

Анализ особенностей геометрических параметров крыльев по виду в плане современных самолетов транспортной категории

Проведен анализ особенностей геометрических параметров современных самолетов транспортной категории. Выявлено, что, несмотря на высокую степень развитости инженерно-аналитических методов формирования геометрических параметров системы несущих поверхностей, очень часто ведущие разработчики авиационной техники принимают неоптимальные решения в этой сфере. Показано, что анализ форм в плане крыльев современных самолетов транспортной категории может показать основные направления в формировании этих форм. Кроме того, данный анализ позволит выявить пути усовершенствования существующих аналитических методов в сфере определения геометрических параметров крыла при виде в плане.

Ключевые слова: несущие поверхности самолета, геометрические параметры, крыло, хорда, сужение, угол геометрической крутки.

Введение

Одним из образующих агрегатов системы несущих поверхностей самолета является крыло. Под системой несущих поверхностей подразумевается совокупность крыла и хвостового оперения, т.е. агрегатов, основным предназначением которых является создание подъемной силы и регулирование ее величиной на различных режимах полета самолета.

Величины площадей этих агрегатов, их формы по виду в плане, взаимная компоновка отличаются большим разнообразием и в основном определяют облик самолета (рис. 1).

Каждый из этих агрегатов в силу своего функционального предназначения отличается друг от друга и в способах оценки их несущих способностей требует индивидуальной идентификации, сложившейся в практике выбора его параметров.

Цель и задачи исследования

С учетом приведенных выше фактов задачей данной работы является анализ форм крыльев и их геометрических параметров (по виду в плане) у современных самолетов транспортной категории. Такой анализ позволит проследить тенденции, которые присутствуют в области формирования геометрических параметров крыла при виде в плане. На основе этого анализа можно усовершенствовать существующие аналитические методы определения оптимальных геометрических параметров крыла для самолетов транспортной категории в условиях существующих ограничений.

Решение поставленной задачи

Крыло – это основной агрегат самолета, предназначенный для создания подъемной силы, придания самолету устойчивости и управляемости, а также для размещения топлива и оборудования [1].

Подбор профилей, формы и параметров крыла в плане и составляет суть формирования геометрии крыла, которая обеспечивает необходимые самолету

летно-технические характеристики.

Многолетний опыт проектирования и эксплуатации самолетов различных классов и типов позволил выработать ряд аналитических и статистических методов [2], обеспечивающих приемлемые решения по формированию геометрии крыла.

В современных условиях разработки новых базовых самолетов и их модификаций используют глубокий и всесторонний анализ решений [3], принимаемых на всех этапах проектирования, поскольку только такой подход позволяет изначально заложить наиболее приемлемые параметры, существенно снизить сроки и затраты на проведение испытаний, доводку и внедрение самолета в серийное производство.

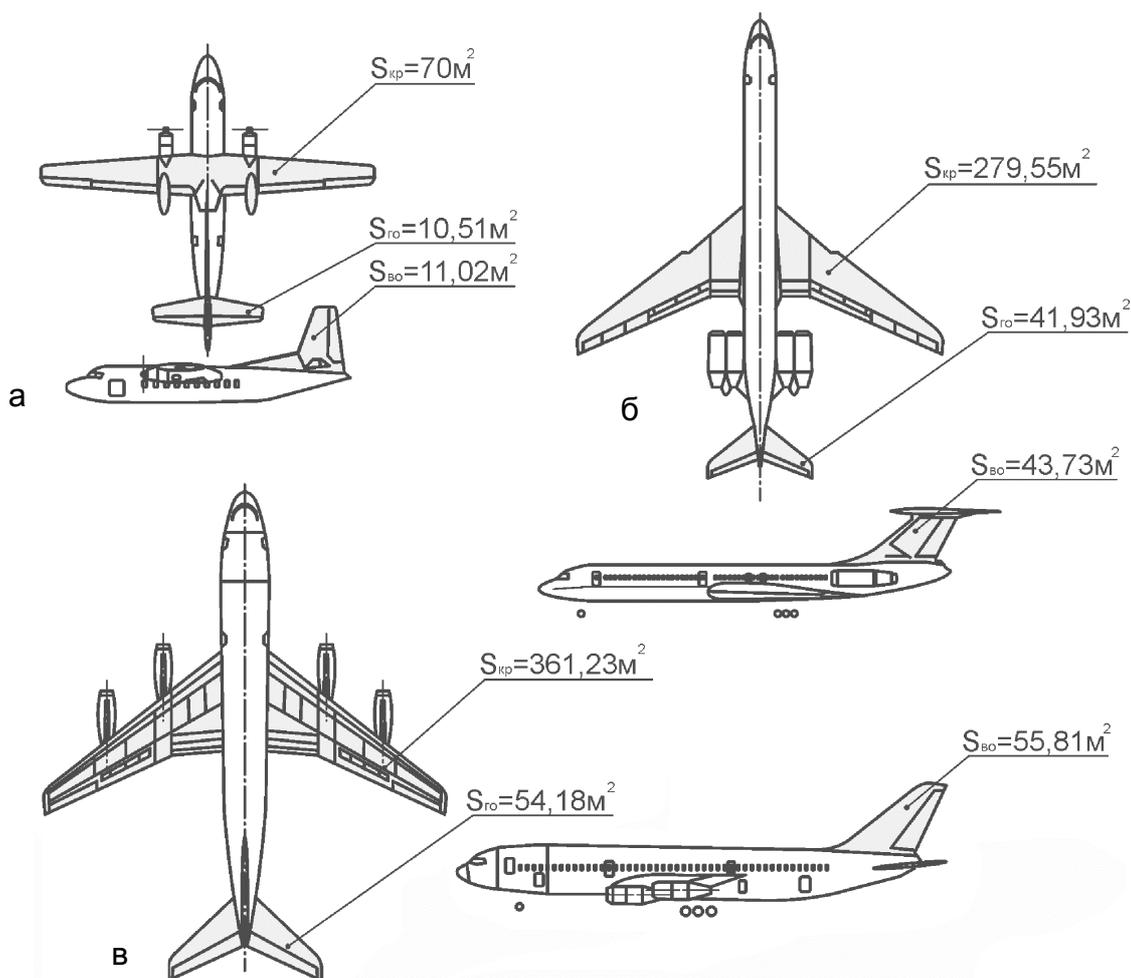


Рис. 1. Несущие поверхности самолетов транспортной категории:
а – самолета F-27; б – самолета Ил-62, в – самолета Ил-86

Начиная с этапа предварительного проектирования, проблема формирования геометрии крыла неразрывно связана с совершенствованием методов проектирования, переходом от статистических к аналитическим методам, обеспечивающим выполнение аэродинамических и других требований с помощью математических моделей с последующей корректировкой выбранных параметров по результатам компоновочной и конструкторской увязок.

Эти аналитические методы основаны на таких современных инженерно-

научных основах: обширные статистические данные о геометрии крыла уже созданных самолетов, использование мощных вычислительных средств, многовариантности испытаний в аэродинамических трубах.

Однако даже у хорошо известных фирм-разработчиков при создании проектов новых самолетов нередко случаи принятия недостаточно обоснованных решений по геометрии крыла, которые выявляются уже при летных испытаниях или в процессе эксплуатации самолета. Эти нерациональные решения базируются на следующих объективных факторах:

- большой объем информационного поля проектно-конструкторских решений для уже известных инженерных проблем в авиастроении;
- большая степень неопределенности в возникновении еще неисследованных инженерных проблем в авиастроении;
- ограниченность по времени и материально-финансовым ресурсам при принятии окончательных инженерно-конструкторских решений.

Исправление таких ошибок приводит к дополнительным затратам как времени и финансов, так и трудоемкости.

По форме в плане крылья современных самолетов отличаются большим разнообразием [4] (рис. 1, 2).

Основными агрегатами систем несущих поверхностей являются крылья дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов, формы которых по виду в плане образованы одной трапецией (простое трапециевидное крыло), (рис. 2, а, в), либо сочетанием нескольких трапеций (составное трапециевидное крыло), (рис. 2, б, г).

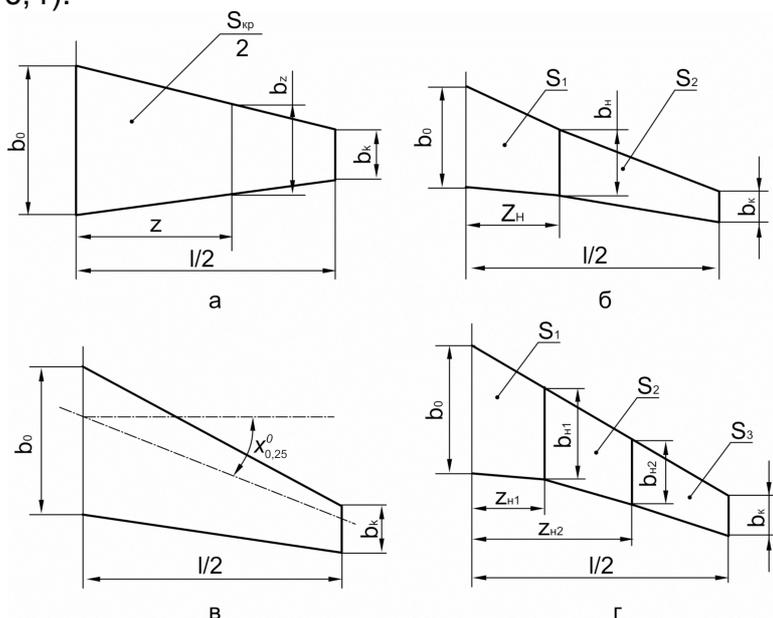


Рис. 2. Основные геометрические параметры (по виду в плане): а, в – простых; б, г – составных трапециевидных крыльев

Типичными представителями простых трапециевидных крыльев являются крылья таких самолетов, как Ан-12 и Ан-140. По виду в плане такой тип крыла характеризуется общей площадью S , корневой b_0 и концевой b_k хордами, размахом l и углом стреловидности χ .

Создатели современных пассажирских и транспортных самолетов широко используют и так называемые составные крылья. Такой тип крыла, состоящий из двух трапеций S_1 и S_2 (рис. 2, б), имеет по полуразмаху одну координату излома

z_n , которая обозначает положение хорды b_n , принадлежащей обеим трапециям.

Характерным признаком крупногабаритных пассажирских и транспортных самолетов, летающих с дозвуковыми скоростями, является применение составных крыльев (рис. 2, г), полуразмах которых по виду в плане образован тремя трапециями. А это значит, что такое крыло имеет две координаты излома по оси $z - z_{n1}$ и z_{n2} . Подобный тип крыла по виду в плане имеют такие тяжелые самолеты, как L-1011, Ан-124, Ан-225, В-747, А-380 (рис. 3), поскольку он дает существенное преимущество при полетах этих самолетов на линиях большой протяженности.

Особенности форм составных крыльев отображаются и в записи основных их геометрических размеров и параметров.

Так, например, сужение составного крыла может быть представлено в виде традиционного отношения хорд

$$\eta = \frac{b_0}{b_k} \tag{1}$$

и в виде произведения сужений составляющих его трапеций

$$\eta_c = \eta_1 \times \eta_2 \dots \eta_i. \tag{2}$$

Площадь составного крыла, естественно, определяется суммой площадей

образующих трапеций $S = \sum_{i=1}^n S_i$, при этом площадь i -й трапеции в интересах

использования в данной работе в безразмерной форме может быть представлена в виде выражения

$$\bar{S}_i = \frac{(\eta_i + 1)(\bar{z}_{n,i} - \bar{z}_{n,i-1})}{(\eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_i) \sum_{i=1}^n \frac{\eta_i + 1}{\eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_i} (\bar{z}_{n,i} - \bar{z}_{n,i-1})}. \tag{3}$$

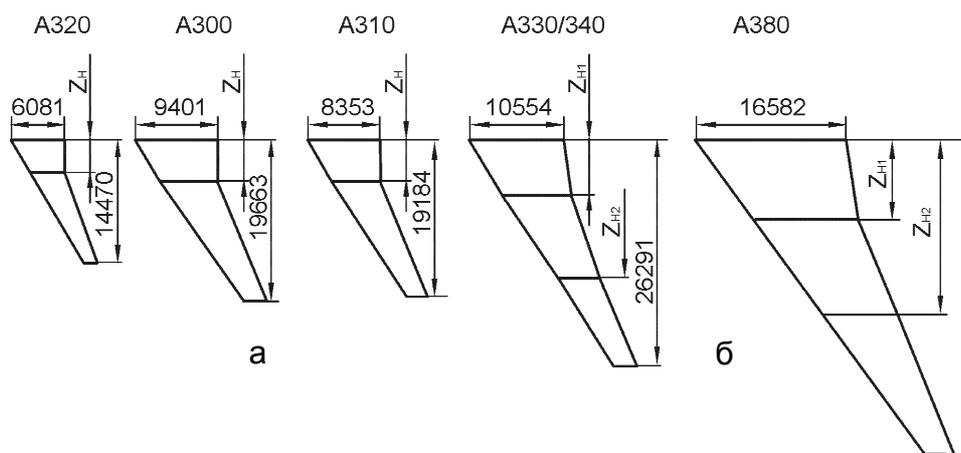


Рис. 3. Геометрия крыльев самолетов Airbus по их виду в плане:

- а – с одной координатой излома z_n ;
- б – с двумя координатами излома z_{n1}, z_{n2}

Важной геометрической (и не только) характеристикой является средняя

аэродинамическая хорда крыла ($b_{\text{caх}}$), под которой понимается хорда равновеликого по площади прямоугольного крыла, имеющего равную подъемную силу и равный момент продольной статистической устойчивости.

Строго теоретически $b_{\text{caх}}$ определяют из условия совпадения фокусов трапециевидного и эквивалентного прямоугольного крыльев.

Наиболее простым и достаточно точным способом определения величины $b_{\text{caх}}$ и ее координат является способ графического интегрирования по геометрическим параметрам крыла [5]:

$$b_{\text{caх}} = \frac{2}{S} \int_0^{0,5l} b_z^2 \cdot dz, \quad (4)$$

$$x_{b_{\text{caх}}} = \frac{2}{S} \int_0^{0,5l} x \cdot b_z \cdot dz. \quad (5)$$

У составного крыла вначале находят свои значения $b_{i \text{ caх}}$, $x_{i \text{ bcaх}}$ для каждой трапеции, а для крыла в целом – величину $b_{\text{caх}}$, и ее координату определяют суммой интегралов по всем трапециям:

$$b_{\text{caх}} = \frac{2}{S} \sum_1^n \int_{z_{(n-1)}}^{z_n} b_z^2 \cdot dz, \quad (6)$$

$$x_{b_{\text{caх}}} = \frac{2}{S} \sum_1^n \int_{z_{(n-1)}}^{z_n} x \cdot b_z \cdot dz \quad (7)$$

или

$$b_{\text{caх}} = \sum_{i=1}^n b_{\text{caх},i} \cdot \bar{S}_i, \quad (8)$$

где
$$b_{\text{caх},i} = \frac{2}{3} b_0 \frac{(\eta_i^2 + \eta_i + 1)}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_{(i-1)} \eta_i \cdot (\eta_i + 1)}. \quad (9)$$

При этом величина текущей хорды составного крыла оценивается выражением

$$b_{z,i} = \frac{b_0}{\eta_1 \eta_2 \dots \eta_{i-1}} \left[1 - \frac{\eta_i - 1}{\eta_i} \cdot \left(\frac{\bar{z}_i - \bar{z}_{\text{H},i-1}}{\bar{z}_{\text{H},i} - \bar{z}_{\text{H},i-1}} \right) \right]. \quad (10)$$

Геометрической характеристикой крыла является также форма срединной поверхности его профиля. Её определяют как полусумму ординат, образующих верхний и нижний обводы профилей

$$y_{\text{cp}}(x, z) = \frac{1}{2} [y_{\text{В}}(x, z) + y_{\text{Н}}(x, z)]. \quad (11)$$

У некоторых крыльев срединная поверхность характеризуется набором вогнутых профилей, повернутых на угол $\varepsilon(z)$ относительно корневого сечения ($z=0$). В соответствии с этим различают аэродинамическую крутку,

характеризуемую распределением вогнутостей профилей по размаху $f(z)$, и геометрическую крутку, определяемую законом углов поворота сечений (хорд) по размаху крыла $\varepsilon(z)$.

Величину относительных углов геометрической крутки местных хорд оценивают выражением [6]

$$\bar{\varepsilon}(z) = K_{\varepsilon} \frac{b_0}{\eta b_z} (1 - \bar{z}^2)^{0,5}.$$

Выводы

Проведен анализ особенностей геометрических параметров современных самолетов транспортной категории.

Выявлено, что, несмотря на высокую степень развитости инженерно-аналитических методов формирования геометрических параметров системы несущих поверхностей, очень часто ведущие разработчики авиационной техники принимают неоптимальные решения в этой сфере.

Показано, что анализ форм в плане крыльев (как основного агрегата системы несущих поверхностей) современных самолетов транспортной категории может показать основные направления в формировании этих форм. Кроме того, данный анализ позволит выявить пути усовершенствования существующих аналитических методов в сфере определения геометрических параметров крыла при виде в плане.

В работе показано, что крылья самолетов транспортной категории можно разделить на две группы:

- простые трапециевидные – образованные одной простой трапецией;
- составные трапециевидные – образованные по полуразмаху двумя или более простыми трапециями.

Для составного крыла получена зависимость для расчета площади составного крыла

$$\bar{S}_i = \frac{(\eta_i + 1)(\bar{z}_{h,i} - \bar{z}_{h,i-1})}{(\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_i) \sum_{i=1}^n \frac{\eta_i + 1}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_i} (\bar{z}_{h,i} - \bar{z}_{h,i-1})}.$$

Для важной характеристики крыла – средней аэродинамической хорды также выведена аналитическая зависимость

$$b_{\text{сак}, i} = \frac{2}{3} b_0 \frac{(\eta_i^2 + \eta_i + 1)}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_{(i-1)} \eta_i \cdot (\eta_i + 1)}.$$

С учетом того, что по полуразмаху у современных самолетов применяют геометрическую крутку, для оценивания величины относительных углов геометрической крутки местных хорд использовано выражение

$$\bar{\varepsilon}(z) = K_{\varepsilon} \frac{b_0}{\eta b_z} (1 - \bar{z}^2)^{0,5}.$$

В целом на основе выполненного анализа можно проводить дальнейшие исследования в области усовершенствования существующих аналитических методов формирования формы крыла при виде в плане.

Список литературы

1. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов [Текст] / под ред. Г.С. Бюшгенса. – Москва – Пекин. ЦАГИ, АВИА – издательство КНР, – 1995. – 443 с.
2. Балабуев, П.В. Основы общего проектирования самолетов с газотурбинными двигателями [Текст] : учеб. пособие / П.В. Балабуев, С.А. Бычков, А.Г. Гребеников. – Х.: ХАИ, 2003. – Ч.2. – 389 с.
3. Холявко, В.И. Исследование влияния формы в плане и удлинения на аэродинамические характеристики крыльев при малых скоростях обтекания [Текст] / В.И. Холявко, И.А. Еремеев, Ю.Д. Усик // Отчет по НИР №241. – Х.: ХАИ., 1990. – 212 с.
4. AVIC 1 seeks western certification for all future aircraft [Электронный ресурс] / Flight Daily News, – 5.09.2007. – Режим доступа к журн. : <http://www.flightglobal.com/news/articles/avic-1-seeks-western-certification-for-all-future-aircraft-216542/>
5. Проблемы создания и применения математических моделей в авиации [Текст] / под ред. С.М. Белоцерковского. – М.: Наука, 1983. – 167 с.
6. Тюрев, В.В. Методы оценки оптимизирующей крутки крыла в моделях выбора его геометрических параметров [Текст] / В.В. Тюрев, В.В. Утенкова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – Вып.26. – Х., 2005. – С.169-175.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Рябков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Поступила в редакцию 04.12.13

Аналіз особливостей геометричних параметрів крил за виглядом у плані сучасних літаків транспортної категорії

Проведено аналіз особливостей геометричних параметрів сучасних літаків транспортної категорії. Виявлено, що, незважаючи на високий ступінь розвиненості інженерно-аналітичних методів формування геометричних параметрів системи несучих поверхонь, дуже часто провідні розробники авіаційної техніки обирають неоптимальні рішення в цій сфері. Показано, що аналіз форм у плані крил сучасних літаків транспортної категорії може показати основні напрямки у формуванні цих форм. Крім того, даний аналіз дозволить виявити шляхи удосконалення існуючих аналітичних методів в сфері визначення геометричних параметрів крила при вигляді в плані.

Ключові слова: несучі поверхні літака, геометричні параметри, крило, хорда, звуження, кут геометричного скручування.

Analysis of Geometric Parameters Features of the Wings of Modern Transport Category Airplanes from the Top-view

The analysis of geometrical parameters features of modern transport category airplanes is performed. It is revealed that, despite the high degree of development of engineering and analytical methods for determination of the geometrical parameters of the lifting surfaces, often leading aviation companies take suboptimal solutions in this area. It is shown that the analysis of shapes of the wings of modern transport category airplanes from the top-view can give the main directions in the determinations of these forms. Also, this analysis will identify ways to improve existing analytical methods in determining the geometrical parameters of the wing from top-view.

Keywords: lifting surfaces of the airplane, geometric parameters, wing, chord, taper ratio, angle of geometrical wing twist.