УДК 629.7.017.1

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-1-185-194

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

В.В. ЕФИМОВ¹, К.О. ЧЕРНИГИН¹

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

Функциональные свойства характеризуют назначение летательного аппарата и описываются его летно-техническими характеристиками, такими как дальность и крейсерская скорость полета, масса коммерческой нагрузки, класс аэродрома базирования и т. д. Функциональные свойства также характеризуют эффективность летательных аппаратов, что в современных условиях важности постоянного и планомерного повышения эффективности определяет объективную необходимость их анализа как со стороны разработчиков, так и эксплуатантов. Эксплуатанту при выборе авиационной техники важно удостовериться, что конкретный тип воздушного судна обладает высоким уровнем функциональных свойств, что в длительной перспективе позволит ему обеспечивать высокую эффективность использования по назначению без морального устаревания. Однако при выборе из нескольких вариантов эксплуатанту приходится сталкиваться с тем, что у рассматриваемых типов воздушных судов одни характеристики лучше, другие – хуже, что не позволяет однозначно определить, какой из вариантов обладает более высоким уровнем функциональных свойств.

В данной статье исследовалась возможность применения показателей технической эффективности и обобщенного показателя технического уровня для анализа функциональных свойств самолетов гражданской авиации. На примере моделей различных поколений и модификаций семейств средних магистральных самолетов Boeing 737 и Airbus A320 производился расчет значений показателей топливной, весовой и целевой эффективности, а также ранее доработанного показателя технического уровня с последующей интерпретацией результатов в пределах одного поколения самолетов и в исторической перспективе при переходе от одного поколения самолетов к другому. По результатам анализа сделан вывод о том, что по изменению значений отдельных показателей технической эффективности невозможно сделать вывод об изменении уровня совокупности функциональных свойств самолетов. Таким образом, предлагается для решения данной задачи использовать обобщенный показатель технического уровня, определяющий уровень технического совершенства самолета, а показатели эффективности использовать для анализа затрат на обеспечение данного уровня свойств самолетов на этапах производства и эксплуатации.

Ключевые слова: гражданская авиация, самолет, эффективность, технический уровень, функциональные свойства самолетов, летно-технические характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Любой летательный аппарат (ЛА) характеризуется набором свойств и параметров, среди которых можно выделить функциональные свойства, эксплуатационные свойства, комфортабельность, производственную технологичность, конструктивные и экономические параметры.

Для обеспечения успешной деятельности как создателей, так и эксплуатантов авиационной техники в условиях научно-технического прогресса необходим постоянный мониторинг и прогнозирование ее свойств и параметров.

При широком исследовании рынка ЛА следует ориентироваться на такую методику, которая позволяет решить поставленную задачу наиболее объективно и в условиях ограниченного объема информации об объектах исследования. Даже самая всеобъемлющая, самая точная методика, учитывающая все существенные свойства объекта, если такая методика вообще может существовать, не позволит провести данное исследование, если для нее не будет необходимых исходных данных. В связи с этим при проведении подобных исследований необходимо принимать во внимание доступность информации.

Для ЛА наиболее доступной является информация об их функциональных свойствах. Это совокупность свойств, характеризующих назначение ЛА, т. е. его функцию. К этой группе

свойств можно отнести: дальность полета, крейсерскую скорость полета, массу коммерческой нагрузки или пассажироместимость, класс аэродрома базирования и др. Это так называемые летно-технические характеристики (ЛТХ).

Функциональные свойства ЛА являются основными параметрами, характеризующими его эффективность в целом, в том числе экономическую [1]. С одной стороны, это определяет важность и актуальность анализа функциональных свойств, с другой стороны, это говорит о том, что данный анализ можно вести с использованием показателей эффективности. Однако существующие показатели эффективности ЛА не позволяют в полной мере оценить степень использования достижений научно-технического прогресса при его создании, т. е. оценить его технический уровень [2–4]. Между тем, именно технический уровень высокотехнологичной продукции определяет ее конкурентоспособность на рынке, что, безусловно, важно для производителя ЛА, а также определяет темп его морального старения, что уже важно для эксплуатанта ЛА, т. к. он заинтересован в наиболее длительном сроке его эксплуатации. Кроме того, если речь идет о новой технике, недавно поступившей в эксплуатацию, или тем более о перспективных образцах, то далеко не все показатели эффективности могут дать достоверную информацию. Например, показатели экономической эффективности в данной ситуации вряд ли помогут, поскольку современная экономика не отличается стабильностью, что вносит большую неопределенность в прогноз.

Из вышеизложенного следует, что для анализа функциональных свойств наилучшим образом подходят показатели технической эффективности и технического уровня.

Ранее в работах [5–8] было дано понятие технического уровня, показана актуальность его определения на различных стадиях жизненного цикла самолетов гражданской авиации, проведены расчеты обобщенного показателя технического уровня легких гражданских самолетов и дальних магистральных самолетов гражданской авиации.

В настоящей работе на примере анализа функциональных свойств средних магистральных самолетов показано применение некоторых показателей технической эффективности и обобщенного показателя технического уровня для решения подобных задач.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как было упомянуто выше, техническая эффективность определяется функциональными свойствами самолета, т. е. его основными летно-техническими характеристиками. Техническая эффективность подразделяется на топливную, весовую и целевую [9, 10].

При оценке топливной эффективности в качестве положительного эффекта рассматривается транспортная работа, определяемая как произведение массы перевозимой коммерческой нагрузки на дальность полета $m_{\text{ком}}L$. Вместо массы коммерческой нагрузки можно использовать число перевозимых пассажиров. За отрицательный эффект принимается масса расходуемого в течение полета топлива $m_{\text{т}}$. Показатель топливной эффективности выглядит обычно следующим образом [9, 10]:

$$W_{\text{т}} = \frac{m_{\text{т}}}{m_{\text{ком}}L}. \quad (1)$$

В качестве показателя весовой эффективности часто используется весовая отдача по коммерческой нагрузке:

$$W_{\text{в}} = \frac{m_{\text{ком}}}{m_0} = \overline{m_{\text{ком}}}, \quad (2)$$

где m_0 – взлетная масса самолета.

Целевая эффективность – это степень приспособленности самолета к выполнению поставленной задачи (степень соответствия своему назначению, цели эксплуатации). Если это транспортный самолет, то под целевой эффективностью понимают транспортную эффективность. В этом случае в качестве единичных показателей часто используются те же показатели, что и при составлении комплексных показателей топливной и весовой эффективности. Для того чтобы учесть наиболее существенные положительные и отрицательные свойства самолета при оценке транспортной эффективности, В.М. Шейниным был предложен показатель, который можно записать в виде [9, 10]

$$W_{\text{тр}} = \frac{m_{\text{ком}} V_{\text{рейс}} L}{m_{\text{т}} m_{\text{п.сн}}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{рейс}}$ – рейсовая скорость (учитывает потери времени на запуск и прогрев двигателей, руление, взлет и набор высоты, снижение и посадку).

Что касается показателя технического уровня, то авторами настоящей работы ранее была предложена следующая формула [8]:

$$W_{\text{ту}} = 1 + \frac{\overline{m}_{\text{т.Б}}}{\overline{m}_{\text{ком.Б}}} \left(\frac{L - L_{\text{Б}}}{L_{\text{Б}}} \right) + 2 \frac{\overline{m}_{\text{су.Б}}}{\overline{m}_{\text{ком.Б}}} \left(\frac{V - V_{\text{Б}}}{V_{\text{Б}}} \right) - \frac{\overline{m}_{\text{кр.Б}}}{\overline{m}_{\text{ком.Б}}} \left(\frac{l_{\text{ВПП}} - l_{\text{ВПП.Б}}}{l_{\text{ВПП.Б}}} \right) - \frac{m_0 - m_{0\text{Б}}}{m_{0\text{Б}}} + \frac{m_{\text{ком}} - m_{\text{ком.Б}}}{m_{\text{ком.Б}}}, \quad (4)$$

где $\overline{m}_{\text{ком.Б}} = \frac{m_{\text{ком.Б}}}{m_{0\text{Б}}}$, $\overline{m}_{\text{т.Б}} = \frac{m_{\text{т.Б}}}{m_{0\text{Б}}}$, $\overline{m}_{\text{су.Б}} = \frac{m_{\text{су.Б}}}{m_{0\text{Б}}}$, $\overline{m}_{\text{кр.Б}} = \frac{m_{\text{кр.Б}}}{m_{0\text{Б}}}$ – соответственно относительные

масса максимальной коммерческой нагрузки, топлива, силовой установки и конструкции крыла базового самолета; m_0 и $m_{0\text{Б}}$ – взлетные массы соответственно рассматриваемого и базового самолетов; $m_{\text{ком}}$ и $m_{\text{ком.Б}}$ – максимальные массы коммерческих нагрузок соответственно рассматриваемого и базового самолетов; L и $L_{\text{Б}}$ – дальности полета с максимальной коммерческой нагрузкой соответственно рассматриваемого и базового самолетов; V и $V_{\text{Б}}$ – крейсерские скорости полета соответственно рассматриваемого и базового самолетов; $l_{\text{ВПП}}$ и $l_{\text{ВПП.Б}}$ – потребные длины взлетно-посадочных полос (ВПП) соответственно рассматриваемого и базового самолетов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значения показателей эффективности и технического уровня определялись для различных моделей семейств самых популярных на мировом рынке средних магистральных самолетов Boeing 737 и Airbus A320. Рассматривались следующие поколения и модели самолетов: Boeing 737-100, -200, -200 Advanced (1-е поколение – Original), -300, -400, -500 (2-е поколение – Classic), -700, -800, -900ER (3-е поколение – Next Generation (NG)), -8 MAX (4-е поколение); Airbus 319, 320, 321 CEO (1-е поколение – Current Engine Option) и NEO (2-е поколение – New Engine Option). Семейство самолетов Boeing 737 насчитывает более 50 лет производства, и в конце 1980-х годов семейство Airbus A320 было ответом на 2-е поколение (Classic) самолетов американского производителя. В свою очередь, ответом Boeing на 1-е поколение семейства A320 стало 3-е поколение 737 (Next Generation). Подобные действия производителей говорят о высокой конкуренции на рынке такого класса самолетов, что подтверждается вводом в настоящее время в эксплуатацию очередных поколений самолетов Boeing 737 MAX и A320 NEO.

Летно-технические характеристики, необходимые для расчета показателей, приведены в табл. 1. Часть из них получена из данных, представленных в документах на официальных сайтах производителей самолетов [11–15], часть получена расчетным путем.

Таблица 1
Table 1

Характеристики средних магистральных самолетов гражданской авиации
Flight characteristics of medium-range civil airplanes

Самолет (год первого полета)	Взлетная масса при максимальной коммерческой нагрузке, кг	Максимальная коммерческая нагрузка, кг	Масса топлива при максимальной коммерческой нагрузке, кг	Масса пустого снаряженного самолета, кг	Дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	Крейсерская скорость полета, км/ч	Потребная длина ВПП, м
Boeing 737-100 (1967)	49900	12700	9100	28100	1850	800	2500
Boeing 737-200 (1967)	52400	16000	9300	27100	1850	800	2700
Boeing 737-200 Advanced (1971)	58100	13500	15000	29600	3400	800	2300
Boeing 737-300 (1984)	63300	15400	15000	32900	3500	800	2200
Boeing 737-400 (1986)	68000	19400	15000	33600	3200	800	2550
Boeing 737-500 (1987)	60600	15200	14100	31300	3300	800	2500
Airbus A320 (1987)	78000	19500	17000	41500	4100	830	2000
Airbus A321 (1993)	93500	25000	19700	48800	4100	830	2500
Airbus A319 (1995)	75500	17500	17000	41000	4600	830	2200
Boeing 737-700 (1996)	70100	17600	14900	37600	4000	840	1600
Boeing 737-800 (1997)	79000	21300	16300	41400	3800	840	2400
Boeing 737-600 (1998)	65500	15600	13500	36400	3600	840	1800
Boeing 737-900ER (2006)	85100	22300	18100	44700	3900	840	3000
Airbus A320 NEO (2014)	79000	20000	14700	44300	4500	830	2000
Boeing 737-8 MAX (2016)	82200	21000	16200	45000	4700	840	2500
Airbus A321 NEO (2016)	93500	25500	17900	50100	4700	830	2500
Airbus A319 NEO (2017)	75500	17800	15200	42500	5100	830	2200

Так, масса топлива при максимальной коммерческой нагрузке (столбец 4 табл. 1) получена путем вычитания максимальной массы самолета без топлива (maximum zero fuel weight; получена из соответствующих документов) из максимальной взлетной массы самолета, масса пустого снаряженного самолета (столбец 5 табл. 1) получена путем вычитания максимальной коммерческой нагрузки из максимальной массы самолета без топлива (для самолетов Airbus). Самолеты в таблице расположены по году первого полета данной модели.

В качестве значений характеристик базового самолета используются характеристики наилучшего образца, в том числе $\bar{m}_{\text{ком.Б}} = 0,27$; $\bar{m}_{\text{т.Б}} = 0,19$. Также используются следующие данные [16]: $\bar{m}_{\text{су.Б}} = 0,11$; $\bar{m}_{\text{кр.Б}} = 0,10$.

Результаты расчета соответствующих показателей эффективности и технического уровня самолетов представлены на рис. 1 – 4, значение показателя для конкретного самолета представлено в соответствующем столбце гистограммы. При этом на рис. 1 используются значения, обратные рассчитанным по формуле (1), в целях реализации принципа «больше = лучше» для удобства восприятия.

Рис. 1. Топливная эффективность средних магистральных самолетов гражданской авиации (обратная величина)
Fig. 1. Fuel efficiency of medium-range civil airplanes (reciprocal value)

Рис. 2. Весовая эффективность средних магистральных самолетов гражданской авиации
Fig. 2. Weight efficiency of medium-range civil airplanes

Рис. 3. Целевая эффективность средних магистральных самолетов гражданской авиации
Fig. 3. Target efficiency of medium-range civil airplanes

Рис. 4. Технический уровень средних магистральных самолетов гражданской авиации
Fig. 4. Technical level of medium-range civil airplanes

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов расчетов, отображенных на рис. 1–4, показывает следующее.

1. В исторической перспективе отмечается рост топливной эффективности, что связано в первую очередь с улучшением характеристик силовых установок в части удельного расхода топлива, так как каждое последующее поколение самолетов оснащалось более совершенными двигателями. Примерно равные значения показателя топливной эффективности для одного поколения самолетов подтверждают данный вывод (поколения самолетов Boeing 737 NG и Airbus A320 CEO оснащались одним семейством двигателей CFM-56; текущие поколения самолетов Boeing 737 MAX и A320 NEO также оснащаются одноклассовыми двигателями LEAP-1A/B или PW1100G). Следует также учесть, что в показатель топливной эффективности входит транспортная работа, величина которой определяется произведением максимальной массы коммерческой нагрузки и дальности полета. Обе эти величины увеличиваются из поколения в поколение самолетов при росте максимальной взлетной массы, что также приводит к улучшению топливной эффективности.

2. Весовая эффективность в исторической перспективе остается примерно постоянной, что, по-видимому, объясняется особенностью коммерческой нагрузки – пассажиры требуют

определенных условий комфортного пребывания на борту, что определяет «плотность» их размещения.

3. Целевая эффективность демонстрирует рост из поколения в поколение самолетов, что обусловлено в первую очередь ростом транспортной работы. Однако менее интенсивный рост целевой эффективности по сравнению с топливной эффективностью говорит об отсутствии роста технического совершенства конструкции самолета, определяемой в данном случае значением массы пустого снаряженного самолета.

4. Колебания значений показателей эффективности и технического уровня для разных модификаций самолета в одном поколении связаны с выбором разработчиком соотношения массы коммерческой нагрузки и массы топлива, определяющей дальность полета.

5. Технический уровень в исторической перспективе демонстрирует рост, что определяется известными достижениями в области двигателестроения, авиационных материалов, систем управления и проч. Следует обратить внимание на снижение темпов роста технического уровня в текущем поколении самолетов (Boeing 737 MAX и Airbus 320 NEO) по сравнению с предыдущим поколением (737 NG и 320 CEO). Это может говорить о том, что основные конструктивные мероприятия, реализованные в текущем поколении самолетов, направлены на повышение топливной эффективности, и это достигается за счет использования более современных силовых установок, имеющих более высокие значения параметров рабочего процесса. При этом такие силовые установки имеют большую массу и габариты, требуют перекомпоновки пилонов двигателей и даже удлинения стоек шасси (Boeing 737 MAX), что приводит к увеличению массы пустого снаряженного самолета. Как известно, улучшение характеристик за счет увеличения затрат массы не приводит к росту технического совершенства, что и демонстрируют значения показателя технического уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная задача исследования заключалась в определении возможности применения показателей технической эффективности и технического уровня для анализа функциональных свойств самолетов. Результаты исследования позволяют заключить следующее.

Рост значений показателей технической эффективности не позволяет сделать вывод о росте технического совершенства самолета, то есть об улучшении функциональных свойств в совокупности. Это связано с тем, что в каждом конкретном показателе учитываются не все определяющие анализируемые свойства характеристики. Так, самолет, имеющий высокую топливную эффективность, может иметь более низкий уровень других характеристик, например, взлетно-посадочных. Также все рассмотренные показатели эффективности составляются в основном по одному принципу: в прямой пропорциональности находятся параметры, определяющие положительный эффект, в обратной – отрицательный, что не позволяет учитывать степень взаимосвязи между параметрами и то, как они соотносятся друг с другом.

Формула для расчета обобщенного показателя технического уровня выводится, опираясь на уравнение существования самолета (уравнение баланса масс) и известные зависимости взаимосвязи исследуемых характеристик и затрат массы на их достижение. Такой подход позволяет оценить уровень совокупности функциональных свойств с учетом их взаимосвязей. Структура показателя позволяет анализировать, кроме вышерассмотренных, и другие показатели, характеризующие функциональные свойства, при наличии такого рода зависимостей.

Таким образом, предлагается для анализа функциональных свойств и оценки уровня технического совершенства самолета использовать обобщенный показатель технического уровня, а для анализа затрат на реализацию данных свойств в производстве (что определяет цену ЛА) и эксплуатации использовать показатели эффективности (в том числе, по возможности, экономической).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скрипниченко С.Ю.** Теоретические основы повышения экономичности полета. М.: Издание ГосНИИ ГА, 2005. 368 с.
2. Управление качеством продукции / под ред. В.В. Бойцова и А.В. Гличева. М.: Издательство стандартов, 1985. 464 с.
3. **Андрианов Ю.М., Субетто А.И.** Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. Л.: Машиностроение, 1990. 216 с.
4. **Голубев И.С.** Эффективность воздушного транспорта. М.: Транспорт, 1982. 230 с.
5. **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.
6. **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.
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. **Ефимов В.В., Чернигин К.О.** Совершенствование метода определения технического уровня самолетов гражданской авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. Том 19, № 6. С. 24–34.
9. Проектирование гражданских самолетов: Теория и методы / И.Я. Катырев, М.С. Неймарк, В.М. Шейнин и др.; под ред. Г.В. Новожилова. М.: Машиностроение, 1991. 672 с.
10. **Шейнин В.М., Козловский В.И.** Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 2. Расчет центровки и моментов инерции самолета. Весовой анализ. М.: Машиностроение, 1977. 208 с.
11. Boeing 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. Minor Updates, September 2013 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737.pdf> (дата обращения 17.05.2017).
12. Boeing 737 MAX Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision A, August 2017 [Электронный ресурс]. URL: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737MAX_RevA.pdf (дата обращения 12.09.2017).
13. A319 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17 [Электронный ресурс]. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A319_May17.pdf (дата обращения 17.05.2017).
14. A320 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17 [Электронный ресурс]. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A320_May17.pdf (дата обращения 17.05.2017).
15. A321 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17 [Электронный ресурс]. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A321_May17.pdf (дата обращения 17.05.2017).
16. 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефимов Вадим Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

Чернигин Константин Олегович, доцент кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

TECHNICAL EFFICIENCY AND TECHNICAL LEVEL INDICATORS APPLICATION FOR CIVIL AIRCRAFT FUNCTIONAL PROPERTIES ANALYSIS

Vadim V. Efimov¹, Konstantin O. Chernigin¹

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

ABSTRACT

Functional properties characterize the purpose of the aircraft and are described by its flight performance characteristics such as range and cruising speed, payload, runway characteristics, etc. Functional properties also characterize the aircraft efficiency that determines the objective need for their analysis by both aircraft designers and operators in conditions of permanent and systematic efficiency increase necessity. When choosing the aircraft, it is important for the operator to make sure that a selected aircraft type has a high level of functional properties, which will allow it to provide high operational efficiency without obsolescence in the long term. However, when choosing from several aircraft types the operator has to face the fact that some characteristics of considered aircraft variants are better and the others are worse that does not allow to definitely determine what aircraft type has a higher level of functional properties.

The possibility of applying technical efficiency indicators and a generalized technical level indicator for analyzing the functional properties of civil aviation aircraft is explored in this article. Fuel, weight and target efficiency values as well as the previously improved technical level indicator value were calculated for the different generations and modifications of Boeing 737 and Airbus A320 families of medium-range airplanes, which was followed by the results interpretation within one airplane generation and when moving historically from one airplane generation to another. According to analysis results it is concluded that it is impossible to define the change of the aircraft functional properties level by the change in the values of separate technical efficiency indicators. Thus, it is proposed to use a generalized technical level indicator that determines the level of aircraft technical perfection for purpose and to use efficiency indicators to analyze the cost of providing this level of properties at aircraft production and operation phases.

Key words: civil aviation, airplane, efficiency, technical level, airplane functional properties, aircraft performance.

REFERENCES

1. Skripnichenko S.Yu. *Teoreticheskie osnovy povysheniya jekonomichnosti poleta*. [Theoretical bases of flight economy increase]. Moscow, Izdanie GosNII GA, 2005, 368 p. (in Russian)
2. *Upravlenie kachestvom produkcii*. [Product Quality Management]. Ed. by V.V. Boytsov and A.V. Glichev. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1985, 464 p. (in Russian)
3. Andrianov Yu.M., Subetto A.I. *Kvalimetrija v priborostroenii i mashinostroenii*. [Qualimetry in instrument making and mechanical engineering]. Leningrad, Mashinostroenie, 1990, 216 p. (in Russian)
4. Golubev I.S. *Jeffektivnost' vozdušnogo transporta*. [Efficiency of air transport]. Moscow, Transport, 1982, 230 p. (in Russian)
5. Protopopov V.I. *Ispol'zovanie "uravnenija sushhestvovanija" samoleta s cel'ju opredelenija pokazatelja tehničeskogo urovnja samoletov grazhdanskoj aviacii* [Using "existence equation" of aircraft to determine the civil aircraft technical level index]. *Voprosy obespečenija tehničeskogo urovnja samoletov grazhdanskoj aviacii. Mezhevuzovskij sbornik* [Interuniversity collection "Issues of civil aircraft technical level ensuring"]. M., The Moscow Institute of Engineers of Civil Aviation (MIECA), 1984, pp. 3–11. (in Russian)
6. Efimov V.V. *Učet vzletno-posadočnyh harakteristik pri ocenke tehničeskogo urovnja samoletov aviacii obshhego naznachenija* [Considering takeoff and landing characteristics while assessing aircraft technical level in general aviation]. *Voprosy povysheniya urovnja letnoj jekspluatácii i bezopasnosti poleta vozdušnyh sudov. Sbornik nauchnyh trudov* [Issues of rise of flight operation level and safety]. Collection of scientific papers. M., MSTUCA, 1996, pp. 62–66 (in Russian).
7. Efimov V.V., Efimova M.G. *Konkurentosposobnost' legkih samoletov aviacii obshhego naznachenija rossijskogo proizvodstva i puti ee povysheniya* [Competitiveness of Russian-made light

general aviation aircraft and ways of its improvement]. *Nauchny Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2000, No. 23, pp. 45–50. (in Russian)

8. Efimov V.V., Chernigin K.O. *Sovershenstvovanie metoda opredelenija tehničeskogo urovnja samoletov grazhdanskoj aviacii* [Method improvement for determining the technical level of civil aircraft]. *Nauchny Vestnik MGTU GA* [Civil Aviation High Technologies]. 2016, Vol. 19, No. 6, pp. 24–34. (in Russian)

9. Katyrev I.Ya., Nejmark M.S., Sheinin V.M. and others. *Proektirovanie grazhdanskih samoletov: Teorija i metody* [Design of civil aircraft: theory and methods]. Ed. by Novozhilov G.V. Moscow, Mechanical Engineering, 1991, 672 p. (in Russian)

10. Shejnin V.M., Kozlovskij V.I. *Vesovoe proektirovanie i jeffektivnost' passazhirskih samoletov. T. 2. Raschet centrovki i momentov inercii samoleta. Vesovoj analiz* [Weight design and passenger aircraft efficiency. Vol. 2. Airplane center of gravity and moment of inertia calculation. Weight analysis] Moscow, Mashinostroenie publ., 1977, 208 p. (in Russian)

11. Boeing 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. Minor Updates, September 2013. URL: <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737.pdf> (accessed: 17.05.2017).

12. Boeing 737 MAX Airplane Characteristics for Airport Planning. Revision A, August 2017. URL: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737MAX_RevA.pdf (accessed: 12.09.2017).

13. A319 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A319_May17.pdf (accessed: 17.05.2017).

14. A320 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A320_May17.pdf (accessed: 17.05.2017).

15. A321 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning. Rev.: May 01/17. URL: http://www.aircraft.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A321_May17.pdf (accessed: 17.05.2017).

16. *Proektirovanie samoletov* [Design of aircraft]. Ed. By S.M. Eger. Moscow, Mashinostroenie publ., 1983, 616 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Efimov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Aircraft Aerodynamics, Structures and Strength Chair of Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.

Konstantin O. Chernigin, Assistant Professor of Aircraft Aerodynamics, Structures and Strength Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.

Поступила в редакцию
Принята в печать

30.11.2017
28.12.2017

Received
Accepted for publication

30.11.2017
28.12.2017