

УДК 629.735.015.3(045)

А. Ф. Махмуд, асп. (Ирак)

## ВИХРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КАК СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА

НАУ, кафедра аэродинамики и летной эксплуатации, e-mail:abbasaldoory@yahoo.com

*Рассмотрены вопросы использования генераторов вихрей как средства для затягивания на больший угол атаки или предотвращения отрыва турбулентного пограничного слоя от элементов ЛА без дополнительных затрат энергии*

*Examine matter using the Vortex Generator like instrument for lead in hair angel of attack or for prevention tearing off turbulent flow boundary layer from component airplane without energy consumption.*

### Постановка проблемы

Одним из возможных способов улучшения характеристик нестационарных режимов обтекания элементов летательного аппарата (ЛА) является управление отрывом потока. Для этого необходимо знать состояние пограничного слоя (ПС), а именно – положение линии естественного перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный [1]. Факторами, определяющими отрыв потока, являются положительные градиенты давления и вязкость. В то же время отрывом можно управлять путем изменения или сохранения структуры вязкого течения для того, чтобы эти определяющие факторы предотвращали или замедляли отрыв.

Управление отрывом потока производится с целью повышения эффективности или усовершенствования характеристик ЛА, а также для уменьшения влияния усталостных напряжений на элементах ЛА при воздействии порывов ветра [2].

### Цель работы

В настоящей статье проведен анализ возможности использования генераторов вихрей как средства управления отрывом потока и улучшения аэродинамических характеристик элементов ЛА.

### Анализ механизма изменения параметров пограничного слоя при использовании генераторов вихрей

Генераторы вихрей применяются как средство управления потоком, обеспечивая задержку отрыва пограничного слоя и ослабление вредных эффектов сильных локальных вторичных течений (рис. 1). Генераторы вихрей подводят энергию из внешнего потока в пограничный слой, и их влияние оценивается по их участию в процессе смешения

потоков и образованию полей вторичных скоростей вниз по течению под действием индуцированных вихревых структур [3].

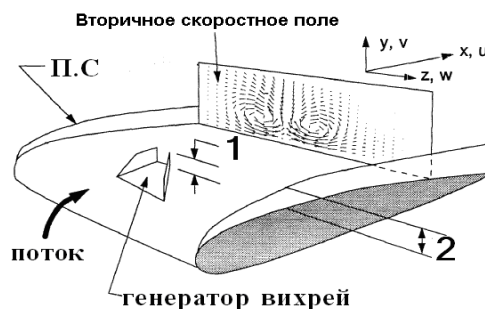


Рис. 1. Вихревые структуры, создаваемые генераторами вихрей: 1 – высота генератора вихрей; 2 – толщина пограничного слоя

### Классификация генераторов вихрей и области их применения

Генераторы вихрей в зависимости от места установки и назначения могут иметь различную конфигурацию: простой «плуг», экранированный «плуг», треугольный «плуг», ковшик, выступ, завихритель, купол, клин, лопатки, крылышки и т.п. Конструкция некоторых генераторов вихрей показана на рис. 3 [2].

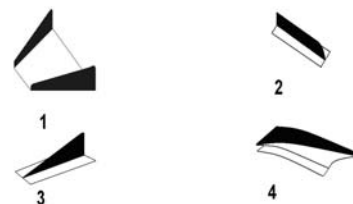


Рис. 2. Формы генераторов вихрей [3]: 1 – крылышки; 2 – лопатки; 3 – треугольный плуг 4 – ковшик

Взаимное расположение генераторов вихрей позволяет получить различное направление вращения вихрей (рис. 4). Первый из них – одинакового по знаку (сонаправленного) направления вращения (с.н.в.), второй – противоположно направленного вращения (п.н.в.). (Встречное вращение с общим нисходящим потоком и левое вращение с общим восходящим потоком.)

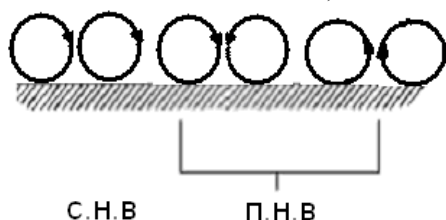


Рис 3. Различные виды вихревых пар

Для первого типа генераторов вихрей существуют параметры:  $b$  – расстояние между двумя генераторами вихрей в паре и  $5$  – расстояние между двумя парами генераторов вихрей (рис. 5).

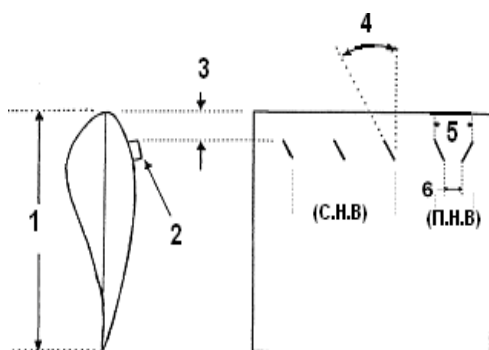


Рис. 4. Конфигурации и параметры генераторов вихрей: 1 – хорда профиля; 2 – генератор вихрей; 3 – положение генератора вихрей по хорде профиля; 4 – угол установки генератора вихрей

Имеются также дополнительные параметры: вид генератора вихрей; высота генератора вихрей; длина генератора вихрей; номинальное число генераторов вихрей.

О первом экспериментальном исследовании пассивных генераторов вихрей сообщил Тейлор (1947 г.). Этот вид генераторов вихрей состоит из ряда маленьких лопаток с высотой несколько большей, чем толщина пограничного слоя. В 1960 г. Шубауэр и Шпангенберг рассмотрели ряд различных стационарных приспособлений для смешивания потока (генераторов вихрей) и сделали вывод о том, что применение этих приспособ-

лений приводит к уменьшению положительного градиента давления [9].

Генераторы вихрей устанавливаются главным образом на крыльях ЛА. Так как вихрь добавляет энергию к воздушному потоку и увеличивает его инерцию, то это приводит к безотрывному потоку над крылом. В результате ЛА может летать с большим углом атаки, что очень важно как для боевых самолетов, так как улучшает их маневренность, так и для транспортных самолетов для повышения безопасности полёта, особенно при взлёте и посадке (рис. 5).



Рис. 5. Размещение генераторов вихрей на крыле

Однако генераторы могут быть использованы и на других частях самолета. При размещении генераторов на крыле увеличивается его подъемная сила, а также значение критического угла атаки. Срыв потока над крылом сопровождается снижением эффективности работы управляемых поверхностей (элеронов, закрылков и т.д.).

Для повышения эффективности работы управляемых поверхностей путем увеличения скорости потока в пограничном слое генераторы вихрей устанавливаются перед передней кромкой управляемой поверхности (рис.6).

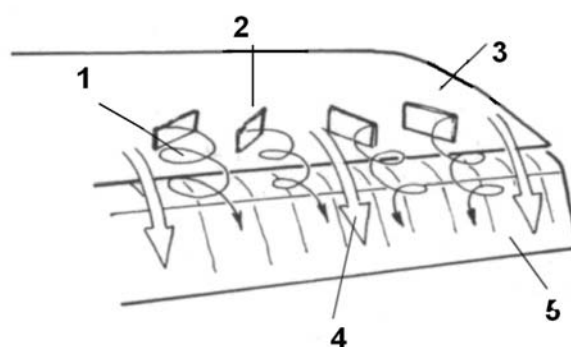


Рис. 6. Генераторы вихрей перед управляющей поверхностью: 1 – вихрь; 2 – генератор вихрей; 3 – крыло; 4 – поток; 5 – закрылки

Управление направлением местных потоков на фюзеляже и мотогондолах осуществляется индивидуальными генераторами вихрей (рис.7) [6].

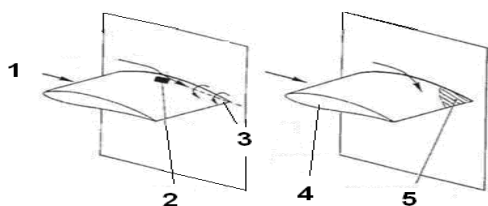


Рис. 7. Управление направлением местных потоков: 1 – направление потока; 2 – генератор вихрей; 3 – продольный вихрь; 4 – крыло; 5 – срыв потока

Для управления потоком на гондолах двигателей устанавливают индивидуальные крупногабаритные генераторы вихрей, позволяющие уменьшить интерференцию мотогондолы с крылом (рис. 8).

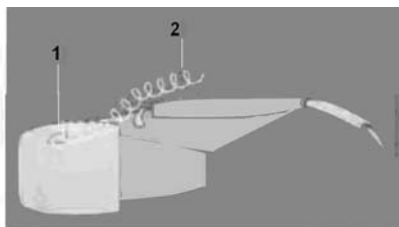


Рис. 8. Генератор вихрей на гондоле двигателя: 1 – генератор вихрей; 2 – вихрь

Генераторы вихрей применяются не только на ЛА. Например, для повышения коэффициента полезного действия (КПД) турбины ветроэнергетической установки с помощью генераторов вихрей добиваются затягивания отрыва потока на большие углы атаки и увеличения значения максимального коэффициента подъемной силы [7]. Генераторы вихрей используются и для повышения КПД рабочего колеса турбины турбореактивного двигателя [8]. Они ускоряют поток на верхнем конце лопаток турбины посредством смещения вихревого потока от генераторов вихрей и основного потока, что приводит к задержке отрыва потока (рис. 9).

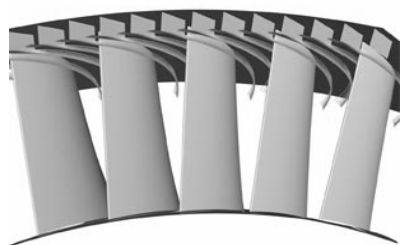


Рис. 9. Генераторы вихрей перед лопатками одной из ступеней турбины двигателя [7]

### Изменение параметров пограничного слоя при использовании генераторов вихрей

Генераторы вихрей эффективно работают на средних и больших углах атаки, так как на малых углах они «скрыты» под пограничным слоем и практически неэффективны. При увеличении угла атаки генераторы вихрей взаимодействуют с набегающим потоком воздуха и поддерживают устойчивость потока. На рис.10 показано, как генераторы вихрей влияют на параметры пограничного слоя [7].

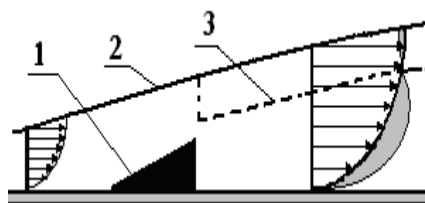


Рис. 10. Схема изменения параметров пограничного слоя профиля при установке генератора вихрей: 1 – генератор вихрей; 2 – толщина пограничного слоя; 3 – изменение толщины пограничного слоя; - - - - с генератором вихрей; \_\_\_\_\_ – без генератора вихрей

Если генераторы вихрей разместить должным образом в поле течения, то спиральное движение потока в вихре принуждает высокоэнергетический невозмущенный поток проявлять себя в виде повышения энергии потока в пограничном слое. Это сопровождается тенденцией к появлению вторичных потоков, разрушающих поле течения за счет противоположно направленного действия, а именно, путем перемещения пограничного слоя в сторону от стенки к ядру образовавшихся вихревых структур. В связи с этим использование генераторов вихрей приводит к уменьшению толщины пограничного слоя.

Результаты экспериментальных исследований с генераторами вихрей, проведенных в Национальной лаборатории ROSKILDE (Дания), показаны на рис. 11 в виде графических зависимостей суммарных характеристик профиля крыла. Как видно из рисунков, благодаря использованию генераторов вихрей увеличивается линейный участок кривой зависимости коэффициента подъемной силы от угла атаки. В то же время возрастает величина коэффициента максимальной подъемной силы  $C_{y_{max}}$  от значения 1,41 до 1,8. Соответственно возрастает и критический угол атаки с  $10^\circ$  до  $17^\circ$  [4; 5].

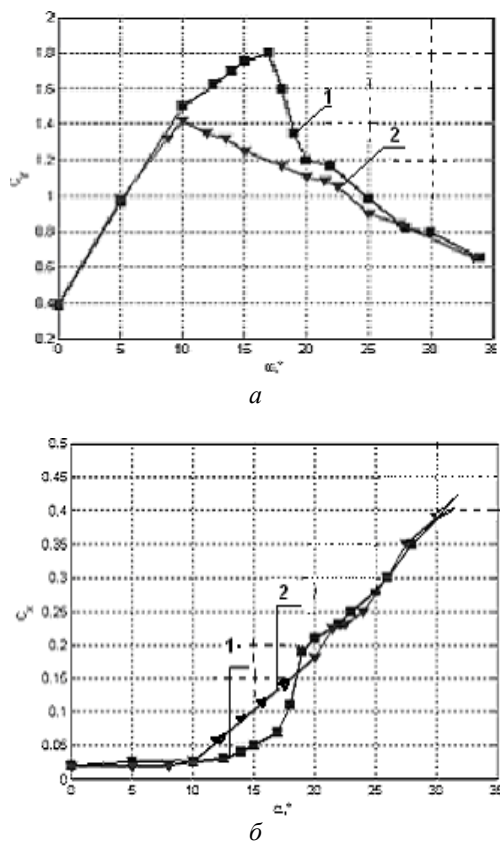


Рис. 11. Влияние генераторов вихрей: *a* – на подъемную силу профиля; *b* – на лобовое сопротивление профиля; 1 – с генератором вихрей; 2 – без генератора вихрей

Из графиков видно, что на углах атаки  $10^\circ \dots 17^\circ$  сопротивление профиля с генераторами вихрей меньше, чем сопротивление гладкого профиля. Следовательно, аэродинамическое качество в указанном диапазоне полетных углов атаки возрастет по сравнению с исходным.

### Выводы

Использование генераторов вихрей позволяет реализовать следующие преимущества, связанные с управлением отрыва потока.

1. Установка генераторов вихрей приводит к увеличению подъемной силы и критического угла атаки ЛА, дает устойчивое, безотрывное обтекание крыла, чем обеспечивается гораздо больший экс-

плуатационный диапазон режимов полета.

2. Простота изготовления и установки генераторов вихрей на выбранных частях ЛА позволяет использовать эти устройства для улучшения летно-технических характеристик находящихся в длительной эксплуатации самолетов.

3. Использование генераторов вихрей на лопастях ветроэнергетических установок, на входных устройствах компрессоров и турбин турбореактивных двигателей приводит к увеличению КПД этих устройств.

### Литература

1. *Udartsev E. P.* Dr Sci (eng). Problems of airplane unsteady aerodynamics // Proceeding of the national aviation university. – 2005. – № 2. – P. 41–44.
2. *Чжен П.* Управление отрывом потока. – М: Мир, 1979. – 552 с.
3. Flow structure in the wake of a wishbone vortex generator. Wendt.b.j., Hingst W.R // AIAA journal. – 1994. – 32, № 11. – P. 2234–2240.
4. *KNOW-BLADE* Task-2 report; Aerodynamic Accessories. Jeppe Johansen, Niels N., Sørensen Risø National Laboratory Roskilde Denmark. – October. – 2004.
5. *Know-blade* Task-3.3 report; Rotor Blade Computations with 3D Vortex Generators Jeppe Johansen, Niels N. Sørensen, Risø National Laboratory Roskilde Denmark. – January. – 2005.
6. *Michael F. Kerho and Brian R. Kramer* (Enhanced Airfoil Design Incorporating Boundary Layer Mixing Devices) 41st AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit 6-9 January 2003 / Reno, NV.
7. *Michatl kerho and brian kramer* (enhanced airfoil design incorporating boundary layer mixing Devices) AIAA-2003-0211.
8. *Chima, Rodrick V.:* Calculation of Multistage Turbomachinery Flow Using Steady Characteristic Boundary Conditions. AIAA Paper 98-0968. – Jan. – 1998. (NASA/TM-1998-206613).
9. *Ola Logdberg* ( vortex generators and turbulent boundary layer separation control ) October 2006 Technical Reports from Royal Institute of Technology KTH Mechanics SE-100 44. – Stockholm, Sweden.

Стаття надійшла до редакції 30.01.06.