

УДК: 533.601 (075.8)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИРИЖАБЛЯ С АТМОСФЕРНЫМИ СТРУЙНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ

Н.В. СЕМЕНЧИКОВ, ТА СУАН ТУНГ

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

Приводятся результаты численного исследования аэродинамических характеристик дирижабля с гондолой и без нее при установившемся движении дирижабля через атмосферные струйные течения. Определено влияние гондолы и расположения дирижабля по отношению к оси струйного течения на величины аэродинамических коэффициентов дирижабля.

Ключевые слова: дирижабль, коэффициенты аэродинамических сил и моментов, влияние взаимного расположения дирижабля и струи, влияние гондолы.

Известно [1 – 5], что аэродинамические характеристики дирижаблей могут в значительной степени изменяться, когда дирижабль попадает в область атмосферной неоднородности, например, когда он перемещается через границы атмосферного струйного течения или охватывается порывом ветра.

В данной работе приводятся результаты численных исследований изменения аэродинамических характеристик дирижабля при его движении через восходящую и горизонтальную воздушные струи, имеющие ядро с постоянной по величине скоростью. Задача решалась в рамках предположения, что ориентация дирижабля в пространстве относительно оси струйного течения во все моменты движения дирижабля оставалась неизменной. Несмотря на условность такой постановки задачи, анализ результатов ее решения позволяет сделать определенное заключение о влиянии различных факторов на аэродинамические характеристики дирижабля при его перемещении через струйное течение.

В качестве объекта исследований использовалась модель оперенного дирижабля с гондолой и корпусом кругового поперечного сечения (рис. 1).

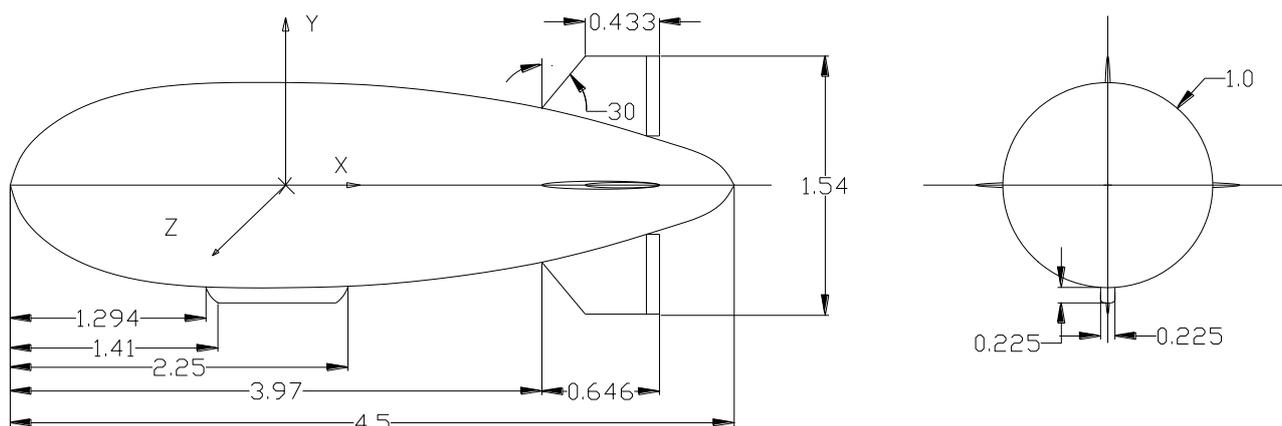


Рис. 1. Геометрические параметры дирижабля

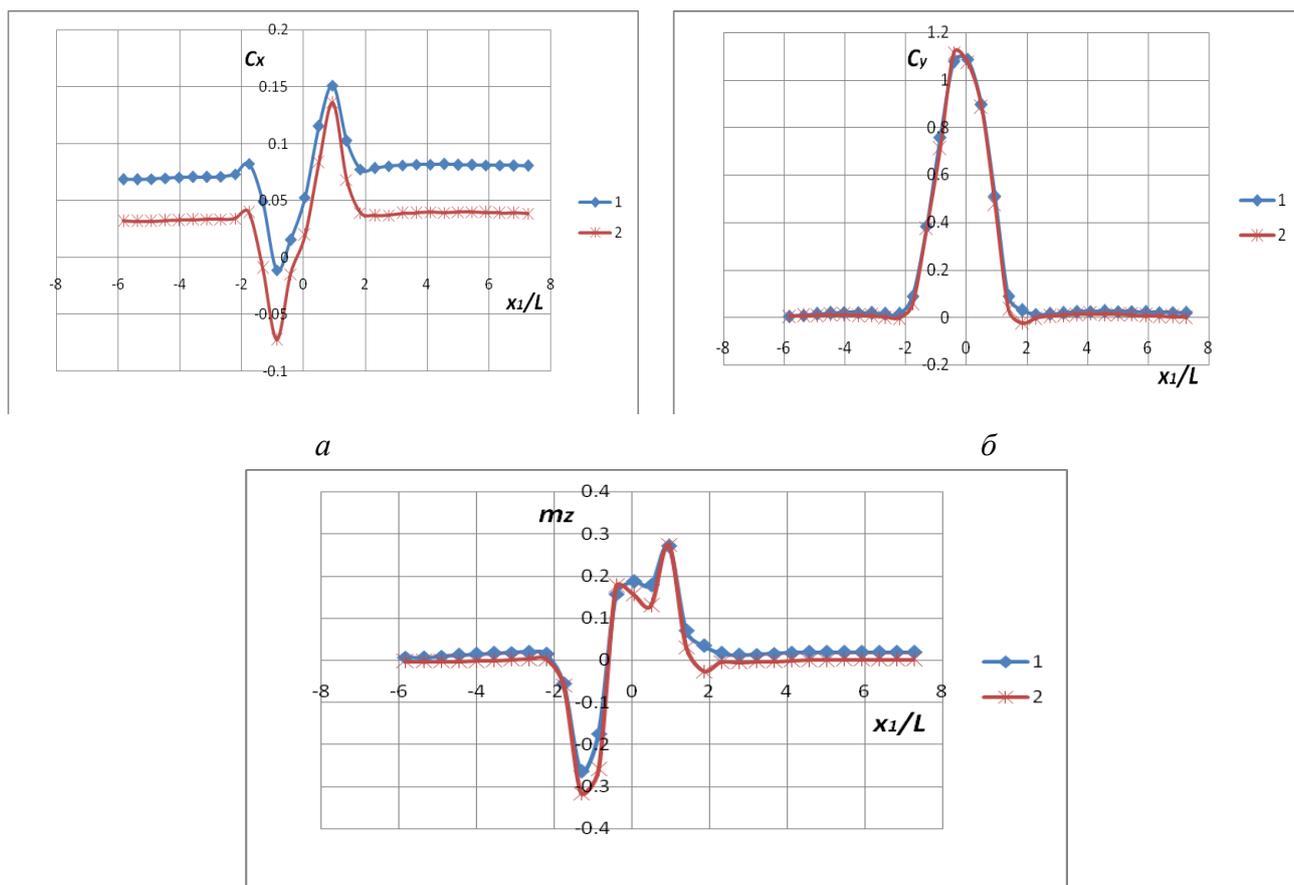
Уравнение обвода корпуса в его меридиональном сечении (в системе координат, начало которой совпадает с вершиной корпуса) $y = 0,972D[(x/L)(1 - x/L)(1,5 - x/L)]^{1/2}$.

Задача решалась численно. Основные положения метода решения даны в [3 – 5]. Коэффициенты аэродинамических сил дирижабля приведены в связанной системе координат (рис.1), начало которой располагалось в центре объема корпуса и отнесены к $W^{2/3}$, а коэффициенты его аэро-

динамических моментов были подсчитаны относительно центра объема корпуса и отнесены к W , где W – объем корпуса дирижабля. Центр объема корпуса располагался на расстоянии $0,45L$ от вершины корпуса (L – длина корпуса дирижабля).

На рис. 2 для $b/L = 2$ (b – ширина струи в ее начальном сечении, $b/L = 2$ – относительная ширина стандартного порыва, [1]) представлены зависимости коэффициентов суммарных аэродинамических сил и момента тангажа различных вариантов дирижабля от параметра x_1/L , характеризующего положение носика корпуса дирижабля относительно центра восходящего струйного течения, натекающего на дирижабль со стороны гондолы под углом 90° к продольной оси корпуса дирижабля. Начало выбранной системы координат лежит на оси струи. Ось Ox_1 направлена в сторону движения дирижабля. При этом значения $x_1/L \leq 0$ соответствуют случаю, подходящего к струйному течению и вошедшего частично в него аппарата. При $x_1/L \geq 0$ дирижабль либо находится в струе, либо выходит из нее. Характерной особенностью всех зависимостей является то, что диапазон изменения параметра x_1/L , в котором коэффициенты аэродинамических сил и момента тангажа отличаются от их значений для дирижабля, находящегося вне струйного потока, оказывается больше стандартной ширины дискретного порыва ($-1 \leq x_1/L \leq 1$). Это связано с наличием небольших по протяженности областей струйного пограничного слоя по обе стороны от участка струи с постоянной скоростью в ее сечении. Расчеты проведены для постоянных при движении дирижабля его угла атаки $\alpha = 0$, скорости поступательного движения дирижабля $V = 18,056$ м/с, скорости участка струи с постоянной скоростью $Um = 10,67$ м/с, числе Рейнольдса $Re = VL/\nu = 5,3 \times 10^6$ (ν – кинематическая вязкость воздуха).

На рис. 2,а приведены графики, позволяющие проанализировать изменение величин коэффициента продольной силы дирижабля при его перемещении поперек струйного течения.



6

Рис. 2. Аэродинамические характеристики дирижабля при его движении через восходящее атмосферное струйное течение при наличии гондолы и без нее ($b/L = 2$, $V = 18,056$ м/с, $Um = 10,67$ м/с, $Re = VL/\nu = 5,3 \times 10^6$): 1 – с гондолой, 2 – без гондолы

Видно, что при перемещении дирижабля через струйный поток коэффициент аэродинамической осевой силы изменяется сложным образом по параметру x_1/L , характеризующему положение дирижабля относительно струйного течения. Когда дирижабль начинает входить в струйное течение, коэффициент его продольной силы уменьшается по сравнению со значением этого коэффициента для дирижабля вне струи. На дирижабль действует отрицательная продольная сила. При выходе дирижабля из струйного течения продольная сила положительная. При этом максимальные значения модуля коэффициента C_x как для дирижабля без гондолы, так и с ней могут в несколько раз превышать его значения для дирижабля вне струи. Установка на корпус гондолы не изменяет характер зависимости коэффициента C_x от параметра x_1/L . Но величины коэффициентов C_x , как и следовало ожидать, при всех значениях x_1/L оказываются больше. Однако относительные величины коэффициентов C_{xc}/C_{xbc} у дирижабля с гондолой оказываются примерно в 2 раза меньше их значений для дирижабля без гондолы (C_{xc} – коэффициент продольной силы дирижабля, находящегося вне струйного течения; C_{xbc} – коэффициент продольной силы дирижабля в струйном течении).

Из графиков на рис. 2,б и рис. 2,в видно, что наличие гондолы на корпусе дирижабля почти не влияет на зависимости коэффициентов нормальной силы C_y и момента тангажа m_z дирижабля от параметра x_1/L при его перемещении через восходящее вертикальное струйное течение. Изменение коэффициента C_y по параметру x_1/L оказывается монотонным. Его максимальные значения достигаются в центре струйного течения. Влияние параметра x_1/L на коэффициенты m_z более сложное. При входе дирижабля в струйное течение на него действует момент на кабрирование, а при выходе из струйного течения – на пикирование.

На рис. 3 приведены зависимости C_x , C_y , $m_z = f(x_1/L)$ дирижабля с гондолой и без нее при перемещении дирижабля через восходящее (вертикальное) струйное течение с постоянным углом атаки $\alpha = 30^\circ$. Видно, что отмеченные выше особенности изменения коэффициентов аэродинамических сил и момента тангажа сохраняются и в этом случае.

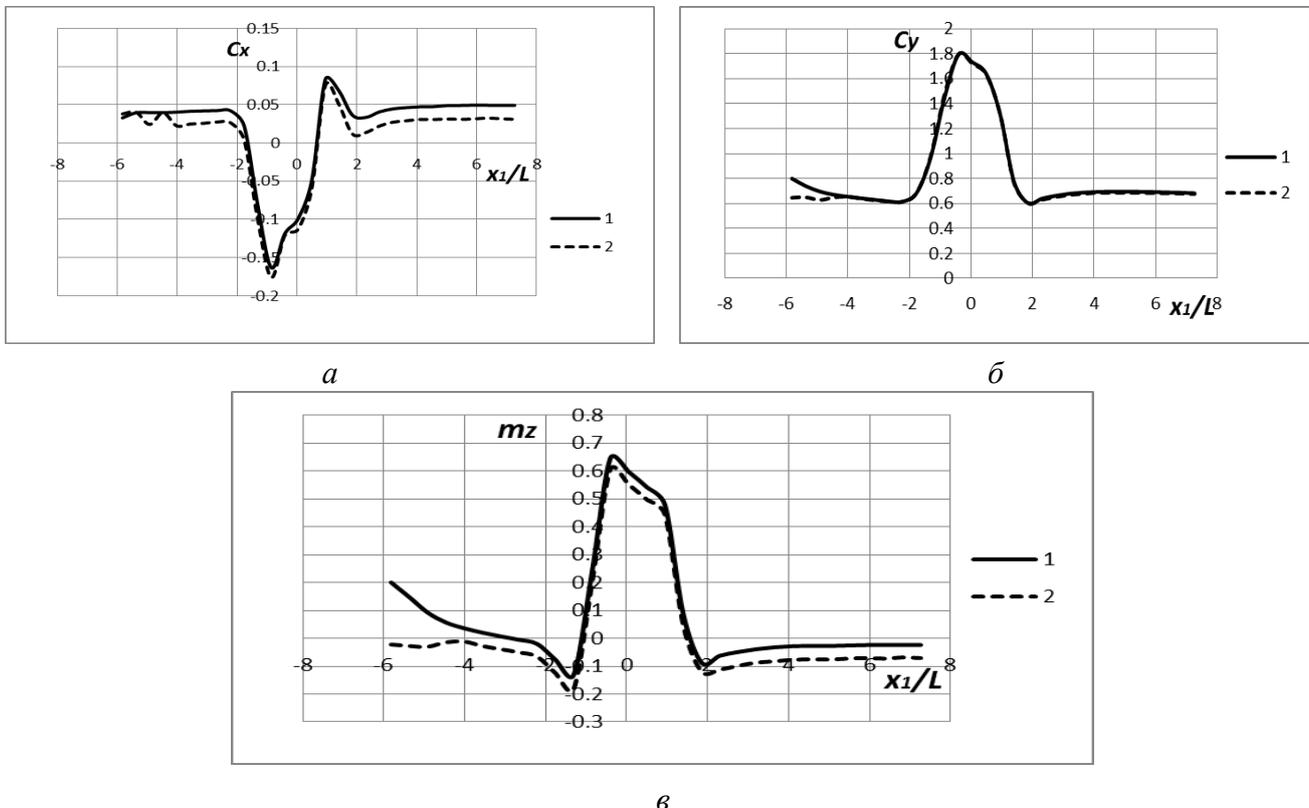


Рис. 3. Аэродинамические коэффициенты дирижабля при его движении через восходящее атмосферное струйное течение при наличии гондолы и без нее ($\alpha = 30^\circ$, $b/L = 2$, $V = 18,056$ м/с, $U_m = 10,67$ м/с, $Re = VL/\nu = 5,3 \times 10^6$): 1 – с гондолой, 2 – без гондолы

Однако, как показывают расчеты, с ростом углов атаки влияние гондолы на аэродинамические характеристики дирижабля при его перемещении через струйное течение уменьшается.

Более значительное влияние гондола оказывает на аэродинамические характеристики дирижабля, когда он перемещается через струйное течение, натекающее на дирижабль сбоку.

На рис. 4 представлены зависимости C_x , C_y , C_z , m_x , m_y , $m_z = f(x_1/L)$, позволяющие судить об изменении аэродинамических характеристик дирижабля при его перемещении через поперечную струю, натекающую на дирижабль сбоку при постоянном угле скольжения $\beta = 90^\circ$ по отношению к продольной оси корпуса дирижабля.

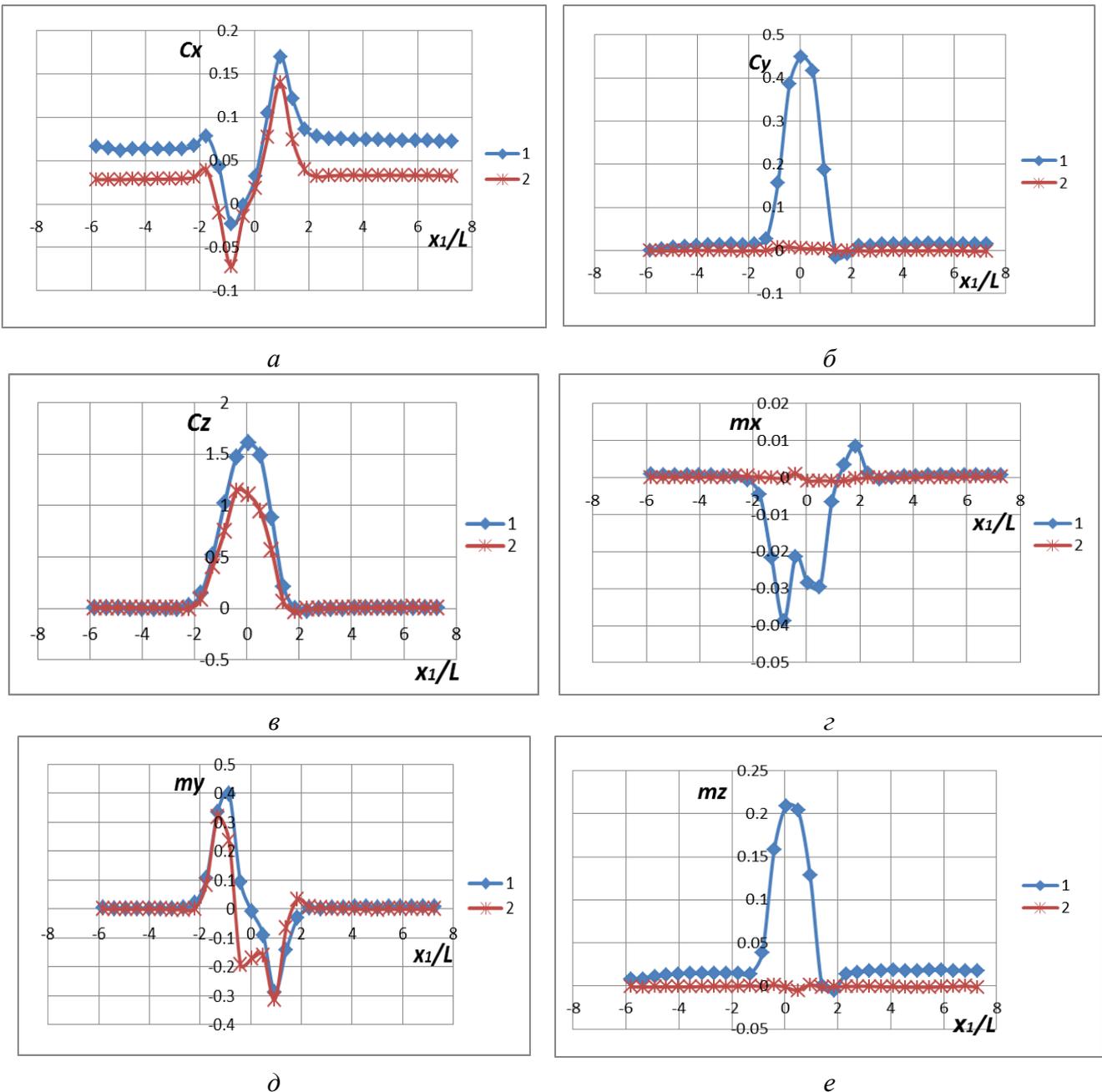


Рис. 4. Аэродинамические характеристики дирижабля при его движении через поперечное атмосферное струйное течение при наличии гондолы и без нее; струя натекает на дирижабль сбоку под углом $\beta = 90^\circ$ ($b/L = 2$, $V = 18,056$ м/с, $U_m = 10,67$ м/с, $Re = VL/v = 5,3 \times 10^6$): 1 – с гондолой, 2 – без гондолы

Из графиков на рис. 4,а видно, что на величины коэффициентов продольной силы дирижабля, перемещающегося через поперечную боковую струю, гондола влияет таким же образом, что и при перемещении дирижабля через восходящую вертикальную струю. Характер изменения коэффициента C_x по параметру x_1/L остается таким же, как и в случае натекания струйного течения на дирижабль снизу, со стороны гондолы. Значения коэффициентов C_x дирижабля с гондолой оказываются больше, чем для дирижабля без нее.

Когда у дирижабля есть гондола, на дирижабль, перемещающийся через поперечное струйное течение, как и следовало ожидать, действуют значительные по величине поперечная сила и момент рыскания, а также момент крена. Максимальные значения коэффициентов поперечной силы C_z дирижабля с гондолой и без нее достигаются тогда, когда дирижабль находится вблизи центра струйного течения. Установка гондолы приводит к росту максимума C_z примерно на 30 % (рис. 4,в). Гондола слабо влияет на характер протекания по параметру x_1/L момента рыскания. Максимальные величины коэффициента момента рыскания m_y достигаются тогда, когда дирижабль входит в поперечное струйное течение (рис. 4,д). Это характерно как для дирижабля без гондолы, так и с гондолой. Но максимальная величина коэффициента момента рыскания дирижабля с гондолой оказывается примерно на 30 % больше, чем у дирижабля без гондолы (рис. 4,д).

Отличительной особенностью аэродинамического взаимодействия дирижабля с боковой поперечной струей является то, что на дирижабль с гондолой действуют нормальная сила и момент тангажа, которые отсутствуют тогда, когда корпус не имеет гондолы. Их максимумы наблюдаются в случае расположения дирижабля вблизи центра струи (рис. 4,б и рис. 4,е).

Сопоставление аэродинамических характеристик дирижабля, перемещающегося через восходящее струйное течение (струя снизу) и через боковую поперечную струю (струя сбоку), позволяет сделать вывод о том, что величины коэффициентов продольной силы почти не зависят от типа струйного течения. В то же время величины максимальных коэффициентов поперечной силы и момента рыскания при попадании дирижабля в поперечную боковую струю могут оказаться больше величин максимальных коэффициентов нормальной силы и момента тангажа дирижабля в вертикальном восходящем струйном потоке. То есть возмущения в поперечном канале для дирижабля при перемещении через поперечное струйное течение могут оказаться даже больше, чем в продольном канале при попадании дирижабля в вертикальный восходящий поток.

Изменение угла β , под которым поперечная струя натекает на дирижабль, оказывает значительное влияние на аэродинамические характеристики дирижабля с гондолой, когда дирижабль перемещается через поперечное струйное течение, не меняя своего положения по отношению к оси струйного течения. Пример такого влияния показан на рис. 5.

Видно, что характер зависимостей C_x , C_y , C_z , $m_z = f(x_1/L)$ почти не зависит от изменения величины угла β . Наибольшее абсолютное значение коэффициентов продольной силы C_x при входе дирижабля в струйное течение наблюдается при $\beta = 30^\circ$, а при выходе из нее – при $\beta = 90^\circ$. Они более чем в 3 раза превышают значения коэффициента C_x дирижабля, когда он находится вне струи (рис. 5,а). Максимумы абсолютных величин коэффициентов C_y , C_z , m_z наблюдаются при $\beta = 90^\circ$, когда дирижабль находится вблизи центра струйного течения (рис. 5,б, 5,в, 5,е), а коэффициента m_x – при $\beta = 90^\circ$, когда примерно половина корпуса дирижабля охвачена струей (рис. 5,г). Максимум абсолютной величины коэффициента момента рыскания m_y достигается при $\beta \approx 30^\circ$ при выходе дирижабля из струи (рис. 5,д).

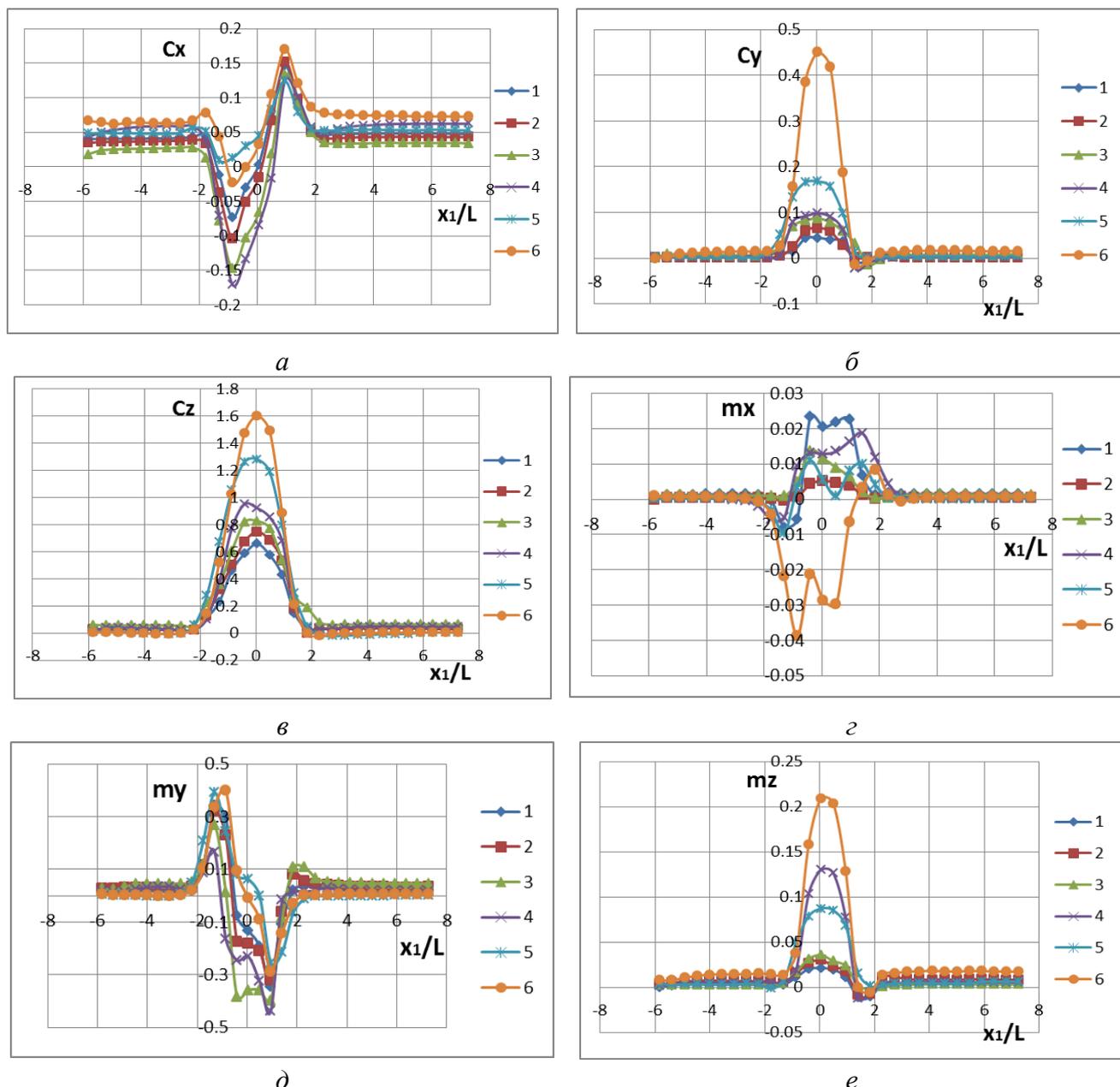


Рис. 5. Аэродинамические характеристики дирижабля с гондолой при перемещении через поперечную боковую струю;

$\beta = \text{var} (b/L = 2, V = 18,056 \text{ м/с}, U_m = 10,67 \text{ м/с}, Re = 5,3 \times 10^6)$:

линиями обозначены: 1 – $\beta = 5^\circ$, 2 – $\beta = 10^\circ$, 3 – $\beta = 20^\circ$, 4 – $\beta = 30^\circ$, 5 – $\beta = 60^\circ$, 6 – $\beta = 90^\circ$

ЛИТЕРАТУРА

1. Критерии летной годности для дирижаблей. Авиарегистр Межгосударственного авиационного комитета от 9 октября 1996 г. (На основе "Airship Design Criteria", FAA P-8110-2, 1992).
2. Динамика и аэродинамика дирижаблей. // Обзоры ЦАГИ. 1990. № 704. – 364 с.
3. Исследование взаимодействия дирижабля с атмосферным порывом / Научный руководитель Семенчиков Н.В., Исполнитель Пашков О.А. – М. 2012. / http://www.caexpert.ru/sites/default/files/issledovanie_vzaimodeistviya_dirizhblya_s_atmosfernym_poryvom.pdf.
4. Семенчиков Н.В., Та Суан Тунг, Яковлевский О.В. Аэродинамические характеристики дирижабля при его движении через восходящий воздушный поток // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 211. С. 57 – 64.

5. Семенчиков Н.В., Та Суан Тунг, Яковлевский О.В. Аэродинамические характеристики дирижабля при движении через область атмосферной неоднородности струйного типа // Общероссийский журнал Полет. 2015. № 4. С. 47 – 53.

NUMERICAL RESEARCH OF INTERACTING OF AIRSHIP WITH ATMOSPHERIC JET STREAMS

Semenchikov N.V., Tha Suan Tung

The results of numerical research of aerodynamic characteristics of airship with or without gondola in steady movement of the airship through the atmospheric jet streams. The influence of gondola and location of the airship relative to the axis of the jet stream on the value of the aerodynamic coefficients of airship is defined.

Key words: airship, the aerodynamic forces and moments coefficients, influence of the relative position of airship and jet, influence of gondola.

REFERENCES

1. Kriterii letnoy godnosti dlya dirizhabley [Criteria for the airship airworthiness]. Aviaregistr Mezhgosudarstvennogo Aviacionnogo Komiteta ot 9 oktyabrya 1996 g [Aviation Register of Interstate Aviation Committee of 9 October 1996]. (Na osnove [on the basis of] "Airship Design Criteria", FAA P-8110-2, 1992)

2. Dinamika i aehrodinamika dirizhabley. Obzorih CAGI [The dynamics and aerodynamics of airships. Reviews of CAHI] Moscow. 1990. № 704. – 364 p.

3. Issledovanie vzaimodeystviya dirizhablya s atmosfernim porihvom [Investigation of the interaction with the atmospheric rush of the airship] Nauchniy rukovoditelj Semenchikov N.V., Ispolnitelj Pashkov O.A. – Moscow. 2012. /http://www.cae-expert.ru/sites/default/files/issledovanie_vzaimodeystviya_dirizhablya_s_atmosferym_poryvom.pdf.

4. **Semenchikov N.V., Tha Suan Tung, Yakovlevskiy O.V.** Aehrodinamicheskie kharakteristiki dirizhablya pri ego dvizhenii cherez voskhodyatiy vozdushniy potok. Nauchniy vestnik MGTU GA [The aerodynamic characteristics of the airship as it moves through updraft airstream. Scientific Bulletin MSTUCA] Moscow. 2015. № 211. PP. 57 – 64.

5. **Semenchikov N.V., Tha Suan Tung, Yakovlevskiy O.V.** Aehrodinamicheskie kharakteristiki dirizhablya pri dvizhenii cherez oblast atmosfery neodnorodnosti struyjnogo tipa. Obshcherossiyskiy zhurnal Polet [The aerodynamic characteristics of the airship at motion through the atmospheric inhomogeneities jet type. All-Russian magazine Flight] Moscow. 2015. № 4. PP. 47 – 53.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Семенчиков Николай Витальевич, 1941 г.р., окончил МАИ (1964), кандидат технических наук, профессор кафедры аэродинамики летательных аппаратов МАИ, автор более 130 научных работ, область научных интересов – вихревые, струйные и отрывные течения, аэродинамика летательных аппаратов, электронный адрес: k105@mai.ru.

Та Суан Тунг, 1986 г.р., окончил МАИ (2011), аспирант кафедры аэродинамики летательных аппаратов МАИ, автор 6 научных работ, область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов, электронный адрес: k105@mai.ru.