

Способ улучшения аэродинамических характеристик при дозвуковых скоростях с помощью вихреобразователей

Национальный авиационный университет

Рассматривается способ улучшения аэродинамических характеристик с помощью вихреобразователей продольных вихрей на передней кромке при прямом обтекании, так и на задней кромке при обратном обтекании. Показано, что вихреобразователи увеличивают подъемную силу и критический угол атаки за счет воздействия на крупномасштабные вихри статического или динамического отрыва потока.

Приведены экспериментальные данные систематических исследований крыла в аэрогидродинамических трубах в статическом и динамическом колебательном движении без вихреобразователей и с вихреобразователями продольных вихрей на передней кромке, показано положительное влияние вихреобразователей на задней кромке при обратном обтекании крыла. Полученные результаты являются необходимым основанием для построения математической модели обтекания крыла на больших углах атаки без эффекта гистерезиса.

Ключевые слова: генераторы вихрей, аэродинамическая труба, обратное обтекание, вихри, большие углы атаки.

Постановка проблемы. Важнейшей задачей с точки зрения безопасности полетов самолетов является обеспечение устойчивости и управляемости при выходе на большие углы атаки при которых на верхней поверхности профиля развивается отрыв потока в виде крупномасштабных вихрей изменяющих распределение давления по хорде крыла и приводящих к падению подъемной силы, увеличению аэродинамического сопротивления, изменению моментов демпфирования и формирующих в следе дорожку Кармана.

Основной материал статьи. Крупномасштабные вихри, образующиеся на поверхности крыла являются результатом вязко-невязкого взаимодействия и зависят как от вязкости среды так и от распределения давления по крылу. В двумерной постановке изучение динамического срыва потока на крыле является весьма приближенной моделью. Перспективными являются исследования трехмерных течений, взаимодействия вихрей и активного влияния на них различными способами. Один из способов влияния состоит в разрушении устойчивых вихревых течений на верхней поверхности крыла, который развивается на границе вязко-невязкого взаимодействия потока при обтекании крыла.

Известно, что отличительной особенностью крупномасштабных вихрей, возникающих в области отрыва, является их высокая восприимчивость к внешним возмущениям [1, 2]. Оказалось [3], что с помощью продольных вихрей генерируемых у передней кромки крыла с помощью многочисленных наплывов малых размеров, можно управлять отрывным течением разрушая крупные отрывные вихри, что приводит к улучшению аэродинамических характеристик крыла, существенно увеличивая критический угол атаки.

Управление отрывными течениями с помощью вихрей используется активно многие годы при проектировании эффективных крыльев разного удлинения с наплывами (вихреобразователями) у кромки крыла [4] или вихреобразующими «зубьями» на передней кромке крыла.

Вихревая структура для оптимального улучшения аэродинамических характеристик может быть специально сформирована профилированной передней кромкой крыла в зависимости от критической скорости, оптимального шага между вихреобразователями и в зависимости от особенностей профиля крыла и режимов обтекания, чисел Рейнольдса и Струхала при колебаниях крыла.

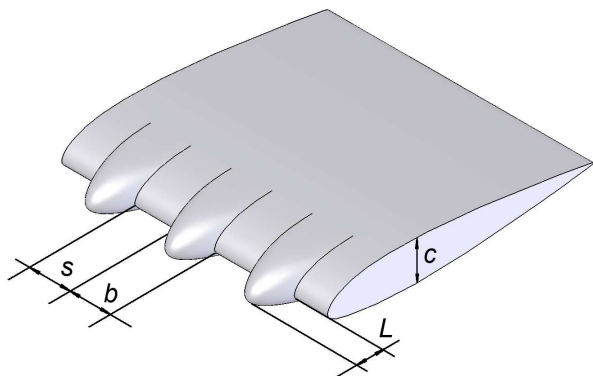


Рис. 1. Общий вид вихреобразователей

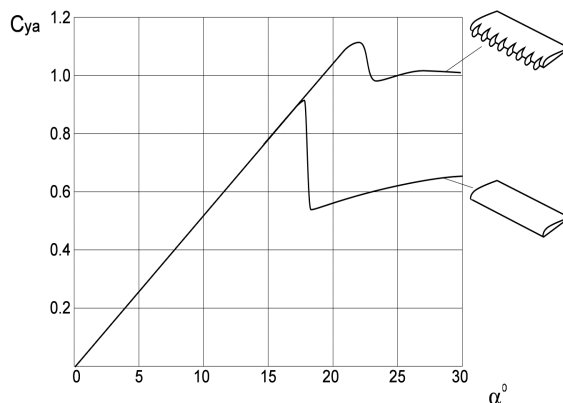


Рис. 2. Изменение подъемной силы по углу атаки

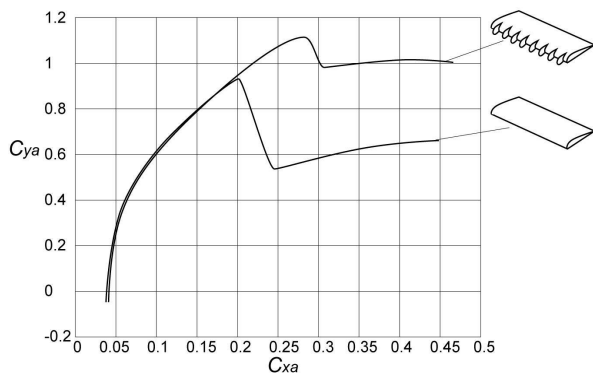


Рис. 3. Поляра крыла

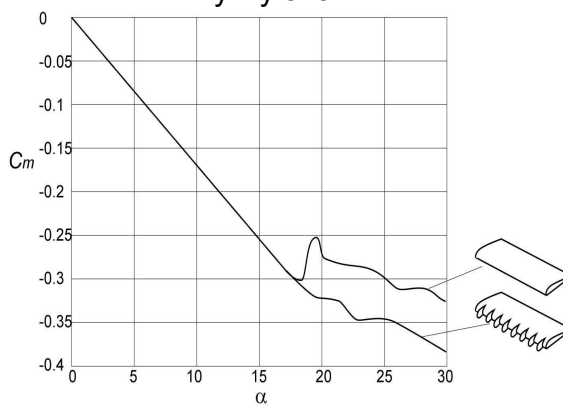


Рис. 4. Коэффициент продольного момента

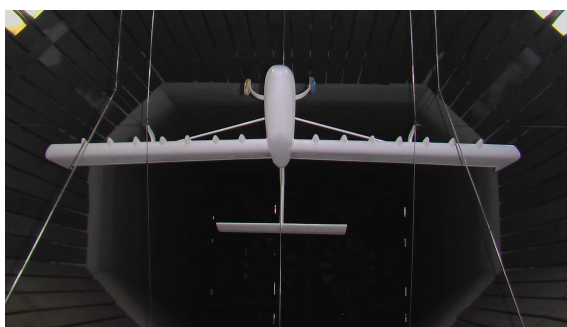


Рис. 5. Модель БПЛА в аэродинамической трубе

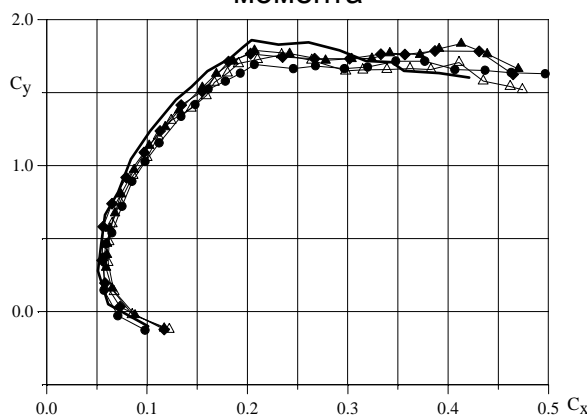


Рис. 6. Поляра БПЛА

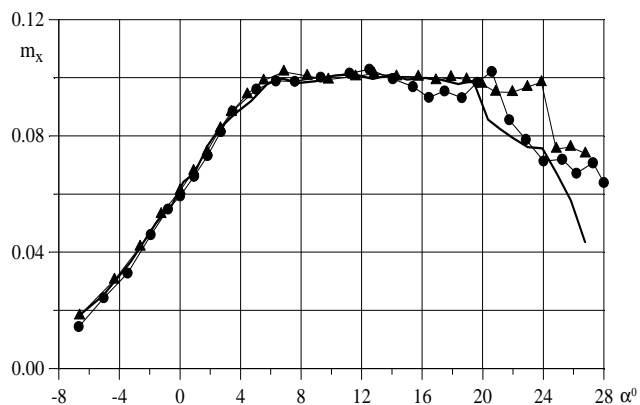


Рис. 7. Зона эффективности элеронов

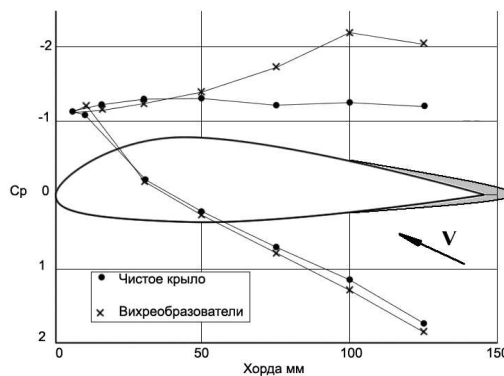


Рис. 8. Фрагмент круговой обдувки крыла с вихреобразователями



Рис. 9. Динамический отрыв на профиле крыла, исследуемый в гидродинамической трубе

Вихреобразование у передней кромки крыла может создавать эффект увеличения подъемной силы, увеличения подсосывающей силы, увеличение критического угла атаки, изменения продольного момента. Для достижения определенной цели необходимо использовать различную конфигурацию вихреобразователей, образуя из них «вихревой предкрылок».

Исследования малых возмущений на отрывные вихри крыла изучалось в работах [5, 6, 7], способы управления отрывом потока защищены патентами [8, 9].

Работы новосибирских ученых по изучению вихревых структур отрывных течений обобщены в диссертационной работе Павленко А.М. [5]. Обращено внимание, что отрывные вихри носят трехмерный крупномасштабный характер, что принципиально определяет физическую картину течения. В работе предложен метод локального воздействия на вихревую структуру отрывного течения выступами на верхней поверхности кромки крыла, приводящими к турбулизации потока а также локальный выдув внутри области срыва дискретных струй как способа дестабилизации вихревых структур отрывного течения. В результате утверждается, что выступы в виде ребер или конусов, точечный выдув создает препятствие поперечным течениям в области срыва, которые в свою очередь приводят к значительному изменению картины обтекания.

В работе польских ученых приводятся результаты влияния выдува

дискретных струй на отрывные течения. Показаны основные зависимости $C_y=f(\alpha)$, $C_x=f(\alpha)$, $m_z=f(\alpha)$, полученные в аэродинамической трубе при $Re=10^6$, $M=0,05-0,1$ для профиля NACA0012.

Канадские ученые изучали особенности обтекания плавника кита с наростами на передней кромке. Результаты исследований показали, что наросты на передней кромке плавника в статическом режиме приводят к существенному изменению аэродинамических характеристик. Это наиболее близкие исследования к обсуждаемой тематике в настоящей статье [7].

Результат исследований влияния вихреобразующих наплывов на передней кромке крыла, на интегральные аэродинамические характеристики.

Исследование вихреобразователей на аэродинамические характеристики на больших углах атаки производилось в дозвуковых аэродинамических трубах в статическом и динамическом режимах изменения угла атаки.

В статическом режиме проведены весовые исследования различных видов вихреобразователей на передней кромке крыла в аэродинамической трубе УТАД-2 НАУ при скорости до 30 м/с, чисел $Re=2 \cdot 10^5$. модель крыла размахом 400x150 мм, толщиной профиля $s=16\%$. При чистом крыле отрыв потока происходит на 18° с последующем падением подъемной силы на 40%.

Исследовались вихреобразователи при следующих характеристиках рис 1. $b=30-70\%c$, $L=20-60\%c$, $s=8-110\%c$. результаты изменения подъемной силы представлены на рис. 2, поляра на рис. 3. характерно, что максимальное качество крыла с вихреобразователями не изменяется по сравнению с гладким крылом, что можно объяснить развитой подсосывающей силой на передней кромке. Моментные характеристики изменяются более стабильно рис. 4. Исследование распределения давления показало, что существенно изменяются характеристики отрыва потока как при прямой обдувке, так и при обратной обдувке с вихреобразователями на задней кромке рис. 8.

Основной интерес представляют весовые исследования модели легкого беспилотного самолета рис. 5 с размахом крыла 1,7 м. в полетной конфигурации. Поляра самолета с вихреобразователями и без них представлена на Рис 6, а эффективность элеронов демонстрируется на рис. 7.

Исследованы вихревые структуры на крыле в гидродинамической трубе. Визуализированы крупномасштабные вихри при динамическом обтекании крыла без влияния вихреобразователей. При наличии вихреобразователей на передней кромке крыла крупномасштабные вихри распадаются и течение становится турбулентным рис. 9. [10, 11].

Выводы

Вихреобразователи продольных вихрей на передней кромке крыла высокоэффективное средство для увеличения критического угла атаки, при оптимизации вихревого предкрылка и для увеличения максимального коэффициента подъемной силы. Вихреобразователи не приводят к существенному изменению наивыгоднейшего угла атаки и аэродинамического качества. Вихреобразователи на передней кромке крыла перспективны для

использования на беспилотных летательных аппаратах, эксплуатирующихся в турбулентной атмосфере. Вихреобразователи на передней кромке полезны при использовании на ветрогенераторах типа Дарье. Полученные результаты являются необходимым основанием для построения математической модели обтекания крыла на больших углах атаки без эффекта гистерезиса.

Список литературы

1. Брыляков, А.П. Отрыв потока на прямом крыле при повышении внешней турбулентности [Текст] / А.П. Брыляков, Г.М. Жарнова, Б.Ю. Занин // Ученые записи Цаги. Т. 35. - 2004. – 52 с.
2. Павленко, А.М. Изучение вихревой структуры отрывных течений и методов управления отрывом на моделях крыльев при малых числах Рейнольдса: авторе. дис. на соиск. уч. степени канд. тех. наук : спец. 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» [Текст] / А. М. Павленко; Ин-т теор. и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отд. РАН. – Новосибирск, 2011. – 21 с.
3. Іщенко, С.О. Методи та засоби керування позовжніми вихровими структурами та їх дослідження [Текст] / С.О. Іщенко – К.: НАУ, 2010. – 120 с.
4. Бюшгенс, Г.С. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов [Текст] / Г.С. Бюшгенс - М.: Наука, Физматлит, 1998. – 816 с.
5. Бюшгенс, Г.С. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов [Текст] / Г.С. Бюшгенс - М.: Наука, Физматлит, 1995. – 798 с.
6. Krzysiak, A. Applikation of a new concept of air jet vortex generators for flow control [Текст] / A. Krzysiak - Warszawa: Transaction of the institute of aviation, 2011. – 314 с.
7. Stanway, M.J. Hydrodynamic effects of leading tubercles on control surfaces and flapping foil propulsion [Текст] / M.J. Stanway – Massachusetts: MIT, 2008. – 98 с.
8. Патент Р.Ф. №2328411. Способ управления отрывом потока [Текст] / Занин Б.Ю., Козлов В.В.; заявитель Занин Б.Ю. 2008. – 4 с.
9. Патент України №67743. Генератор вихорів / Щербонос О.Г., Ударцев Є.П.; заявитель Национальный авиационный университет. 2012. – 4 с.
10. Фреймут, П. Визуализация вихревой системы крыла в ускоренном потоке [Текст] / П. Фреймут, Ф. Файнэш, В. Бенк - М.: Аэрокосмическая техника №7. 1988. – 44.
11. Моделирование неустановившегося движения крыла в гидродинамической трубе: материалы международной конф. «Авиа 2011», 19-21 августа 2011 г. / Е.П. Ударцев, А.И. Жданов, А.В. Швец, - К.: НАУ. 2011. – 544 с.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.А. Касьянов,
Национальный авиационный университет, г. Киев.

Поступила в редакцию 02.09.2013

Спосіб поліпшення аеродинамічних характеристик при дозвукових швидкостях за допомогою вихрогенераторів

Розглядається спосіб поліпшення аеродинамічних характеристик за допомогою генераторів поздовжніх вихорів на передній кромці при прямому обтіканні, так і на задній кромці при зворотному обтіканні. Показано, що вихрогенератори збільшують підйомну силу і критичний кут атаки за рахунок впливу на великомасштабні вихри статичного чи динамічного відриву потоку. Наведено експериментальні дані систематичних досліджень крила в аерогідродинамічних трубах в статичному і динамічному коливальному русі без вихрогенераторів і з вихрогенераторами поздовжніх вихорів на передній кромці, показано позитивний вплив вихрогенераторів на задній кромці при зворотному обтіканні крила. Отримані результати є необхідною підставою для побудови математичної моделі обтікання крила на великих кутах атаки без ефекту гістерезису.

Ключові слова: генератори вихорів, аеродинамічна труба, зворотне обтікання, вихори, великі кути атаки .

Aerodynamics improving at subsonic velocities using vortex generators

The way to improve the aerodynamic characteristics with vortex generators on the leading edge in the direct flow, and at the trailing edge of the reverse flow. It is shown that the vortex generators increase the lift force and the critical angle of attack due to the impact of large-scale vortices on the static or dynamic flow separation.

Experimental data of systematic studies of the wing in a wind tunnel in static and dynamic vibrational motion without vortex generators and vortex generators on the leading edge, showing a positive effect on the trailing edge vortex generators in the reverse flow over the wing. The results are a necessary foundation for the construction of a mathematical model of flow over the wing at high angles of attack without hysteresis effect.

Keywords: vortex generators, wind tunnel, reverse flow, eddies, high angles of attack.