

Экспериментальное исследование несущей способности корпуса летательного аппарата с тремя внешними блоками, расположенными по схеме «Y»

А.И. Гермамо

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Обоснование. Авторам неизвестны исследования аэродинамических характеристик компоновок летательных аппаратов (ЛА) с тремя внешними блоками (ВБ). В статье делается попытка устранить данный пробел. В работе экспериментальным путем получена несущая характеристика трехблочной компоновки ЛА, с ВБ, расположенными параллельно оси основного корпуса по схеме «Y». Эксперимент проводился в аэродинамической трубе Самарского университета [1]. Основной проблемой определения несущих характеристик ЛА является возможность оценить взаимовлияние ВБ и основного корпуса ЛА [2–7]. Для этой цели предложена новая схема измерений тензометрическим методом, на основе которой получены коэффициенты интерференции.

Цель — определить величины производных коэффициентов нормальных сил по углу атаки, коэффициенты интерференции, учитывающие влияние ВБ на фюзеляж и фюзеляж на ВБ, а также их зависимости от относительного диаметра ВБ в компоновке модели трехблочного ЛА схемы «Y».

Методы. На основании поэлементного метода расчета [4, 6, 7] производную коэффициента нормальной силы по углу атаки компоновки ЛА $C_{yк}^\alpha$, можно записать в виде:

$$\begin{aligned} C_{yк}^\alpha &= \frac{1}{S_{м.к}} \left[S_{м.ф} \left(C_{yф}^\alpha + \Delta C_{yф(б)}^\alpha \right) + K_T \left(n_б C_{yб}^\alpha S_{м.б} + \Delta C_{yб(ф)}^\alpha S_{м.ф} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{S_{м.к}} \left[S_{м.ф} C_{yф}^\alpha \left(1 + \frac{\Delta C_{yф(б)}^\alpha}{C_{yф}^\alpha} \right) + K_T \left(n_б C_{yб}^\alpha S_{м.б} + \frac{\Delta C_{yб(ф)}^\alpha}{C_{yф}^\alpha} C_{yф}^\alpha S_{м.ф} \right) \right] = \\ &= \frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}} \left[C_{yф}^\alpha \left(1 + K_{ф(б)} \right) + K_T \left(n_б C_{yб}^\alpha \frac{S_{м.б}}{S_{м.ф}} + K_{б(ф)} C_{yф}^\alpha \right) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где $S_{м.к}$, $S_{м.ф}$ и $S_{м.б}$ — площади миделевых сечений компоновки в целом (сумма миделевого сечения корпуса и всех миделевых сечений ВБ), миделевое поперечное сечение корпуса, миделевое поперечное сечение ВБ; $C_{yф}^\alpha$, $C_{yб}^\alpha$, $\Delta C_{yф(б)}^\alpha$ и $\Delta C_{yб(ф)}^\alpha$ — производные коэффициентов нормальных сил по углу атаки фюзеляжа (корпуса), ВБ и дополнительных нормальных сил, возникающих на корпусе от влияния ВБ и на ВБ от влияния корпуса; $n_б$ — количество ВБ (в данном случае $n_б = 3$); K_T — коэффициент торможения потока, набегающего на ВБ. Коэффициент интерференции, учитывающий влияние ВБ на корпус $K_{ф(б)}$, определяется на основании метода, описанного в патенте [8], для случая, когда между корпусом и ВБ имеется небольшая щель (шириной не более 2 мм) и сами блоки закрепляются с помощью специального кронштейна позади основного корпуса. Такое крепление блоков позволяет не передавать аэродинамическую силу на чувствительные элементы тензовесов, действующую на сами ВБ, и в то же время измерять силу, действующую на основной корпус, с учетом интерференционной силы от ВБ. В этом случае формулу для коэффициента интерференции $K_{ф(б)}$ можно записать так:

$$K_{ф(б)} = \frac{\Delta C_{yф(б)}^\alpha}{C_{yф}^\alpha} = \frac{\Delta C_{yф(б)}^\alpha + C_{yф}^\alpha - C_{yф}^\alpha}{C_{yф}^\alpha} = \frac{C_{yф}^\alpha + \Delta C_{yф(б)}^\alpha}{C_{yф}^\alpha} - 1,0. \quad (2)$$

Тогда из формулы (1) второй коэффициент интерференции $K_{\phi(6)}$, учитывающий влияние корпуса на ВБ, можно выразить формулой:

$$K_{\phi(6)} = \frac{C_{yк}^{\alpha} - \frac{1}{1+n_6\bar{d}^2} C_{yф}^{\alpha} (1+K_{\phi(6)}) - \kappa_T n_6 C_{yб}^{\alpha} \frac{\bar{d}^2}{1+n_6\bar{d}^2}}{\kappa_T C_{yф}^{\alpha} \frac{1}{1+n_6\bar{d}^2}} = \frac{C_{yк}^{\alpha} (1+n_6\bar{d}^2) - C_{yф}^{\alpha} (1+K_{\phi(6)}) - \kappa_T n_6 C_{yб}^{\alpha} \bar{d}^2}{\kappa_T C_{yф}^{\alpha}}, \quad (3)$$

в формуле (3) принято обозначение $\bar{d} = d/D$ для относительного диаметра ВБ, где d — диаметр ВБ; D — диаметр основного корпуса. Итак, для расчета коэффициентов интерференции по формулам (2) и (3) необходимо экспериментально определить следующие величины: $C_{yк}^{\alpha}$, $C_{yф}^{\alpha}$, $C_{yб}^{\alpha}$ и κ_T .

Результаты. На рис. 1 представлена зависимость производной коэффициента нормальной силы по углу атаки от относительного диаметра ВБ. Данная зависимость хорошо аппроксимируется с относительным среднеквадратичным отклонением (СКО) $\sigma \approx 1,1\%$ полиномом второй степени

$$C_{yк}^{\alpha} = 0,0473 + 0,0268\bar{d} - 0,0174\bar{d}^2.$$

Взятие производной, приравнивание ее к нулю и последующее решение линейного уравнения позволяет определить оптимальный относительный диаметр ВБ $\bar{d}_{opt} \approx 0,77$, обеспечивающий максимальное значение производной коэффициента нормальной силы по углу атаки компоновки ЛА $C_{yк max}^{\alpha} \approx 0,058 \text{ град}^{-1}$. На рис. 2 показана зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние ВБ на корпус от относительного диаметра ВБ.

Данные экспериментальные результаты аппроксимируются с относительным СКО $\sigma \approx 5\%$ следующим уравнением:

$$K_{\phi(6)} = -0,1569\bar{d} + 0,9685\bar{d}^2.$$

На рис. 3 показана зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние корпуса на ВБ, от относительного диаметра ВБ.

Коэффициент интерференции $K_{\phi(6)}$ аппроксимируется полином второй степени с относительным СКО $\sigma \approx 5\%$.

$$K_{\phi(6)} = -0,0556 + 1,1821\bar{d} - 0,8654\bar{d}^2.$$

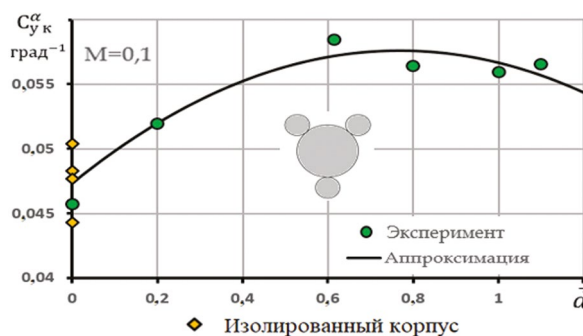


Рис. 1. Зависимость производной коэффициента нормальной силы по углу атаки от относительного диаметра ВБ

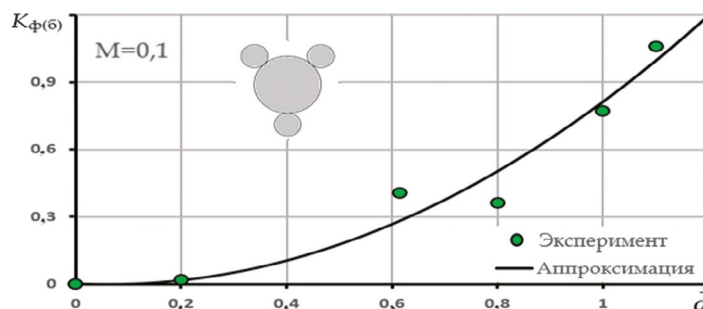


Рис. 2. Зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние блоков на корпус от относительного диаметра ВБ

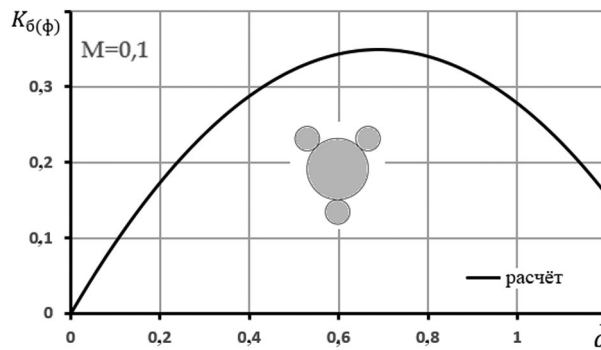


Рис. 3. Зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние корпуса на блоки от относительного диаметра ВБ

Выводы. Получена зависимость производной коэффициента нормальной силы по углу атаки для трехблочных компоновок ЛА с расположением ВБ по схеме «У» от относительного диаметра ВБ; установлены зависимости коэффициентов интерференции от относительного диаметра блоков, характеризующие как влияние ВБ на основной корпус, так и корпуса на ВБ.

Ключевые слова: трехблочный летательный аппарат; корпус; внешние блоки; несущие характеристики; схема «У»; тензометрический метод; производная коэффициента нормальной силы по углу атаки.

Список литературы

1. Комаров В.А., и др. Вузовская учебно-исследовательская аэродинамическая труба // Полет. 2006. № 10. С. 34–41. EDN: RUNBOE
2. Петров К.П. Аэродинамика транспортных космических систем. Москва: Эдиториал УРСС, 2000. 368 с.
3. Петров К.П. Аэродинамика тел простейших форм. Москва: Факториал, 1998. 432 с.
4. Новикова А.А., Фролов В.А. Методика экспериментального исследования интерференции модели ракеты-носителя // XV Королевские чтения: Международная молодежная научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова. 2019. Т. 1. С. 170–171. EDN: GKLUYG
5. Каримуллин И.Г. Экспериментальные исследования основных аэродинамических характеристик параллельно соединенных в одной плоскости трех цилиндрических тел. Москва: Изд. отдел ЦАГИ, 1978. 20 с.
6. Гермамо А.У., Фролов В.А. Экспериментальное определение несущих характеристик комбинации корпуса с двумя блоками, расположенными в горизонтальной плоскости симметрии // XXVI Всероссийский семинар по управлению движением и навигации летательных аппаратов: сборник трудов. Самара, 2023. С. 147–153.
7. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета. Москва: Машиностроение, 1973. 616 с.
8. Патент № 2830561/21.11.2024. Гермамо А.И., Золотарев А.Г., Фролов В.А. Способ исследования аэродинамического взаимовлияния корпуса и внешних блоков сборной модели летательного аппарата и устройство его реализующее. Режим доступа: <https://ssau.ru/patents/show/3235> Дата обращения: 05.07.2025.

Сведения об авторе:

Акхилу Йигезу Гермамо — аспирант, группа А404, институт авиационной и ракетно-космической техники; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: germato@mail.ru

Сведения о научном руководителе:

Владимир Алексеевич Фролов — кандидат технических наук, доцент; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: frolov_va@mail.ru