

УДК 629.735.33

М.В. АМБРОЖЕВИЧ, А.С. КАРТАШЕВ, С.А. ЯШИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОГО И СКОРОСТНОГО
СОВЕРШЕНСТВА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Представлен метод получения оценок транспортного и скоростного совершенства аэродинамических летательных аппаратов на основании общих подходов теории размерности и подобия. Приведены примеры анализа тенденций развития основных подклассов аэродинамических транспортных систем и алгоритм формирования облика летательного аппарата на основе предложенных критериальных оценок.

аэродинамические летательные аппараты, метод подобия и размерности, критерии подобия, транспортное и скоростное совершенство, методы проектирования летательных аппаратов

Введение

Самолеты в настоящее время являются наиболее многочисленным и многообразным классом летательных аппаратов (ЛА), предназначенным для решения широкого спектра функциональных задач. В данном классе сложилась структура подклассов, объединяющих ЛА по функциональному назначению: истребители, бомбардировщики, пассажирские, транспортные самолеты и т.п. Однако общепринятая классификация весьма приблизительно отражает функциональный облик ЛА. В особенности это относится к многочисленным примерам унифицированных и многофункциональных конструкций компромиссного облика. В связи с этим с целью использования обширного опыта, овеществленного в наиболее совершенных конструкциях самолетов, для решения новых задач проектирования необходимы аналитические методы, устанавливающие связь между заданными функциональными требованиями к ЛА и множеством известных технических решений.

Как было показано ранее на примерах баллистических, орбитальных и аэробаллистических транспортных систем [1, 2], для оценки энергетического совершенства, а также определения признаков

функционального подкласса могут быть применены критериальные комплексы, полученные на основе общих подходов теории размерности и подобия. В настоящей статье, завершающей указанный тематический цикл, представлен комплекс критериальных показателей, определяющих облик аэродинамических транспортных систем (АТС).

1. Критерии транспортного и скоростного совершенства авиационных транспортных систем

Укрупнено функциональный облик ЛА в классе АТС может быть определен двумя критериями энергетического совершенства, исходя также из двух целевых категорий: обеспечения высокой энергетической эффективности процесса транспортировки полезной нагрузки (ПН) и минимизации времени ее доставки или подлета к цели.

Критерий транспортного совершенства [1, 2] применительно к ЛА аэродинамического класса, исходя из общепринятого формата данных, доступных для анализа, целесообразно представить в следующем виде:

$$K_m = \frac{D M_{ПН} P}{M_{ЛА} M_T H u}, \quad (1)$$

где $M_{ПН}$, $M_{ЛА}$, M_m – массы: полезной нагрузки,

стартовая и топлива; D – дальность; $H_{и}$ – низшая теплотворная способность топлива, P – тяга двигателя.

Критерий скоростного совершенства [2] превалирует, когда достижение высоких скоростей является основной задачей проектирования:

$$K_V = \frac{M_{ПН} v^2}{M_{ЛА} 2 H_{и}}, \quad (2)$$

где v – скорость полета. В случаях транспортных ЛА критерий (2) не является первостепенным, но всегда остается обязательным, так как время доставки ПН подлежит проектным ограничениям.

2. Масштабное число Рейнольдса и его модификация

Скоростной режим обтекания вязким потоком характеризуется масштабным числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v L_{ЛА}}{\nu}, \quad (3)$$

где v – скорость полета на заданном режиме; $L_{ЛА}$ – характерный линейный размер ЛА; ν – коэффициент кинематической вязкости для соответствующей высоты полета. Для получения энергетических оценок АТС полезно использовать приведенное число Рейнольдса:

$$Re_{np} = Re \frac{M_{ЛА} g}{P} = \frac{v L_{ЛА} M_{ЛА} g}{\nu P}, \quad (4)$$

характеризующее соотношение между потоком кинетической энергии, расходуемой на поддержание ЛА в поле гравитационных сил (в числителе) и потоком энергии, расходуемой на преодоление сопротивления горизонтальному полету (в знаменателе).

Критерий (4) позволяет проследить (рис. 3) изменение потребной тяги в зависимости от размера и массы ЛА. Возможны и иные модификации известных критериев подобия, адаптированные к практическим задачам анализа и формирования энергетического облика АТС.

3. Анализ развития аэродинамических летательных аппаратов методом критериальных оценок

Возможности метода критериальных оценок (1 – 4) применительно к задаче анализа развития АТС продемонстрированы на основе трех подклассов ЛА различного функционального назначения: истребителей, бомбардировщиков и транспортных самолетов (рис. 1 – 3). Для анализа выбирались ряды тактико-технических характеристик крейсерских режимов полета, кроме подкласса истребителей [3 – 6], функционально предназначенного для достижения скоростного превосходства.

Критерий транспортного совершенства принимает значения в диапазоне 1..3 для всех подклассов ЛА. Наиболее слабый рост транспортного совершенства наблюдается в подклассе транспортных самолетов в связи с исчерпанием возможностей развития в рамках классического облика. Критерий скоростного совершенства имеет большую динамику роста, в особенности – для подкласса истребителей, и диапазон значений: 0,7..10.

Зависимость по Re (рис. 2) отражает основное в подклассе истребителей условие функционального проектирования, сводящееся к минимизации относительного сопротивления с целью улучшения скоростных характеристик. Использование Re_{np} (4) (рис. 3) позволяет получить представление об условиях функционального проектирования новых образцов малоразмерных беспилотных ЛА.

4. Формирование облика новых объектов проектирования

Предположим, исходными данными для проектирования новой АТС являются: масса ПН ($M_{ПН}$) крейсерские скорость (v) и высота полета (H), откуда $M = \frac{v}{a(H)}$. Алгоритм формирования облика в таком случае выглядит следующим образом.

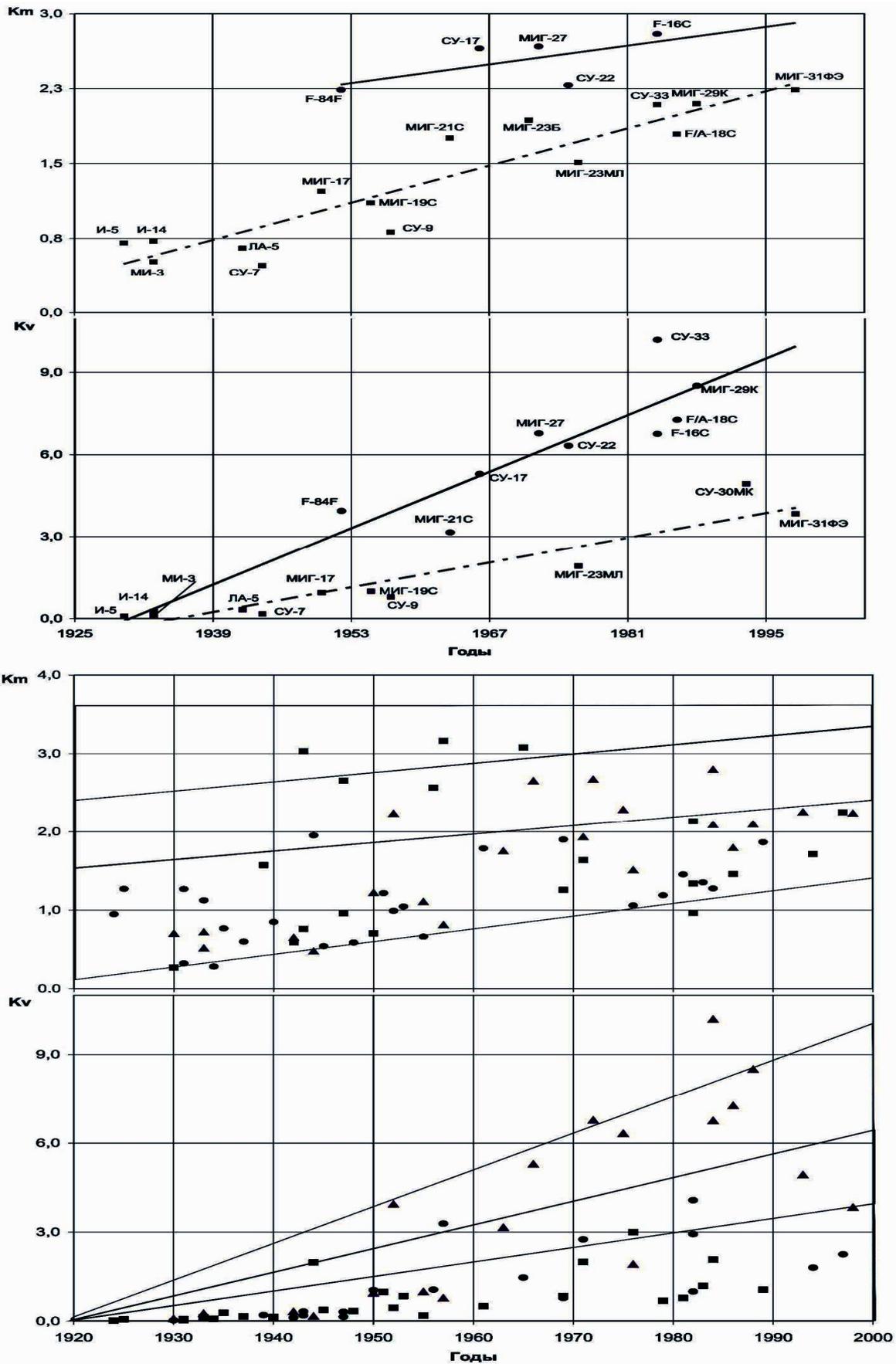


Рис. 1. Развитие массового и скоростного совершенства аэродинамических транспортных систем:
 Б (■) – бомбардировщики, И (▲) – истребители, Т (●) – транспортные самолеты

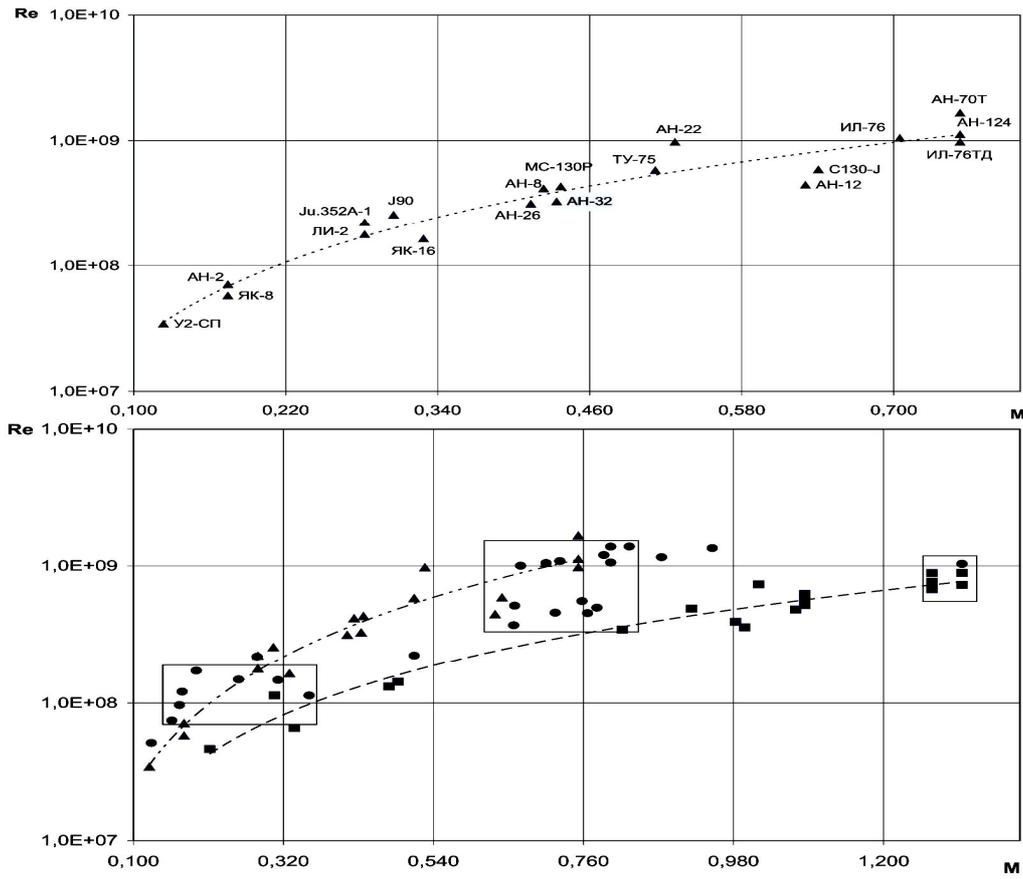


Рис. 2. Изменение числа Re в зависимости от M полета (---- – max; - - - - – min)

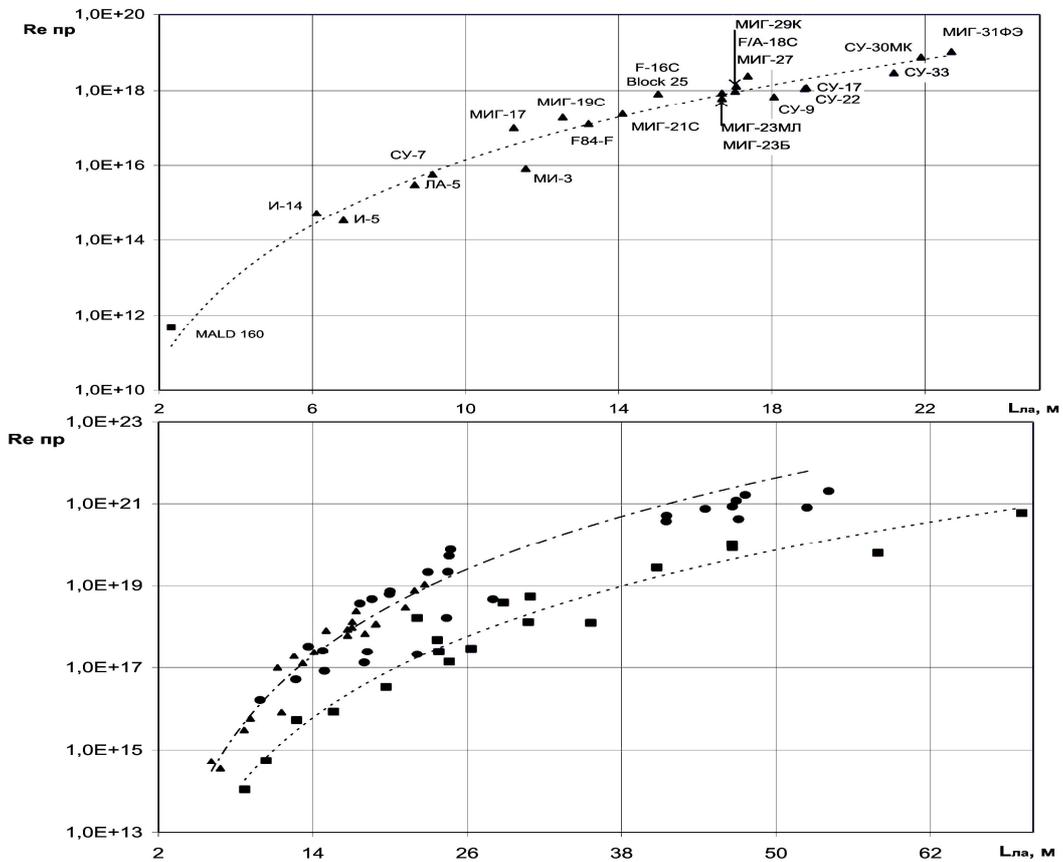


Рис. 3. Изменение приведенного числа Рейнольдса в зависимости от размера летательного аппарата

Выбирается подкласс ЛА и из условия аэродинамического подобия находятся $Re = Re(M)$, $Re_{np} = Re_{np}(M)$. Определяется характерный размер ЛА: $L_{ЛА} = \frac{Re \nu}{v}$, масса топлива (горючего – для атмосферных двигателей):

$$M_m = \frac{M_{ПН} D}{Hu K_T (Re)} \frac{Re}{Re_{np}}.$$

Из условия геометрического подобия рассчитывается объем ЛА: $V_{ЛА} = V(L_{ЛА})$. Исходя из типовых зависимостей плотности компоновки от масштабного фактора [7, 8] в заданном подклассе ЛА вычисляется стартовая масса: $M_{ЛА} = \rho_{ЛА}(L_{ЛА}) V_{ЛА}$ и потребная тяга двигателя: $P = \frac{Re}{Re_{np}} M_{ЛА} g$.

С целью установления факта реализуемости двигателя необходимого уровня совершенства в соответствующем классе тяг находится значение удельной экономичности:

$$C_e = \frac{M_m \nu}{P D} 3600, \text{ кг / (Н·час)}.$$

В случае если доминирующей функций АТС является достижение высоких скоростей, вместо (1) для определения массы топлива следует использовать критерий (2).

Заключение

Предложенный метод критериальных оценок транспортного и энергетического совершенства, основывающийся на общих подходах теории подобия и размерности, универсален для решения задач факторного анализа и начальных этапов проектирования транспортных систем с динамическими принципами поддержания на траектории: баллистическим, орбитальным, аэробаллистическим и аэродинамическим.

Литература

1. Амброжевич М.В., Карташев А.С., Яшин С.А. Критериальные оценки транспортного совершенства летательных аппаратов с баллистическими и орбитальными траекториями полета // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 4 (30). – С. 25-30.
2. Амброжевич М.В., Карташев А.С., Яшин С.А. Критериальные оценки энергетического совершенства атмосферных ракетных летательных аппаратов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 5 (31). – С. 21-29.
3. Данные по БЛА: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru>.
4. Данные по ЛА: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sergib.agava.ru/usa>.
5. Шелехов М.В., Гурьев М.Ф., Николаев В.Н., Талызин А.А. *Авиация капиталистических государств*. – М.: Воениздат, 1975. – 334 с.
6. Энциклопедия вооружений: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dir.avia.ru/aircrafts>.
7. Амброжевич А.В., Яшин С.А., Карташев А.С. Формирование облика легких беспилотных летательных аппаратов методом подобия // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 3. – С. 25-29.
8. Амброжевич А.В., Яшин С.А., Карташев А.С. Статистическая закономерность изменения плотности компоновки в зависимости от скорости полета и массы летательного аппарата // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 6. – С. 36-38.

Поступила в редакцию 5.07.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.