

УДК: 533.601 (075.8)

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСОВ ДИРИЖАБЛЕЙ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

ЛЕ ВАН ХОАНГ, ЛЕ КУОК ДИНЬ, Н.В. СЕМЕНЧИКОВ, ТА СУАН ТУНГ, О.В. ЯКОВЛЕВСКИЙ

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

Приводятся результаты численных исследований обтекания турбулентным потоком вязкого воздуха изолированных (неоперенных) корпусов дирижаблей с эллиптическим поперечным сечением. Получены коэффициенты сил и моментов, действующих на корпус с эллиптическим поперечным сечением. Показано влияние удлинения и параметра эллиптичности корпуса на его аэродинамические характеристики.

Ключевые слова: аэродинамические характеристики, дирижабль, эллиптическое поперечное сечение корпуса.

В настоящее время уделяется большое внимание разработке дирижаблей нетрадиционных схем [1]. К числу таких дирижаблей относятся и дирижабли с некруговым поперечным сечением корпуса (оболочки), например, эллиптическим. Исследования аэродинамических характеристик дирижаблей с "эллиптическими" корпусами немногочисленны и касаются, как правило, суммарных аэродинамических характеристик корпуса с удлинением $\lambda = 4,5$ [2]. При таком удлинении лобовое сопротивление корпуса с круговым поперечным сечением оказывается минимальным. Результаты систематических исследований, позволяющие судить о влиянии удлинения корпуса с эллиптическим поперечным сечением на его суммарные и локальные силы и моменты, в отечественной литературе отсутствуют. Целью настоящего исследования являлось восполнение этого пробела.

В данной работе представлены результаты численных исследований пространственного обтекания турбулентным потоком вязкого воздуха изолированных корпусов дирижаблей различного удлинения, имеющих эллиптическое поперечное сечение. Исследования проведены при углах атаки, изменявшихся в пределах от 0° до 80° , и числе Рейнольдса, подсчитанном по длине тела, $Re = 4 \times 10^6$.

Рассматривались гладкие тела различного удлинения, за основу которых была выбрана модель тела вращения. Его координаты в плоскости XOY связанной системы координат с началом в вершине тела определялись соотношением [2]

$$y = 0,973D[\bar{x}(1 - \bar{x})(1,5 - \bar{x})]^{1/2},$$

где $\bar{x} = x/L$, L – длина тела; D – диаметр его миделевого сечения. Корпуса с эллиптическими поперечными сечениями имели площади этих сечений, равные соответствующим сечениям тела вращения. Форма эллиптического поперечного сечения определяется соотношением $e = a/b$ осей эллипса (ось b всегда расположена в плоскости изменения углов атаки корпуса, ось a – перпендикулярна ей). Параметр эллиптичности e изменялся в пределах $0,5 \leq e \leq 2$, а удлинение тел – в пределах $\lambda = L/D = 2 \div 12$. При изменении удлинения корпуса его объем W оставался постоянным.

Для решения задачи использовались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, записанные для пространственного течения [3] и замкнутые моделью турбулентности "SST k- ω " [4]. На поверхности тела ставилось условие прилипания, на входе в счетную область задавалась скорость невозмущенного потока. Задача решалась численно с помощью метода контрольного объема [4, 5]. Расчетная сетка имела блочную структуру. Структура счетной области выбиралась из условия минимизации количества ячеек, форма которых ухудшала сходимость и аппроксимацию. Для достоверного определения газодинамических параметров сетка была адаптирована к особенностям течения и имела сгущение вблизи поверхности тела.

В результате расчетов получены параметры потока в расчетных точках, найдены в связанной системе координат коэффициенты локальных и суммарных сил и моментов, действующих на рассматриваемые тела. Коэффициенты суммарных сил отнесены к $W^{2/3}$. Коэффициенты момента тангажа относительно центра объема тела отнесены к W .

На рис. 1 – 10 показаны результаты расчетов, позволяющие составить представление о влиянии углов атаки α , удлинения λ и параметра эллиптичности e на величины коэффициентов сил и момента тангажа корпусов с эллиптическим поперечным сечением.

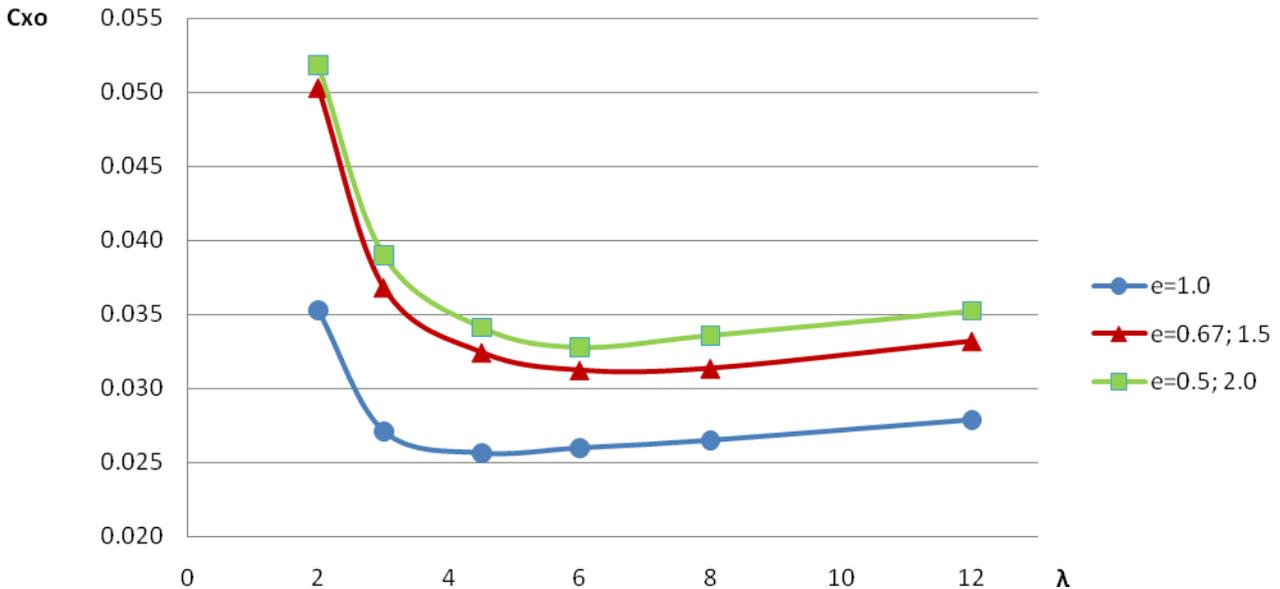


Рис. 1. Зависимость коэффициента продольной силы корпуса при нулевом угле атаки c_{x0} от удлинения корпуса λ при различных значениях параметра эллиптичности e

На рис. 1 приведены зависимости коэффициента продольной силы при нулевом угле атаки c_{x0} , полученные для корпусов различного удлинения λ при варьировании параметра e . Видно, что при $\lambda = \text{const}$; значения коэффициента c_{x0} корпуса с эллиптическим поперечным сечением всегда оказываются больше значений этого коэффициента для корпуса с круговым поперечным сечением ($e = 1$). При этом если минимум коэффициента c_{x0} для корпуса с круговым поперечным сечением достигается при удлинении $\lambda = 4,5$, то для корпуса с эллиптическими поперечными сечениями этот минимум наблюдается при удлинении, близком к $\lambda \approx 6$.

Причина этого кроется в следующем. Поскольку продольная сила зависит от распределения по поверхности корпуса, как сил трения, так и сил давления ($c_{x0} = c_{x0\text{дв}} + c_{x0\text{тр}}$), то при изменении удлинения корпуса вклад этих сил в суммарную продольную силу корпуса для кругового и эллиптического поперечных сечений оказывается различным. На рис. 2 показан пример зависимости коэффициентов $c_{x0\text{дв}}$ и $c_{x0\text{тр}}$ от удлинения корпуса с эллиптическим поперечным сечением ($e = 2$). Видно, что с ростом удлинения вклад сил трения в коэффициент c_{x0} растет, а сил давления, наоборот, падает.

Изменение формы поперечного сечения корпуса в наибольшей степени влияет на величины коэффициентов продольной силы, зависящих от сил трения (рис. 3). На величины коэффициентов продольной силы, зависящих от давления, эллиптичность поперечного сечения корпуса влияет в меньшей степени (рис. 4). Так как коэффициенты $c_{x0\text{тр}}$ корпусов с эллиптическим поперечным сечением больше, чем аналогичные коэффициенты корпуса с круговым поперечным сечением, то для корпусов с эллиптическим поперечным сечением минимум c_{x0} достигается при удлинении, близком к $\lambda \approx 6$, а не при $\lambda \approx 4,5$, как для корпусов с круговым поперечным сечением. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании дирижаблей с корпусом эллиптического поперечного сечения.

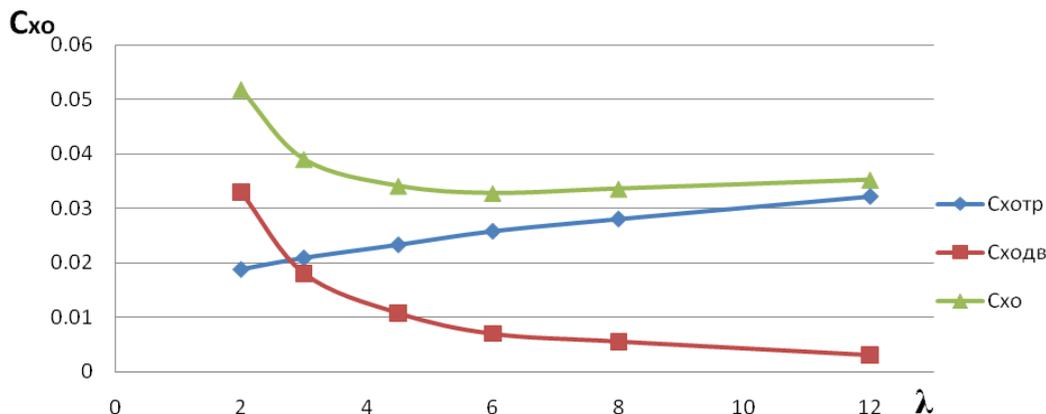


Рис. 2. Зависимости коэффициентов продольной силы, обусловленных трением (C_{x0tr}) и давлением (C_{x0dv}), и коэффициента C_{x0} от удлинения корпуса λ при $e = 2$

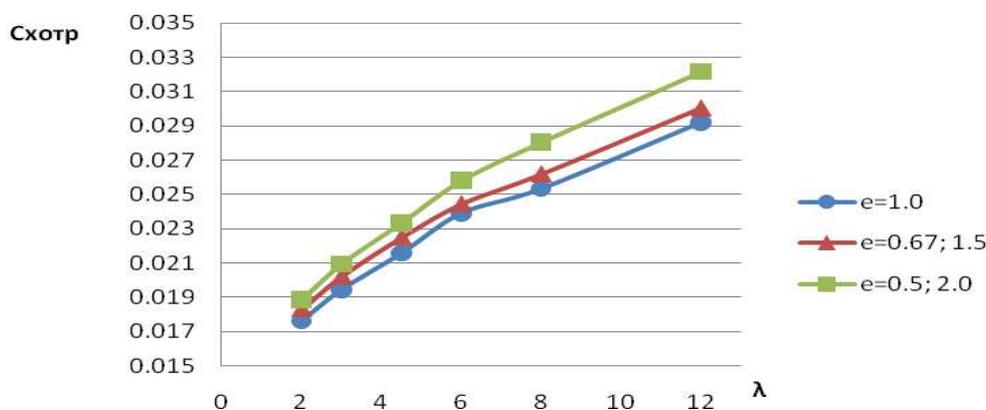


Рис. 3. Составляющая коэффициента продольной силы при $\alpha = 0$, зависящая от сил трения

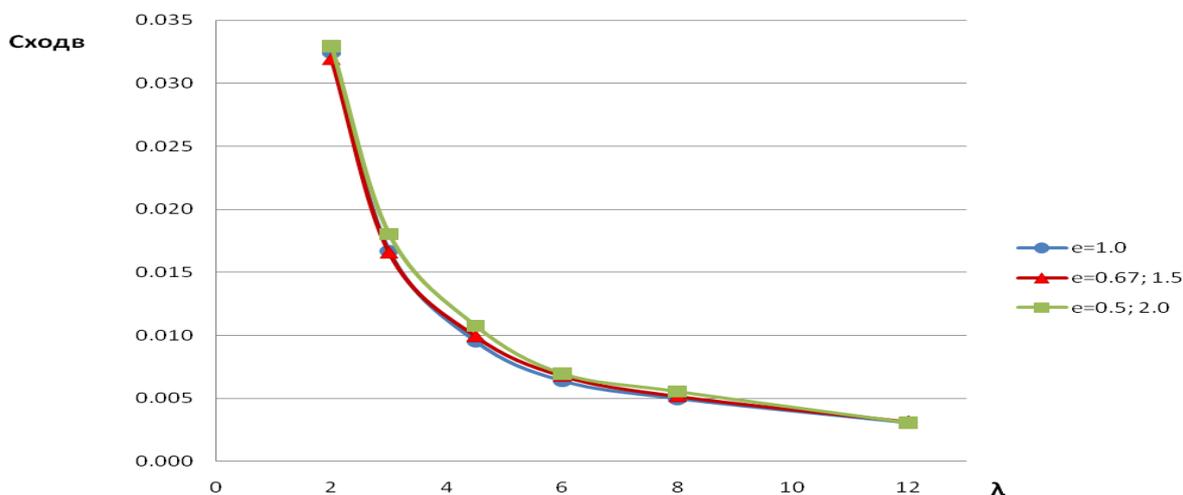


Рис. 4. Составляющая коэффициента продольной силы при $\alpha = 0$, зависящая от сил давления

На рис. 5, 6 представлены графики, иллюстрирующие влияние угла атаки и эллиптичности сечения корпуса на величины коэффициента продольной силы C_x при различных удлинениях. Видно, что величины C_x нелинейно изменяются по углу атаки. Характер указанного изменения сильно зависит от удлинения тела и параметра эллиптичности. Рост угла атаки вызывает падение величин C_x , причем при углах атаки $\alpha > \alpha^*$ они становятся отрицательными. Величина угла α^* зависит от удлинения тела и параметра эллиптичности. При $\lambda = const$ рост параметра e приводит к уменьшению значений этого угла. С ростом параметра эллиптичности e изменяется ха-

ракетер зависимости c_x от угла атаки, и на кривых $c_x = f(\alpha)$ при больших углах атаки ($\alpha \geq 60^\circ$) появляется характерная "ложка". Значение угла атаки, при котором модуль коэффициента c_x имеет максимум при $\lambda = \text{const}$, и сама величина $c_{x\text{max}}$ определяются удлинением тела и параметром e (рис. 5). Например, при $e = 2$ рост удлинения приводит к уменьшению модуля $c_{x\text{max}}$ (рис. 6).

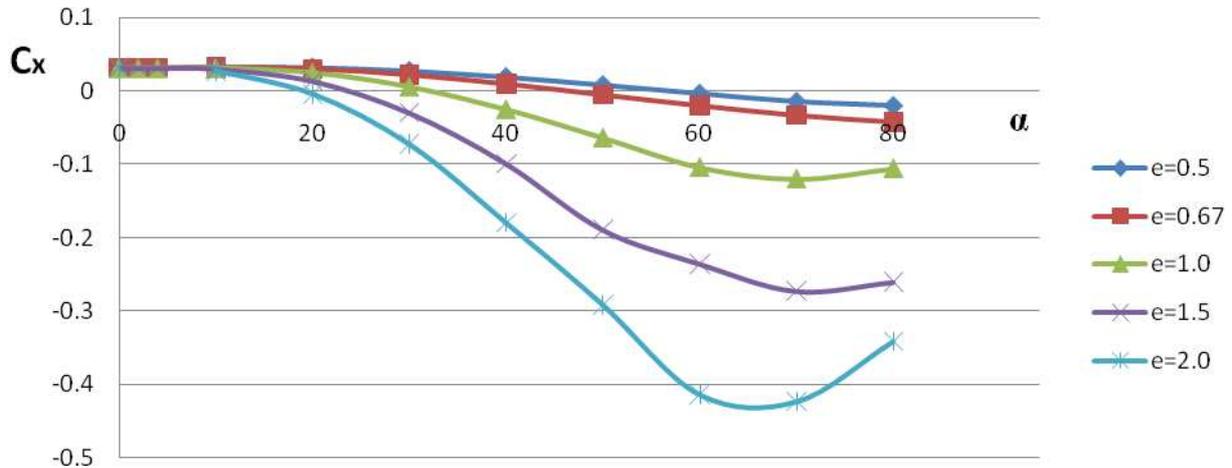


Рис. 5. Влияние параметра эллиптичности поперечного сечения корпуса e на зависимость $c_x(\alpha)$ при $\lambda = 6$

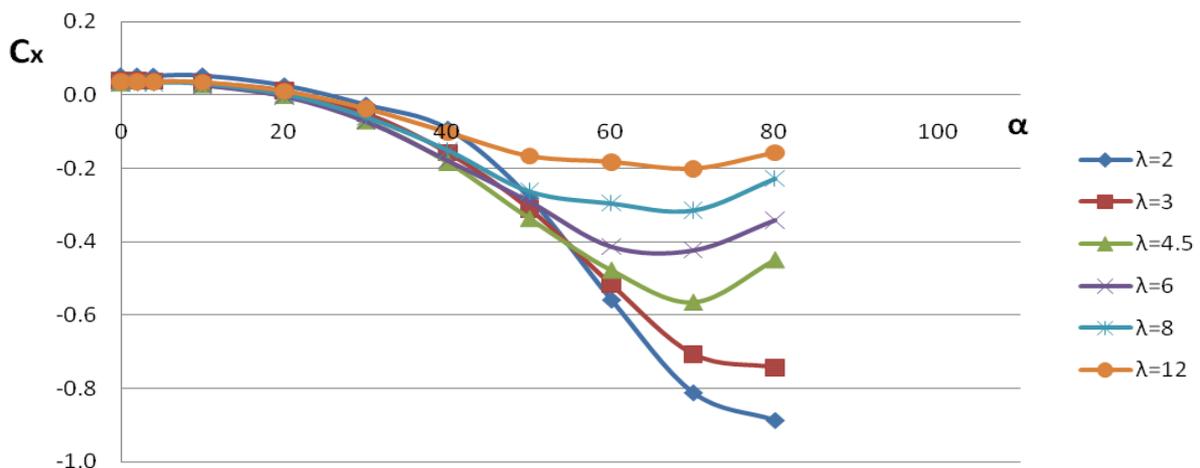


Рис. 6. Влияние удлинения корпуса λ на зависимость $c_x(\alpha)$ при $e = 2$

Зависимости коэффициента нормальной силы c_y от угла атаки, показанные на рис. 7, 8, также являются нелинейными. При углах атаки $\alpha < 8^\circ$ величины коэффициента нормальной силы оказываются малыми при всех рассмотренных параметрах λ и e . Но при $\alpha > 8^\circ$ наблюдается большое различие в величинах этого коэффициента в зависимости от указанных параметров.

Из приведенных на рис. 7 результатов видно, что, как и следовало ожидать, при $e < 1$ коэффициенты c_y эллиптических корпусов при прочих равных условиях оказываются меньше, чем у корпусов с круговым поперечным сечением ($e = 1$), а при $e > 1$ (когда большая полуось эллипса перпендикулярна плоскости изменения углов атаки), наоборот, больше. Этот результат является типичным для любого удлинения тела и соответствует опытным данным работы [2] для тел с удлинением $\lambda = 4,5$. В настоящей работе наибольшие значения коэффициентов c_y были получены для $e = 2$. При этом значения $c_{y\text{max}}$ эллиптических корпусов могут в несколько раз превосходить значения аналогичных коэффициентов корпусов с круговым поперечным сечением, что является вполне понятным.

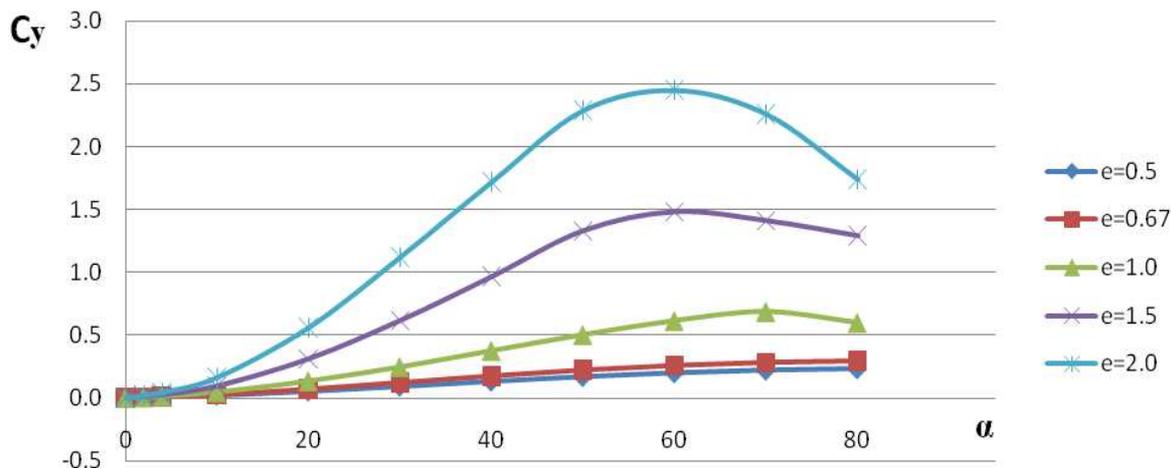


Рис. 7. Влияние параметра эллиптичности e на зависимость $c_y(\alpha)$ при $\lambda=6$

Влияние изменения удлинения корпуса с эллиптическим поперечным сечением на коэффициенты нормальной силы c_y показано на рис. 8. Видно, что при $\alpha > 8^\circ$ с увеличением λ при $\alpha = \text{const}$ величины c_y быстро и нелинейным образом растут. Это связано с тем, что с ростом λ точка схода вихрей на подветренной стороне корпуса смещается к его носу. При этом все большая часть поверхности корпуса оказывается в области влияния вихрей, которые создают дополнительное разрежение на подветренной стороне корпуса и тем самым увеличивают его нормальную силу.

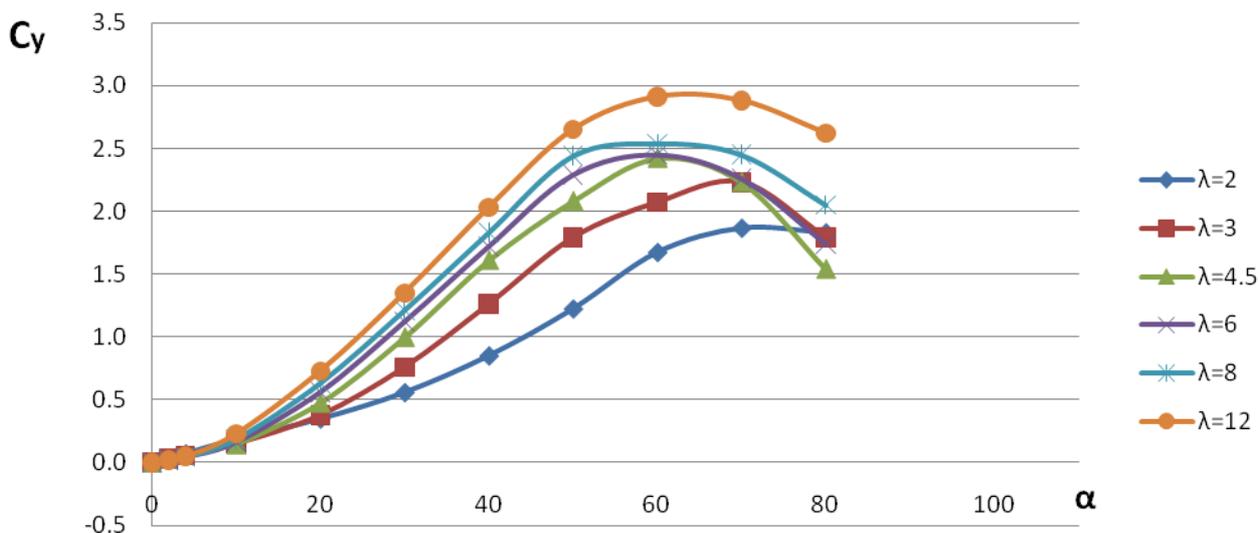


Рис. 8. Влияние удлинения корпуса λ на зависимость $c_y(\alpha)$ при $e = 2$

На рис. 9 показаны графики зависимости коэффициента момента тангажа от угла атаки и параметра эллиптичности e . Они являются типичными для неоперенных тел во всем исследованном диапазоне изменения удлинения λ . Видно, что точно так же, как и в случае нормальной силы, при $e < 1$ коэффициенты m_z эллиптических корпусов при прочих равных условиях оказываются меньше, чем у корпусов с круговым поперечным сечением ($e = 1$), а при $e > 1$, наоборот, больше. Таким образом, корпус с эллиптическим поперечным сечением, большая полуось которого перпендикулярна плоскости изменения углов атаки, при одинаковых значениях λ обладает большей статической устойчивостью, чем корпус кругового поперечного сечения.

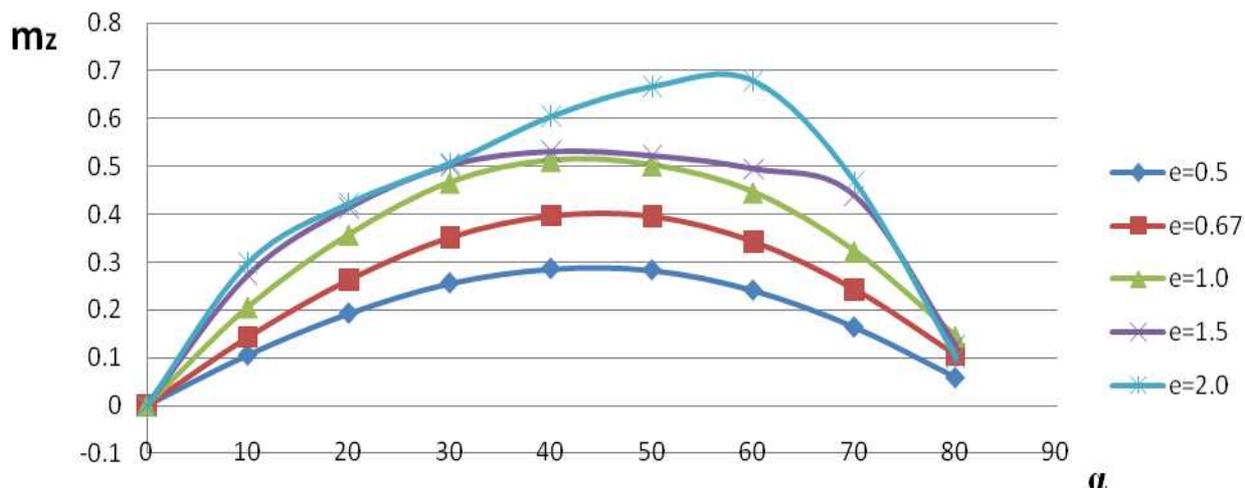


Рис. 9. Влияние параметра эллиптичности e на зависимость $m_z(\alpha)$ при $\lambda = 6$

Изменение удлинения корпуса при $e = \text{const}$, наоборот, значительно сильнее сказывается на величинах и характере изменения по углу атаки коэффициентов момента тангажа неоперенного корпуса дирижабля с эллиптическим поперечным сечением (рис. 10). Видно, что с ростом удлинения λ корпус становится все более статически неустойчивым.

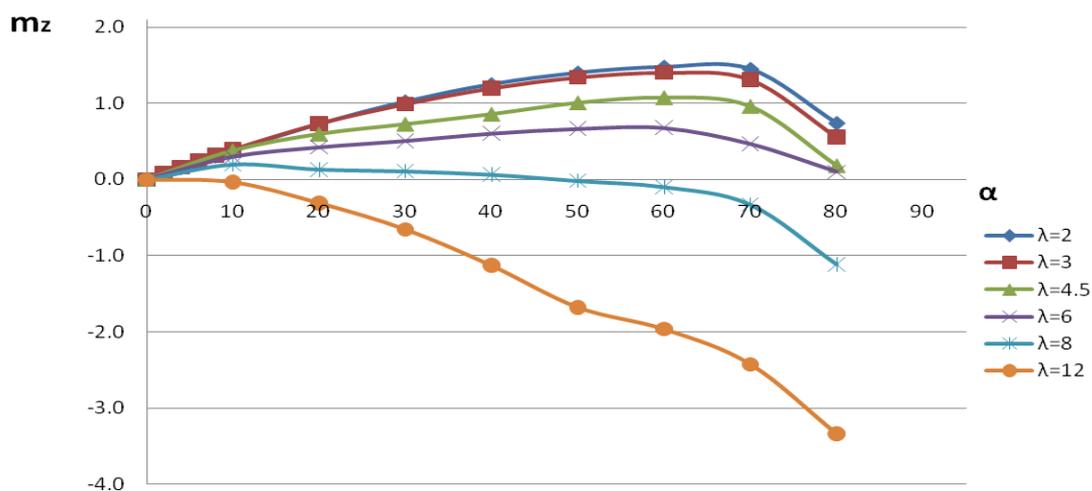


Рис. 10. Влияние удлинения корпуса λ на зависимость $m_z(\alpha)$ при $e = 2$

ЛИТЕРАТУРА

1. Airship Technology. Ed. by G.A. Khoury and J.D. Gillett. Cambridge University Press, 1999. - 545 p.
2. Засолов Р.А. Аэродинамические характеристики моделей дирижаблей // Труды ЦАГИ. - 1985. - Вып. 2268.
3. Бондарев Е.Н., Дубасов В.Т., Рыжов Ю.А., Свищевский С.Б., Семенчиков Н.В. Аэрогидромеханика. - М.: Машиностроение, 1993.
4. Юн А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.
5. Аэродинамика / под ред. В.Т. Калугина. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
6. Ле Куок Динь, Семенчиков Н.В., Чан Ван Вьет, Яковлевский О.В. Аэродинамические характеристики гладких тел вращения в дозвуковом потоке // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2009. - № 141 (4). - С. 165 - 169.

AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AIRSHIP BODIES WITH ELLIPTICAL CROSS SECTION

Le Van Hoang, Le Quoc Dinh, Semenchikov N.V., Ta Xuan Tung, Yakovlevsky O.V.

The results of numerical researches of a viscous air turbulent flow around an isolated airship bodies with elliptical cross section are obtained at various angles of attack. The coefficients of forces and pitch moment are received. The appreciable influence of body aspect ratio and body cross section ellipticity on the body aerodynamic characteristics is found.

Key words: aerodynamic characteristics, airship, elliptical cross section.

Сведения об авторах

Ле Ван Хоанг, 1987 г.р., студент МАИ (ГТУ), область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов.

Ле Куок Динь, 1983 г.р., окончил МАИ (ГТУ) (2009), аспирант кафедры аэродинамики летательных аппаратов МАИ (ГТУ), автор 4 научных работ, область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов.

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

Та Суан Тунг, 1986 г.р., студент МАИ (ГТУ), область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов.

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