

СЕКЦИЯ № 3.

АЭРОДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Председатели: к.т.н., профессор, Шахов В.Г.
к.т.н., доцент Фролов В.А.*

УДК 533.69.048

Гермато А.У., Фролов В.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНАЦИИ КОРПУСА С ДВУМЯ БЛОКАМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СИММЕТРИИ

Целью работы являются несущие характеристики моделей компоновки корпуса с боковыми блоками, расположенными в горизонтальной плоскости симметрии. 3D-модели показаны на рис. 1. Эксперименты проводились в аэродинамической трубе Т-3 Самарского университета [1].

Для измерения аэродинамических сил использовался тензометрический метод с установкой чувствительных элементов внутри модели. В данной работе представлены коэффициенты только нормальной силы, которые определялись по формуле

$$C_y = \frac{Y}{q_\infty S_{м.ф}} \quad (1)$$

где Y – нормальная сила, Н; $q_\infty = \frac{\rho_\infty V_\infty^2}{2}$ – скоростной напор, Па; ρ_∞ – плотность воздуха, кг/м³; V_∞ – скорость набегающего потока, м/с; $S_{м.ф}$ – площадь миделевого сечения корпуса, м².

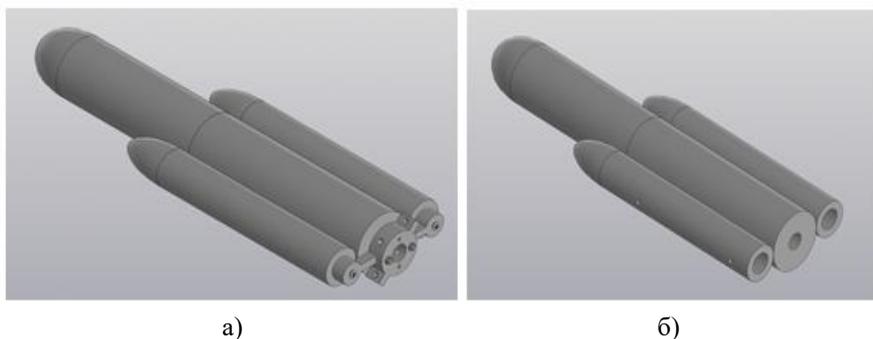


Рис. 1 Компоновка корпуса с боковыми блоками, расположенными горизонтально: а – крепление боковых блоков специальным кронштейном на штанге позади тензоголовки; б – крепление боковых блоков жёстко к корпусу

Диаметр корпуса равнялся 65 мм, а диаметр блока – 40 мм, что дало отношение диаметра блока к диаметру корпуса $\bar{d} = 40/65 \approx 0,615$. Удлинения головных частей корпуса и блоков были соответственно равны 0,76 и 1,25. Исследования аэродинамики подобных комбинаций корпуса и боковых блоков содержит работа К.П. Петрова [2]. Эксперимент проводился по четырём этапам. Первый этап – продувка изолированного корпуса и изолированного блока. Второй этап – продувка комбинации корпуса с жёстким креплением боковых блоков. Третий этап – продувка корпуса в присутствии боковых блоков, закреплённых на специальном кронштейне, не позволяющим передаче аэродинамической силы от боковых блоков к корпусу.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициентов нормальной силы изолированного корпуса и изолированного блока.

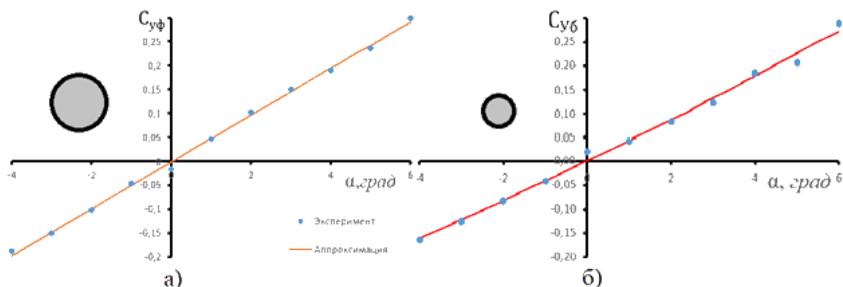


Рис. 2. Зависимости коэффициентов нормальной силы изолированного корпуса и бокового блока от угла атаки: а – изолированный корпус; б – изолированный боковой блок

На основании рис. 2 по методу наименьших квадратов определены производные коэффициентов нормальной силы по углу атаки C_y^α при угле атаки $\alpha \rightarrow 0$. Величины этих производных внесены в табл. 1. Как известно, производную коэффициента нормальной силы комбинации корпуса с боковыми блоками по углу атаки $C_{укомб}^\alpha$ можно записать в виде формулы

$$C_{укомб}^\alpha = C_{уф}^\alpha + n_б C_{уб}^\alpha \frac{S_{м.б}}{S_{м.ф}} + \Delta C_{уф(\phi)}^\alpha + \Delta C_{уб(\phi)}^\alpha \frac{S_{м.б}}{S_{м.ф}}, \quad (2)$$

где $C_{уф}^\alpha$, $C_{уб}^\alpha$, $\Delta C_{уф(\phi)}^\alpha$, $\Delta C_{уб(\phi)}^\alpha$ – производные коэффициента нормальной силы и дополнительной нормальной силы на корпусе и боковом блоке по углу атаки, соответственно, 1/град; $n_б$ – количество боковых блоков в комбинации; $S_{м.б}$ – площадь миделя бокового блока. Если ввести коэффициенты интерференции по следующим формулам [3-4]:

$$K_{\phi(\phi)} = \frac{\Delta C_{у\phi(\phi)}^\alpha}{C_{у\phi}^\alpha}, \quad K_{б(\phi)} = \frac{\Delta C_{уб(\phi)}^\alpha}{C_{уб}^\alpha}, \quad (3)$$

то формулу (2) можно записать с использованием коэффициентов интерференции (3) в виде

$$\begin{aligned}
 C_{y \text{ комб}}^\alpha &= C_{y \phi}^\alpha + n_\phi C_{y \phi}^\alpha \frac{S_{M,\phi}}{S_{M,\phi}} + K_{\phi(\phi)} C_{y \phi}^\alpha + K_{\phi(\phi)} C_{y \phi}^\alpha \frac{S_{M,\phi}}{S_{M,\phi}} = \\
 &= C_{y \phi}^\alpha (1 + K_{\phi(\phi)}) + C_{y \phi}^\alpha \frac{S_{M,\phi}}{S_{M,\phi}} (n_\phi + K_{\phi(\phi)}). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Тогда коэффициенты интерференции могут быть вычислены на основании экспериментальных результатов по формулам:

$$K_{\phi(\phi)} = \frac{[C_{y \phi}^\alpha + \Delta C_{y \phi}^\alpha(\phi)]^3 - C_{y \phi}^\alpha}{C_{y \phi}^\alpha}, \quad K_{\phi(\phi)} = \frac{C_{y \text{ комб}}^\alpha - C_{y \phi}^\alpha (1 + K_{\phi(\phi)})}{C_{y \phi}^\alpha \frac{S_{M,\phi}}{S_{M,\phi}}} - n_\phi, \quad (5)$$

где величина $[C_{y \phi}^\alpha + \Delta C_{y \phi}^\alpha(\phi)]^3$ измеряется непосредственно в эксперименте для модели [рис. 1 а)] с использованием специального кронштейна, что позволяет измерить нормальную силу, действующую на корпус в присутствии боковых блоков. На рис. 3 эта величина представлена в зависимости от угла атаки.

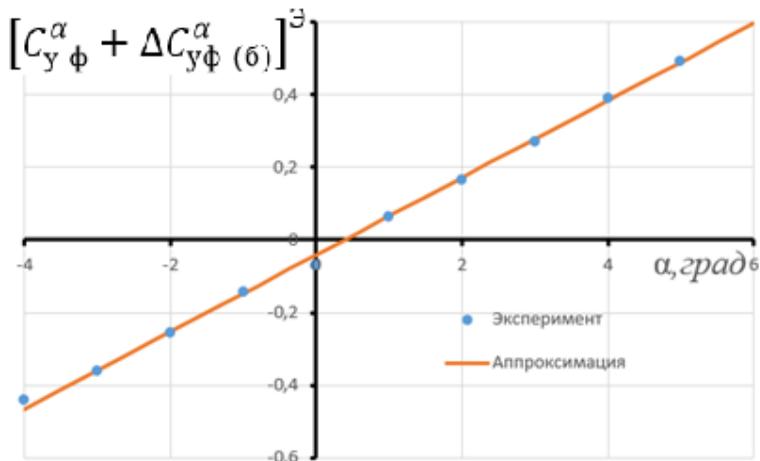


Рис. 3 Зависимость коэффициента нормальной силы от угла атаки для корпуса в присутствии блоков, установленных на специальном кронштейне

На рис. 4 показан коэффициент нормальной силы в зависимости от угла атаки для комбинации корпуса и боковых блоков, прикреплённых к корпусу жестко (синие маркеры – экспериментальные результаты), зелёная линия – расчёт по формуле (4), в которой коэффициенты интерференции вычислены по формуле (5).

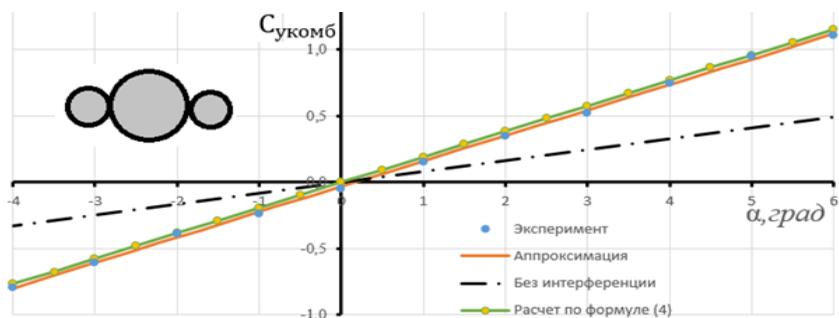


Рис. 4 Зависимости коэффициента нормальной силы от угла атаки комбинации цилиндра с двумя боковыми блоками, расположенными горизонтально

Хорошее согласование между зелёной и оранжевой линиями, говорит о правильном расчёте коэффициентов интерференции и достоверности формул (4) и (5). Для сравнения на этом рисунке штрихпунктирной линией показан расчёт коэффициента нормальной силы комбинации корпуса и боковых блоков по формуле (2) без учёта интерференции, то есть при $\Delta C_{у\phi(\phi)}^\alpha = \Delta C_{у\phi(\phi)}^\alpha \equiv 0$. Сравнивая штрихпунктирную линию и оранжевую линию, можно сделать вывод о существенном влиянии интерференции на коэффициент нормальной силы комбинации из трёх цилиндров. Числовые значения производных коэффициентов нормальных сил комбинации, изолированных корпуса и блока, а также коэффициентов интерференции представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

№	Схема	Обозначения	c_y^α 1/град	$K_{\phi(\bar{b})}$ $\bar{d} = 0,615$	$K_{\phi(\bar{b})}$ $\bar{d} = 0,7$ [3]	$K_{\bar{b}(\phi)}$ $\bar{d} = 0,615$	$K_{\bar{b}(\phi)}$ $\bar{d} = 0,7$ [3]
1		Изолированный фюзеляж	0,049	–	–	–	–
2		Изолированный блок	0,043	–	–	–	–
3		Комбинация корпуса с двумя блоками	0,192	1,16	1,59	3,28	3,72

Имеющиеся расхождения в величинах коэффициентов интерференции по сравнению с работой [3] можно объяснить бóльшим отношением диаметра блока к корпусу, исследованным в работе [3].

Заключение

Получены коэффициенты интерференции, позволяющие оценивать несущие характеристики комбинации цилиндрического корпуса с цилиндрическими блоками, расположенными горизонтально, с отношением диаметра блока к диаметру корпуса равным 0,615;

Сравнения с данными другого эксперимента, проведённого с подобной аэродинамической схемой, показали относительную погрешность 13% для коэффициента интерференции $K_{\bar{b}(\phi)}$ и 31% для $K_{\phi(\bar{b})}$, что может быть объяснено различием в отношениях диаметра блока к корпусу.

Библиографический список

1. Комаров, В.А. Вузовская учебно-исследовательская аэродинамическая труба / В.А. Комаров, В.В. Тарасов, В.А. Фролов,

В.Г. Шахов // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». – 2006. № 10. – С. 34–41.

2. Петров, К.П. Аэродинамика транспортных космических систем / К.П. Петров. – Москва: Эдиториал УРСС, 2000. – 368 с.

3. Новикова, А.А. Методика экспериментального исследования интерференции модели ракеты-носителя / А.А. Новикова, В.А. Фролов // Междунар. молодёж. науч. конф. «XV Королёвские чтения», посвящённая 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова. – 2019. – Т.1. – С. 170–171.

4. Новикова, А.А., Фролов, В.А. Экспериментальное исследование интерференции боковых ускорителей, расположенных в перпендикулярных плоскостях симметрии, и корпуса ракеты-носителя / А.А. Новикова, В.А. Фролов // Всерос. конф. мол. учёных-механиков (YSM-2020) Сочи, «Буревестник» МГУ, 3-13 сентября. – 2020. – С. 112.

УДК 531.533

Кусюмов А.Н., Кусюмов С.А.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСАЦИЙ СИГНАЛА

Из литературы известны различные подходы к анализу энергетических характеристик сигнала. Для непрерывного во времени реального сигнала $u(t)$ энергия сигнала ES определяется выражением

$$E_T = \int_{-\infty}^{\infty} U(t) dt, \quad (1)$$

где $U(t) = u^2(t)$. Спектральный анализ для ограниченного во времени сигнала (в диапазоне $-T/2 \leq t \leq T/2$) проводится с помощью преобразования Фурье [1]: