

УДК 629.73.

Е.Ю. ХИТРОВА, В.И. РЯБКОВ, Ю.В. БАБЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИЙ АДМИНИСТРАТИВНЫХ САМОЛЕТОВ НА ЭТАПЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предложены расчетные модели по оценке стоимости жизненного цикла модификаций административного самолета с учетом регламентированной величины технического и календарного ресурсов, наряду с традиционно определяемыми параметрами конкурентоспособности, такими как рейсовая производительность, топливная эффективность, себестоимость перевозок. Показано, что стоимость жизненного цикла является суммарным параметром полных затрат, осуществляемых при проектировании, производстве и в период эксплуатации самолета. Численно затраты на весь жизненный цикл в несколько раз превосходят стоимость самолета, а принимаемые в предэскизном проектировании технические параметры существенно изменяют этот экономический показатель.

Ключевые слова: модификации административных самолетов, стоимость жизненного цикла, аэродром, взлетно-посадочная полоса, конкурентоспособность, себестоимость перевозок.

Введение

Самолеты транспортной категории, именуемые как административные, в последнее время получили широкое распространение. Среди современных летающих аппаратов такого назначения можно привести такие, как BAe12-5 series 800, Cessna model 650, Citation3, Cessna Model 560 Citation5, IAI 1125 Astra, Beechcraft model 400A (Beechjet), Mustere-Falkon-900, Ил-108, Як-48, MYSTERE-FALCON 100, MYSTERE-FALCON 200.

Характерной особенностью приведенных самолетов являются их характеристика “груз – дальность”, т.е. сравнительно небольшая коммерческая нагрузка ($m_{\text{кн}}$) перемещается с большим диапазоном дальностей ($L=1000\dots 5000$ км).

Процесс разработки таких модификаций [1] получил широкое распространение как путь согласования их технических параметров с постоянно изменяющимися требованиями авиаперевозок.

При создании модификаций с увеличенными коммерческой нагрузкой и дальностью полета неизбежно изменяются все их параметры, такие как: характеристика “груз – дальность”, топливная эффективность, эксплуатационные расходы, приходящиеся на час полета и т.п. [2 – 4].

Важной экономической характеристикой самолета транспортной категории является и стоимость его жизненного цикла, которая наряду с вышеназванными параметрами и определяет конкурентоспособность воздушного судна.

Для количественной оценки таких характери-

стик, как “груз – дальность”, топливная эффективность и эксплуатационные расходы, приходящиеся на час полета, существуют оправдавшие себя методики [5, 6], которые позволяют определять их как для базового самолета, так и для его модификаций.

Подходы же к оценке жизненного цикла на ранней стадии проектирования самолета только формируются [7] и расчетных моделей по определению этой величины пока не существует.

Постановка задачи

Как уже говорилось, административные самолеты относятся к категории транспортных самолетов, критериями эффективности которых выступают вышеназванные технико-экономические показатели.

С помощью таких критериев можно оценивать и административные самолеты на этапе их поверочных расчетов, когда все основные параметры самолета уже известны. Однако на этапе выбора параметров модификаций, когда целый ряд параметров самолета предстоит найти, сравнение эффективности возможных модификаций можно осуществлять на основе более интегральных характеристик, таких как стоимость жизненного цикла, стоимость рейса и их относительным величинам.

Решение поставленной задачи

Одним из методов определения стоимости жизненного цикла, базового самолета и его модифи-

кацией, может быть нахождение этой интегральной характеристики по заявленному ресурсу.

Для современных самолетов транспортной категории ресурс, т.е. срок службы от начала эксплуатации самолета до его списания, задается в летных часах.

Этот технический параметр закладывается в нормы проектирования, производства и эксплуатации самолета, является нормированной величиной, и оказывают существенное влияние на все технико-экономические показатели самолета, в том числе и на конкурентоспособность.

Если при этом известны часовые расходы, то стоимость жизненного цикла самолета можно определить по выражению:

$$C_{ж.ц.}^ч = A \cdot T_ч \quad (1)$$

где A – расходы, приходящиеся на один час полета;

$T_ч$ – амортизационный срок службы самолета в летных часах.

Если же амортизационный срок задан в календарном времени, то:

$$C_{ж.ц.}^ч = A \cdot V_г \cdot T_г \quad (2)$$

где $V_г$ – годовой налет самолета в часах;

$T_г$ – календарный срок службы в годах.

В обе эти зависимости (1) и (2) входит важный стоимостной параметр – часовые затраты A , которые могут быть найдены на основе использования приведенной себестоимости:

$$A = a \cdot k_{ком} \cdot m_{к.н} \cdot V_p \quad (3)$$

где a – себестоимость перевозки 1 т груза на 1 км пути;

$k_{ком}$ – коэффициент коммерческой загрузки самолета;

$m_{к.н}$ – масса коммерческой нагрузки;

V_p – рейсовая скорость самолета.

При оценке годового налета часов ($V_г$) следует воспользоваться статистическими зависимостями, позволяющими дифференцировать налет по дальности полета самолета L , что важно при сравнительной экономической оценке различных вариантов модификаций. Годовой налет часов рекомендуется [3] определять по зависимостям, связанным с дальностью полета модификаций:

– для среднемагистрального самолета:

$$V_г = 455 \ln(L) - 1884; \quad (4)$$

– для ближнемагистрального самолета:

$$V_г = 656 \ln(L) - 2800. \quad (5)$$

Расчетная дальность (L) в этих зависимостях рассматривается как средневзвешенная дальность перевозок за год.

С помощью выражения (1)–(2) стоимость жизненного цикла модификаций может быть оценена при переменных значениях коммерческой нагрузки $m_{к.н}$ и дальности ее перевозки – L , что является основной целью создания модификации.

При изменении этих величин, естественно, изменяются и все другие технические параметры модификации, которые могут быть оценены с учетом известных [8] выражений:

$$m_{к.н} = m_0 - m_{пс} - m_т, \quad (6)$$

где $m_{пс}$ – масса пустого самолета;

$m_{к.н}$ – масса коммерческой нагрузки;

m_0 – взлетная масса самолета;

$m_т$ – масса топлива.

Величина дальности L также взаимосвязана с общими параметрами самолета.

$$L = \frac{KV_{крейс}}{C_R} \ln \frac{1}{1 - \bar{m}_т}, \quad (7)$$

где C_R – расход топлива;

K – аэродинамическое качество;

$V_{крейс}$ – крейсерская скорость полета;

$\bar{m}_т$ – относительная масса топлива.

Таким образом, система уравнений (6) и (7) предопределяет связь параметров $m_{к.н}$ и L с общими параметрами самолета.

$$\begin{cases} m_{к.н} = m_0 - m_{пс} - m_т \\ L = \frac{KV_{крейс}}{C_R} \ln \frac{1}{1 - \bar{m}_т} \end{cases} \quad (8)$$

Изменение параметров конкурентоспособности базового самолета и его модификаций с учетом стоимости жизненного цикла проанализируем на примере базового административного самолета с числом пассажиров 10 чел (рис. 1).

Модификационные изменения в этом самолете осуществлены из-за увеличения числа пассажиров до 22 человек и дальности с 2000 км до 4000 км путем увеличения длины фюзеляжа, в результате чего получены следующие параметры модификаций (табл. 1).

С учетом таких изменений, по методике изложенной в [3], для всех модификаций данного самолета построены характеристики „груз-дальность” (рис. 2).

Весьма важным технико-экономическим параметром самолетов транспортной категории является показатель топливной эффективности, поскольку стоимость топлива занимает наиболее значимое место в эксплуатационных расходах.

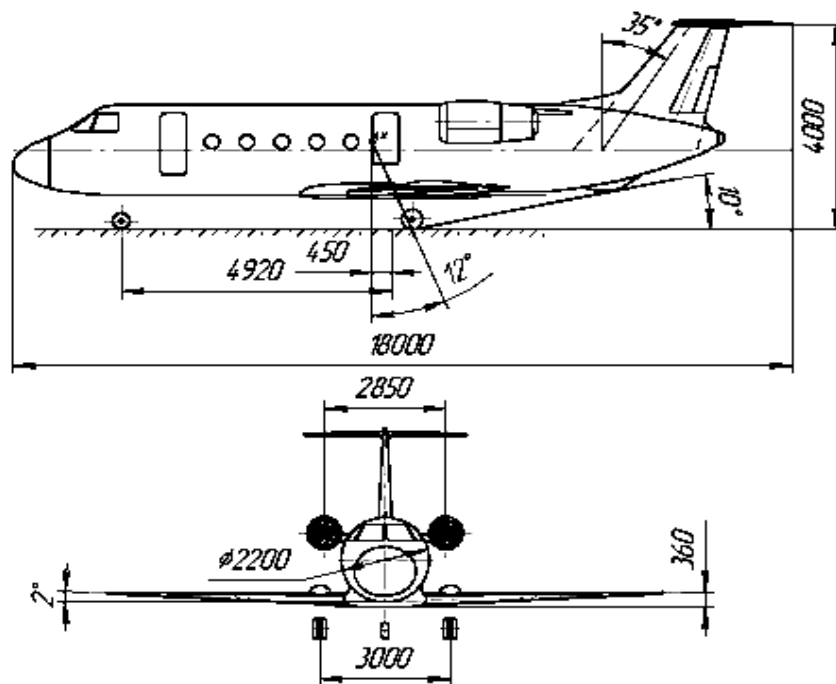


Рис. 1. Административный самолет на 10 пассажиров

Таблица 1

Значения основных параметров базового самолета и его модификаций

Параметры модификации	Число пассаж., чел.	Взлетная масса, кг	Масса ком. нагрузки, кг	Дальность полета, км	Тип двигателей
Базовый самолет	10	6360	1200	2000	WWR(USA) «JT15D-5»
Первая модификация	10	6898	1200	3000	WWR(USA) «JT15D-5»
Вторая модификация	10	7470	1200	4000	WWR(USA) «JT15D-5»
Третья модификация	20	5760	2400	1330	WWR(USA) «JT15D-5»
Четвертая модификация	20	6260	2400	1620	WWR(USA) «JT15D-5»
Пятая модификация	22	7200	2640	2000	WWR(USA) «JT15D-5»

Специфика применения такой методики для рассматриваемых модификаций состоит лишь в том, что для таких случаев следует учитывать взаимосвязь массы топлива и массы коммерческой нагрузки из соотношения

$$m_T = m_{пн} - m_{кн},$$

т.е. потребная масса топлива определяется не только величиной полезной нагрузки $m_{пн}$, но и изменением числа пассажиров в каждой из модификаций.

Расчеты топливной эффективности [9] $q_{топ}$, т.е. расхода топлива на 1 пассажира при его перевозке на 1 км, показывают, что этот параметр в мо-

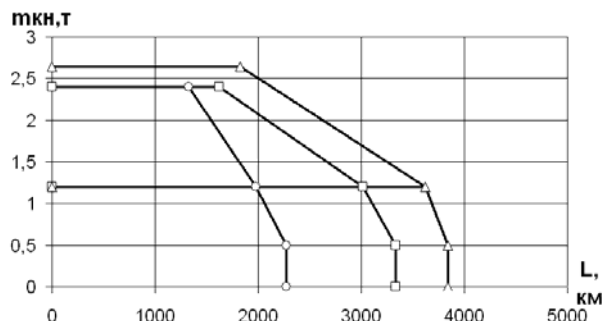


Рис. 2. Диаграмма “груз – дальность” модификаций административного самолета:
 —●— базовый самолет и 3-я модификация;
 —□— 1-я и 4-я модификации;
 —△— 2-я и 5-я модификации

дификациях, в которых число пассажиров не изменяется, снижается монотонно.

А в модификациях, где изменяется и дальность, и число пассажиров, он возрастает существенно (рис. 3).

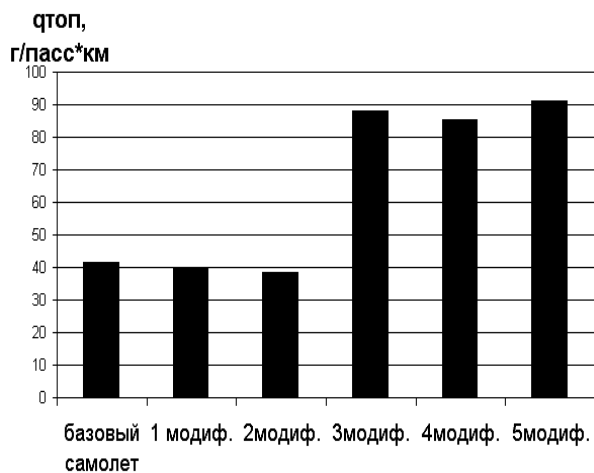


Рис. 3. Топливная эффективность базового самолета и его модификаций

Как следует из приведенных данных, топливная эффективность первых двух модификаций примерно равна такому же параметру базового самолета, тогда как эта характеристика у третьей, четвертой и пятой модификаций самолета, которые должны перевозить большее число пассажиров, но на меньшее расстояние, существенно ухудшается.

Произведенное моделирование характеристик рейсовой производительности (рис. 2) и топливной эффективности (рис. 3) позволяет осуществить переход к определению стоимостных показателей рассматриваемых модификаций [5].

Самой распространенной стоимостной характеристикой самолета принятой в ИКАО является себестоимости перевозок (а), результаты расчетов которых приведены на рис. 4. Как следует из приведенных данных, себестоимости перевозок модификаций снижается по отношению к базовому варианту.

Другой важной стоимостной характеристикой самолета являются эксплуатационные расходы, приходящие на один час полета $C_{чп}$ [10].

Анализ данных приведенных на рис. 5, показывает, что часовые расходы первой и второй модификаций примерно равны и несколько ниже, чем у базового самолета, тогда как третья, четвертая и пятая модификации по этому параметру намного выше, чем базовый вариант.

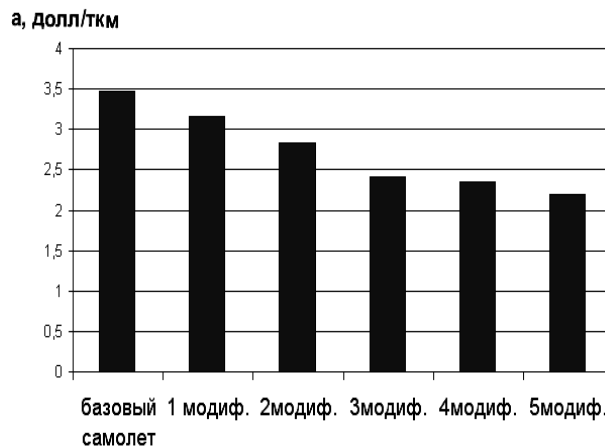


Рис. 4. Себестоимость перевозки одной тонны груза на один километр при различных вариантах модификации административного самолета

Произведенное моделирование характеристик рейсовой производительности (рис. 2) и топливной эффективности (рис. 3) позволяет осуществить переход к определению стоимостных показателей рассматриваемых модификаций [5].

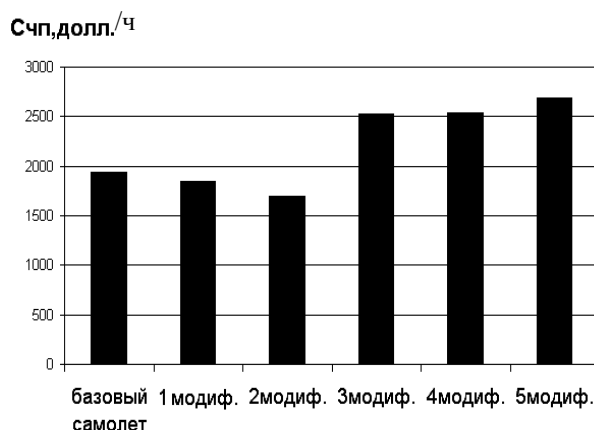


Рис. 5. Эксплуатационные расходы, приходящиеся на один час полета при различных вариантах модификации административного самолета

Сопоставление стоимостных характеристик, приведенных на рис. 4 и рис. 5, не дает однозначного ответа об экономической целесообразности того или иного варианта модификации.

Более определенный ответ можно получить, если рассматривать эти модификации по величине стоимости их жизненного цикла, как интегральной экономической характеристике (рис. 6).

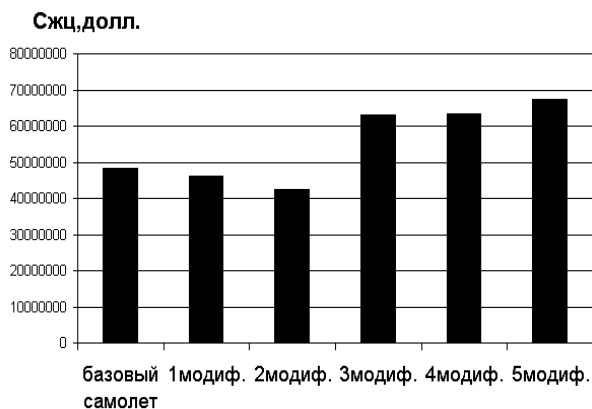


Рис. 6. Стоимость жизненного цикла административного самолета $C_{ж.ц.}^T$ при календарном ресурсе 25000 летных часов

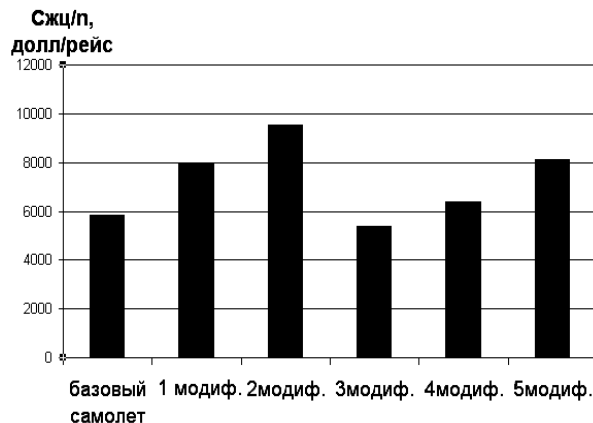


Рис. 7. Удельная величина полной стоимости жизненного цикла, приходящаяся на один рейс

Выводы

В работе, наряду с традиционно определяемыми параметрами конкурентоспособности, такими как рейсовая производительность, топливная эффективность, себестоимость перевозок, предложены расчетные модели по оценке стоимости жизненного цикла модификаций административного самолета с учетом регламентированной величины технического и календарного ресурса.

Анализируя суммарные затраты за весь жизненный цикл, следует отметить, что они в несколько раз превышают стоимость самого самолета.

Показано, что стоимость жизненного цикла является суммарным параметром полных затрат, осуществляемых при проектировании, производстве и в период эксплуатации самолета.

Численно затраты на весь жизненный цикл в несколько раз превосходят стоимость самолета, а принимаемые в предэскизном проектировании технические параметры существенно изменяют этот экономический показатель.

Определение стоимости жизненного цикла позволяет количественно оценить не только абсолютную, но и относительную величину этого параметра для каждой из рассматриваемых модификаций в зависимости, например, от совершаемых рейсовых полетов (рис. 7).

Как видно из приведенных значений по удельному стоимостному показателю, модификации также отличаются друг от друга, и это дает основание включать его в характеристику конкурентоспособности модификаций самолетов транспортной категории.

В работе впервые получены предпосылки к оценке удельного параметра – стоимости жизненного цикла, отнесенной к числу рейсов совершаемых самолетом за весь жизненный цикл. Этот интегральный параметр позволяет на этапе разработки модификаций административных самолетов назначать его технические параметры с учетом затрат эксплуатирующих авиакомпаний на конкретных рейсах.

Литература

1. Шейнин В.М. Роль модификаций в развитии авиационной техники / В.М. Шейнин, В.М. Макаров. – М.: Наука, 1983. – 226 с.
2. Саркисян С.А. Экономическая оценка летательных аппаратов / С.А. Саркисян, Э.С. Минав. – М.: Машиностроение, 1972. – 180 с.
3. Бадягин А.А. Проектирование пассажирских самолетов с учетом экономики эксплуатации / А.А. Бадягин, Е.А. Овруцкий – М.: Машиностроение, 1964. – 295 с.
4. Томашкевич Д.Л. Конструкция и экономика самолета / Д.Л. Томашкевич. – М.: Оборонгиз, 1960. – 202 с.
5. Временная методика сравнительной экономической оценки транспортных самолетов (МЭО-82) ГосНИИГА – М.: Воздушный транспорт. 1984. – 103 с.
6. Божко Д.В. Особенности формирования структуры подготовки производства высокотехнологичной техники / Д.В. Божко, В.П. Божко // Радиотехнологические и компьютерные системы. – 2007. – № 1(20). – С.82-87.
7. Бабенко Ю.В. Метод управления основными технико-экономическими параметрами самолета на этапе разработки его модификаций / Ю.В. Бабенко // Вісті академії інженерних наук України.

Спеціальний випуск «Машинобудування та прогресивні технології»: Наук.-техн. та громад. часопис Президії АН України; Нац. техн. ун-т України «КПІ» – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – № 3 (30). – С. 121-125.

8. Бадягин А.А. Проектирование самолетов / А.А. Бадягин, С.М. Егер. – М.: Машиностроение, 1972. – 516 с.

9. Андриенко Ю.Г. Особенности расчета топливной эффективности самолетов гражданского назначения как одного из критериев оценки принимаемых решений / Ю.Г. Андриенко // Открытые

информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2002. – Вып. 14. – С. 41-47.

10. Константинов Ю.С. Технично-економическое обоснование конструкции самолетов в дипломных проектах: учеб. пособие / Ю.С. Константинов, Е.И. Попов, В.А. Пильщиков; Мин-во образования и науки Украин, Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 1986. – 58 с.

Поступила в редакцию 3.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. зав. каф. финансов В.П. Божко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Харьков.

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКАЦІЙ АДМІНІСТРАТИВНИХ ЛІТАКІВ НА ЕТАПІ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ

О.Ю. Хитрова, В.І. Рябков, Ю.В. Бабенко

Наведено розрахункові моделі для оцінювання вартості життєвого циклу модифікацій адміністративного літака з урахуванням регламентної величини технічного та календарного ресурсу, наряду з параметрами конкурентоспроможності, що традиційно винаходять, такими як рейсова продуктивність, паливна ефективність, собівартість перевезу. Показано, що вартість життєвого циклу є підсумованим параметром повних затрат, що здійснюються при проектуванні, виробництві та в період експлуатації літака. Чисельно витрати на вест життєвий цикл в кілька разів вищий за вартість літака, а технічні параметри, що приймаються в попередньоескізному проектуванні, значно змінюють цей економічний показник

Ключові слова: модифікації адміністративних літаків, вартість життєвого циклу, аеродром, злітно-посадочна полоса, конкурентоспроможність, собівартість перевезу

FEATURES OF THE ESTIMATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF MODIFICATIONS OF EXECUTIVE AIRPLANES AT THE STAGE OF THEIR DESIGNING

H.U. Hitrova, V.I. Rjabkov, U.V. Babenko

Calculated models for estimation of life cycle cost of modifications of executive airplane in view of specified value of technical and calendar resources, alongside with traditionally determined parameters of competitiveness, such as, trip productivity, fuel efficiency, cost of transportations, are offered. It is shown, that life cycle cost is summary parameter of the full costs which are carried out at designing, manufacture and during operation of an airplane. Numerically cost for all life cycle in some times surpasses cost of the airplane; and technical parameters accepted in preoutline designing essentially change this economic parameter.

Key words: modification of executive airplanes, life cycle cost, airfield, runway, competitiveness, cost of transportations

Хитрова Елена Юрьевна – студентка 6 курса факультета самолетостроения Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Рябков Виктор Иванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры проектирования самолетов и вертолетов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Харьков.

Бабенко Юлия Викторовна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры финансов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.