



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.942

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОДИНАМИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Кириллов Д.О.**

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА",  
Санкт-Петербург, Россия (196210, город Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38), e-mail:  
[dimanchik20130@gmail.com](mailto:dimanchik20130@gmail.com)

В статье рассматриваются современные проблемы аэродинамики воздушных судов, связанные с повышением их экономичности, безопасности и снижением экологического воздействия. Обсуждаются некоторые основные тенденции классической компоновки маршрутных самолетов, а также особенности некоторых перспективных летательных аппаратов. Особое внимание уделяется снижению лобового сопротивления и повышению аэродинамического качества воздушного судна за счет использования передовых разработок.

Ключевые слова: Аэродинамика самолета, гражданская авиация, воздушное судно.

## MODERN PROBLEMS OF AIRCRAFT AERODYNAMICS.

**Kirillov D.O.**

"ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF CIVIL AVIATION NAMED AFTER AIR CHIEF  
MARSHAL A.A. NOVIKOV", St. Petersburg, Russia (196210, St. Petersburg, ул. Pilotov, д.38), e-  
mail: <sup>1</sup>[Kvakolka885@gmail.com](mailto:Kvakolka885@gmail.com), <sup>2</sup>[drots2005@mail.ru](mailto:drots2005@mail.ru), <sup>3</sup>[borovikovadasha05@mail.ru](mailto:borovikovadasha05@mail.ru)

The article deals with modern problems of aircraft aerodynamics related to increasing their efficiency, safety and reducing environmental impact. Some of the main trends in the classical layout of route aircraft are discussed, as well as the features of some promising aircraft. Special attention is paid to reducing drag and improving the aerodynamic quality of the aircraft through the use of advanced developments.

Keywords: Aircraft aerodynamics, civil aviation, aircraft.

### Введение

В ходе развития авиационной науки и технического прогресса воздушные суда улучшались по нескольким параметрам, таким как экономичность, безопасность полетов и экологическое воздействие на окружающую среду (снижение уровня шума и загрязнения). Например, на Рисунке 1 наглядно представлено развитие воздушных судов с точки зрения экономичности.

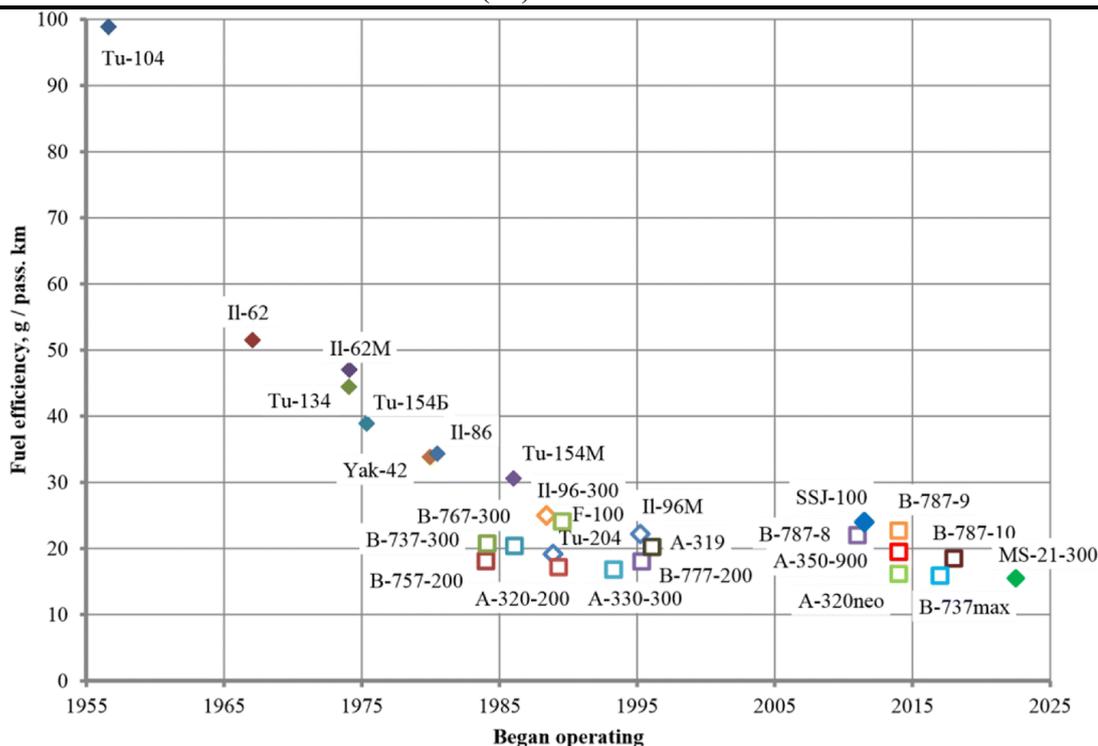


Рисунок 1. - Изменение топливной эффективности воздушных судов на маршруте с течением времени

Исследователи из различных российских организаций прогнозируют развитие науки и технологий в авиации в будущем в различных областях. Так количество авиационных инцидентов должно сократиться в 8,5 раз к 2030 году, а также ожидается снижение уровня шума и выбросов в атмосферу. В свою очередь, задачи аэродинамической науки определяются необходимостью улучшения этих показателей.

Формула дальности полета Бреге

$$L \sim \frac{K \cdot M}{C_E} \ln \frac{G_1}{G_0} \quad (1)$$

позволяет определить ключевые аэродинамические параметры, которые необходимо улучшить. Прежде всего, это увеличение крейсерского аэродинамического качества ( $K$ ), крейсерского числа Маха ( $M$ ), а также снижение удельного расхода топлива и минимизация веса конструкции ( $G_1$ ,  $G_0$  - вес самолета в начале и в конце полета).

В свою очередь, максимальное отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению может быть достигнуто следующим образом:

$$K_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi \lambda}{C_f \bar{S}_{вл}}} \quad (2)$$

где  $\lambda$  – эффективный коэффициент удлинения крыла,  $C_f$  – коэффициент трения обшивки,  $\bar{S}_{вл}$  – площадь увлажненной поверхности самолета, деленная на площадь крыла.

Таким образом, существуют еще три направления улучшения экономических характеристик летательного аппарата, связанные с аэродинамикой: увеличение удлинения, уменьшение сопротивления трения и уменьшение относительной площади смачивания летательного аппарата.

Основными составляющими полного крейсерского сопротивления современных самолетов являются сопротивление трения, сопротивление, обусловленное подъемной силой, и волновое сопротивление. Влияние первых двух в области околозвуковых скоростей достигает 50 и 40% от полного сопротивления соответственно. Это показывает, что снижение сопротивления трения является основным источником увеличения аэродинамического качества самолета. Следует отметить, что увеличение аэродинамического качества связано не только со снижением лобового сопротивления, но и с увеличением грузоподъемности за счет улучшения формы и поиска новых компоновочных решений. Для успешного решения поставленных задач и обеспечения перспективного технического задела необходимы своевременные моно и мультидисциплинарные научные исследования.

### **Основные направления развития классической компоновки самолета**

Следует признать, что аэродинамический потенциал современных сверхкритических крыльев находится на пределе, поэтому для продвижения вперед необходимо исследовать и внедрять некоторые новые перспективные технологии. Среди них следует выделить следующие:

- Адаптивные крылья для околозвуковых скоростей;
- Новые типы законцовок крыла;
- Организация ламинарного обтекания хвостового оперения, гондол двигателей, а затем и крыльев;
- Снижение сопротивления турбулентному трению;
- Усовершенствованные типы механизации;
- Активные и пассивные системы управления потоком (мини и макроустройства, синтетические форсунки, приводы и т.д.);
- Активное управление вектором тяги;
- Переход к компоновкам с умеренным запасом устойчивости и слегка неустойчивой компоновкой.

Проблема увеличения крейсерской скорости (числа Маха) связана с преодолением интенсивного нарастания лобового сопротивления, возникающего из-за наличия интенсивной ударной волны, замыкающей локальную область сверхзвукового потока. Использование сверхкритических профилей и крыльев позволило перейти к более высокому числу Маха при заданном угле стреловидности и относительной толщине крыла. В настоящее время современные методы аэродинамического проектирования позволяют оттянуть упомянутое увеличение лобового сопротивления до более высоких скоростей, используя глобальную численную оптимизацию аэродинамической формы крыла для заданной относительной толщины и формы в плане. Дальнейшее увеличение скорости полета, скорее всего, возможно только с помощью методов управления потоком и воздействия на ударную волну. Это могут быть, например, какие-то специальные приводы или вихревые генераторы [1], которые создают дополнительный вихрь или тангенциальную струю, обдувающую поверхность крыла [2, 3].

Чаще всего за более высокие скоростные возможности сверхкритических крыльев необходимо платить увеличением относительной толщины крыла с целью снижения веса конструкции или увеличения удлинения, что, как известно, и приводит к уменьшению лобового сопротивления. Ту-204 и Самолеты Ил-96 с удлинением крыла  $\lambda = 9,2 \div 10$

демонстрируют такой подход к аэродинамическому проектированию, превосходя своих предшественников Ту-154 и Ил-86 по максимальному значению аэродинамического качества более чем 2 единицы. Следует отметить, что использование сверхкритических крыльев является причиной увеличения момента тангажа при движении носом вниз, что приводит к увеличению аэродинамического сопротивления. Однако эти потери могут быть снижены за счет некоторого снижения продольной устойчивости самолета и использования современных систем управления полетом, обеспечивающих безопасность.

Использование композитов в конструкции крыла открывает новые возможности для аэродинамического проектирования. С одной стороны, вес планера может быть уменьшен, с другой стороны, удлинение крыла может быть увеличено при том же весе конструкции. Прогнозирование летно-технических характеристик самолета показывает, что удлинение увеличивается. Именно поэтому для российского пассажирского самолета нового поколения МС-21 было реализовано рекордное удлинение крыла с  $\lambda = 11,45$ . Увеличение удлинения приводит к увеличению коэффициента подъемной силы, соответствующего максимальному аэродинамическому качеству.

Увеличение удлинения крыла приводит к увеличению веса крыла за счет уменьшения хорд и толщины. Одним из возможных способов снижения веса может быть использование дополнительных опорных элементов - подкосов крыла (Рисунок 2). В последнее время эта конфигурация интенсивно исследуется [4-7]. Предварительные расчеты показали, что при использовании таких элементов в конструкции самолета можно было бы достичь оптимального удлинения крыла до 14-15, однако для подтверждения таких оценок требуются более глубокие исследования.



Рисунок 2. - Компоновка самолета с подкосами крыла

Следует отметить, что дальнейшее увеличение удлинения, а, следовательно, и размаха крыльев ограничено размерами существующих рулежных дорожек и ангаров. Одним из возможных решений этой проблемы является использование вертикальных или

складывающихся законцовок крыла, что позволяет увеличить эффективное удлинение крыла при ограниченном размахе.

Важным элементом для повышения уровня аэродинамического сопротивления компоновки является оптимальное расположение мотогондол, что весьма актуально в связи с тенденцией увеличения передаточного числа и размеров двигателей в перспективе. Следует отметить, что двигатели с высокой степенью двухконтурности имеют меньший расход топлива и более низкий уровень шума, но оказывают негативное влияние на обтекание корпуса самолета, включая фазы взлета и посадки, из-за ограничений по размаху и дальности выдвижения корневой части предкрылка. Кроме того, крупногабаритные двигатели мотогондолы, расположенные под крылом, требуют более длинных стоек шасси, что приводит к увеличению веса конструкции. Применение процедур оптимизации позволяет значительно снизить негативное взаимодействие мотогондол. Потеря максимальной подъемной силы при использовании недостаточно эффективных подъемно-транспортных устройств может быть компенсирована, например, применением струйного обдува в зоне соединения крыла с пилоном.

Разработана техническая концепция самолета интегральной компоновки с силовой установкой, распределенной по конструкции крыла (Рисунок 3). Идея распределенной силовой установки полностью рассмотрена в диссертационном отчете [8]. Экспериментальные исследования разработанной модели показали, что такой способ интеграции силовой установки в конструкцию планера обеспечивает увеличение отношения подъемной силы к лобовому сопротивлению примерно на 15% по сравнению с классической компоновкой.



Рисунок 3. - Самолет с силовой установкой, встроенной в конструкцию крыла

### **Заключение**

Современные проблемы аэродинамики воздушных судов остаются ключевым фактором для дальнейшего развития авиационной техники. Выделены перспективные технологии, которые должны быть внедрены для совершенствования аэродинамической компоновки пассажирских самолетов. Основные направления исследований и разработок, такие как улучшение аэродинамического качества, снижение сопротивления трению и внедрение новых конструктивных решений, направлены на повышение экономичности и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В будущем, с внедрением адаптивных технологий и интеграцией новых материалов, ожидается существенное улучшение летно-технических характеристик воздушных судов.

Перспективы развития аэродинамики включают в себя как классические методы оптимизации, так и инновационные подходы, такие как активное управление потоком и использование встроенной силовой установки. Все это способствует более эффективной и безопасной эксплуатации воздушных судов, одновременно снижая экологическое влияние и улучшая эксплуатационные параметры.

### Список литературы

1. Брутян, Мурад Абрамович. Задачи управления течением жидкости и газа : монография / М. А. Брутян ; ЦАГИ, Центральный аэрогидродинамический ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского. - Москва : Наука, 2015.
2. Investigation of the flow control of the transonic profile using tangential jet blowing / К. А. Abramova, М. А. Brutyan, S. V. Lyapunov [et al.] // 6th European Conference on Aeronautics and Space Sciences (EUCASS), Poland, Krakow, June 29 – December 03 in 2015. – Poland, Krakow: Airbus Group, 2015. – pp. 25-26. – PUBLISHING HOUSE XGOHPT.
3. Петров А. В. Энергетические методы увеличения подъемной силы крыла / А.В. Петров. — Москва : Физматлит, 2011. — 402 с.
4. Carrier G., Atino O., Decouan S., Chantre-Jervois J.-L., Liozun S., Paluch V., Rodde A.-M. and Toussaint S. A study of the configuration of a wing with struts for future commercial vehicles. // In ICAS 2012-597
5. Ko A, Mason W.H. and Grossman B. Transonic aerodynamics of the joint of wing supports. // In AIAA-2003-4062
6. Gern F., KO A., Grossman B., Haftka R., Kapania R.K. and Mason V. Weight reduction during transportation due to MDO: Transonic wing transport with struts. // In AIAA-2005-4667
7. Seber G., Ran H., Shets Ya.A. and Mavris D.N. Multidisciplinary optimization of aircraft design with a truss wing with improved aerodynamic analysis. // In AIAA-2011-3179.
8. Hajehzade, A. Analysis of a distributed propulsion system located above the wing. // Diploma report. Published by: Delft University of Technology, 2018.

### References

1. Brutyan, Murad Abramovich. Tasks of controlling the flow of liquid and gas : monograph / М. А. Brutyan ; TsAGI, Central Aerohydrodynamic Institute named after Prof. N. E. Zhukovsky. - Moscow : Nauka, 2015.
2. Investigation of the flow control of the transonic profile using tangential jet blowing / К. А. Abramova, М. А. Brutyan, S. V. Lyapunov [et al.] // 6th European Conference on Aeronautics and Space Sciences (EUCASS), Poland, Krakow, June 29 – December 03 in 2015. – Poland, Krakow: Airbus Group, 2015. – pp. 25-26. – PUBLISHING HOUSE XGOHPT.
3. Petrov A.V. Energy methods of increasing wing lift / A.V. Petrov. — Moscow : Fizmatlit, 2011. — p.402
4. Carrier G., Atino O., Decouan S., Chantre-Jervois J.-L., Liozun S., Paluch V., Rodde A.-M. and Toussaint S. A study of the configuration of a wing with struts for future commercial vehicles. // In ICAS 2012-597
5. Ko A, Mason W.H. and Grossman B. Transonic aerodynamics of the joint of wing supports. // In AIAA-2003-4062

6. Gern F., KO A., Grossman B., Haftka R., Kapania R.K. and Mason V. Weight reduction during transportation due to MDO: Transonic wing transport with struts. // In AIAA-2005–4667
  7. Seber G., Ran H., Shets Ya.A. and Mavris D.N. Multidisciplinary optimization of aircraft design with a truss wing with improved aerodynamic analysis. // In AIAA-2011–3179.
  8. Hajehzade, A. Analysis of a distributed propulsion system located above the wing. // Diploma report. Published by: Delft University of Technology, 2018.
-