

УДК 629.7.017.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В.В. ЕФИМОВ¹, К.О. ЧЕРНИГИН¹

*¹Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Летательные аппараты являются высокотехнологичной продукцией машиностроения, которая характеризуется широким набором свойств, среди которых можно выделить две наиболее важные группы, характеризующие, соответственно, эффективность летательного аппарата и его технический уровень.

Повышение эффективности авиационной техники является важнейшим условием развития воздушного транспорта, но эффективность не может служить исчерпывающей характеристикой технической системы, особенно при прогнозировании и разработке требований к новой технике. Разработчик авиационной техники должен оценивать перспективность того или иного технического решения, но на стадии проектирования достаточно точно рассчитать экономическую эффективность не всегда возможно. Эксплуатант авиационной техники должен уметь выбрать наиболее технически совершенные летательные аппараты из предлагаемых на рынке, чтобы приобретенная техника долго морально не старела. Отсюда вытекает потребность в проведении неэкономической оценки технических систем, что можно сделать с помощью оценки их технического уровня.

Технический уровень является обобщенным показателем, включающим совокупность показателей технического совершенства. Техническое совершенство отражается в показателях материалоемкости и энергоемкости, в эргономических показателях, в показателях безопасности и прочем и достигается в результате оригинальных конструктивных решений, применения новых высокопрочных материалов малой плотности, внедрения прогрессивных технологических процессов, методов расчета, контроля, испытаний и т. д.

Для определения технического уровня магистральных самолетов гражданской авиации разработан метод, который доработан с целью учета особенностей эксплуатации самолетов авиации общего назначения. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, данный метод требует некоторого уточнения. Этому посвящена настоящая статья, в которой уточнена формула для расчета обобщенного показателя технического уровня, с применением которой произведено определение технического уровня дальних магистральных самолетов гражданской авиации.

Ключевые слова: летательный аппарат, самолет, эффективность, технический уровень.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности авиационной техники является важнейшим условием развития воздушного транспорта. Этим объясняется важность проблемы измерения эффективности. Вместе с тем она не является исчерпывающей характеристикой технической системы, особенно на стадии прогноза и заказа новой техники.

Для разработчика авиационной техники выбор рациональной и прогрессивной технической политики – исключительно важная задача, т. к. достижение победы в конкурентной борьбе на рынке сбыта требует их постоянных корректирующих действий, которые могут быть осуществлены только в результате проведения оценок перспективности того или иного технического решения. Причем достаточно точно рассчитать экономический эффект в этом случае не представляется возможным.

Для эксплуатантов выбор авиационной техники, предлагаемой на рынке, является стратегической задачей. Современная авиационная техника отличается высокой ценой и имеет длительные сроки эксплуатации. Неверно принятое решение при приобретении новой техники может привести к серьезным экономическим потерям в будущем.

Отсюда вытекает потребность в проведении неэкономической оценки технических систем. Существуют методы оценки технической эффективности летательных аппаратов (ЛА), т. е. неэкономические методы оценки эффективности. Однако данные методы не позволяют определить техническое совершенство ЛА.

Решить данную проблему можно с помощью определения технического уровня ЛА. В настоящей статье предлагаются некоторые изменения и дополнения к методу определения технического уровня, изложенному ранее в работах [1–7].

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из вышеизложенного следует, что при оценке высокотехнологичной продукции, такой как авиационная техника, важно знать степень использования при ее создании последних достижений научно-технического прогресса. Для этого используется понятие технического уровня – относительной характеристики качества продукции, основанной на сопоставлении значений показателей качества, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями. При этом под техническим совершенством понимается основная составляющая качества продукции, которая создается только за счет использования достижений науки и техники [3].

Известно [8], что имеется тесная связь между свойствами изделия и его массой, т. к. масса является материальной формой этих свойств. Поэтому обычно улучшение свойств изделия ведет к интенсивному увеличению его массы. Борьбаться с этим явлением можно только с помощью широкого использования результатов научно-технического прогресса – стремления к удовлетворению повышенных требований без увеличения массы материалов или сокращения массы материалов для создания изделий с заданными требованиями. В соответствии с этим техническое совершенство можно трактовать как основную составляющую качества, которая создается без увеличения массы.

Для того чтобы сравнивать ЛА между собой в части технического совершенства, т. е. судить о техническом уровне, был разработан метод количественной оценки технического уровня магистральных самолетов гражданской авиации [1], который также был доработан с целью учета особенностей эксплуатации самолетов авиации общего назначения [2, 4–7]. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, данный метод требует некоторого уточнения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве комплексного показателя технического совершенства рассматриваемого самолета была выбрана весовая отдача по коммерческой нагрузке $\overline{m}_{\text{ком}} = \frac{m_{\text{ком}}}{m_0}$ (где $m_{\text{ком}}$ – масса коммерческой нагрузки; m_0 – взлетная масса самолета), вычисленная в предположении, что до настоящего момента времени ее увеличение происходило только за счет использования достижений науки и техники [2], о чем говорит знак «*»:

$$W_{\text{TC}} = \overline{m}_{\text{ком}}^* \quad (1)$$

В соответствии с определением технического уровня его обобщенный показатель представляет собой следующее выражение, где члены с индексом «Б» здесь и далее имеют отношение к базовому самолету (базовый самолет выбирается из группы самолетов, аналогичных по назначению, близких по взлетной массе и условиям эксплуатации):

$$W_{\text{Ty}} = \frac{W_{\text{TC}}}{W_{\text{TC.Б}}} = \frac{\overline{m}_{\text{ком}}^*}{\overline{m}_{\text{ком.Б}}} = 1 - \frac{\Delta \overline{m}_{\text{ком}}^*}{\overline{m}_{\text{ком.Б}}}, \quad (2)$$

где $\Delta \overline{m}_{\text{ком}}^*$ – изменение относительной массы коммерческой нагрузки рассматриваемого самолета по отношению к базовому, связанное только с теми изменениями лётно-технических характери-

стик (ЛТХ), которые получены за счет изменения удельных параметров (например, аэродинамического качества, удельного часового расхода топлива, удельного веса двигателей и т. п.). Отметим, что именно за счет улучшения удельных параметров происходит рост технического совершенства. В результате применения метода градиентов с учетом влияния разности масс коммерческих нагрузок и взлетных масс рассматриваемого и базового самолетов, была получена общая формула для определения обобщенного показателя технического уровня [1]:

$$W_{\text{ТУ}} = 1 + \frac{1}{\bar{m}_{\text{ком.Б}}} \sum_i \frac{\partial \bar{m}_{i\text{Б}}}{\partial w_{i\text{Б}}} (w_i - w_{i\text{Б}}) - \frac{m_0 - m_{0\text{Б}}}{m_{0\text{Б}}} + \frac{m_{\text{ком}} - m_{\text{ком.Б}}}{m_{\text{ком.Б}}}, \quad (3)$$

где $\bar{m}_{i\text{Б}} = \frac{m_{i\text{Б}}}{m_0}$ – относительная масса i -й составляющей взлетной массы базового самолета; w_i – значение i -й летно-технической характеристики.

Расчетная формула, полученная В.И. Протопоповым [1], имеет вид

$$W_{\text{ТУ}} = 1 + \frac{\bar{m}_{\text{т.Б}}}{\bar{m}_{\text{ком.Б}}} \left(\frac{L - L_{\text{Б}}}{L_{\text{Б}}} - \frac{V - V_{\text{Б}}}{V_{\text{Б}}} \right) + \frac{\bar{m}_{\text{су.Б}}}{\bar{m}_{\text{ком.Б}}} \left(\frac{\bar{P}_0 - \bar{P}_{0\text{Б}}}{\bar{P}_{0\text{Б}}} \right) - \frac{m_0 - m_{0\text{Б}}}{m_{0\text{Б}}} + \frac{m_{\text{ком}} - m_{\text{ком.Б}}}{m_{\text{ком.Б}}}, \quad (4)$$

где $\bar{m}_{\text{т.Б}}$ – относительная масса топлива базового самолета; $\bar{m}_{\text{су.Б}}$ – относительная масса силовой установки базового самолета; L – дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке; V – крейсерская скорость; $\bar{P}_0 = \frac{P_0}{m_0 g}$ – стартовая тяговооруженность самолета (P_0 – стартовая тяга).

Однако, по мнению авторов настоящей статьи, в данной формуле имеются некоторые противоречия. Например, при прочих равных условиях самолет с большей крейсерской скоростью полета будет иметь более низкий показатель технического уровня, что нелогично. Кроме того, оценивать технический уровень непосредственно через изменение тяговооруженности представляется недостаточно корректным. В связи с этим была поставлена задача усовершенствования формулы (4) и расчета показателей технического уровня некоторых самолетов гражданской авиации с целью иллюстрации работоспособности метода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения частных производных $\frac{\partial \bar{m}_{i\text{Б}}}{\partial w_{i\text{Б}}}$, входящих в формулу (3), рассмотрим

следующие ЛТХ как наиболее важные для оценки самолета:

- дальность полета с максимальной коммерческой нагрузкой L ;
- крейсерскую скорость полета V ;
- потребную длину взлетно-посадочной полосы (ВПП) $l_{\text{ВПП}}$.

При нахождении частных производных $\frac{\partial \bar{m}_{i\text{Б}}}{\partial w_{i\text{Б}}}$ в качестве средств улучшения ЛТХ необ-

ходимо выбирать наиболее простые, не требующие внедрения достижений научно-технического прогресса решения, чтобы при отсутствии этого внедрения повышение обобщенного показателя технического уровня за счет слагаемых, включающих ЛТХ, было скомпенсировано двумя последними слагаемыми в правой части формулы (3), содержащими m_0 и $m_{\text{ком}}$.

Тем самым обеспечивается баланс влияния слагаемых, положительно и отрицательно влияющих на обобщенный показатель технического уровня при отсутствии внедрения достижений научно-технического прогресса.

В соответствии с вышеизложенным используем следующие способы улучшения ЛТХ:

- для увеличения дальности полета с максимальной коммерческой нагрузкой – увеличение массы топлива;
- для увеличения крейсерской скорости полета – увеличение располагаемой тяги силовой установки;
- для сокращения потребной длины ВПП – снижение нагрузки на крыло за счет увеличения площади крыла.

Найдем последовательно соответствующие частные производные.

Для определения влияния дальности полета на показатель технического уровня найдем $\frac{\partial \bar{m}_{т.Б}}{\partial L_Б}$. Для этого используем тот же подход, что и в работе [1]. Воспользуемся известной формулой для определения относительной массы топлива:

$$\bar{m}_т = 1 - \exp\left(-\frac{Lc_{уд}}{KV}\right) \approx \frac{Lc_{уд}}{KV}, \quad (5)$$

где $c_{уд}$ – удельный часовой расход топлива; K – аэродинамическое качество самолета.

Тогда

$$\frac{\partial \bar{m}_т}{\partial L} = \frac{c_{уд}}{KV}. \quad (6)$$

Это значит, что

$$\frac{\partial \bar{m}_{т.Б}}{\partial L_Б} = \frac{\bar{m}_{т.Б}}{L_Б}. \quad (7)$$

Для определения влияния крейсерской скорости полета на показатель технического уровня найдем $\frac{\partial \bar{m}_{с.Б}}{\partial V_Б}$. Из условия установившегося полета тяга P равна силе лобового сопротивления:

$$P = c_{ха} \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (8)$$

где $c_{ха}$ – коэффициент силы лобового сопротивления; ρ – плотность воздуха; S – характерная площадь.

Увеличение скорости полета наиболее простым способом, не требующим внедрения достижений научно-технического прогресса, может быть достигнуто за счет установки на самолет существующих двигателей, создающих большую тягу. На фиксированном уровне развития науки и техники это, как правило, приводит к увеличению массы силовой установки.

Известна статистическая формула для определения относительной массы силовой установки [8]:

$$\bar{m}_{cy} = k_{cy} \gamma_{dv} \bar{P}_0, \quad (9)$$

где $k_{cy} = \frac{m_{cy}}{\sum_i m_{dvi}} > 1$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз масса силовой установки

больше массы двигателей; $\gamma_{dv} = \frac{\sum_i m_{dvi} g}{P_0}$ – удельный вес двигателей.

Представим стартовую тяговооруженность с учетом формулы (8) в следующем виде:

$$\bar{P}_0 = \frac{P_0}{m_0 g} = \frac{kP}{m_0 g} = k c_{xa} \frac{\rho V^2}{2 m_0 g} S, \quad (10)$$

где $k = \frac{P_0}{P}$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз тяга в установившемся полете отличается от стартовой тяги.

Перепишем формулу (9) с учетом формулы (10):

$$\bar{m}_{cy} = k_{cy} \gamma_{dv} k c_{xa} \frac{\rho V^2}{2 m_0 g} S. \quad (11)$$

Тогда

$$\frac{\partial \bar{m}_{cy}}{\partial V} = k_{cy} \gamma_{dv} k c_{xa} \frac{\rho V}{m_0 g} S. \quad (12)$$

Это значит, что

$$\frac{\partial \bar{m}_{cy.B}}{\partial V_B} = 2 \frac{\bar{m}_{cy.B}}{V_B}. \quad (13)$$

Теперь определим влияние потребной длины ВПП на показатель технического уровня. Как было сказано выше, будем рассматривать сокращение длины ВПП за счет увеличения площади крыла S . На фиксированном уровне развития науки и техники это, как правило, приводит к увеличению массы конструкции крыла. Поэтому для определения влияния потребной длины ВПП на показатель технического уровня найдем частную производную относительной массы конструкции крыла $\bar{m}_{кр}$ по потребной длине ВПП $l_{ВПП}$ для базового самолета $\frac{\partial \bar{m}_{кр.B}}{\partial l_{ВПП.B}}$.

Анализ формул для расчета наземных и воздушных участков взлета и посадки показывает, что длины этих участков обратно пропорциональны удельной нагрузке на крыло, а при неизменной взлетной массе – площади крыла $S_{кр}$. Поэтому можно записать

$$l_{ВПП} = \frac{k_1}{S_{кр}}, \quad (14)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности, не зависящий от $S_{кр}$.

Теперь необходимо найти зависимость относительной массы конструкции крыла от его площади. Существует множество формул, отражающих такую зависимость. Для легких самолетов справедлива обобщенная формула [5]:

$$\bar{m}_{кр} = k_m \sqrt{S_{кр}}, \quad (15)$$

где k_m – коэффициент пропорциональности, не зависящий от $S_{кр}$.

Для самолетов транспортной категории следует использовать следующую зависимость, основанную, например, на формуле, представленной в работе [9]:

$$\bar{m}_{кр} = k_m S_{кр}. \quad (16)$$

В настоящей статье будем рассматривать самолеты транспортной категории, поэтому используем формулу (16). Выразим из (14) площадь крыла $S_{кр}$ и подставим ее в (16):

$$\bar{m}_{кр} = k_m \frac{k_l}{l_{ВПП}}. \quad (17)$$

Тогда

$$\frac{\partial \bar{m}_{кр}}{\partial l_{ВПП}} = -\frac{k_m k_l}{l_{ВПП}^2}. \quad (18)$$

Это значит, что

$$\frac{\partial \bar{m}_{кр.Б}}{\partial l_{ВПП.Б}} = -\frac{\bar{m}_{кр.Б}}{l_{ВПП.Б}}. \quad (19)$$

В результате обобщенный показатель технического уровня будет иметь вид

$$W_{ТУ} = 1 + \frac{\bar{m}_{т.Б}}{\bar{m}_{ком.Б}} \left(\frac{L - L_Б}{L_Б} \right) + 2 \frac{\bar{m}_{су.Б}}{\bar{m}_{ком.Б}} \left(\frac{V - V_Б}{V_Б} \right) - \frac{\bar{m}_{кр.Б}}{\bar{m}_{ком.Б}} \left(\frac{l_{ВПП} - l_{ВПП.Б}}{l_{ВПП.Б}} \right) - \frac{m_0 - m_{0Б}}{m_{0Б}} + \frac{m_{ком} - m_{ком.Б}}{m_{ком.Б}}. \quad (20)$$

В качестве примера применения выведенной формулы (20) найдем технические уровни некоторых дальних магистральных самолетов.

При расчете технического уровня в примере использовались данные по широкофюзеляжным дальним магистральным самолетам гражданской авиации разных поколений: DC-10, Boeing 767, A340, Ил-96-300 – первое поколение самолетов такого класса для данного производителя; Boeing 787, A350 – текущее поколение самолетов, характеризующееся широким применением композиционных материалов в силовой части конструкции планера.

Исходные данные для расчетов получены с официальных сайтов производителей самолетов в сети интернет [10–15] и представлены в таблице.

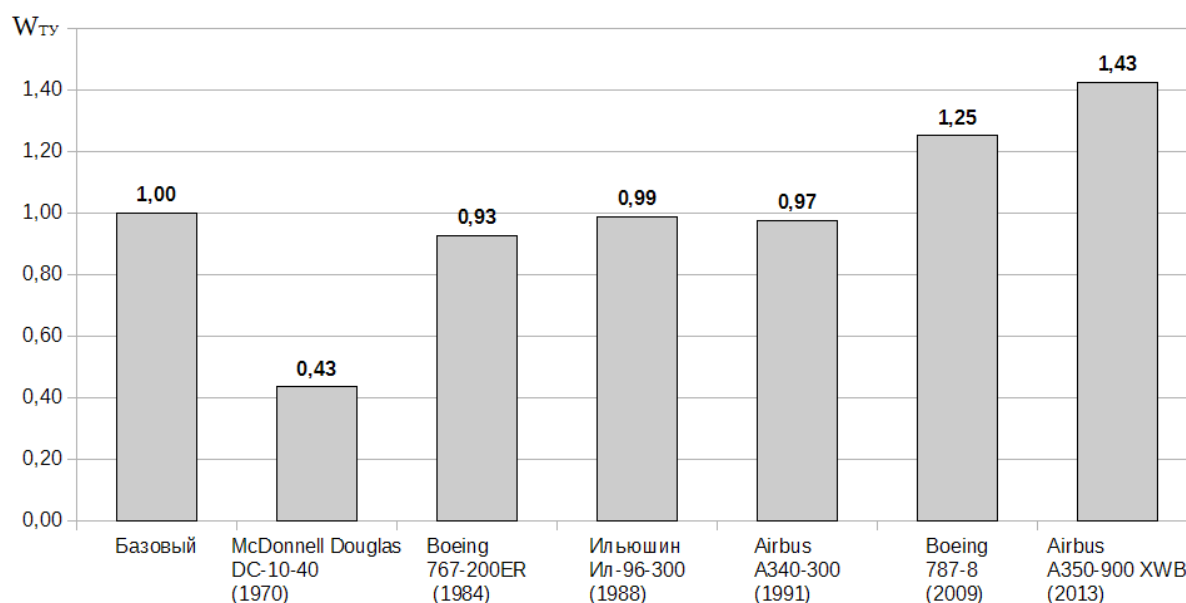
Таблица 1
Table 1

Характеристики дальних магистральных самолетов гражданской авиации
Flight characteristics of long-range civil aircraft

Самолет Aircraft	Взлетная масса при максимальной коммерческой нагрузке, кг Maximum take-off weight, kg	Максимальная коммерческая нагрузка, кг Maximum payload, kg	Дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км Range with maximum payload, km	Крейсерская скорость полета, км/ч Cruise speed, km/h	Потребная длина ВПП, м Runway length, m
McDonnell Douglas DC-10-40	251700	44350	7000	900	3200
Boeing 767-200ER	175500	35500	9150	850	3500
Ильюшин Ил-96-300	250000	40000	9800	870	2380
Airbus A340-300	275000	51250	9400	870	3200
Boeing 787-8	228000	43300	10200	900	2600
Airbus A350-900	280000	53000	11000	900	2600
Базовый	264013	50300	10063	886	2935

В качестве значений характеристик базового самолета используются средние значения соответствующих характеристик рассматриваемых самолетов, в том числе $\bar{m}_{\text{ком.б}} = 0,18$. Также используются следующие данные¹: $\bar{m}_{\text{т.б}} = 0,37$; $\bar{m}_{\text{су.б}} = 0,09$; $\bar{m}_{\text{кр.б}} = 0,10$.

Результаты расчетов представлены на рисунке. Самолеты на рисунке расставлены в хронологическом порядке по году первого полета соответствующего самолета.



Технический уровень дальних магистральных самолетов гражданской авиации
Technical level of long-range civil aircraft

¹ Проектирование самолетов: учебник для вузов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др.; под ред. С.М. Егера. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье была усовершенствована формула для расчета обобщенного показателя технического уровня, с применением которой произведено определение технического уровня дальних магистральных самолетов гражданской авиации.

Необходимо понимать, что доказать адекватность подобных методов не представляется возможным, поскольку не существует и не может существовать никаких экспериментальных данных, с которыми можно было бы сравнить результаты расчетов. Тем не менее, данный метод можно считать вполне убедительным, т.к. в нем используются только физические и проверенные на практике статистические соотношения. А полученные с его помощью результаты согласуются с тенденцией роста технического уровня во времени за счет применения достижений науки и техники в авиации, что говорит, по крайней мере, о его непротиворечивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Протопопов В.И.** Использование «уравнения существования» самолета с целью определения показателя технического уровня самолетов гражданской авиации // Вопросы обеспечения технического уровня самолетов гражданской авиации: межвузовский сборник. М.: МИИГА, 1984. С. 3–11.
- 2. Ефимов В.В., Протопопов В.И.** Особенности оценки относительного эффекта функционирования и технического совершенства самолетов авиации общего назначения // Решение прикладных задач летной эксплуатации ВС методами математического моделирования: сб. научных трудов. М.: МГТУ ГА, 1993. С. 113–120.
- 3. Протопопов В.И.** Особенности маркетинговых исследований в современной России при создании самолетов гражданской авиации // Проблемы авиационной и космической техники. 1994. № 2. С. 22–27.
- 4. Протопопов В.И., Ефимов В.В.** Техническое совершенство самолетов авиации общего назначения // Наука и техника гражданской авиации на современном этапе. Тезисы докладов научно-технической конференции. М.: МГТУ ГА, 1994. С. 51–52.
- 5. Ефимов В.В.** Учет взлетно-посадочных характеристик при оценке технического уровня самолетов авиации общего назначения // Вопросы повышения уровня летной эксплуатации и безопасности полета воздушных судов: сб. научных трудов. М.: МГТУ ГА, 1996. С. 62–66.
- 6. Ефимов В.В.** Особенности определения технического уровня самолетов авиации общего назначения // XXXIII научные чтения, посвященные разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. Калуга, 15–18 сентября 1998 г.: тезисы докладов. М.: ИИЕТ РАН, 1998. С. 106.
- 7. Ефимов В.В., Ефимова М.Г.** Конкурентоспособность легких самолетов авиации общего назначения российского производства и пути ее повышения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2000. № 23. С. 45–50.
- 8. Шейнин В.М., Козловский В.И.** Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1. Весовой расчет самолета и весовое планирование. М.: Машиностроение, 1977. 344 с.
- 9. Матвеев А.М., Акимов А.И., Акопов М.Г. и др.** Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-21. Кн. 2. М.: Машиностроение, 2004. 752 с.
- 10.** Boeing 767 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision H, Minor update, May 2011 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/767.pdf> (дата обращения: 28.10.2016).
- 11.** Ил-96-300. Основные технические характеристики. [Электронный ресурс]. URL: <http://ilyushin.org/aircrafts/passenger/305/> (дата обращения: 28.10.2016).

12. A340-200/-300 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: October 01/15 [Электронный ресурс]. URL: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A340-200-300-Jan16.pdf (дата обращения: 28.10.2016).

13. DC/MD-10 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision A, April 2004 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/dc10.pdf> (дата обращения: 28.10.2016).

14. Boeing 787 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision L, Minor update, December 2015 [Электронный ресурс]. URL: http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/777_2lr3er.pdf (дата обращения: 28.10.2016).

15. A350 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: June 01/16 [Электронный ресурс]. URL: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A350XWB-Jun16.pdf (дата обращения: 28.10.2016).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефимов Вадим Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

Чернигин Константин Олегович, доцент МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

METHOD IMPROVEMENT FOR DETERMINING THE TECHNICAL LEVEL OF CIVIL AIRCRAFT

Vadim V. Efimov¹, Konstantin O. Chernigin¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Aircraft are high-tech engineering products which are characterized by a wide range of properties including the two most important groups that respectively characterize the efficiency and technical level.

Improving the aircraft efficiency is an essential factor for air transport development, but the efficiency can not be fully describe the technical system, especially in forecasting and new technology requirements development. Aircraft designer must evaluate the prospects of a technical solution, but it's not always possible to calculate the efficiency accurately at the design stage. The operator should be able to choose the most technically-advanced aircraft available in the market in order not to let it grow obsolete quickly. This determines the need for non-economic evaluation of technical systems that can be done by assessment of their technical level.

The technical level is a general index that includes a set of technical perfection indicators. Technical perfection is reflected in terms of material and energy intensity, in terms of ergonomics, safety, etc. and is achieved as a result of original design solutions, the use of new high-strength low-density materials, the introduction of advanced technological processes, calculation methods, verification, testing, etc.

There is a tight connection between the product properties and its weight, because weight is the material reflection of these properties. Therefore, improvement of the product properties usually leads to an intense increase of its weight. To deal with this phenomenon is only possible with widely using scientific and technical progress results. In accordance with this, the technical perfection can be interpreted as a major component of quality that is created without the weight increase. This approach requires investment in research and testing new technical solutions.

The method was developed to determine the technical level of civil long-haul aircraft which has been modified to incorporate features of general aviation aircraft operation. However, according to the authors of this article, this method requires some clarification. This is the subject of this article where the technical level generalized index equation is refined and with the use of which the technical level of civil long-range aircraft is determined.

Key words: aircraft, airplane, efficiency, technical level.

REFERENCES

1. **Protopopov V.I.** *Ispol'zovanie "uravnenija sushhestvovaniya" samoleta s cel'ju opredelenija pokazatelja tehnikeskogo urovnja samoletov grazhdanskoj aviacii* [Using of "aircraft existence equation to determine the technical level of civil aircraft"]

tion" for civil aircraft index of technical level determination]. *Voprosy obespechenija tehničeskogo urovnja samoletov grazhdanskoj aviacii. Mezhvuzovskij sbornik*. [Issues of civil aircraft technical level ensuring. Interuniversity collection]. Moscow. Moscow Institute of Civil Aviation Engineers (MIE-CA). 1984. Pp. 3–11. (in Russian)

2. Efimov V.V., Protopopov V.I. *Osobennosti ocenki otnositel'nogo jeffekta funkcionirovanija i tehničeskogo sovershenstva samoletov aviacii obshhego naznachenija* [Special aspects of general aviation aircraft performance and technical excellence relative effect assessment]. *Reshenie prikladnyh zadach letnoj jekspluatacii VS metodami matematičeskogo modelirovanija. Sbornik nauchnyh trudov*. [Using mathematical modeling for solving applied problems of aircraft flight operation. Collection of scientific papers] Moscow. MSTUCA. 1993. Pp. 113–120. (in Russian).

3. Protopopov V.I. *Osobennosti marketingovyh issledovanij v sovremennoj Rossii pri sozdanii samoletov grazhdanskoj aviacii* [Special aspects of marketing research in modern Russia in civil aircraft creation process] *Problemy aviacionnoj i kosmicheskoj tehniki* [Problems of aviation and space technology] 1994. № 2. Pp. 22–27. (in Russian)

4. Protopopov V.I., Efimov V.V. *Tehničeskoe sovershenstvo samoletov aviacii obshhego naznachenija* [Technical excellence of general aviation aircraft]. *Nauka i tehnika grazhdanskoj aviacii na sovremennom jetape. Tezisy dokladov nauchno-tehničeskoi konferencii* [Civil aviation science and technology at the present stage]. Moscow. MSTUCA. 1994. Pp. 51–52. (in Russian)

5. Efimov V.V. *Uchet vzletno-posadochnykh harakteristik pri ocenke tehničeskogo urovnja samoletov aviacii obshhego naznachenija* [Incorporating the take-off and landing characteristics in general aviation aircraft technical level determination]. *Voprosy povyšeniya urovnja letnoj jekspluatacii i bezopasnosti poleta vozdušnyh sudov. Sbornik nauchnyh trudov* [Issues of flight operation and safety enhancement. Collection of scientific papers]. Moscow. MSTUCA. 1996. Pp. 62–66. (in Russian).

6. Efimov V.V. *Osobennosti opredelenija tehničeskogo urovnja samoletov aviacii obshhego naznachenija* [Special aspects of general aviation aircraft technical level determination]. *XXXIII nauchnye čtenija, posvjashhennye razrabotke tvorčeskogo nasledija K.E. Ciolkovskogo. Kaluga, 15–18 sentjabrja 1998 g. Tezisy dokladov* [XXXIII Scientific readings devoted to the development of K.E. Tsiolkovsky creative heritage. Kaluga. 15–18 Sept. 1998. Abstracts]. Moscow. IIET RAS. 1998. P. 106. (in Russian)

7. Efimov V.V., Efimova M.G. *Konkurentosposobnost' legkih samoletov aviacii obshhego naznachenija rossijskogo proizvodstva i puti ee povyšeniya* [Competitiveness of Russian-made light general aviation aircraft and ways of its improvement]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2000, № 23, Pp. 45–50. (in Russian)

8. Shejnin V.M., Kozlovskij V.I. *Vesovoe proektirovanie i jeffektivnost' passazhirskih samoletov. T. 1. Vesovoj raschet samoleta i vesovoe planirovanie* [Weight design and passenger aircraft efficiency. Vol. 1. Airplane weight calculation and weight planning]. Moscow. Mashinostroenie. 1977. 344 p. (in Russian)

9. Matveenko A.M., Akimov A.I., Akopov M.G. i dr. *Mashinostroenie. Jenciklopedija. T. IV-21. Kn. 2.* [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Vol. IV-21. Bk. 2]. Moscow. Mashinostroenie. 2004. 752 p. (in Russian)

10. Boeing 767 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision H, Minor update, May 2011 Available at: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/767.pdf> (accessed: 28.10.2016).

11. IL-96-300. Osnovnye tekhnicheskie kharakteristiki. [IL-96-300. Main technical characteristics] Available at: <http://ilyushin.org/aircrafts/passenger/305/> (accessed: 28.10.2016). (in Russian)

12. A340-200/-300 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: October 01/15 Available at: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A340-200-300-Jan16.pdf (accessed: 28.10.2016).

13. DC/MD-10 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision A, April 2004 Available at: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/dc10.pdf> (accessed: 28.10.2016).

14. Boeing 787 Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision L, Minor update, December 2015 Available at: http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/777_2lr3er.pdf (accessed: 28.10.2016).

15. A350 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: June 01/16 Available at: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A350XWB-Jun16.pdf (accessed: 28.10.2016).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Efimov Vadim Victorovich, Doctor of Science, Associate Professor, Professor of Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.

Chernigin Konstantin Olegovich, Assistant Professor of Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.