

УДК 629.138.6.007.12

**Ю. В. БАБЕНКО***Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

## **ПОНЯТИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ЗА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ**

*В задачах оценки эффективности модификационных изменений в самолетах транспортной категории модификационные параметры оказывают влияние на рейсовую производительность, на себестоимость авиаперевозок и другие показатели эффективности. С учетом этого обстоятельства они названы управляющими параметрами верхнего и нижнего уровней. Предложено такое их ранжирование: если модифицируемый параметр приводит к изменению стартовой массы самолета, он отнесен к управляющим параметрам верхнего уровня; если изменение модифицируемого параметра не приводит к изменению стартовой массы - это параметр нижнего уровня. Установлено, что эффективность параметров верхнего уровня может быть оценена по критерию удельных затрат за жизненный цикл, а эффективность модификации параметров нижнего уровня по удельной величине трудозатрат на его реализацию. С учетом временного интервала разработки модификаций получены зависимости по оценке изменения управляющих параметров в течение жизненного цикла самолета как типа.*

**Ключевые слова:** модификации самолетов, управляющие параметры, прогностическая модель, эффективность.

### **Введение**

Модификации разрабатываются на основе уже созданных и положительно зарекомендовавших себя в эксплуатации базовых самолетов [6].

При этом модификационным изменениям могут подвергаться основные параметры самолета, отдельные агрегаты, а также узлы и детали, что непременно сказывается, в том числе, и на стоимостной эффективности модификации.

Особую важность такой подход к оценке эффективности приобретает при создании модификаций самолетов рассматриваемого типа, когда необходимо в максимальной степени сохранить лучшие качества базового варианта и вместе с тем создать самолет-модификацию, отвечающий требованиям времени.

Каким же путем можно реализовать такой подход?

Поскольку все основные технико-экономические показатели самолета, характерные для процесса эксплуатации, закладываются на этапе его проектирования, то ответ на поставленный вопрос находится в плоскости выбора параметров модификации на этапе ее разработки.

К параметрам такого рода [2] относится, прежде всего, характеристика «груз – дальность», которая предопределяет основную особенность модификации и оказывает решающее влияние на ее экономические показатели. Наряду с ней заявленный ресурс модифи-

кации, ее силовая установка и т. п., по сути дела, управляют затратами на жизненный цикл (ЖЦ), отсюда и их название – управляющие параметры.

Безусловно, степень их влияния на затраты по этапам жизненного цикла различна. Модификация одних сказывается на изменении затрат на всех этапах жизненного цикла и полностью предопределяет стоимость ЖЦ, тогда как изменение других уменьшает трудозатраты в процессе производства с целью снижения стоимости самолета как одной из составляющих стоимости жизненного цикла.

Следует отметить, что значения управляющих параметров не являются постоянными величинами и в течение ЖЦ претерпевают изменения, в особенности в модификациях, разрабатываемых с существенным временным интервалом.

### **Постановка задачи**

Предложить модель ранжирования модифицируемых (управляющих) параметров по уровню их влияния на стоимостные показатели модификаций, а также разработать прогностическую оценку изменения этих параметров в процессе жизненного цикла модификаций.

### **Решение поставленной задачи**

На эффективность модификаций оказывают влияние изменения любых параметров [3], от наиболее общих до модифицируемых параметров от-

дельных узлов (рис. 1), однако их влияние, естественно, отличается по сумме затрат. Отсюда возникает потребность в их ранжировании.

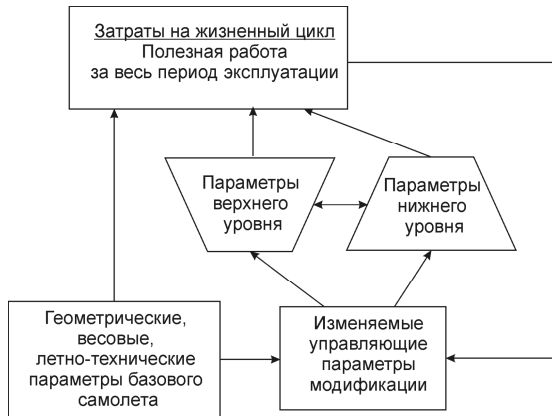


Рис. 1. Управляющие (модифицируемые) параметры в оценке эффективности модификаций самолетов транспортной категории

Опыт показывает, что в такой задаче следует принимать ограниченное число (около 10) наиболее существенных характеристик объекта оценки. При избыточной номенклатуре (что характерно для сложных технических систем) имеется опасность «растворения» главных показателей в обилии второстепенных. В ряде случаев большое число показателей (более 30 – 40) создает только видимость точного решения, что приводит к многократному возрастанию сложности расчетов.

В таком подходе масса модификации  $m_0$  играет роль основного связующего звена между технико-экономическими параметрами, что дает основание по степени изменения  $m_0$  ранжировать другие параметры на параметры верхнего и нижнего уровней:

- если изменение параметра приводит к изменению стартовой массы ( $m^M > m^B$ ) модификации, такой параметр относится к управляющим параметрам верхнего уровня;

- если изменение параметра не приводит к изменению стартовой массы ( $m^M = m^B$ ), а условие весового существования модификации реализуется путем изменения коммерческой нагрузки  $\pm m_{к.н}$  - он относится к управляющим параметрам нижнего уровня.

В табл. 1 приведены некоторые управляющие параметры верхнего и нижнего уровней, оказывающие существенное влияние на изменение эффективности.

Эти и некоторые другие параметры оказывают наибольшее влияние на эффективность модификаций, а в данной работе они получили статус параметров, управляющих затратами за жизненный цикл самолета как транспортного средства.

#### Прогностическая модель изменения управляющих параметров за жизненный цикл

Достаточно длительный жизненный цикл самолета транспортной категории (40...50 лет) делает задачу выбора параметров модификации по существу прогностической [2, 3]. Каждый последующий проект, особенно если речь идет о фазах жизненного цикла – это очередной шаг научно-технического прогресса, и по многим параметрам он должен обладать технико-экономическими показателями эффективности, превышающими предыдущий вариант. Поэтому совершенствование методов прогнозирования эффективности модификаций на длительный временной период является весьма актуальной и сложной научной проблемой.

Таблица 1

Управляющие параметры в задачах оценки эффективности самолетов транспортной категории

а) управляющие параметры верхнего уровня ( $m_0^M > m_0^B$ )	
$m_{к.н} L_{max}$	Рейсовая производительность модификации
T	Заявленный ресурс
A	Стоимость одного часа авиаперевозок
a'	Себестоимость перевозки 1 т груза на 1 км
$V_{крейс}$	Крейсерская скорость
$L_{ВПП}$	Потребная длина взлетно-посадочной полосы
ТВД, ТРД	Тип силовой установки и ее мощность
б) управляющие параметры нижнего уровня ( $m_0^M = m_0^B$ )	
$m_0^M = m_0^B$ ; $\pm \Delta m_{к.н}$	Унификация конструктивов модификации и базового самолета
	Коммерческое сезонное переоборудование пассажирского салона
	Обеспечение годового налета часов
	Обеспечение долговечности отдельных низкоресурсных узлов
	Повышение надежности путем уменьшения потока отказов

Диалектически эта задача двойственна. С точки зрения взгляда в перспективу возможности достижения тех или иных значений свойств и качеств, т. е. уровня научно-технического прогресса, она вероятностна. С точки зрения реализации конкретного проекта на заданные ТЭТ и с заданной эффективностью она должна быть детерминированной. Решение таких задач базируется на совокупности методов экспертных оценок, а также логистических моделях прогноза вида

$$\begin{cases} dP_i = A (1 - \bar{P}_T) dC, \\ dC = B t^n dt, \end{cases} \quad (1)$$

где  $dP_i$  – приращение управляющего параметра на прогнозируемый отрезок времени;

$dC$  – приращение вкладываемых в научно-технический прогресс затрат, выражаемых в трудозатратах, стоимости и т. п.;

$\bar{P}_T$  – предельное, теоретически возможное или ограничиваемое альтернативными решениями значение параметра;

$A$  и  $B$  – статистические постоянные коэффициенты;

$t$  – время прогноза.

Следует заметить, что логические модели не могут учесть крупных «революционных» сдвигов, связанных с появлением радикальных изобретений, но хорошо отражают реальный процесс влияния на технический прогресс потока относительно «мелких» усовершенствований.

С учетом приведенных моделей для сравнения модификаций, созданных в разное время, введем коэффициент пропорциональности, учитывающий сумму требований,  $\beta$ .

Рассмотрим переменную составляющую условия существования модификаций в поле массовых характеристик, т.е. массу пустого самолета  $m_{п.с}$  представим в виде зависимости

$$m_{п.с} = \beta \frac{m_0^{3/2}}{p_0}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности;

$p_0$  – удельная нагрузка на крыло, (т/км<sup>2</sup>).

Степень 3/2 отображает объективную закономерность «квадрата – куба», согласно которой прочность растет пропорционально квадрату размеров модификаций, а масса – пропорционально их кубу.

Следует отметить, что коэффициент пропорциональности  $\beta$ , входящий в выражение (2), отражает сумму технико-экономических требований (ТЭТ):

$$\beta = f(\text{ТЭТ}). \quad (3)$$

Кроме того, применительно к модификациям этот коэффициент призван учитывать прогноз изменения этих ТЭТ за жизненный цикл  $\beta(\Delta t)$ . С учетом приведенных соображений зависимость (2) преобразовывается к виду

$$\bar{m}_{п.с} = \beta(\text{ТЭТ}, \Delta t) \frac{m_0^{1/2}}{p_0}. \quad (4)$$

Это выражение справедливо для любых типов самолетов. Привязка его к определенному виду самолета осуществляется с помощью коэффициента  $\beta$ , который условно может быть назван «коэффициентом требований - совершенства» и определяет как уровень требований к конструкции, так и уровень её технического совершенства (технология, материалы, уровень проектирования и т. п.).

Кроме того, применительно к модификациям этот коэффициент призван учитывать прогноз изменения этих ТЭТ, которые являются различными для модификаций, создаваемых в разное время. Поэтому выражение (2) следует преобразовать к виду

$$\bar{m}_{п.с} = \left( \sum \text{ТЭТ}, \Delta t \right) \frac{m_0^{2/3}}{p_0}, \quad (5)$$

где  $\sum \text{ТЭТ}$  – сумма технико-экономических требований, предъявляемых к модификации в момент её создания;

$\Delta t$  – отрезок времени между модификациями последующего уровня.

Коэффициент  $\beta$  является функцией типа самолета, его размеров (массы) и уровня технического состояния. Анализ развития авиационной техники показывает, что для самолетов транспортной категории зависимость коэффициента  $\beta$  от взлетной массы может быть описана уравнениями [5]

$$\beta = 0,015 \cdot m_0 - 0,025 \quad (6)$$

для диапазона масс  $m_0 \leq 100$  т, и

$$\beta = 0,1 \cdot m_0^{-0,4} \quad (7)$$

для диапазона масс  $m_0 > 100$  т.

Изменение коэффициента  $\beta$  во времени (развитие технологии, материаловедения, совершенствование техники проектирования и т. п.) может быть принято в первом приближении:

$$\beta_{t+\Delta t} = k\beta_t = (1 - \alpha\Delta t)\beta_t, \quad (8)$$

где  $\beta_t$  – коэффициент требований совершенства на момент создания модификации;

$\beta_{t+\Delta t}$  – коэффициент требований совершенства модификации последующего поколения.

$$k = 1 - \alpha \cdot \Delta t, \quad (9)$$

где  $\alpha = 0,0031$  (1/год);

$\Delta t$  - рассматриваемый период перспективы в годах.

С учетом приведенных соотношений прогностическая модель апробирована на примере модификации транспортного самолета (изменение показателей их эффективности, такой как  $m_{к.н} = f(L)$ , рейсовой производительности  $m_{к.н}L$  в функции дальности  $L$ ) с разницей в создании модификации в 17 лет.

Точечная оценка рейсовой производительности для одной конкретной дальности полета не дает полной картины, т. к. в реальных условиях транспортный самолет выполняет полеты во всем диапазоне дальностей. Для более точной оценки измерений транспортной эффективности управляющие параметры необходимо рассматривать во всем диапазоне заданных дальностей и с учетом времени их создания.

При таком подходе «нормируем» диаграмму «груз – дальность», введя следующие понятия:

- относительная масса коммерческой нагрузки

$$\bar{m}_{к.н} = \frac{m_{к.н}}{m_0} = \bar{m}_{к.н}(L); \quad (10)$$

- удельная дальность полета

$$\bar{L} = \frac{L}{KV/C_R} = \ln \frac{1}{1 - m_{к.н}}. \quad (11)$$

С учетом таких преобразований диаграммы «груз – дальность» модификаций, созданных с интервалом времени в 17 лет, будут выглядеть, как показано на рис. 2.

Очевидно, что по относительной величине коммерческой нагрузки и, в особенности, по рейсовой производительности модификация превосходит свой базовый вариант на существенные величины в относительных параметрах.

Необходимо отметить, что, хотя эти зависимости в значительной степени индивидуальны для конкретных самолетов и даже для конкретных конструкторских бюро, тем не менее, они дают возможность прогнозировать закономерности изменения управляющих параметров модификаций не только для этапа их разработки, но и с учетом временного фактора, т. е. их влияния на весь период их жизненного цикла.

## Выводы

1. При решении задач по оценке эффективности модификаций самолетов транспортной категории модифицируемые параметры ранжированы по двум уровням:

- если изменение **модифицируемого** параметра приводит к изменению стартовой массы самолета, такой параметр отнесен к верхнему уровню;

- если изменение **модифицируемого** параметра не приводит к изменению стартовой массы самолета, а весовое существование обеспечивается за счет изменения коммерческой нагрузки, это параметр нижнего уровня.

2. Поскольку календарный жизненный цикл самолетов транспортной категории достигает 40...50 лет, в работе представлена прогностическая модель оценки изменения управляющих параметров модификаций, разрабатываемых с существенным временным интервалом.

На примере транспортного самолета показано, как изменяются его управляющие параметры, такие как относительная величина коммерческой нагрузки и рейсовая производительность, при разработке модификаций с семнадцатилетним временным интервалом.

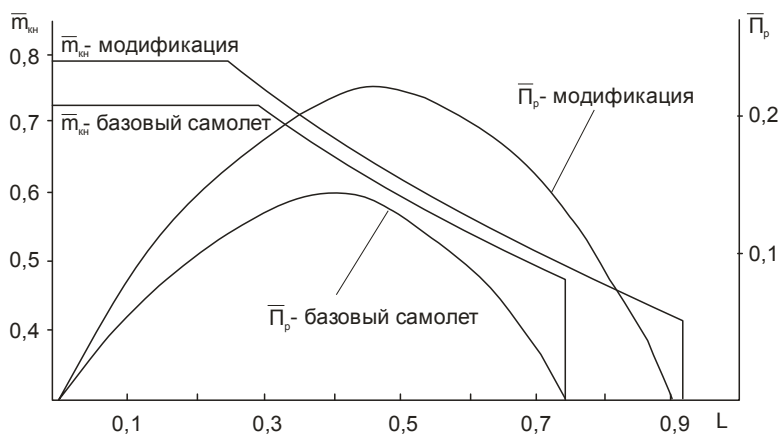


Рис. 2. Изменение управляющих параметров модификаций транспортного самолета, созданных с разницей во времени в 17 лет:

$\bar{m}_{к.н}(\bar{L})$  – относительная величина коммерческой нагрузки;  $\bar{P}_r(\bar{L})$  – рейсовая производительность

## Литература

1. Володин, С. В. Влияние временного фактора на результативность и эффективность проектов [Текст] : сб. науч. тр. / С. В. Володин // Современный менеджмент: проблемы, гипотезы, исследования. – М. : Изд. дом ВШЭ, 2011. – Вып. 3, Ч. 1. – С. 344–354.

2. Жук, К.Д. Прогностический анализ объектов новой техники и технологии в задачах системного проектирования [Текст] / К. Д. Жук, О. С. Кроль, А. А. Тимченко. – К.: 1984. – 27 с.

3. Клочков, В. В. Прогнозирование экономической эффективности создания новых видов скоростного пассажирского транспорта [Текст] /

В. В. Клочков, М. В. Нижник, А. Л. Русанова. – Проблемы прогнозирования. – 2009. – № 3. – С. 58–76.

4. Припадчев, А. Д. Основные летно-технические показатели воздушного судна и условия сопоставимости при экономической оценке [Текст] / А. Д. Припадчев, А. В. Гальченко, В. А. Тегин. // Современные проблемы науки и образования. – М., 2009. – № 4. – С. 134–137.

5. Толмачев, В. И. Анализ и синтез массовых характеристик тяжелых транспортных самолетов в процессе создания [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Толмачев Виктор Ильич. – Х., 1990. – 68 с.

6. Шейнин, В. М. Роль модификаций в развитии авиационной техники [Текст] / В. М. Шейнин, В. М. Макаров. – М. : Наука, 1983. – 226 с.

Поступила в редакцию 08.06.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2015

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

## ПОНЯТТЯ КЕРУЮЧИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗАДАЧАХ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКАЦІЙ І ПРОГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ЇХ ЗМІНИ ЗА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ

*Ю. В. Бабенко*

У завданнях оцінки ефективності модифікаційних змін в літаках транспортної категорії модифікаційні параметри впливають на рейсову продуктивність, на собівартість авіаперевезень та інші показники ефективності. З урахуванням цієї обставини вони названі керуючими параметрами верхнього і нижнього рівнів. Запропоновано таке їх ранжування; якщо параметр, що модифікується, приводить до зміни стартової маси літака, він віднесений до керуючих параметрів верхнього рівня; якщо зміна модифікованого параметра не призводить до зміни стартової маси - це параметр нижнього рівня. Встановлено, що ефективність параметрів верхнього рівня може бути оцінена за критерієм питомих витрат за життєвий цикл, а ефективність модифікацій параметрів нижнього рівня за питомою величиною трудовитрат на його реалізацію. З урахуванням тимчасового інтервалу розробки модифікацій отримано залежності по оцінці зміни керуючих параметрів протягом життєвого циклу літака як типу.

**Ключові слова:** модифікації літаків, керуючі параметри, прогностична модель, ефективність.

## THE CONCEPT OF CONTROL PARAMETERS IN PROBLEMS OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF PROGNOSTIC MODELS AND MODIFICATIONS AND CHANGES THAT HAVE OCCURRED OVER THE LIFE CYCLE

*Julia V. Babenko*

As a part of the set tasks concerning the assessment of modification changes in transport category airplanes the modification parameters affect the flight productivity, the cost price of air transportation and other performance indicators. With this in mind, they are called the control parameters of the upper and lower levels. Such kind of rankings is offered. If a modifiable parameter changes the aircraft launching mass, it refers to the control parameters of the top level. If a modifiable parameter does not change the launching mass it is a parameter of the lower level. It is found that the efficiency of the top-level parameters can be estimated by the criterion of the specific expenses within the life-cycle, and the efficiency of modification parameters of the lower level can be assessed by the specific value of labor costs for its realization. Taking into account the time interval for developing modifications some dependence concerning the assessment of change in the control parameters within the life-cycle of the aircraft as a type is obtained.

**Key words:** aircraft modifications, control parameters, the predictive model, the efficiency.

**Бабенко Юлія Вікторівна** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. финансов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: 250blu@mail.ru.