

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ВОЛНИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ОТРЫВА ПОТОКА НА КРЫЛЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.

Крюков А.В.¹, Коновалов И.С.²

¹Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, 630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская 4/1

²Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

В настоящее время достаточно динамично развивается область эксплуатации летательных аппаратов с полетными числами Рейнольдса меньше 1 000 000. К ним можно отнести как великое множество беспилотных и дистанционно пилотируемых летательных аппаратов, так и целый сектор пилотируемой авиационной техники включающий в себя: сверхлегкие самолеты, учебные и спортивные планера, дельтапланы и парaplаны.

Еще на заре авиации в начале прошлого века скорость полета летательных аппаратов была не велика и соответственно полетные числа Рейнольдса были порядка 100 000. Аэродинамика летательных аппаратов еще только проходила становление. Однако рост скоростей полета, стимулируемый гражданскими и военными потребностями, на много превосходил создание и освоение методов аэрофизического эксперимента. Со временем интерес к исследованию малоскоростного полета угас. Исследовательская работа в данном направлении более не шла широким фронтом, скорее это были единичные работы не меняющие общую картину. В результате огромная область аэродинамики летательных аппаратов долгое время незаслуженно оставалась фактически неизученной вплоть до последнего времени.

На данный момент с ростом интереса к малоразмерным беспилотным, дистанционно пилотируемым, а также малоскоростным пилотируемым аппаратам повсеместно возобновились исследовательские работы в области низких чисел Рейнольдса. Основная часть из них - летательные аппараты с классической "самолетной" схемой создания подъемной силы (фиксированное крыло и реактивная или винтомоторная силовая установка). Тяговооруженность таких аппаратов, как правило, существенно меньше единицы. Это позволяет значительно увеличить полезную нагрузку либо дальность полета по отношению к аппаратам других типов, и делает их использование оптимальным для широкого спектра задач рис.1.



Рис.1 Летательные аппараты самолетной схемы БПЛА Raven USA, самолет системы STOL.

Существует ряд сложностей связанных с проектированием и эксплуатацией таких летательных аппаратов. Одна из них - это специфические аэродинамические процессы проходящие на поверхности

крыла. Характерной особенностью в обтекании крыльев аппаратов с низким полетным числом Рейнольдса, является наличие протяженной зоны ламинарного течения, после которой на участке с неблагоприятным градиентом давления образуется локальная отрывная область (отрывной пузырь рис.2), где в большинстве случаев происходит переход к турбулентному течению.

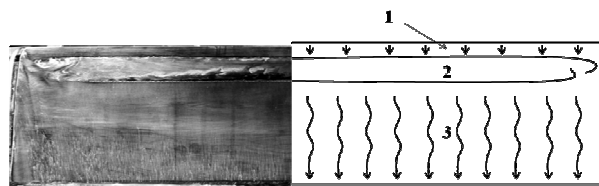
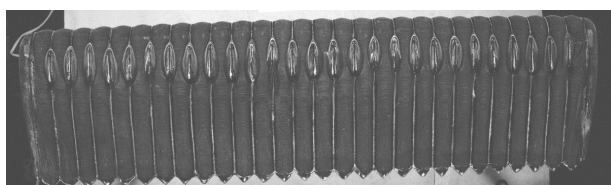
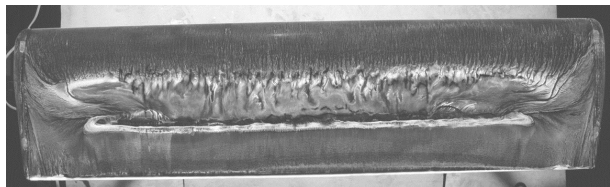


Рис.2 Течение на подветренной стороне гладкого крыла $Re=150\,000$ профиль Z-15-25, угол атаки $\alpha=9^\circ$, степень турбулентности потока $\varepsilon=0.04\%$.: 1- зона ламинарного течения 2 - зона отрывного пузыря, 3- присоединенное турбулентное течение.

Отрывной пузырь способствует отрыву и срыву потока, а также образованию гистерезиса аэродинамических характеристик, что негативно влияет на аэродинамические характеристики ЛА. В развитии явлений отрыва и срыва потока большую роль играет процесс ламинарно-турбулентного перехода (ЛТП), поэтому важной задачей является поиск средств диагностики и путей управления ЛТП. Существующее многообразие способов управления ЛТП в общем случае можно разделить на пассивные и активные. Каждая из категорий обладает своими преимуществами и недостатками. Пассивные не нуждаются в дополнительном подводе энергии, однако они, как правило, оптимизированы для определенного режима и не способны изменяться во времени. Активные же позволяют изменять параметры воздействия в процессе обтекания, однако зачастую затраты энергии на управление превосходят выигрыш, полученный от управления переходом. Поэтому не существует универсального способа управления и его выбор зависит от поставленной задачи. Для малоразмерных летательных аппаратов оптимальным видится применение пассивных способов управления ЛТП. Одним из перспективных направлений среди них является применение волнистости, расположенной на несущей поверхности продольно по потоку. В работах отечественных и зарубежных авторов (Занин и др., Miklosovic и др.) было показано, что для чисел Рейнольдса порядка 100 000, в ряде случаев, волнистость, расположенная на несущей поверхности крыла, значительно увеличивает критические углы атаки, а также устраняет гистерезис аэродинамических характеристик.

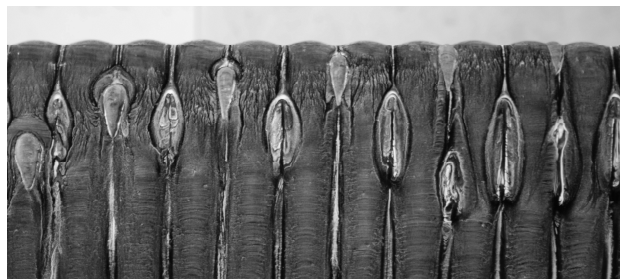
В ранних работах по исследованию гладкого и волнистого крыла [1,2] было показано: что для чисел Рейнольдса порядка 100 000 волнистое крыло, имеющее продольную по полету волнистость, обладает более высоким критическим углом атаки и существенно меньшей петлей гистерезиса аэродинамических характеристик чем у гладкого крыла, а срыв потока на волнистом крыле проходит по более плавному сценарию. Это обусловлено в основном тем, что отрывной пузырь на волнистом крыле дробится на систему более мелких, локализованных во впадинах рис.3.



*Рис. 3 Локализация отрывного пузыря на гладком и волнистом крыле при одних и тех же режимах:
Профиль Z-15-25, $\varepsilon=0.04\%$, $u=10$ м/с, $\alpha=0^\circ$.*

В данной работе исследовалось влияние второй степени волнистости, установленной дополнительной во впадине основной, на возникновение и развитие отрыва потока. Экспериментальным путем, в ряде случаев удалось, получить конфигурации ком-

бинированной волнистости при которой локализованный ранее основной волнистостью отрывной пузырь устраняется с помощью второстепенной Рис. 4.



*Рис.4 Сажемасляная визуализация на волнистом крыле .
 $Re=150\,000$, $\varepsilon=0.04\%$, угол атаки $\alpha=0^\circ$.*

Полученные результаты позволяют однозначно утверждать, что при определенных режимах обтекания использование комбинированной волнистости позволяет полностью устранить отрывной пузырь на несущей поверхности малоразмерного летательного аппарата.

Список литературы:

1. Zverkov I.D., Zanin B.U., Kozlov V.V. Disturbances Growth in Boundary layers on classical and wavy surface wing // AIAA Journal. 2008. Vol. 46. No. 12. pp. 3149-3158.
2. Зверков И.Д., Козлов В.В., Крюков А.В.. Исследование отрыва пограничного слоя на классическом и волнистом крыльях с помощью тепловизора // Вестник НГУ. Серия : Физика. 2010. Т. 5 вып 2 с. 20-28.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ:
14-08-00369, 13-07-00616, 13-08-00395*