

УДК: 533.601 (075.8)

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИРИЖАБЛЯ МЯГКОГО ТИПА ВБЛИЗИ ЭКРАНА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СТРУЙ ОТ ВИНТОВ

ЛЕ КУОК ДИНЬ, ДАНГ НГОК ТХАНЬ, Н.В. СЕМЕНЧИКОВ, О.В. ЯКОВЛЕВСКИЙ

По заказу редакционной коллегии

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ципенко В.Г.

Приводятся результаты численного исследования аэродинамических характеристик дирижабля мягкого типа с работающими винтами в дозвуковом потоке вязкого газа вблизи экрана. Показано влияние работы винтов и относительного расстояния дирижабля до экрана на величины его аэродинамических нормальной и продольной сил, а также момента тангажа при изменении углов атаки дирижабля.

Ключевые слова: дирижабль мягкого типа, аэродинамические характеристики, влияние винтов и экрана.

Изучение аэродинамических характеристик дирижаблей вблизи и вдали от экрана проводится в мире в течение многих лет. Известны как экспериментальные исследования [1; 2], так и численные исследования [3-5] и в том числе, для дирижаблей с работающими винтами [4; 5]. Тем не менее ощущается недостаток сведений об особенностях изменения аэродинамических характеристик дирижабля, особенно с работающими винтами вблизи экрана при его маневрировании в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В данной работе представлены результаты численного моделирования пространственного обтекания вязким газом и расчета аэродинамических характеристик дирижабля с работающими винтами вблизи экрана, когда дирижабль перемещается в плоскости, параллельной экрану, а плоскость вращения его винтов перпендикулярна продольной оси корпуса (оболочки) дирижабля. Схема дирижабля с винтами представлена на рис. 1.

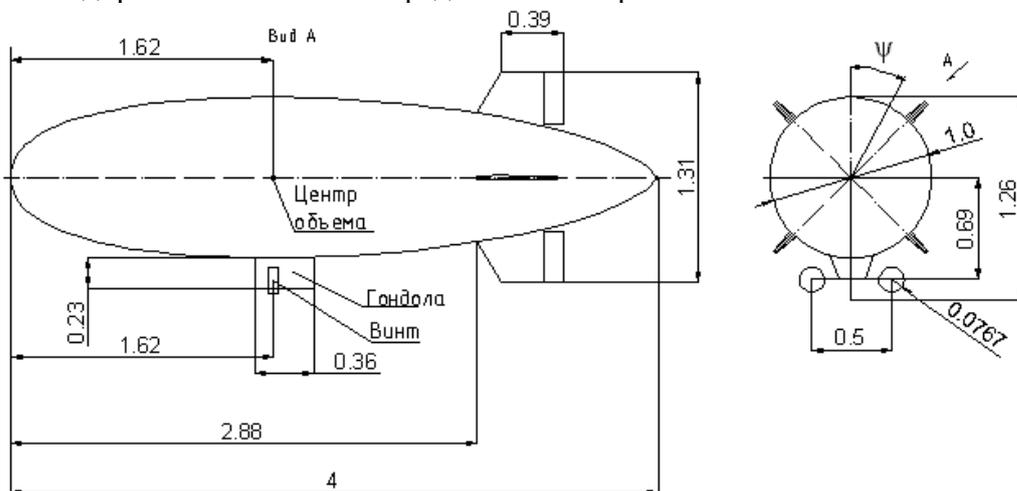


Рис. 1. Схема дирижабля с винтами

Исследования проведены для случая поступательного движения дирижабля без скольжения в спокойной атмосфере с постоянной скоростью, равной $V_\infty = 20$ м/с. Дирижабль перемещался вблизи неподвижного экрана с углами атаки $\alpha = -10^\circ \div 10^\circ$. В расчетах число оборотов винта принималось равным 3000 об/мин. Относительное расстояние дирижабля от экрана изменялось в пределах $\bar{N} = N/D = 1,2 \div 2,69$, где N – расстояние от центра объема корпуса дирижабля до экрана, а D – диаметр миделевого сечения корпуса дирижабля. Течение в окрестности дирижабля считалось турбулентным.

Объект исследований – малоразмерный дирижабль мягкого типа – имел два свободных двухлопастных воздушных винта, установленных на гондоле симметрично относительно его базовой плоскости, оболочку с удлинением $\lambda = 4$, гондолу, ориентированные относительно его базовой плоскости по схеме "х" трапецевидные консоли оперения с профилем НАСА 0006 и неотклоненными рулями (рис. 1). Носовое усиление оболочки и крепление винтов в расчетах не учитывались.

В сечениях лопастей винта использовался модифицированный профиль RAF-6. Геометрические параметры винта в виде зависимостей крутки $\bar{\varphi} = \varphi - \varphi_{0,75}$, относительной ширины лопасти $\bar{b} = b/D_B$, толщины $\bar{c} = c/b$ и кривизны $\bar{f} = f/b$ от относительного радиуса $\bar{r} = 2r/D_B$ представлены на рис. 2. Здесь r – радиус сечения его лопасти; φ – угол ее установки; $\varphi_{0,75}$ – угол установки при $\bar{r} = 0,75$; b, c, f – хорда, толщина и кривизна средней линии профиля.

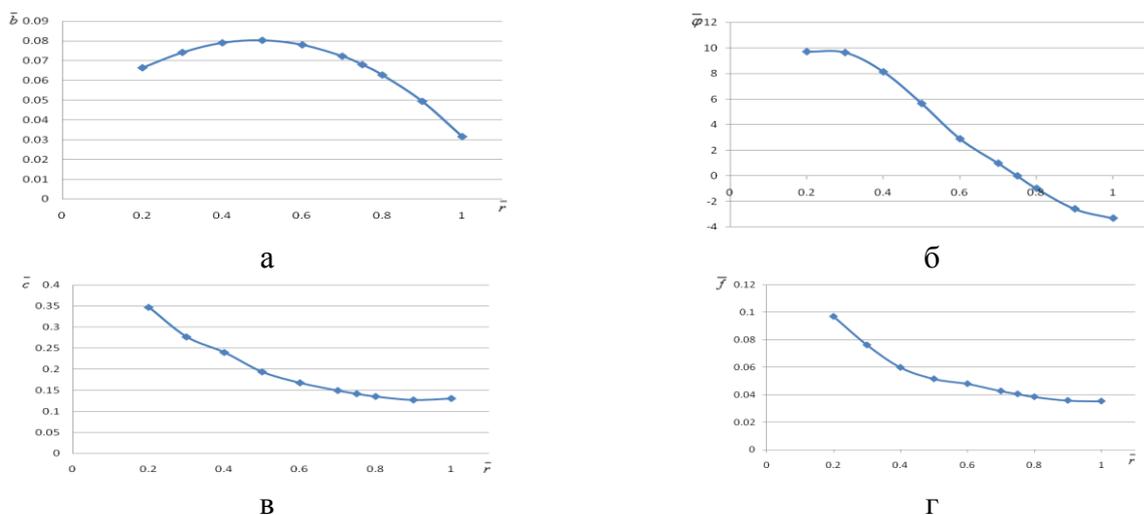


Рис. 2. Зависимости относительной ширины (а), крутки (б), толщины (в) и кривизны (г) профиля лопасти винта от относительного радиуса

Задача решалась численно. Использовались записанные для пространственного течения осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса [6; 7], замкнутые моделью турбулентности "SST $k-\omega$ ", и метод контрольного объема [8]. Для расчетов был применен комплекс вычислительных программ, содержащий адаптированный авторами к поставленной задаче программный комплекс ANSYS 12.0 (лицензия № 00241d277c88), а также специальные дополнительные программы, разработанные авторами. На поверхности дирижабля и винтов, а также на экране ставилось условие прилипания. Кроме того, выставлялись условия на границах расчетной области.

Расчетная область представляла собой полуцилиндр, опирающийся на экран и имеющий длину и диаметр, равные двадцати длинам корпуса модели дирижабля. Расчетная сетка имела блочную структуру. Структура расчетной области выбиралась из условия минимизации количества ячеек, форма которых ухудшала сходимость и аппроксимацию дифференциальных уравнений. Сетка была адаптирована к особенностям течения и имела сгущение вблизи поверхности тела.

В результате расчетов были получены параметры потока в расчетных точках, найдены коэффициенты давления и трения, определены в связанной системе координат коэффициенты аэродинамических сил и моментов, действующих на дирижабль и винты. Коэффициенты давления и трения, а также аэродинамических сил и момента тангажа подсчитывались по общепринятым формулам. Коэффициенты аэродинамических сил дирижабля были отнесены к $W^{2/3}$, а коэффициенты его аэродинамического момента тангажа, подсчитанного относительно центра объема оболочки, отнесены к W , где W – объем оболочки дирижабля.

Анализ картин линий тока в окрестности дирижабля вблизи экрана показывает, что область следа за дирижаблем с работающими винтами расширяется по сравнению со случаем отсутствия винтов. При этом картина линий тока вблизи оболочки почти не зависит от того, работают винты или нет. При работе винтов обтекание консолей оперения на наветренной стороне корпуса улучшается. Удаление дирижабля от экрана в целом слабо влияет на картины линий тока в окрестности дирижабля с работающими винтами и конфигурацию следа за ним и в большей степени сказывается на обтекании консолей оперения.

Слабое различие картин течения в окрестности дирижабля без винтов и с работающими винтами позволяет предположить, что характер распределения сил трения и давления по оболочке дирижабля без винтов и с работающими винтами должен быть примерно одинаковым. На графиках, представленных для примера на рис. 3, видно, что работа винтов и в самом деле практически не отражается на особенностях распределения давления и сил трения вдоль оболочки, но вызывает изменение величин коэффициентов давления и трения при $x/L = \text{const}$ в рассматриваемой точке обвода оболочки. Наиболее сильно работа винтов отражается на распределении сил трения по оболочке за гондолой и винтами (рис. 3а, $\psi = 180^\circ$, $x/L > 0,5$). В то же время влияние работы винтов на величины коэффициентов давления оказывается значительно слабее (рис. 3б).

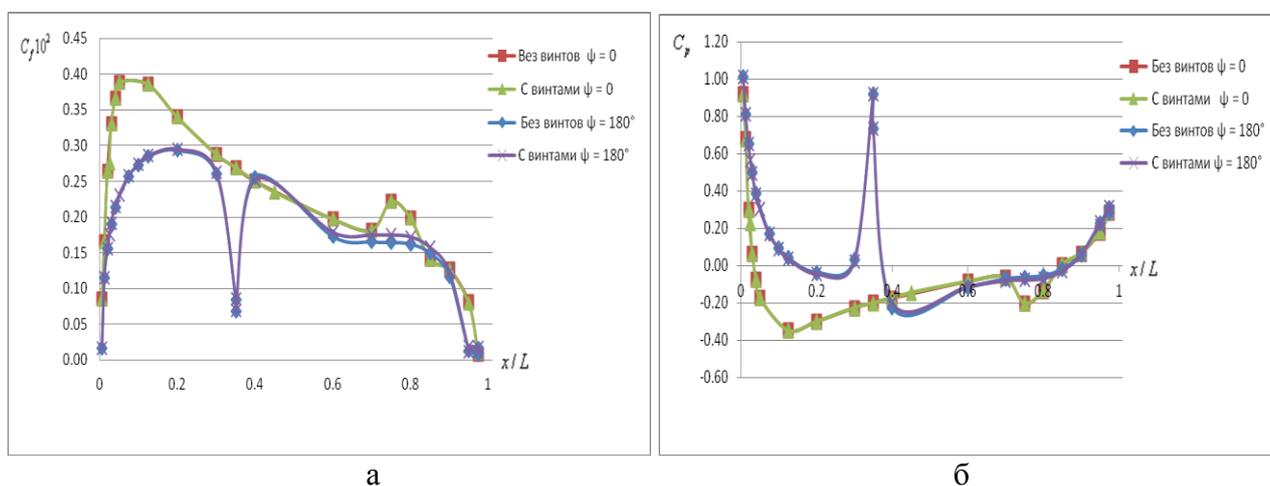


Рис. 3. Примеры распределения коэффициентов трения и давления вдоль оболочки дирижабля в ее базовой плоскости при $\alpha = 10^\circ$, $H/D = 1,2$: а – коэффициенты трения; б – коэффициенты давления

Эти особенности распределения давления и сил трения по оболочке определяют изменение суммарных аэродинамических сил и моментов дирижабля под влиянием работы винтов по сравнению со случаем отсутствия винтов.

На рис. 4 показан пример сравнения аэродинамических характеристик дирижабля вблизи экрана при наличии работающих винтов и при их отсутствии (при $H/D = 1,2$). Видно, что характер изменения по углу атаки коэффициентов нормальной силы и момента тангажа, действующих на дирижабль вблизи экрана, одинаков как при работающих винтах, так и без них, а величины указанных коэффициентов в данном примере при всех рассмотренных углах атаки близки. Нормальная сила дирижабля практически не зависит от того, работают винты или нет (рис. 4а). Тяга винтов оказывает влияние на момент тангажа. Из графиков (рис. 4в) видно, что в данном примере это особенно заметно проявляется при положительных углах атаки дирижабля, когда струи от винтов проходят вблизи поверхности оболочки. Кривая $m_z = f(\alpha)$ дирижабля с работающими винтами под влиянием момента от тяги винтов относительно центра объема оболочки смещена относительно аналогичной кривой для дирижабля без винтов. При этом модуль производной $dm_z/d\alpha$ при углах $\alpha \rightarrow 0$ почти не изменяется, а при $\alpha > 2^\circ$ и $\alpha < -2^\circ$ растет по сравнению со случаем дирижабля без винтов.

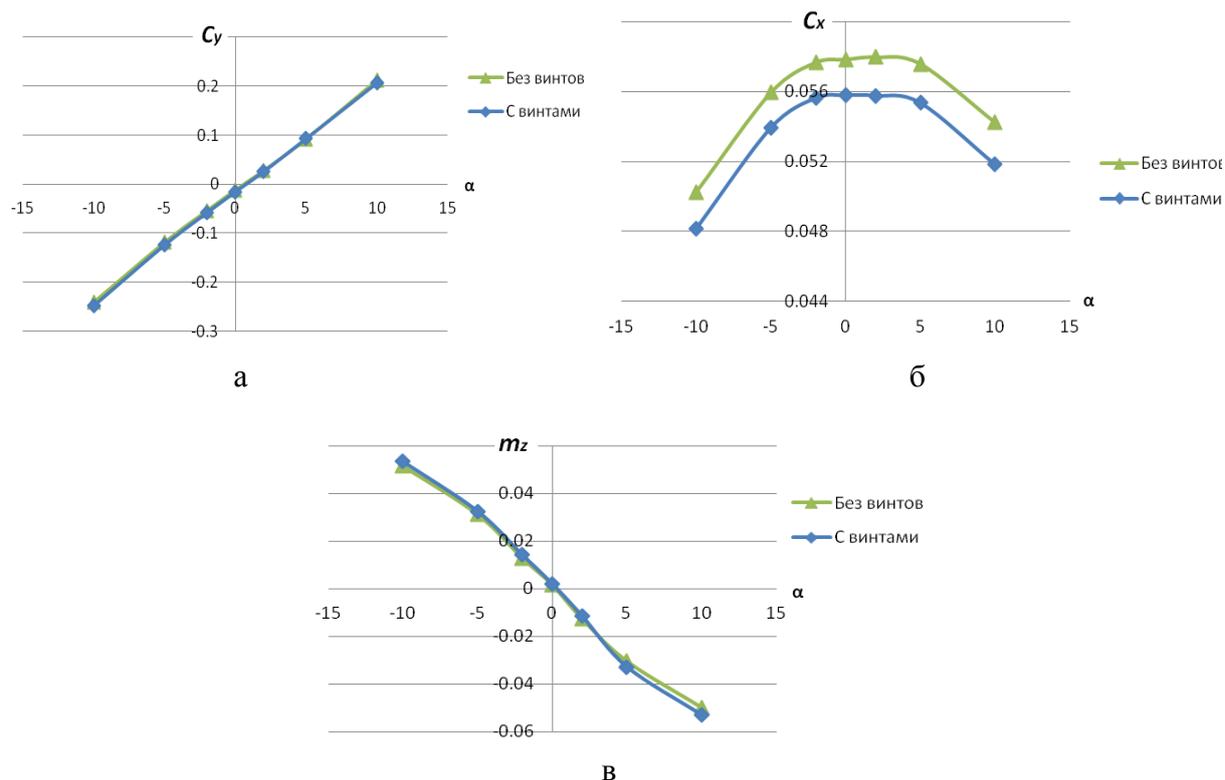


Рис. 4. Сравнение аэродинамических характеристик дирижабля в присутствии работающих винтов при $H/D = 1,2$: а – коэффициент нормальной силы; б – коэффициент продольной силы; в – коэффициент момента тангажа

В наибольшей степени влияние работы винтов сказывается на величинах коэффициентов продольной силы дирижабля. Продольная сила дирижабля в присутствии работающих винтов уменьшается при всех углах атаки по сравнению со случаем дирижабля без винтов. Это уменьшение при $-10^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ и $H/D = 1,2$ составляет не менее 3 % – 4%, что с практической точки зрения представляет значительный интерес.

На рис. 5 представлены графики, позволяющие судить об изменении аэродинамических характеристик винтов и дирижабля при $\alpha = \text{var}$ и $H/D = \text{var}$ в присутствии работающих винтов. Коэффициенты аэродинамических характеристик: нормальной силы $C_{yк}$, продольной силы $C_{xк}$ и момента тангажа $m_{жк}$ дирижабля подсчитаны и приведены на этих графиках без учета тяги работающих винтов.

Как видим, коэффициент тяги винтов в присутствии дирижабля изменяется как по углам атаки, так и в зависимости от величины относительного расстояния H/D дирижабля от экрана. Коэффициент тяги винта достигает максимального значения при $\alpha = 0$ и уменьшается с ростом модуля угла атаки. Однако это уменьшение составляет не более 12 % от величины коэффициента тяги при $\alpha = 0$ при всех рассмотренных относительных расстояниях H/D .

Влияние при постоянном угле атаки изменения расстояния дирижабля до экрана на коэффициент тяги винтов оказывается слабее. Видно, что чем ближе дирижабль к экрану, тем меньше при всех углах атаки величина коэффициента тяги винта. Но это уменьшение коэффициента тяги не превышает 3 %.

На графиках рис. 5б, 5в, 5г видно, что приближение дирижабля к экрану не изменяет характера протекания по углу атаки коэффициентов нормальной и продольной сил, а также момента тангажа дирижабля в присутствии работающих винтов, но в определенной степени влияет на производные этих коэффициентов по углу атаки. Величины указанных производных оказываются различными при одинаковых по модулю углах атаки при $\alpha < 0$ и при $\alpha > 0$. Видно, что, например, при $\alpha = 5^\circ$ модуль производной $dm_z/d\alpha$ больше, чем при $\alpha = -5^\circ$ на 10 %.

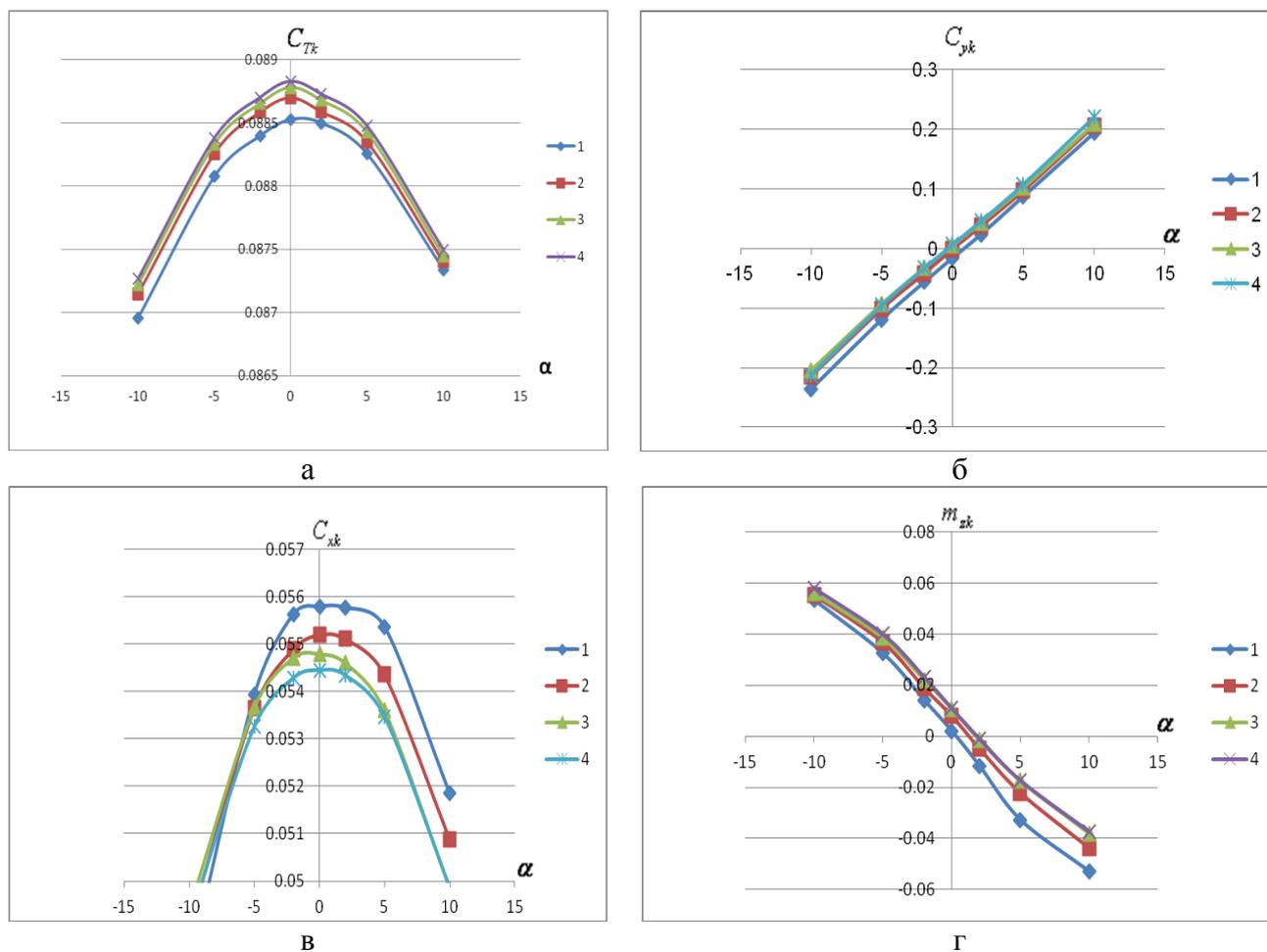


Рис. 5. Аэродинамические характеристики винтов и дирижабля без учета силы тяги работающих винтов: а – коэффициент тяги винтов; б – коэффициент нормальной силы дирижабля; в – коэффициент продольной силы дирижабля; г – коэффициент момента тангажа дирижабля; 1 – $H/D = 1,2$; 2 – $H/D = 1,69$; 3 – $H/D = 2,69$; 4 – вдали от экрана

При всех положительных углах атаки дирижабля приближение дирижабля к экрану приводит к уменьшению величины коэффициентов нормальной силы, росту величин коэффициентов продольной силы и модуля коэффициентов момента тангажа. При отрицательных углах атаки с приближением дирижабля к экрану модули коэффициентов нормальной силы растут, а коэффициенты момента тангажа уменьшаются. При $\alpha < 0$ поведение коэффициента продольной силы по углу атаки оказывается более сложным. На графиках рис. 5в видно, что при $\alpha > -5^\circ$ коэффициенты C_x с приближением к экрану растут, а при $\alpha < -5^\circ$ – уменьшаются.

Таким образом, анализ результатов выполненного численного решения позволяет сделать следующие выводы о влиянии работы движителя (воздушных винтов) и относительного расстояния H/D дирижабля от экрана (земной поверхности) на его аэродинамические характеристики:

- учет тяги винтов изменяет величины коэффициентов продольной силы и момента тангажа, но при малых углах атаки практически не влияет на величины коэффициентов нормальной силы дирижабля с работающими винтами, следовательно, коэффициенты нормальной силы можно определять без учета влияния работы винтов, например, по данным аэродинамического эксперимента с моделями дирижаблей вблизи подвижного экрана;

- в значения коэффициентов момента тангажа необходимо вносить соответствующие поправки на влияние винтов, причем при определении величин коэффициентов момента тангажа

достаточно учитывать их изменение, добавляя к моментам тангажа дирижабля без винтов момент тангажа, создаваемый тягой винтов;

– при вычислении величин коэффициентов продольной силы необходимо вносить в их величины найденные без учета тяги винтов интерференционные поправки, обусловленные влиянием работы винтов и образующихся за ними струй; эти поправки могут быть найдены, например, с помощью результатов численного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Броуде Б.Г. Аэродинамические исследования аэростата-крана: труды IV Чтений К.Э. Циолковского, секция Авиация и воздухоплавание. - М., 1971. - С. 30 – 40.
2. Кураев А.А., Саленко С.Д. Аэродинамика дирижабля вблизи поверхности земли: труды XIX Чтений К.Э. Циолковского, секция Авиация и воздухоплавание. - Калуга, 1984. - С. 65 – 71.
3. Семенчиков Н.В., Чжоу Цзяньхуа, Яковлевский О.В. Аэродинамические характеристики дирижабля в неравномерном потоке вблизи экрана // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 151. - С. 55 – 62.
4. Разов А.А. Численный анализ эффективности расположения винта в вязком следе с помощью уравнений Навье - Стокса // Ученые записки ЦАГИ. - 2009. - Т. XL. - № 3.
5. Ле Куок Динь, Семенчиков Н.В., Чан Куанг Дык, Яковлевский О.В. Влияние струй от винтов на аэродинамические характеристики дирижабля вблизи экрана // Труды МАИ. - 2012. - № 52.
6. Бондарев Е.Н., Дубасов В.Т., Рыжов Ю.А. и др. Аэрогидромеханика. - М.: Машиностроение, 1993.
7. Юн А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.
8. Аэродинамика / под ред. В.Т. Калугина. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.

THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SOFT TYPE AIRSHIP NEAR TO A SCREEN IN VIEW OF A PROPELLER JETS INFLUENCE

Le Quoc Dinh, Dang Ngoock Than, Semenchikov N.V., Yakovlevsky O.V.

The results of numerical research of a soft type airship aerodynamic characteristics in subsonic flow of viscous gas are received for the airship locating near to a screen and having the working propellers. The influence of propeller rotation and relative distance of the airship to the screen on values of its aerodynamic normal and longitudinal forces, and also pitching moment is shown at various airship angles of attack.

Key words: soft type airship, aerodynamic characteristics, influence of propeller rotation and the screen.

Сведения об авторах

Ле Куок Динь, 1983 г.р., окончил МАИ (НИУ) (2009), аспирант МАИ (НИУ), автор 10 научных работ, область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов.

Данг Нгок Тхань, 1968 г.р., кандидат технических наук, декан аэрокосмического факультета технического института им. Ле Куй Дона (Социалистическая Республика Вьетнам), автор более 20 научных работ, область научных интересов – аэродинамика и проектирование летательных аппаратов.

Семенчиков Николай Витальевич, 1941 г.р., окончил МАИ им. С. Орджоникидзе (1964), кандидат технических наук, профессор кафедры аэродинамики ЛА МАИ (НИУ), автор более 120 научных работ, область научных интересов – вихревые, струйные и отрывные течения, аэродинамика летательных аппаратов.

Яковлевский Олег Васильевич, 1932 г.р., окончил МФТИ (1955), кандидат технических наук, профессор кафедры аэродинамики ЛА МАИ (НИУ), автор более 130 научных работ, область научных интересов – турбулентные струйные течения, аэроакустика, аэродинамика летательных аппаратов и промышленная аэродинамика.