

УДК 629.7.022; 623.624.9

Е.А. Українець

Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПОНОВКА ВОЗДУШНОГО ВИНТА С АРОЧНО-КОЛЬЦЕВЫМ КРЫЛОМ

В статье представлена аэродинамическая компоновка воздушного винта с арочно-кольцевым крылом, предназначенная для самолетов, длительно использующих малые скорости полета. Разработан комплексный полуэмпирический метод определения аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок, что обусловлено трудностями проведения весового эксперимента с воздушными винтами в аэродинамической трубе. Получены зависимости коэффициента аэродинамической подъемной силы арочно-кольцевого крыла от коэффициента нагрузки на ометаемую поверхность воздушного винта.

**Ключевые слова:** аэродинамическая компоновка, арочно-кольцевое крыло, воздушный винт, аэродинамические характеристики, комплексный метод

### Введение

Компоновка с арочно-кольцевым крылом (АКК) относится к компоновкам, использующим при малых скоростях полета для обеспечения необходимой подъемной силы и требуемых характеристик устойчивости и управляемости энергетический источник, воздействующий на местный поток: струю работающего воздушного винта. Наддув и отсос местного потока на верхней поверхности крыла, создаваемый струей воздушного винта, обуславливает появление дополнительной силы за счет прироста циркуляции скорости вокруг крыла. В [1] показано, что влияние наддува и отсоса на характер обтекания крыла существенно разное: в отличие от наддува, при отсосе может быть реализован прирост отрицательного градиента давления вдоль всей хорды крыла в направлении к винту, что в значительной мере способствует сохранению безотрывного обтекания крыла в широком диапазоне углов атаки. Также показано, что полеты на малых скоростях, включая  $V=0$ , связаны с использованием больших углов атаки, при которых реализуется дополнительная подъемная сила – составляющая от силы тяги винта, а проблема устойчивости и управляемости летательного аппарата при малых скоростях полета может решаться за счет использования энергии струи путем размещения органов стабилизации и управления в струе от винта.

Характерной особенностью компоновки воздушного винта с арочно-кольцевым крылом (ВВ-АКК) является отсутствие элементов, не подверженных влиянию работающего винта. Эта особенность существенно усложняет проведение весового эксперимента в аэродинамической трубе:

– существуют проблемы обеспечения критериев подобия для работающего воздушного винта;

– невозможность идеальной балансировки винта при весовом эксперименте обуславливает наличие вибрации, уровень которой зависит от неконтролируемых факторов;

– невозможность пренебречь наличием влияния телесных элементов компоновки на элементы, которые имеют малую толщину (лопасти воздушных винтов);

– сложность непосредственного измерения тяги и крутящего момента воздушного винта [2].

Таким образом, возможности проведения весового эксперимента компоновок с воздушными винтами в аэродинамической трубе ограничены, что делает целесообразным комплексного использования экспериментальных и численных методов аэродинамики.

**Целью статьи** является разработка комплексного полуэмпирического метода определения аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок с воздушными винтами.

### Основной раздел

Идея комплексного использования различных методов аэродинамики для сохранения преимуществ этих методов при исключении их недостатков известна [3 – 4]. Так, в [5 – 6] совместимое решение задачи обтекания на основе модифицированного метода дискретных вихрей (ММДВ) и метода возмущенных потенциалов (МВП) представлено в виде применения МВП для определения скоростей на поверхности тела, а ММДВ – для решения задачи пространственного обтекания в нестационарной постановке. Показана связь этих методов, базирующихся на модели идеальной жидкости, теоретически обоснована возможность их синтеза в единый метод. Разработанный подход отличался от существующих тем, что он позволял использовать положительные свойства МВП для расчета скорости на поверхности тела, поскольку в этом случае метод имеет устойчивое решение, и ММДВ – для решения задачи течения жидкости в пространстве, то есть динамики движения жидкости в нестационарной постановке. Такой подход позволил совместить высокую точность получения распределенных, и, как

следствие, суммарных аэродинамических характеристик на основе применения МВП, с вычислительной эффективностью и точностью определения положения вихревой пелены на основе ММДВ.

В работах [7 – 9] установлена физическая сущность явлений над верхней поверхностью арочного крыла в компоновке "арочное крыло – толкающий воздушный винт". Визуализацией потока в аэродинамической трубе определены границы применимости численных методов при проведении параметрических исследований, показано удовлетворительное совпадение экспериментальных данных и данных, полученных численными методами. Сделан вывод о целесообразности использования экспериментальных данных, получаемых в аэродинамических трубах для определения границ применимости численных методов, базирующихся на теории идеальной жидкости.

Разработанный комплексный метод определения аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок представляет собой обобщение научных результатов работ [7 – 14] на основе совместного использования модельного эксперимента в аэродинамической трубе и синтезированных в единый численный метод различных методов граничных элементов. На рис. 1 представлена структурно-логическая схема разработанного комплексного метода.



Рис. 1. Структурно-логическая схема комплексного метода определения аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок

Процесс определения аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок с воздушными винтами заключается в следующем. Проводится анализ начальных геометрических данных компоновки, начальных и граничных условий. В результате проведенного анализа разрабатываются панельная и продувочная модели. Предназначение

продувочной модели – определение характера обтекания, влияния вязкости на положение линий схода вихревых пелен, что необходимо для преодоления органичного недостатка всех численных методов, основанных на теории идеальной жидкости – априорности задания положения схода вихревых пелен, критического угла атаки и приближенного определения профильной составляющей лобового сопротивления. На первом расчетном шаге в синтезированном численном методе выполняется расчет обтекания телесной комбинации для определения величин возмущенных скоростей в контрольных точках тонких несущих поверхностей. На следующих расчетных шагах определяется геометрическое положение вихревой пелены на основе ММДВ, которое привносится как эквивалентная форма пелены диполей для расчета обтекания телесной комбинации на основе МВП. Далее выполняется расчет обтекания телесной комбинации для определения величин возмущенных скоростей в контрольных точках тонких несущих поверхностей, затем определяется новое положение вихревой пелены, которое на следующем шаге привносится как положение пелены диполей для расчета обтекания телесной комбинации на основе МВП. Процесс повторяется до окончания формирования ближнего вихревого следа, то есть до момента, когда влияние разгонного вихря становится пренебрежимо малым, либо до выполнения другого специфического требования.

Таким образом, разработанный комплексный метод позволяет:

- детально моделировать вихревой след за сложной пространственной компоновкой ЛА, что представляет также интерес для определения уровня заметности вихревого следа;

- получать распределенные и суммарные аэродинамические характеристики компоновок ЛА с достаточной для этапа многовариантных проработок точностью;

- предоставляет верифицированную панельную модель ЛА для определения характеристик радиолокационной заметности с дифференциацией на гладкие и кромочные участки.

На основе разработанного комплексного метода получены зависимости аэродинамических характеристик прямого, кольцевого и арочно-кольцевого крыльев от режима работы воздушного винта. Удлинение прямого и кольцевого крыльев составило 2 единицы, арочно-кольцевое крыло получено из кольцевого перераспределением площадей верхней и нижней части при условии сохранения омываемой потоком площади. Профиль крыла – НАСА 0012, в качестве воздушного винта выбран АВ-140 [15], характеристики которого известны, а результаты численного моделирования на основе ММДВ удовлетворительно совпали с экспериментальными данными, полученными на винтовом приборе. На рис. 2 – 4 представлены панельные модели комбинации воздушного винта АВ-140 с прямым, кольцевым и арочно-кольцевым крылом соответственно.

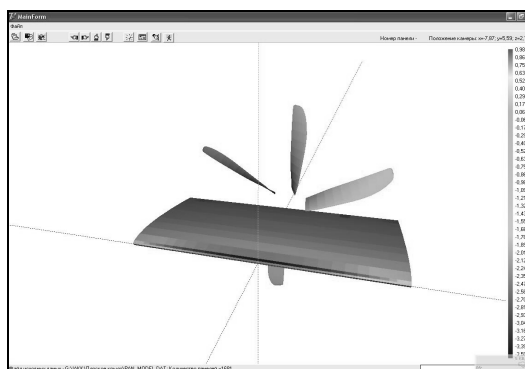


Рис. 2. Панельная модель комбинации воздушного винта АВ-140 с прямым крылом

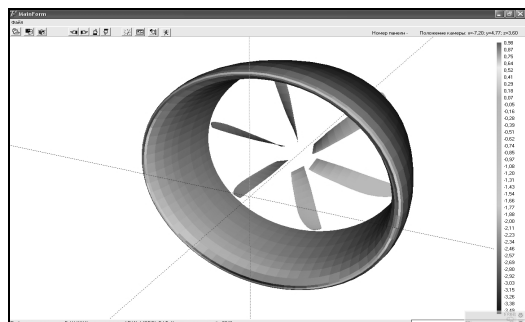


Рис. 3. Панельная модель комбинации воздушного винта АВ-140 с кольцевым крылом

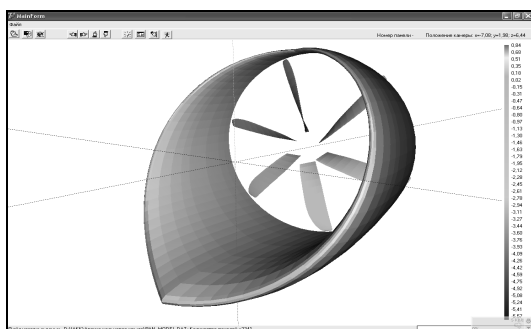


Рис. 4. Панельная модель комбинации воздушного винта АВ-140 с арочно-кольцевым крылом

На рис. 5, 6 представлены зависимости коэффициента аэродинамической подъемной силы крыла от режима работы воздушного винта, характеризуемого коэффициентом нагрузки на ометаемую винтом площадь:

$$V = T_B / (q_\infty \cdot F_B),$$

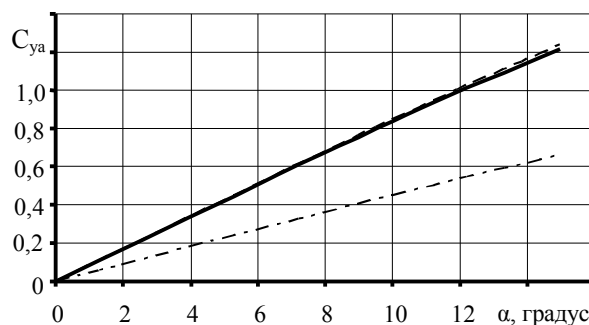
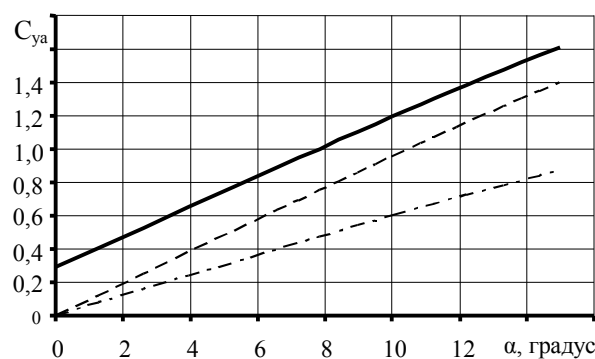
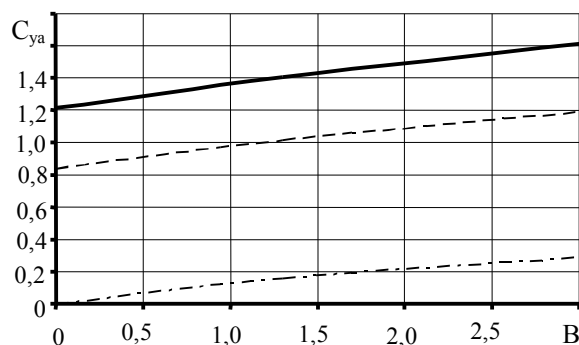
где  $T_B$  – тяга воздушного винта;  $q_\infty$  – скоростной напор набегающего потока;  $F_B$  – площадь, ометаемая винтом.

На рис. 7 представлена зависимость коэффициента аэродинамической подъемной силы арочно-кольцевого крыла от режима работы воздушного винта при различных углах атаки АКК.

### Выводы

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

– несущие свойства кольцевого и арочно-кольцевого крыльев при равной омываемой потоком

Рис. 5. Зависимости коэффициента подъемной силы прямого (штрихпунктирная линия), кольцевого (штриховая линия) и арочно-кольцевого (сплошная линия) крыла при  $V=0$ Рис. 6. Зависимости коэффициента подъемной силы прямого (штрихпунктирная линия), кольцевого (штриховая линия) и арочно-кольцевого (сплошная линия) крыла при  $V=3,0$ Рис. 7. Зависимости коэффициента подъемной силы арочно-кольцевого крыла от коэффициента нагрузки на ометаемую винтом площадь при угле атаки  $\alpha=0^\circ$  (штрихпунктирная линия),  $\alpha=10^\circ$  (штриховая линия),  $\alpha=15^\circ$  (сплошная линия)

площади, то есть равном профильном сопротивлении, и отсутствии влияния воздушного винта практически идентичны;

– при работающем воздушном винте арочно-кольцевое крыло имеет преимущество в несущих свойствах, обусловленное положительной интерференцией воздушного винта с верхней поверхностью арочной части арочно-кольцевого крыла. Так, при  $V=3,0$  прирост коэффициента подъемной силы  $\Delta C_{ya}=0,2893$  при угле атаки  $\alpha=0^\circ$ ;

– при збільшенні кута атаки досліджуваної комбінації залежності коефіцієнта підйомної сили ародно-кільцевого крила від коефіцієнта навантаження на ометаєму винтом площу смещуються вгору практично еквідистантно.

Слід відзначити, що наявність розвинутої нижньої ародної частини крила сприяє екрануванню стоек, мотогондолы двигачеля і лопастей воздушно-го винта від спостереження знизу, знизяючи помітність всієї компоновки при позитивному куті місця.

В далішній роботі передбачається модельний експеримент в ародинамічній трубі Т-1 Харківського університету Воздушних Сил імені Івана Кожедуба і в беззхової камері свержвысоких частот Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

### Список літератури

1. Сягаев В.Ф. Расчетные исследования ародинамических характеристик микроДПЛА, оснащенного двумя винтокольцевыми движителями. Проблемы создания перспективной авиационно-космической техники / В.Ф. Сягаев, А.П. Дьячевский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – С. 560-565.
2. Пэнкхерст Р. Техника эксперимента в ародинамических трубах / Р. Пэнкхерст, Д. Холдер. – М.: Издательство иностранной литературы, 1955. – 668 с.
3. Бреббия К. Применение метода граничных элементов в технике / К. Бреббия, С.Уокер. – М.: Мир, 1982. – 248 с.
4. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Метод граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
5. Гоцак В.В. Методика розрахунку ародинамічних характеристик складних компоновань / В.В. Гоцак, Є.О. Українець // Збірник наукових праць ХІВПС. – Х.: ХІВПС, 2003. – Вип. 1(9). – С. 11-16.
6. Гоцак В.В. Методика розрахунку нестационарних нелінійних ародинамічних характеристик несучих систем літаків, що мають кінцеву товщину / В.В. Гоцак, Є.О. Українець // Зб. мат-лів НТК "Модернізація авіаційної техніки і озброєння МО України в сучасних умовах". – Феодосія: ДАНДЦ, 2004. – С. 64-69.
7. Корниенко А.П. Экспериментальные исследования характера обтекания изолированных прямого и ародного крыльев / А.П. Корниенко // Вопросы проектирования и производства конструкций ЛА. – Х.: НАКУ им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2005. – № 42(3). – С. 118-123.
8. Корниенко А.П. Экспериментальные исследования картины распределения давления по поверхности ародного крыла в системе "арочное крыло – толкающий воздушный винт" / А.П. Корниенко // Збірник наукових праць ХУПС – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 5(5). – С. 10-13.
9. Корнієнко А.П. Методика визначення ародинамічних характеристик системи "арочне крило – штовхаючий гвинт" / А.П. Корнієнко, І.Б. Ковтонюк, Є.О. Українець // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2005. – № 2(2). – С. 29-33.
10. Українець Є.О. Методика розрахунку ародинамічних характеристик системи "арочне крило – штовхаючий гвинт" / Є.О. Українець, А.П. Корнієнко, Ю.В. Мокрий // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов. – Х.: НАКУ "ХАИ", 2004. – Вип. 39(4). – С. 71-79.
11. Корниенко А.П. Оценка влияния относительного положения воздушного винта на ародинамические характеристики комбинации "арочное крыло – воздушный винт" / А.П. Корниенко, А.Б. Леонтьев, Е.А. Українець // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2005. – № 4(53). – С. 87-94.
12. Гоцак В.В. Исследование несущих свойств системы „арочное крыло – воздушный винт” в численном эксперименте / В.В. Гоцак, Е.А. Українець // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов. – Х.: НАКУ „ХАИ”, 2002. – Вип. 28(1). – С. 85-88.
13. Гоцак В.В. Вплив роботи рушіїв на ародинамічні характеристики літаків транспортної авіації / В.В. Гоцак, Є.О. Українець // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. трудов. – Х.: НАКУ „ХАИ”, 2002. – Вип. 34(1). – С. 118-124.
14. Гоцак В.В. Наближене врахування впливу стискуємості повітря на ародинамічні характеристики літаків з гвинтовими рушіями / В.В. Гоцак, Є.О. Українець // Збірник наукових праць НАОУ. – К.: Нац. акад. оборони України, 2003. – № 41. – С. 279-285.
15. Логинов В.В. Расчетное исследование ародинамических характеристик воздушного винта АВ-140 / В.В. Логинов, Е.А. Українець // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 2(8). – С. 10-13.

Поступила в редколлегию 12.07.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Б. Анипко, Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АЕРОДИНАМІЧНА КОМПОНОВКА ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА З АРОЧНО-КІЛЬЦЕВИМ КРИЛОМ

Є.О. Українець

В статті представлена ародинамічна компоновка повітряного гвинта з ародно-кільцевим крилом, призначена для літаків, що тривало використовують малі швидкості польоту. Розроблений комплексний напівемпіричний метод визначення ародинамічних характеристик складних просторових компоновок, що обумовлено труднощами проведення вагового експерименту з повітряними гвинтами в ародинамічній трубі. Отримана залежність коефіцієнта підйомної сили ародно-кільцевого крила від коефіцієнта навантаження на поверхню повітряного гвинта.

**Ключові слова:** ародинамічна компоновка, ародно-кільцеве крило, повітряний гвинт, ародинамічні характеристики, комплексний метод.

### AERODYNAMIC CONFIGURATION OF THE AIR SCREW WITH THE ARCH-RING WING

E.A. Ukrainets

In the article aerodynamic configuration of the air screw with the arch-ring wing, intended for planes using small speeds of flight for a long time is presented. The complex semiempirical method of definition of aerodynamic characteristics of difficult spatial configurations that is caused by difficulties of carrying out of weight experiment with air screws in a wind tunnel is developed. Dependences of coefficient of aerodynamic elevating force of an arch-ring wing on loading factor on a swepted surface of the air screw are received.

**Keywords:** aerodynamic configuration, an arch-ring wing, the air screw, aerodynamic characteristics, a complex method.