4. Фролов, В.А. Несущие характеристики крыла, установленного на фюзеляже с подвесным грузом по схеме высокоплана // Материалы 52 школы-конференции «Актуальные проблемы механики» 23-27 июня 2025. – СПб., Россия. – С. 205-207.

5. Jones, R. T. Wing theory. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1990.

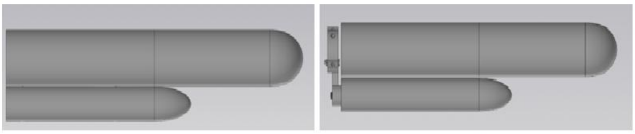
УДК 533.69.048

А.Й. Гермамо

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В СХЕМЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОДНОГО ВНЕШНЕГО БЛОКА СНИЗУ В ПЛОСКОСТИ СИММЕТРИИ

Введение. В работе экспериментальным методом получена несущая характеристика одноблочной компоновки модели летательного аппарата (ЛА) с одним внешним блоком (ВБ), расположенным снизу. Эксперимент проводился в аэродинамической трубе Самарского университета [1]. Поскольку в работах [2] показано, что форма головных частей, соотношение длин основного корпуса и ВБ при дозвуковых скоростях обтекания не влияют на несущие характеристики компоновок, то основным параметром является относительный диаметр ВБ $\left(\overline{d} = d/D\right)$, где d– диаметр ВБ; D – диаметр корпуса. Предложена новая схема измерений тензометрическим методом [3], на основе которой получены коэффициенты интерференции.

На рис.1 представлены 3D модели для одноблочной компоновки модели ЛА с размещением ВБ снизу корпуса.



а) б)

Рис.1 Компоновка корпуса с ВБ, расположенным снизу:
а) крепление ВБ жёстко к корпусу; б) крепление ВБ специальным кронштейном на штанге позади тензоголовки

Методика проведения эксперимента и обработки результатов. На основании поэлементного расчёта АДХ летательного аппарата (ЛА) представим нормальную силу, действующую на ЛА в виде

$$Y_{\text{к}} = Y_{\text{ф}} + \Delta Y_{\text{ф(б)}} + n_{\text{б}} Y_{\text{б}} + \Delta Y_{\text{б(ф)}}, \qquad (1)$$

где $Y_{\text{к}}$, $Y_{\text{ф}}$ и $Y_{\text{б}}$ – нормальные силы, действующие на компоновку в целом, корпус (фюзеляж) и один ВБ, соответственно, *Н*; $\Delta Y_{\text{ф(б)}}, \Delta Y_{\text{б(ф)}}$ – дополнительные интерференционные силы, возникающие на корпусе из-за аэродинамического влияния ВБ и, возникающие на ВБ от присутствия основного корпуса, *Н*; $n_{\text{б}}$ – количество ВБ. В данном исследовании количество ВБ $n_{\text{б}}$ =1.

Если применить основную формулу аэродинамики, то можно все нормальные силы записать через коэффициенты этих сил в виде:

$$\begin{aligned} &Y_{\text{к}} = C_{y\,\text{к}} \cdot q_{\infty} \cdot S_{\text{м.к}}; \quad Y_{\text{ф}} = C_{y\,\text{ф}} \cdot q_{\infty} \cdot S_{\text{м.ф}}; \quad Y_{\text{б}} = C_{y\,\text{б}} \cdot q_{\text{б}} \cdot S_{\text{м.б}}; \\ &\Delta Y_{\text{ф(б)}} = \Delta C_{y\,\text{ф(б)}} \cdot q_{\infty} \cdot S_{\text{м.ф}}; \quad \Delta Y_{\text{б(ф)}} = \Delta C_{y\,\text{б(ф)}} \cdot q_{\text{б}} \cdot S_{\text{м.ф}}, \end{aligned} \qquad (2)$$

где $C_{y\,\text{к}}, C_{y\,\text{ф}}, C_{y\,\text{б}}$ – коэффициенты нормальных сил, действующих на компоновку в целом, на изолированный корпус и ВБ, соответственно; q_{∞}, $q_{\text{б}}$, – скоростные напоры, воздействующие на компоновку в целом и на корпус, на ВБ, соответственно, *Па*; $S_{\text{м.к}}$, $S_{\text{м.ф}}$ и $S_{\text{м.б}}$ – характерные площади: площади миделевых сечений компоновки в целом, корпуса и одного ВБ, $м^2$. За характерную площадь компоновки в целом принимается сумма площадей основного корпуса и ВБ, т.е. $S_{\text{м.к}} = S_{\text{м.ф}} + S_{\text{м.б}}$.

С учётом формул (2) формулу (1) можно переписать следующим образом:

$$C_{y\,\text{к}} q_{\infty} S_{\text{м.к}} = C_{y\,\text{ф}} q_{\infty} S_{\text{м.ф}} + \Delta C_{y\,\text{ф(б)}} q_{\infty} S_{\text{м.ф}} + C_{y\,\text{б}} q_{\text{б}} S_{\text{м.б}} + \Delta C_{y\,\text{б(ф)}} q_{\infty} S_{\text{м.ф}} \qquad (3)$$

где $\Delta C_{y\,\text{ф(б)}}, \Delta C_{y\,\text{б(ф)}}$, – дополнительные (интерференционные) коэффициенты нормальных сил, возникающих на корпусе от аэродинамического влияния одного ВБ и, возникающие на ВБ от влияния корпуса, соответственно, *Н*.

Почленное деление левой и правой частей уравнения (3) на произведение $\left(q_{\infty} S_{\text{м.к}}\right)$ даёт

$$C_{yк} = C_{yф}\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}} + \Delta C_{yф(б)}\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}} + k_m C_{yб}\frac{S_{м.б}}{S_{м.к}} + \kappa_m \Delta C_{yб(ф)}\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}} =$$

$$= \frac{1}{S_{м.к}}\left[S_{м.ф}\left(C_{yф} + \Delta C_{yф(б)}\right) + k_m\left(C_{yб}S_{м.б} + \Delta C_{yб(ф)}S_{м.ф}\right)\right], \qquad (4)$$

где $k_т = q_б / q_\infty$. – коэффициент торможения потока в районе расположения головной части ВБ. Поскольку настоящее исследование посвящено малым дозвуковым скоростям, то в дальнейших расчётах полагалось $k_т \approx 1,0$. Считая, что при малых углах атаки α, зависимости коэффициентов нормальных сил изолированного корпуса, ВБ и компоновки в целом C_{yj} линейно зависят от угла атаки (нижний индекс j – обозначает либо корпус, либо ВБ, либо компоновку в целом). Будем полагать $C_{yj} = C^{\alpha}_{yj} \cdot \alpha$, где $C^{\alpha}_{yj} = \left(dC_{yj}/d\alpha\right)_{|\alpha\to 0}$ – производные коэффициентов нормальных сил по углу атаки для изолированного корпуса, ВБ и компоновки в целом. Тогда формулу (4) можно записать в виде

$$C^{\alpha}_{yк} = \frac{1}{S_{м.к}}\left[S_{м.ф}\left(C^{\alpha}_{yф} + \Delta C^{\alpha}_{yф(б)}\right) + \left(C^{\alpha}_{yб}S_{м.б} + \Delta C^{\alpha}_{yб(ф)}S_{м.ф}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{S_{м.к}}\left[C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}\left(1 + \frac{\Delta C^{\alpha}_{yф(б)}}{C^{\alpha}_{yф}}\right) + \left(C^{\alpha}_{yб}S_{м.б} + \frac{\Delta C^{\alpha}_{yб(ф)}}{C^{\alpha}_{yф}}C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}\right)\right] = \qquad (5)$$

$$= \frac{C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}}{S_{м.к}}\left[\left(1 + \frac{\Delta C^{\alpha}_{yф(б)}}{C^{\alpha}_{yф}}\right) + \left(\frac{C^{\alpha}_{yб}S_{м.б}}{C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}} + \frac{\Delta C^{\alpha}_{yб(ф)}}{C^{\alpha}_{yф}}\right)\right]$$

Введём коэффициенты интерференции следующим образом:

$$K_{ф(б)} = \frac{\Delta C^{\alpha}_{yф(б)}}{C^{\alpha}_{yф}}, \quad K_{б(ф)} = \frac{\Delta C^{\alpha}_{yб(ф)}}{C^{\alpha}_{yф}}. \qquad (6)$$

Предыдущую формулу (5) с учётом (6) можно переписать в виде

$$C^{\alpha}_{yк} = \frac{C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}}{S_{м.к}}\left[\left(1 + K_{ф(б)}\right) + \left(\frac{C^{\alpha}_{yб}S_{м.б}}{C^{\alpha}_{yф}S_{м.ф}} + K_{б(ф)}\right)\right]. \qquad (7)$$

Из формулы (7) можно получить коэффициент интерференции, учитывающий влияние фюзеляжа на ВБ

$$K_{б(ф)} = \frac{C^{\alpha}_{у к} - C^{\alpha}_{уф}\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}}\left(1+K_{ф(б)}\right) - C^{\alpha}_{уб}\frac{S_{м.б}}{S_{м.к}}}{C^{\alpha}_{уф}\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}}}, \qquad (8)$$

где отношение площадей можно записать в виде:

$$\frac{S_{м.ф}}{S_{м.к}} = \frac{1}{1+\bar{d}^2};\ \frac{S_{м.б}}{S_{м.к}} = \frac{\bar{d}^2}{1+\bar{d}^2}. \qquad (9)$$

С учётом (9) формула (8) примет вид

$$K_{б(ф)} = \frac{C^{\alpha}_{ук} - \frac{1}{1+\bar{d}^2}C^{\alpha}_{уф}\left(1+K_{ф(б)}\right) - C^{\alpha}_{уб}\frac{\bar{d}^2}{1+\bar{d}^2}}{C^{\alpha}_{уф}\frac{1}{1+\bar{d}^2}} = \frac{C^{\alpha}_{ук}(1+\bar{d}^2) - C^{\alpha}_{уф}\left(1+K_{ф(б)}\right) - C^{\alpha}_{уб}\bar{d}^2}{C^{\alpha}_{уф}}. \qquad (10)$$

Итак, для расчёта коэффициентов интерференции по формулам (6) и (10) необходимо экспериментально определить следующие величины: $C^{\alpha}_{у к}, C^{\alpha}_{уф}, C^{\alpha}_{уб},\ \Delta C^{\alpha}_{уф(б)}, \Delta C^{\alpha}_{уб(ф)}$ и $K_{б(ф)}$.

Производные коэффициентов нормальных сил по углу атаки для компоновки в целом и изолированных корпуса и ВБ определяются на основании продувки изолированных тел и комбинации при жёстком креплении ВБ к корпусу и установленных непосредственно на тензовесы. Коэффициент интерференции, учитывающий влияние ВБ на корпус $K_{ф(б)}$ определяется на основании метода, описанного в патенте [3], для случая, когда между корпусом и ВБ имеется щель не более 2 *мм*, а сам ВБ закрепляется с помощью специального кронштейна позади основного корпуса. Такое крепление ВБ позволяет не измерять аэродинамическую силу, действующую на сам ВБ и в тоже время измерять силу, действующую на основной корпус с учётом интерференционной силы от ВБ. Для такого случая первую формулу (6) можно записать так

$$K_{ф(б)} = \frac{\Delta C^{\alpha}_{уф(б)}}{C^{\alpha}_{уф}} = \frac{\Delta C^{\alpha}_{уф(б)} + C^{\alpha}_{уф} - C^{\alpha}_{уф}}{C^{\alpha}_{уф}} = \frac{C^{\alpha}_{уф} + \Delta C^{\alpha}_{уф(б)}}{C^{\alpha}_{уф}} - 1,0. \qquad (11)$$

Результаты. На рис.2 показано зависимость производной коэффициента нормальной силы по углу атаки компоновки от относительного диаметра ВБ.

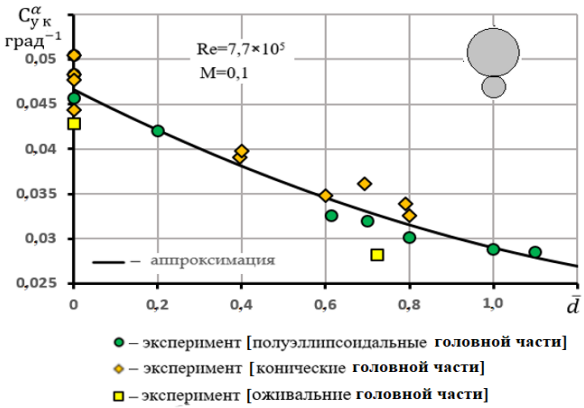


Рис. 2. Зависимость производной коэффициента нормальной силы по углу атаки компоновки от относительного диаметра внешнего блока

Сплошная линия на рис. 2 хорошо аппроксимируется с полиномом второй степени $C^{\alpha}_{у\ к}$=0,04728–0,02378$\bar{d}$ + 0,00581$\bar{d}^2$ со среднеквадратичным отклонением (СКО) равным σ=1 %. На рис. 3 представлена зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние ВБ на корпус от относительного его диаметра.

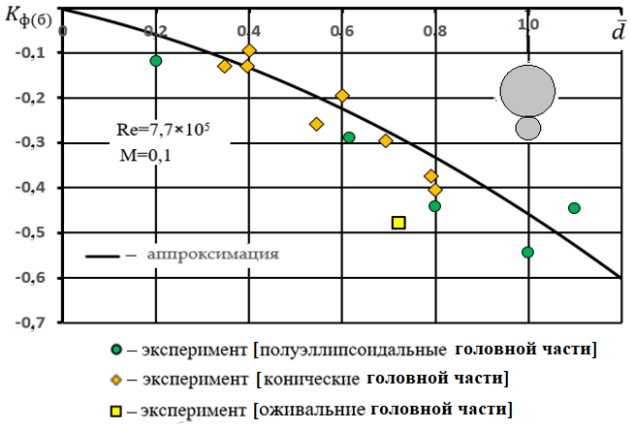


Рис. 3. Зависимость коэффициента интерференции, характеризующего влияние ВБ на корпус от относительного его диаметра

Сплошная линия на рис.3 аппроксимируется полиномом второй степени

$$K_{ф(б)}=-0,2373\bar{d}-0,2173\bar{d}^2.$$ с СКО σ=4 %.

На рис. 4 показана зависимость коэффициента интерференции, учитывающего влияние фюзеляжа на ВБ от относительного диаметра блока.

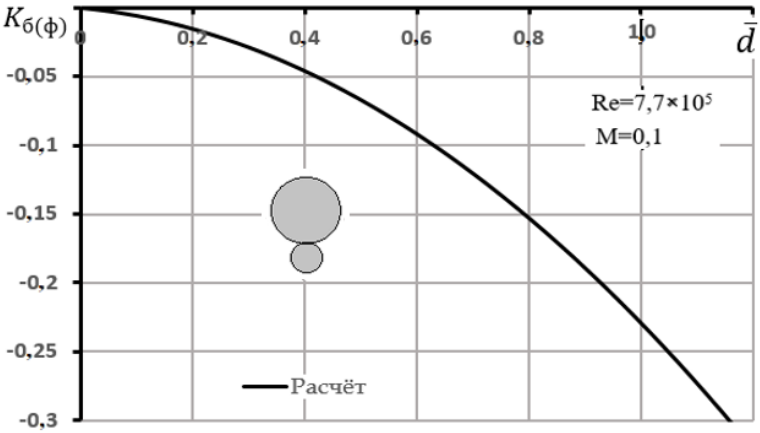


Рис. 4. Зависимость коэффициента интерференции, учитывающего влияние фюзеляжа на блок от относительного диаметра блока

Сплошная линия на рис.4 хорошо аппроксимируется полиномом второй степени $K_{б(ф)}=0,0385\bar{d}-0,1899\bar{d}^2$ с СКО σ=0,5 %.

Заключение. Установлено, что величина производной коэффициента нормальной силы по углу атаки для комбинации схемы с одним ВБ закреплённый снизу меньше, чем у изолированного корпуса, т.е. наличие внешнего блока снизу ухудшает несущие характеристики комбинации.

Список использованных источников

1. Комаров, В.А. [и др.]. Вузовская учебно-исследовательская труба. – М.: Изд-во «Машиностроение», общерос. науч.-техн. журнал «Полёт». – 2006. – С. 34-41.

2. Germamo, A.Y. Определение несущей способности корпуса с одним внешним блоком, расположенным сверху // Управление движением и нави-

гация летательных аппаратов: сб. тр. XXVII Всерос. семинара по упр. движением и навигации летат. аппаратов (Самара, 11-14 июня 2024 г.) – С. 235-238.

3. Гермамо, А.Й. [и др.]. Патент RU 2830 561,Способ исследования аэродинамического взаимовлияния корпуса и внешних блоков сборной модели летательного аппарата и устройство его реализующее. – 2024. – 17 с.

УДК 629.735.33:681.32.0

В.А. Клементьев, Д.В. Груздев

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕРХЗВУКОВОЙ ТРУБЫ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПОСЛЕ ЕЁ РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ

Введение. Сверхзвуковая труба Т-2(АДТ-2) Самарского университета находится в аэродинамической лаборатории 7 корпуса, в 407 аудитории.

Первоначально труба использовалась для моделирования процессов абляции теплозащитных покрытий моделей возвращаемых космических капсул (70-е годы прошлого века). С тех пор и по настоящее время труба используется для проведения лабораторных работ по курсам «Аэрогидрогазодинамика» [1] и «Термодинамика и теплопередача».

Осенью 2023 г. труба вышла из строя из-за попадания постороннего предмета через выхлопную трубу в сверхзвуковое сопло. После разборки рабочей части трубы предмет с большим трудом был удалён. Последующая ревизия выхлопной трубы АДТ-2 на крыше 7 корпуса показала отсутствие защитного устройства на нём. Кроме того, из-за многолетнего попадания осадков в трубу оказалась поржавевшей державка для закрепления моделей и термопар.

Методика модернизации. В результате было разработано и изготовлено защитное устройство, состоящее из верхнего защитного конуса и нижнего конуса-обтекателя, снижающего аэродинамическое сопротивление верхнего конуса (грибка). В результате измерений скорости потока из выхлопной трубы без защитного устройства и с защитным устройством, было отмечено небольшое снижение скорости выхлопа воздушного по-