}$ (рис. 1, 2).

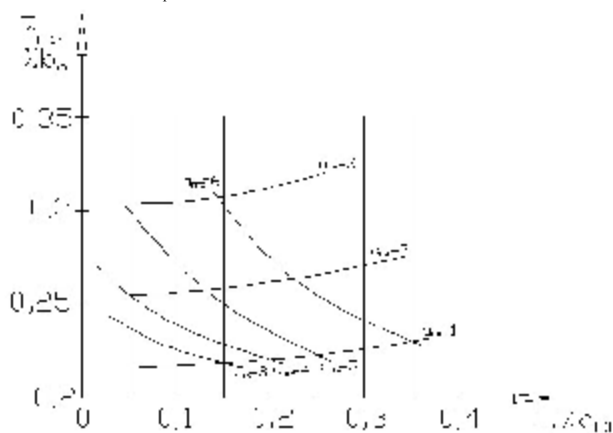


Рис. 1. Семейство кривых рациональных взаимных расположений несущих поверхностей при $\bar{h}_{кр} = 0,1$

Для проверки разработанной математической модели была проведена серия экспериментов в аэродинамической трубе.

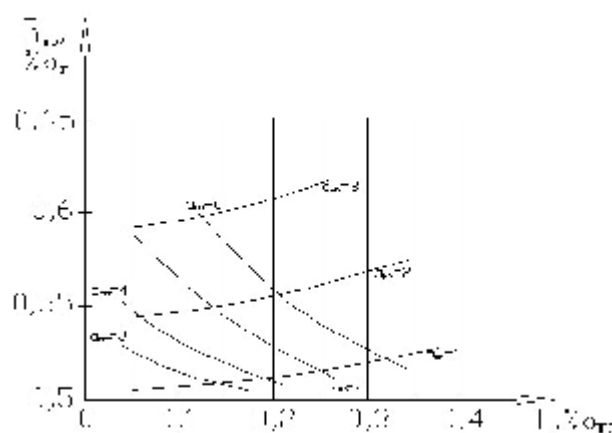


Рис. 2. Семейство кривых рациональных взаимных расположений несущих поверхностей при $\bar{h}_{кр} = 0,2$

При экспериментальных исследованиях с учетом существующих технических возможностей существуют следующие цели:

- подтверждение возможности наличия положительной интерференции НП схемы «утка» в зоне действия экранного эффекта при расположении основного крыла в ближнем вихревом следе за ПГО;
- путем сравнения теоретических результатов и тензометрических записей качественное подтверждение целесообразности выявления закономерностей поведения потока в межкрыльевом пространстве и, как следствие, закономерностей обеспечения рационального взаимного расположения НП для реализации максимального аэродинамического качества несущей системы;
- определение достоверности математической модели, описывающей поведение потока в межкрыльевом пространстве, и при необходимости обозначение основных направлений корректировок математической модели на основе экспериментальных данных;
- определение правильности принятия допущений о поведении потока с учетом диссипации в возмущенном следе за НП и о возрастании возмущений в потоке перед НП на основе экспериментальных данных.

Для проведения качественных экспериментов использовался экспериментальный комплекс, включающий в себя следующие компоненты:

- аэродинамическую трубу АТ-2 открытого типа с закрытой рабочей частью и регулируемым по высоте экраном;

- устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента;

- модель системы НП схемы «утка»;

- аппаратно-программный узел, включающий измерительную, регистрирующую и тарифовочную аппаратуру с источниками питания.

Аэродинамическая труба (АДТ) АТ-2 выполнена с прямоугольным сечением рабочей части и снабжена спрямляющей решеткой, расположенной во входной части. Механизм подъема–опускания экрана выполнен с электроприводом с дистанционным управлением, что позволяет изменять высоту экрана, не открывая рабочую часть АДТ, и это существенно уменьшает время эксперимента. Для минимизации возмущений механизм управления экраном выполнен вынесенным за пределы тракта трубы, а экран – листом Д-16Т толщиной 6 мм с острой передней кромкой. Скорость потока в рабочей части АДТ АТ-2 составляет 17 м/с.

Устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента (рис. 3) состоит из многокомпонентных тензовесов, в которых расположены чувствительные элементы 1 и 2 с расположенными на них тензодатчиками 3, закрепленные неподвижно на неподвижных опорах 4 и 5 поддерживающего устройства, включающего переднюю горизонтально расположенную балку 6 с пазом для продольного перемещения, соединенную с задней горизонтально расположенной балкой 7 болтами 15, задней стойкой 8, нижней частью, соединенной с моделью болтом 16, верхней частью, соединенной с задней частью задней балки болтами 17, средней стойку 9, имеющую в верхней части паз для перемеще-

ния в вертикальной плоскости, и нижней частью, соединенной болтом 18 с моделью, а верхней – с передней частью задней балки болтом 19, переднюю стойку 10, имеющую в верхней части паз для перемещения в вертикальной плоскости и паз в средней части, и нижней частью, соединенной болтом 20 с моделью, а верхней – с передней частью передней балки болтами 21, а также переднюю штангу 11, соединенную с нижней частью болтом 22 с моделью, а верхней – с передней стойкой болтом 23, соединенного шарнирными звеньями 12, расположенными на осях 13 с чувствительными элементами 1, и ненапрянутого элемента 14 типа канат, соединяющего модель с жестко закрепленным на передней опоре 5 чувствительным элементом 2. Опоры 4 и 5, балки 6 и 7, стойки 8, 9 и 10 и штанга 11 выполнены плоскими для минимизации вносимых возмущений, что позволяет считать испытываемые НП аэродинамически чистыми.

Описанное устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента является собственной разработкой авторов (И. Н. Гусев, И. О. Бобарика), выполненной в рамках данных исследований. Принято положительное решение от 06.08.2009 о выдаче патента на устройство согласно заявке № 2009128091/22(039030) от 20.07.2009.

Модель системы НП схемы «утка» представляет собой ПГО и основное крыло, выполненные в определенных соотношениях геометрических величин. Каждая из НП выполнена с наличием концевых шайб, характерных для экранопланов (концевые шайбы сделаны плоскими). На верхних поверхностях каждой НП выполнены элементы для крепления ее к соответствующим стойкам описанного поддерживающего устройства.

Для минимизации влияния стенок АДТ АТ-2 на характер обтекания системы НП размах большей НП (ос-

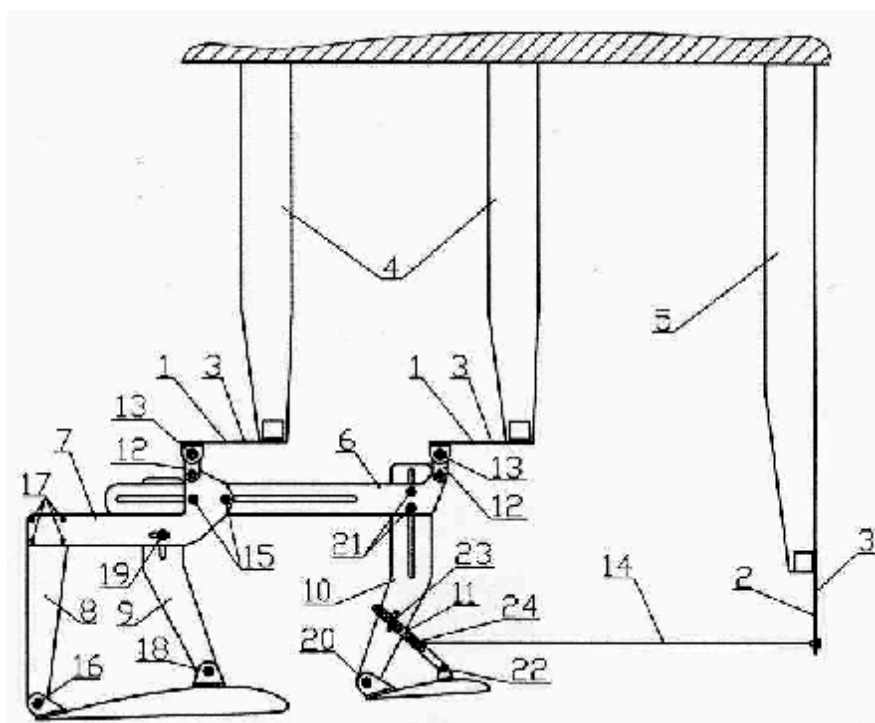


Рис. 3. Устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента

новное крыло) выполнен так, чтобы обеспечивалось следующее условие:

$$(L_{\text{рч}} - l_{\text{нп}}) / 2 < l_{\text{нп}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{рч}}$ – ширина рабочей части АДГ; $l_{\text{нп}}$ – размах НП.

Основные параметры модели приведены в табл. 1.

Для регистрации подъемной силы использовались 4 измерительных тензодатчика, соединенных последовательно с одним компенсационным и подключенных к одному каналу АЦП-ЦАП SigmaUSB 16/16 с синфазным типом выхода по полумостовой четырехпроводной схеме.

На первом этапе продувок рассматривались изолированные ПГО и основное крыло в зоне влияния экрана с целью проверки измерительного комплекса на адекватность показаний.

По результатам данного этапа исследований построены поляры основного крыла (в данной системе НП основное крыло и ПГО выполнены из одного профиля) для $\bar{h} = 0,5$ и $\bar{h} = 0,2$ (рис. 4). В качестве сравнения на рис. 4 отображена поляра для внеэкранного режима ($\lambda = 2$). На качественном уровне наблюдается некоторая размытость в различиях значений коэффициентов c_x и c_y для различных отстояний НП, что связано с различием удлинений исследуемой НП ($\lambda = 2$) и эталонной ($\lambda = 5$), однако общие тенденции изменения параметров налицо.

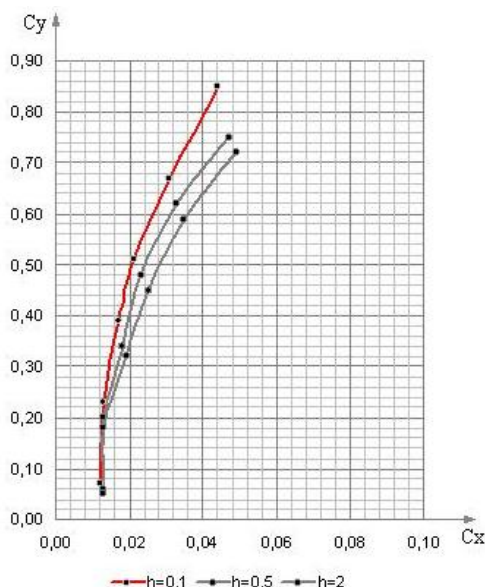


Рис. 4. Поляры НП при различных отстояниях от экрана

Таким образом, по результатам первого этапа исследований экспериментальный измерительный комплекс оценивается как дающий адекватные значения.

На втором этапе рассматривались несколько случаев взаимного расположения НП, которые по результатам теоретических исследований могут быть приняты как рациональные (контрольные точки на рис. 1 и 2). Таким образом, были рассмотрены расчетные случаи взаимного расположения НП с ожидаемыми максимумами аэродинамического качества согласно табл. 2.

Для того, чтобы подтвердить значения максимума в каждой из контрольных точек, необходимо выполнить ряд продувок с изменением какого-либо из варьируемых параметров, за исключением $\bar{h}_{\text{кр}}$. Для этого, в качестве варьируемого параметра был выбран параметр $\alpha_{\text{пго}}$; значение его для каждого расчетного случая изменялось от 1 до 6–7° (в зависимости от конкретного случая) равномерно с шагом в 1°. Таким образом, на втором этапе в общей сложности было выполнено 50 продувок, по результатам которых были составлены графики функциональных зависимостей (рис. 5) для каждого расчетного случая с параметрами согласно табл. 2.

На третьем этапе рассматривались такие случаи взаимного расположения НП, которые по результатам теоретических исследований заведомо нерациональны, единственно с целью получения поля данных, наиболее полно отражающих «картину» поведения потока внепрогнозируемых рациональных параметров их взаимного расположения (рис. 6).

Анализ полученных результатов второго этапа позволяет сделать вывод о степени влияния ПГО на основное крыло при различных установочных параметрах последнего. Так, обнаруживается существенное уменьшение положительной интерференции при увеличении межкрыльевого расстояния, что объясняется «рассеиванием» спутного следа за ПГО (увеличением толщины вихревой пелены) и сворачиванием вихревой пелены. При уменьшении же его картина взаимовлияния становится более «четкой» ввиду меньших отклонений потока и большего перепада давлений внутри и вне вихревой пелены. При увеличении $\alpha_{\text{кр}}$ возможная положительная интерференция существенно увеличивается ввиду возрастающего влияния безударного обтекания основного крыла.

Анализ полученных результатов третьего этапа позволяет сделать вывод о степени влияния ПГО на основное

Таблица 1

Основные параметры испытуемой модели системы НП

Параметр	Значение
Профиль основного крыла	Göttingen 434
Хорда основного крыла b , м	0,25
Удлинение основного крыла λ	2
Площадь основного крыла S , м ²	0,125
Стреловидность основного крыла χ , град	0
Сужение основного крыла n	1
Профиль ПГО	Göttingen 434
Хорда ПГО $b_{\text{пго}}$, м	0,125
Удлинение ПГО $\lambda_{\text{пго}}$	2,5
Площадь ПГО $S_{\text{пго}}$, м ²	0,04
Стреловидность ПГО $\chi_{\text{пго}}$, град	0
Сужение ПГО $n_{\text{пго}}$	1

крыло при различных параметрах их взаимного расположения. Так, при расположении основного крыла в ближнем следе за ПГО при определенных параметрах налицо отрицательная интерференция, вызванная затенением основного крыла ПГО. Данный эффект ярко выражен при меньших межкрыльевых расстояниях, при их увеличении отрицательная интерференция ослабевает. Из большинства графиков видно, что интерференция отрицательна, это отражает широко распространенное мнение, однако очевидно, что отрицательное явление наиболее существенно при «приведении» вихревой пелены под основное крыло в непосредственной близости и менее существенно при приведении вихревой пелены в надкрыльевую зону основного крыла. Положительная интерференция возможна тогда, когда несвернутая вихревая пелена с ПГО приведена в носок основного крыла. Здесь существенно уменьшается лобовое сопротивление основного крыла, притом, что его подъемная сила остается практически неизменной.

Результаты, полученные в ходе исследований, позволяют рассматривать возможность их использования как на этапе эскизного проектирования, так и на более ранних стадиях. При этом, полученные результаты дают возможность корректировки соотношений масс и размеров различных частей проектируемого аппарата с учетом улучшений свойств несущей системы и для его усиления, что, в свою очередь, сказывается на общих характеристиках проектируемого аппарата.

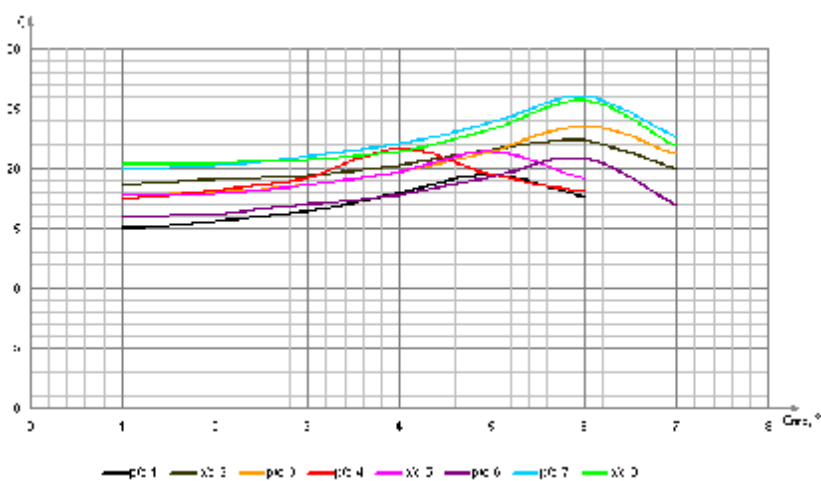


Рис. 5. Рациональные взаимные расположения НП

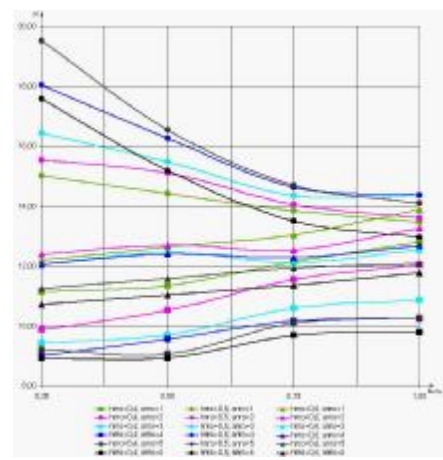


Рис. 6. Зависимость качества системы НП от расстояния между НП при различных положениях ПГО и фиксированном положении основного крыла $\bar{h}_{кр} = 0,2$ и $\alpha_{кр} = 1^\circ$

Таблица 2

Контрольные точки с ожидаемыми максимумами

№ п/с	$\alpha_{кр}$, град.	$\alpha_{пго}$, град.	$h_{кр}$, % $b_{кр}$	$h_{пго}$, % $b_{пго}$	L , % $b_{пго}$
1	1	5	20	51,5	25
2	2	6	20	56	20
3	3	6	20	60	12
4	1	4	10	21,8	20
5	1	5	10	22,2	25
6	1	6	10	23	35
7	2	6	10	26,4	23
8	3	6	10	33,8	15

циональное уменьшение его профильного сопротивления. Кроме того, меньшее удлинение фюзеляжа позволяет разместить агрегаты и грузы ближе к центру тяжести (ЦТ) и определяет меньший диапазон центровок в зависимости от загрузки, а также, как следствие, меньшую потребную площадь управляющих поверхностей несущей системы. Однако стоит заметить, что речь идет не об уменьшении пассажирской или грузовой кабины, а об уменьшении подкапотных пространств и количества вынужденных «мертвых» отсеков фюзеляжа. Таким образом, массу конструкции фюзеляжа можно снизить на 10–15 % (3), что в свою очередь дает вероятность для увеличения полезной нагрузки на величину Δm_ϕ :

$$\Delta m_\phi = (1 - 0,6^{-6} m_0) \times \left[\frac{0,014 \left(31 + (\Delta \lambda_\phi D_\phi)^{3/2} \right) \left(1 + 133 D_\phi^{3/2} m_0^{-1/2} \right)}{m_0^{1/2} \cos \chi} \right] + \frac{8 D_\phi + 10 D_\phi^2 \Delta \lambda_\phi}{m_0} + 0,018, \quad (3)$$

где Δm_ϕ – изменение массы конструкции фюзеляжа; $\Delta \lambda_\phi$ – изменение удлинения фюзеляжа.

Однако, следует учесть, что чрезмерное уменьшение λ_ϕ на величину $\Delta \lambda_\phi > 0,6$ может вызвать определенные трудности в стабилизации аппарата в связи с изменяющейся центровкой, что может повлечь за собой возникновение колебательных процессов с большим временем затухания. В то же время, при изменившихся соотношениях подъемных сил НП и моментов, возможно вновь изменение центровки аппарата для получения удовлетворительных характеристик самостабилизации.

Кроме того, схема «утка» в мировой практике нередко рассматривается как составная часть гибридной схемы, что позволяет выносить проблемы устойчивости и стабилизации за пределы подобных исследований, т. к. расположение горизонтального оперения (ГО) позади основного крыла вне зоны влияния экрана есть одно из классических решений проблемы устойчивости ЛА.

Результаты исследования показывают, что в качестве рационального взаимного расположения НП возможно такое расположение, при котором крыло находится в ближнем следе за ПГО, где вихревая пелена еще не свернута таким образом, что C_x значительно уменьшается при относительном постоянстве C_y , и это приводит к увеличению аэродинамического качества до 20 %. Зафиксированный положительный эффект достигается за счет обеспечения межкрыльевого расстояния $L \leq b_{\text{про}}$ и незначительного разнесения НП по отстоянию от экрана в соответствии с [2].

Библиографические ссылки

1. Панченков А. Н., Драчев П. Т., Любимов В. И. Экспертиза экранопланов. Н. Новгород : Поволжье, 2006.
2. Аэродинамика летательных аппаратов / Г. А. Колесников [и др.]. М. : Машиностроение. 1993.
3. Бобарика И. О., Гусев И. Н. Выбор рационального взаимного расположения несущих поверхностей экраноплана схемы «утка» // Вестник СибГАУ. Вып. 1(22). 2009. В 2 ч. Ч. 1. С. 73–77.
4. Проектирование самолетов / А. А. Бадягин [и др.]. М. : Машиностроение, 1972.

I. O. Bobarika

DESIGNING WING IN GROUND EFFECT CRAFT OF THE «DUCK» SCHEME WITH THE ACCOUNT OF THE INTERFERENCE OF ITS BEARING SURFACES

Influence of a relative positioning of bearing surfaces of projected wing in ground effect craft to its characteristics is considered. Possible changes of aerodynamic characteristics, overall dimensions and weight parameters of the device are defined at a rational relative positioning of bearing surfaces with the account of their interference.

Keywords: wing in ground effect craft, interference, mutual influence, experiment.

© Бобарика И. О., 2010