

УДК 629.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ФЮЗЕЛЯЖА КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И КРЫЛЬЕВ ТРЕУГОЛЬНОЙ И ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ ФОРМ В ПЛАНЕ

В. А. Фролов, А. В. Падорин, Р. Б. Рахманов, М. М. Адилов, К. В. Аксенов

Объектом исследования является модель крылатой ракеты. В результате работы определены коэффициенты интерференции для трёх комбинаций крылатой ракеты с крыльями треугольной и трапециевидной форм, изолированного фюзеляжа и семи комбинаций державка-крыло. Для каждой комбинации найдены коэффициенты интерференции фюзеляжа от крыльев на державке. Все коэффициенты сведены в таблицы и, по возможности, сравнены с их теоретическими значениями. Также произведён полный расчёт аэродинамических характеристик летательного аппарата.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, державка, фюзеляж, крылья, коэффициент нормальной силы, коэффициент интерференции.

Аэродинамической интерференцией принято называть взаимодействие потоков, обтекающих отдельные элементы летательного аппарата. Мерой интерференции служит изменение аэродинамических характеристик летательного аппарата по сравнению с характеристиками изолированного элемента [1].

Целью работы является исследование интерференции фюзеляжа круглого поперечного сечения и крыльев треугольной и трапециевидной форм в плане. Аэродинамические характеристики крылатой ракеты разделяются на компоненты, описывающие изолированные элементы: фюзеляж и крыло.

Для комбинаций этих двух элементов нормальная сила представлена в виде суммы нормальных сил изолированного фюзеляжа и крыла с учётом коэффициентов интерференции, обусловленных взаимодействием этих компонентов.

Для получения коэффициентов интерференции разработана модель крылатой ракеты (рис. 1 и 2) в виде цилиндра диаметром 52 мм с эллиптической носовой частью и

сменными крыльями. При создании модели для обеспечения максимально легкой и прочной конструкции фюзеляж и все консоли крыльев выполнены при помощи 3D печати, с использованием пластика ABS. Печать проводилась на кафедре адаптивных технологий Самарского университета. Крепёжные втулки выполнены из стали и сплава алюминия фрезерованием.

Разработанная модель позволяет измерять силы, действующие на изолированный фюзеляж, на фюзеляж в присутствии крыла и силы, действующие на крыло в присутствии фюзеляжа. Для проведения эксперимента использовалась экспериментальная установка, в состав которой входит аэродинамическая труба АДТ малых дозвуковых скоростей Т-3 СГАУ [1].

Применялся экспериментальный тензометрический метод для измерения аэродинамических сил, действующих на фюзеляж при наличии консолей крыльев и, наоборот, сил, действующих на консоли крыльев при присутствии фюзеляжа.

© Фролов В. А., Падорин А. В., Рахманов Р. Б., Адилов М. М., Аксенов К. В., 2020.

Фролов Владимир Алексеевич (frolov_va_ssau@mail.ru),

доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов;

Падорин Андрей Владимирович (andrei_padorin@rambler.ru), студент III курса;

Рахманов Роман Бабакулыевич (rahmanov.r99@gmail.com), студент III курса;

Адилов Миран Мухамбетжанович (adilov_miram@mail.ru), студент III курса;

Аксенов Кирилл Владимирович (aksionov.kirill@gmail.com), студент III курса Института авиационной техники Самарского университета,

443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

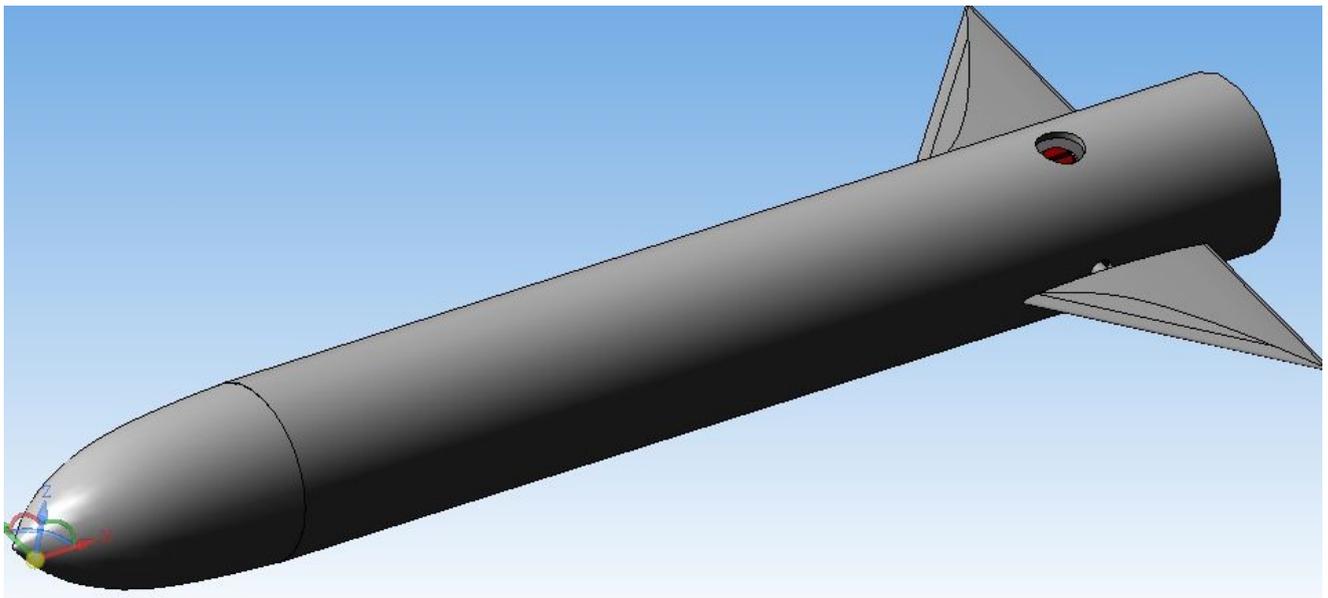


Рис. 1. 3D-модель крылатой ракеты, используемой в экспериментах

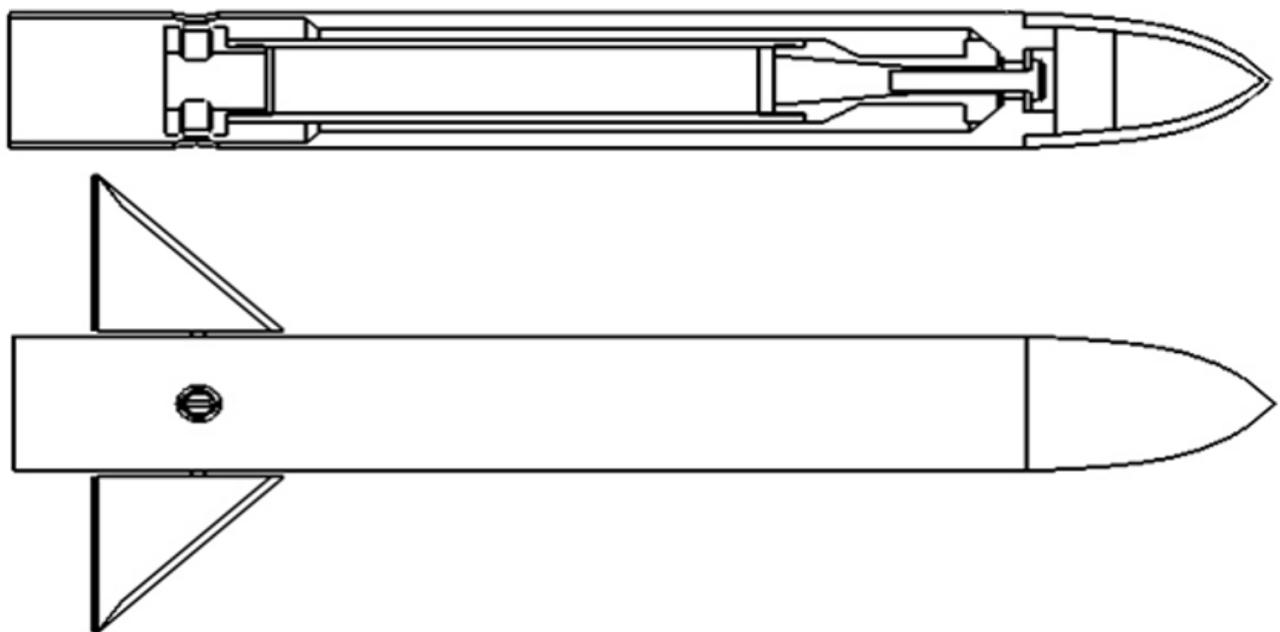


Рис. 2. Схема экспериментальной модели компоновки фюзеляж-треугольное крыло

Разработано специальное устройство, которое устанавливалось на тензометрическую головку штатных аэродинамических весов, применяемых в лаборатории аэродинамики Самарского университета. Эксперименты выполнены для семи крыльев, отличающихся различным размахом, что обеспечивало семь различных отношений диаметра фюзеляжа к размаху крыла \bar{D} (табл. 1). В каждой комбинации присутствует фюзеляж, втулка и пара консолей крыльев, поэтому, для удобства, все комбинации моделей

обозначены: ФК53, ФК65, ФК80, ФК50x80, ФК60x70, ФК70x60 и ФК70x50, в которых введены обозначения: Ф – фюзеляж, К – крыло, число после индекса К обозначает бортовую хорду крыла, а последние два числа – размах консоли у трапециевидных крыльев, мм.

В работе экспериментально определены коэффициенты интерференции для трёх комбинаций крылатой ракеты с крыльями треугольной и трапециевидной форм в плане. Теоретические значения коэффициентов интерференции взяты из работы Фролова В. А. [2].

Таблица 1

Геометрия крыльев

Название крыла	l_k , размах двух консолей, мм	l , размах исходного крыла, мм	λ_k , удлинение консоли	$S_{из}$, площадь изолированного крыла, мм ²	S , площадь консолей крыльев с подфюзеляжной частью, мм ²	$\bar{D} = d/l$
W53	106	162	2	2809	6561	0,32
W65	130	186	2	4225	8649	0,28
W80	160	216	2	6400	11664	0,24
W50x25x80	160	216	2,27	6000	8811	0,24
W60x30x70	140	196	2,11	6300	9710	0,27
W70x35x60	120	176	1,93	6300	10334	0,30
W70x35x50	100	156	1,63	5250	9363	0,33

Таблица 2

Значения коэффициентов интерференции и относительная погрешность сравнения для компоновки с треугольными крыльями ($\lambda_k = 2$)

\bar{D}	0,24	0,28	0,32
$C_{y\phi}^\alpha$, 1/град	0,0432		
$C_{y_{кр}}^\alpha$, 1/град	0,0497		
$C_{y_{кр(\phi)}}^\alpha$, 1/град	0,0564	0,0583	0,0631
$C_{y_{\phi(кр)}}^\alpha$, 1/град	0,0176	0,0258	0,0309
$C_{y_{(\phi,кр)}}^\alpha$, 1/град	0,0641	0,0683	0,0754
$K_{кр(\phi)}^T$	1,35	1,39	1,44
$K_{\phi(кр)}^T$	0,532	0,614	0,680
K_Σ^T	1,87	1,99	2,12
$K_{кр(\phi)}^3$	1,13	1,17	1,27
$K_{\phi(кр)}^3$	0,357	0,626	0,795
K_Σ^3	1,487	1,796	2,065
$\delta K_{кр(\phi)}$, %	16	16	12
$\delta K_{\phi(кр)}$, %	33	2	17
δK_Σ , %	20	10	12

Для расчёта коэффициентов интерференции использовались следующие формулы:

$$K_{\phi(кр)} = (C_{y_{\phi(кр)}}^\alpha - C_{y_\phi}^\alpha \frac{S_{м.ф}}{S}) / (C_{y_{кр}}^\alpha \frac{S_k}{S}),$$

$$K_{кр(\phi)} = \frac{C_{y_{кр(\phi)}}^\alpha}{C_{y_{кр}}^\alpha}, K_\Sigma = K_{кр(\phi)} + K_{\phi(кр)}.$$

где $C_{y_{\phi(кр)}}^\alpha$ – производная коэффициента нормальной силы фюзеляжа в присутствии крыла; $C_{y_\phi}^\alpha$, $C_{y_{кр}}^\alpha$ – производные коэффициентов нормальных сил изолированного фюзеляжа и изолированного крыла, соответственно; $C_{y_{кр(\phi)}}^\alpha$ – производная коэффициента нормальной силы крыла в присутствии

фюзеляжа; S_k , $S_{м.ф}$, S – площади изолированного крыла, миделя фюзеляжа и крыла с подфюзеляжной частью, соответственно.

В работе экспериментально определены коэффициенты интерференции для трёх комбинаций крылатой ракеты с крыльями треугольной и трапециевидной форм в плане. Теоретические значения коэффициентов интерференции взяты из работы Фролова В. А. [2].

Для расчёта коэффициентов интерференции использовались следующие формулы:

$$K_{\phi(\text{кр})} = (C_{y\phi(\text{кр})}^{\alpha} - C_{y\phi}^{\alpha} \frac{S_{\text{м.}\phi}}{S}) / (C_{y\text{кр}}^{\alpha} \frac{S_{\text{к}}}{S}),$$

$$K_{\text{кр}(\phi)} = \frac{C_{y\text{кр}(\phi)}^{\alpha}}{C_{y\text{кр}}^{\alpha}}, K_{\Sigma} = K_{\text{кр}(\phi)} + K_{\phi(\text{кр})}.$$

где $C_{y\phi(\text{кр})}^{\alpha}$ – производная коэффициента нормальной силы фюзеляжа в присутствии крыла; $C_{y\phi}^{\alpha}, C_{y\text{кр}}^{\alpha}$ – производные коэффициентов нормальных сил изолированного фюзеляжа и изолированного крыла, соответственно; $C_{y\text{кр}(\phi)}^{\alpha}$ – производная коэффициента нормальной силы крыла в присутствии фюзеляжа; $S_{\text{к}}, S_{\text{м.}\phi}, S$ – площади изолированного крыла, миделя фюзеляжа и крыла с

подфюзеляжной частью, соответственно.

Производные коэффициентов нормальных сил получены экспериментально и представлены в (табл. 2 и 3).

На (рис. 3 и 4) показаны результаты эксперимента (маркеры) и теоретические значения (линии) для коэффициентов интерференции.

Сравнение полученных экспериментальных и теоретических значений коэффициентов интерференции показало, что максимальное расхождение имеет место для суммарного коэффициента интерференции в случае компоновки фюзеляжа с трапециевидным крылом.

Таблица 3

Значения коэффициентов интерференции и относительная погрешность сравнения для компоновки с трапециевидными крыльями ($\eta_{\text{к}} = 2$)

\bar{D}	0,24	0,27	0,30	0,33
$C_{y\phi}^{\alpha}, 1/\text{град}$	0,043			
$C_{y\text{кр}}^{\alpha}, 1/\text{град}$	0,1171	0,0853	0,0628	0,0521
$C_{y\text{кр}(\phi)}^{\alpha}, 1/\text{град}$	0,0479	0,0405	0,0370	0,0263
$C_{y\phi(\text{кр})}^{\alpha}, 1/\text{град}$	0,0852	0,0895	0,0885	0,0787
$C_{y(\phi,\text{кр})}^{\alpha}, 1/\text{град}$	0,0670	0,0601	0,0570	0,0445
$K_{\text{кр}(\phi)}^{\text{T}}$	1,20	1,23	1,26	1,29
$K_{\phi(\text{кр})}^{\text{T}}$	0,28	0,33	0,37	0,42
K_{Σ}^{T}	1,49	1,56	1,63	1,71
$K_{\text{кр}(\phi)}^{\text{Э}}$	1,65	1,69	1,85	2,02
$K_{\phi(\text{кр})}^{\text{Э}}$	0,47	0,42	0,56	0,65
$K_{\Sigma}^{\text{Э}}$	1,96	2,11	2,41	2,67
$\delta K_{\text{кр}(\phi)}, \%$	37	37	47	57
$\delta K_{\phi(\text{кр})}, \%$	66	30	51	56
$\delta K_{\Sigma}, \%$	32	35	48	57

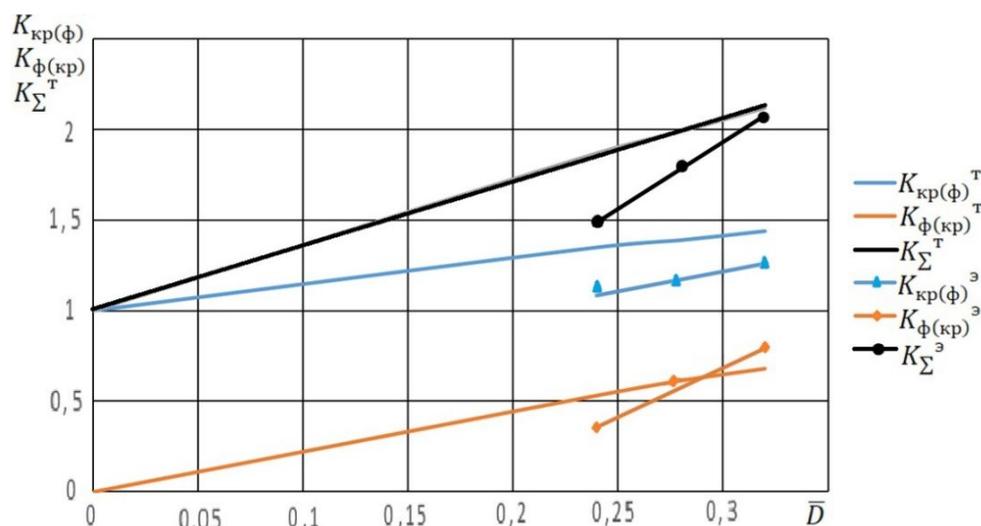


Рис. 3. Коэффициенты интерференции для компоновок с треугольными крыльями

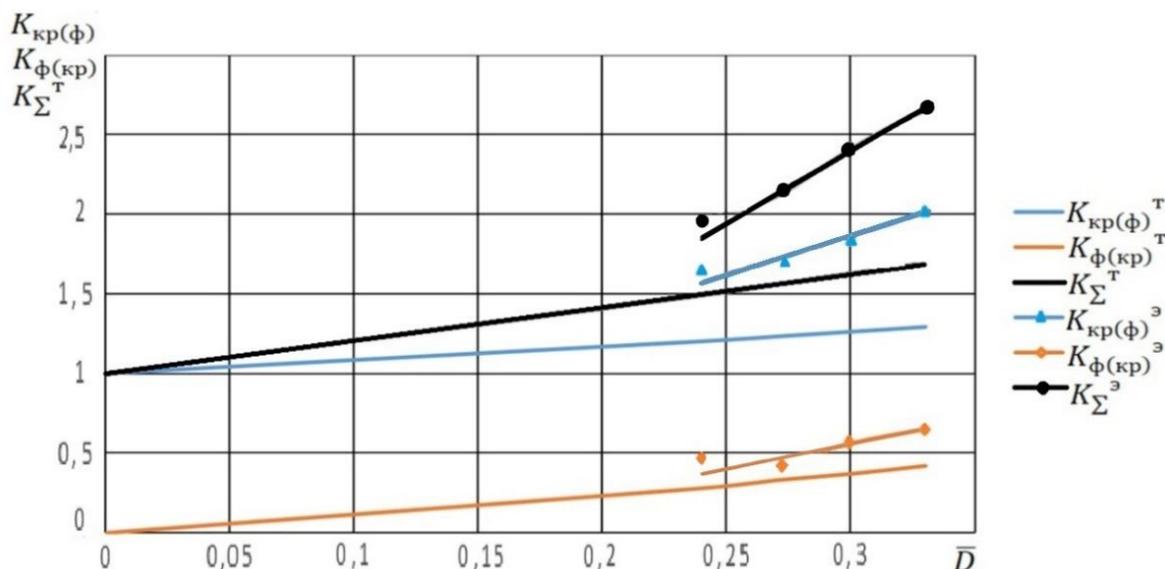


Рис. 4. Коэффициенты интерференции для компоновок с трапецевидными крыльями

Литература

1. Вузовская учебно-исследовательская аэродинамическая труба [Текст] / В. А. Комаров, В. В. Тарасов, В. А. Фролов, [и др.] // Полёт. М.: Машиностроение, 2006, 10. С. 34–40.
2. Фролов В. А. Методы расчёта несущих

характеристик компоновок фюзеляж-крыло. Аналитический обзор, математические модели, расчетные и экспериментальные данные, оптимизация / LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG. Saarbrücken. 2011. 141 с.

INVESTIGATION OF INTERFERENCE FUSELAGE OF CIRCULAR CROSS-SECTION AND TRIANGULAR AND TRAPEZOIDAL WINGS

V. A. Frolov, A. V. Padorin, R. B. Rakhmanov, M. M. Adilov, K. V. Aksenov

The object of the research is a model of a cruise missile. As a result, the interference coefficients for seven combinations of a cruise missile with triangular and trapezoidal wings were determined. For each combination, the interference coefficients are tabulated and, if possible, compared with their theoretical values.

Key words: wind tunnel, holder, fuselage, wings, normal force coefficient, interference coefficient.

Статья поступила в редакцию 08.07.2020 г.

© Frolov V. A., Padorin A. V., Rakhmanov R., B., Adilov M. M., Aksenov K. V., 2020.

Frolov Vladimir Alekseevich (frolov_ya_ssau@mail.ru),

associate professor of the Department of aircraft design and construction;

Padorin Andrey Vladimirovich (andrel_padorin@rambler.ru), student III course;

Rakhmanov Roman Babakulyevich (rabmanov.r99@gmail.com), student III course;

Adilov Miram Mukhambetzhonovich (adilov_miram@mail.ru), student III course;

Aksenov Kirill Vladimirovich (aksionov.kirill@gmail.com), student III course of the Institute of aviation technology of the Samara University,

443086, Russia, Samara, Moskovskoye Shosse, 34.