

# Загальні питання

УДК 004.891.629.138.6.001.12

Ю.В. Бабенко, И.В. Шостак, М.А. Данова

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУР «ПРЕЦЕДЕНТ – МОДИФИКАЦИИ» В ПОНЯТИЯХ ИХ СХОДСТВА И ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

При разработке модификаций самолетов транспортной категории сохраняют часть свойств и параметров базовой модели (прецедента), а достижение отличительных признаков модификации осуществляется путем целенаправленного изменения параметров верхнего (УП)<sup>в</sup> и нижнего (УП)<sup>н</sup> уровней. В статье вес (УП)<sup>в</sup> принято считать понятием сходства, а вес (УП)<sup>н</sup> – понятием эквивалентности структуры «прецедент – модификации». На основе такого подхода сформированы множества параметров, характеризующих модификацию в целом, и разработан математический аппарат представления модификаций в понятиях их сходства с базовой моделью.

**Ключевые слова:** модификации самолетов, понятия сходства (толерантности) и эквивалентности, эффективность.

### Введение

Процесс создания и эксплуатации модификаций стал основным путем современного развития самолетов транспортной категории [1].

Такой процесс базируется на ряде фундаментальных положений, признанных разработчиками, и эксплуатантами многих авиакомпаний мира. Его основу составляют многовариантность проектно-конструкторских разработок и многокритериальность оценки различных вариантов по частным критериям эффективности.

Такой подход широко распространен. Однако, как отмечал ведущий отечественный специалист в этой области в ГП «Антонов» Ю. Г. Андриенко [2]: «При критическом использовании существующих

методов принятия решений по частным критериям выявились присущие им существенные недостатки, которые не позволяют реализовать высокие и очень разнообразные требования к разрабатываемым образцам авиационной техники без значительного усовершенствования существующих подходов.

Упомянутые недостатки возникают в том звене принятия решений, которое связано с оценкой эффективности предварительно сформированных вариантов и выбором наиболее эффективного из них».

С учетом этого обстоятельства в последнее время появились исследования [3], позволяющие вести оценку принимаемых решений по показателям и критериям интегральной эффективности в виде моделей:

$$\text{Интегральная эффективность} = \frac{\text{Полные затраты за жизненный цикл}}{\text{Вся полезная работа на этапе эксплуатации}}. \quad (1)$$

Они увязывают между собой интегральные стоимостные затраты за жизненный цикл и всю полезную работу модификации как транспортного средства.

На основе такого подхода предложена методология решения проблемы оценивания эффективности модификаций (рис. 1).

Исходной позицией в предложенном методе является прецедент, находящийся в начале процесса модификационных изменений. В практике создания модификаций самолетов транспортной категории в качестве прецедента обычно принимают уже созданную и прошедшую практику эксплуатации модель.

В основе нового подхода находится принцип декомпозиции модификационных изменений на верхний и нижний уровни. Двухуровневое членение модифи-

кационных изменений базируется на степени их влияния на изменение стартовой массы модификации:

1. Если модификационные изменения приводят к изменению стартовой массы ( $m_0^m > m_0^b$ ), такие параметры отнесены к управляющим параметрам верхнего уровня (УП)<sup>в</sup>, т. е. определяют значения толерантности ( $\tau$ ).

2. В том случае, когда группа модифицируемых параметров не приводит к изменению стартовой массы модификации ( $m_0^m = m_0^b$ ), такая группа отнесена к параметрам нижнего уровня (УП)<sup>н</sup>, т. е. определяет область эквивалентности улучшения одних параметров за счет других.

Иерархия представления эффективности согласно «Методологии...» должна быть дополнена объек-

тами нового информационного ресурса, назначение которых – связать модификационные изменения множеств  $\{(УП)^в$  и  $(УП)_н\}$  с принятыми показате-

лями эффективности, такими, как рейсовая производительность ( $W = m_{к.н} \cdot L$ ) и полные затраты за жизненный цикл, т. е. стоимость жизненного цикла ( $C_{ж.ц}$ ).



Рис. 1. Представление модификационных изменений в процессах оценивания эффективности модификаций самолетов транспортной категории

### Понятия сходства (толерантности) и эквивалентности в оценке эффективности модификаций

Принятая структура объектов, описывающих модификацию, позволила представить её в виде множеств различного уровня, архитектура которых приведена на рис. 2 в виде прецедентно-множественной схемы.

Таким образом, модифицируемый объект предопределяют множества неизменяемых (НП) и модифицируемых параметров верхнего  $(УП)^в$  и нижнего  $(УП)_н$  уровней, множества объектов нового информационного ресурса (НИР) и множества критериев поддержки принятия решений [4] на основных этапах жизненного цикла, которые в совокупности образуют топологию множеств, оценивающих эффективность модификационных изменений.

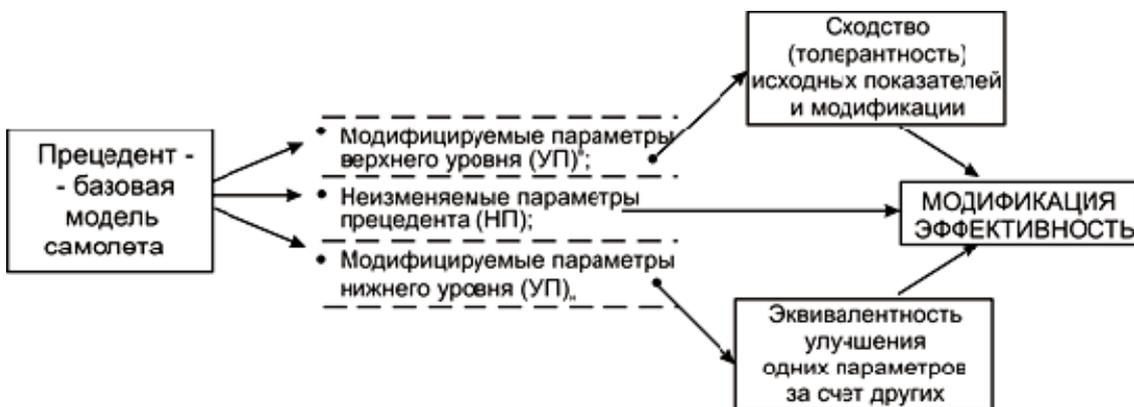


Рис. 2. Архитектура прецедентно-множественного представления эффективности модификационных изменений

В такой постановке потребовалось обосновать нахождение меры сходства прецедента и модификации уже на начальном этапе её создания, используя при этом метод иерархической классификации, поскольку он базируется на процессах разбиения. Существенным преимуществом этого метода является возможность наглядной интерпретации проводимого сравнения.

Применительно к решаемой проблеме в предложенной «Методологии...» (рис. 1) все параметры и свойства расчленены на две большие группы:

- неизменяемые, которые должны сохранить

положительные свойства прецедента (НП);

- изменяемые (модифицируемые) параметры, позволяющие улучшить свойства нового объекта (ИП).

Кроме того, модифицируемые параметры (ИП), в свою очередь, представлены в виде двухуровневой иерархии:

- множество модифицируемых (управляющих) параметров верхнего уровня (УП)<sup>в</sup> и
- множество модифицируемых параметров нижнего уровня (УП)<sub>н</sub> (рис. 3).



Рис. 3. Схема взаимодействия множеств толерантности ( $\tau$ ) и эквивалентности  $\tilde{P}_n^n$  в структуре оценивания эффективности модификационных процессов

Соотношение множества модифицируемых (управляющих) параметров (УП)<sup>в</sup> конкретной модели самолета транспортной категории

$$M_i = \{ (НП), (УП)^в \} \quad (2)$$

называется толерантностью  $\tau_\phi$  (или отношением толерантности), если оно рефлексивно, симметрично и является частью

$$M_i \subset M = \{ (m_{к.н} \cdot L), C_{ж.ц}, \bar{C}_{ж.ц}, a'(УП)_н < a \}, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

множества  $M$  – показателей и критериев интегральной эффективности модификационных изменений.

В такой постановке множество параметров  $M$  с заданным отношением толерантности  $\tau_\phi$  задается парой  $\langle M, \tau \rangle$ , а множества модифицируемых параметров  $M_j$  и  $M_k$  в конкретной модели модификационного ряда ( $M_j \in M, M_k \in M$ ) толерантны, поскольку в области (НП) неизменяемых параметров прецедента они принимают одинаковое значение.

Основные свойства сходства (толерантности) модификационных изменений верхнего уровня:

**Свойство 1.** Отношение толерантности  $\tau_\phi$  всегда симметрично, поскольку

$$\Phi(M_j) \cap \Phi(M_k) = \Phi(M_k) \cap \Phi(M_j). \quad (4)$$

**Свойство 2.** Отношение  $\tau_\phi$  рефлексивно тогда и только тогда, когда соответствие  $\phi$  определено на всем множестве параметров  $M$ . Наличие данного свойства у отношения толерантности  $\tau_\phi$  объясняется тем фактом, что множество  $\Phi(M_j) \cap \Phi(M_k) = \Phi(M_i)$  не пусто для любого  $M_i \in M$ .

**Свойство 3.** Поскольку отображение является всюду определенной функцией, т. е. для любого  $M_i \in M$  в функцию  $\Phi(M_i)$  входят неизменяемые параметры (НП) прецедента, то отношение толерантности  $\tau_\phi$  транзитивно.

Из этих свойств и ряда их следствий вытекает, что процесс оценивания модификационных изменений управляющих параметров верхнего уровня представляется сочетанием множеств:

$$M_i \tau_\phi M_j; M_j \tau_\phi M_k; M_i \tau_\phi M_k.$$

Для сравнения отдельных модификаций модельного ряда по показателям интегральной эффективности сформулирована и доказана теорема о том, что параметры эффективности двух модификаций (т. е. множества  $M$ ) толерантны только в том случае,

когда толерантны их образы в пространстве исходной модели  $S_n$ :

$$\phi: M \rightarrow S_n = \langle M, P_n^n \rangle; (P_n^n \subset S_n), \quad (5)$$

где  $P_n^n$  – отношение толерантности модификаций ряда.

Свойства отношения  $P_n^n$ :

- отношение  $P_n^n$  симметрично, если для любой пары модификаций ряда  $(m_n^{(1)}, m_n^{(2)})$  справедливо:

$$m_n^{(1)} m_n^{(2)} P_n^n \rightarrow m_n^{(2)} m_n^{(1)} P_n^n,$$

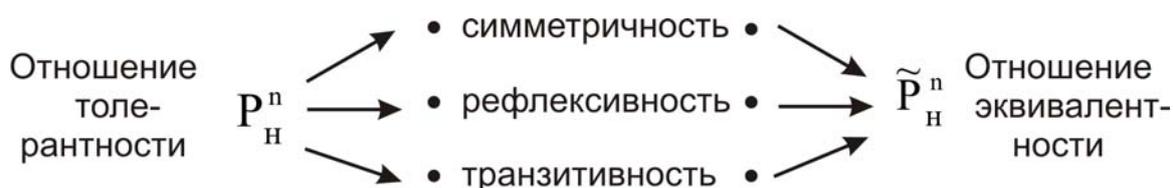
где « $\rightarrow$ » означает импликацию (если...то);

- отношение  $P_n^n$  рефлексивно, если системно выражение  $[m_n^{(i)} m_n^{(i)} P_n^n] = 1$ ;

- отношение  $P_n^n$  транзитивно, когда

$$m_n^{(i)} m_n^{(j)} P_n^n \wedge m_n^{(j)} m_n^{(k)} P_n^n \rightarrow m_n^{(i)} m_n^{(k)} P_n^n, a \ i \in \Omega_n, j \in \Omega_n, k \in \Omega_n, i \neq j.$$

Эквивалентность в сравнительном отображении пары модификаций  $m_n = \{m_n^{(1)}, m_n^{(2)}\}$  определялась на основе свойств толерантности  $P_n^n$ :



При таком подходе определены базовые условия эквивалентности:

$$\begin{aligned} \text{а) } & (m_n^{(1)} m_n^{(1)} \tilde{P}_n^{(n)} = 0) \wedge (m_n^{(2)} m_n^{(2)} \tilde{P}_n^{(n)} = 0); \\ \text{б) } & m_n^{(1)} m_n^{(2)} \tilde{P}_n^{(n)} = m_n^{(2)} m_n^{(1)} \tilde{P}_n^{(n)}; \\ \text{в) } & m_n^{(1)} m_n^{(2)} \tilde{P}_n^{(n)} + m_n^{(2)} m_n^{(3)} \tilde{P}_n^{(n)} \geq m_n^{(1)} m_n^{(3)} \tilde{P}_n^{(n)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $m_n^{(1)} m_n^{(2)} \tilde{P}_n^{(n)}$  – шаг (расстояние, время) между модификациями.

Поскольку понятия сходства и эквивалентности вошли в общую структуру оценивания эффективности модификационных изменений двухуровневой системы, важно определить со свойствами этих понятий и их влиянием на решение прямых и обратных задач (табл. 1).

Из приведенных в этой таблице соотношений следует, что предложенный прецедентно-множественный подход позволяет решать не только прямые задачи оценивания эффективности модификационных изменений параметров верхнего и нижнего уровней, но и обратные, т.е. по детерминированным значениям  $\langle \bar{C}_{ж.ц}, a' \leq a \rangle$  определять необходимый уровень изменения  $(УП)_n^n$ .

Следует отметить, что в предложенную схему входят информационные блоки, которые имеют различную функциональность, в них используются различные типы данных, их компоненты различаются по автономности. Поэтому задача интеграции состоит в преодолении многочисленных проявлений неоднородности.

## Выводы

Предложены формализованные методы оценивания модификационных изменений в самолетах транспортной категории по показателям интегральной эффективности (общей характеристики модификации).

При решении задачи использован прецедентно-множественный подход, предполагающий декомпозицию общей характеристики модификации на: неизменяемые параметры; управляющие параметры верхнего уровня (изменение которых может привести к достижению толерантности); управляющие параметры нижнего уровня, изменение которых предопределяет область эквивалентности улучшения одних параметров за счет других.

Таблица 1

Представление структуры оценивания  
эффективности модификационных изменений в виде множеств

Классы множеств	Множества	Формализованный индекс
Класс показателей и критериев интегральной эффективности	Показатели интегральной эффективности	$M$
	Критерии поддержки принятия решений: - критерий удельных затрат за жизненный цикл; - эквиваленты целесообразности доработок за ЖЦ; - методика принятия решений по тарифам на авиаперевозки.	$\bar{C}_{ж.ц}$ $a' \leq a$
Класс объектов НИР	Объекты нового информационного ресурса (НИР):	
	- модели оценки производительности модификаций с учетом естественных ограничений;	$w$
	- темпоральная модель изменения производительности ЖЦ;	$w(\beta)$
	- результат применения метода оценки стоимости ЖЦ модификации;	$C_{ж.ц}$
Класс модификационных изменений	- результат применения метода принятия решений о целесообразности модификационных изменений в течение ЖЦ	$E(w)$
	Модификационные изменения:	$M_i$
	- модифицируемые (управляющие) параметры верхнего уровня;	$\{(УП)\}^*$
	- модифицируемые параметры нижнего уровня;	$\{(М)_n\}$
Базовый объект, прецедент	Неизменяемые параметры (НП)	$\{НП\}$

Разработано теоретико-множественное описание модификационных изменений параметров отдельной модификации, которое отразило разнообразие и неоднородность природы параметров, входящих в общую характеристику модификации. Показано отображение процесса оценивания эффективности модификационных изменений в понятии сходства отдельных модификаций, представленного мерой толерантности.

Понятие толерантности использовано также для установления эквивалентности между модификациями модельного ряда.

Созданный метод представления эффективности структуры «прецедент-модификации» имеет следующие преимущества в сравнительном оценивании отдельных параметров верхнего и нижнего уровней, а также различных модификаций модельного ряда.

### Список литературы

1. Шейнин В.М. Роль модификаций в развитии авиационной техники [Текст] / В.М. Шейнин, В.М. Макаров. – М.: Наука. – 1983. – 226 с.
2. Андриенко Ю.Г. Метод формирования совокупности технико-экономических характеристик в процедуре выбора проектных решений при разработке транспортных самолетов [Текст] / Ю.Г. Андриенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2002. – Вып. 12. – С. 125-138.
3. Бабенко Ю.В. Методы и критерии поддержки принятия решений при модификационных изменениях самолетов транспортной категории в течение жизненного цикла: моногр. / Ю.В. Бабенко // Публикации междунард. науч. симпозиума «Наука и инновации в современном мире». – Одесса, 2017. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [www.sworld.education](http://www.sworld.education).
4. Еремеев А.П. Поиск решения на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / А.П. Еремеев, П.Р. Варшавский // Известия РАН. Системы поддержки принятия решений, 2005, № 1. – С. 97-109.

## References

1. Sheynin, V.M. and Makarov, V.M. (1983), "Rol' modyfikatsyy v razvytyy avyatsyonnoy tekhniky" [*A role of modifications is in development of aviation technique*], Science, Moscow, 226 p.
2. Andrienko, Yu.G. (2002), "Metod formirovaniya sovokupnosti tekhniko-ekonomicheskikh kharakterystyk v protsedure vбора proektnykh resheny pry razrabotke transportnykh samoletov" [Method of forming of aggregate of technical and economic descriptions in procedure of choice of project decisions at development of sky trucks], *Opened information and computer integrated technologies*, National aerospace university name of N.E. Zhukovskogo «KHAІ», Kharkov, No. 12, pp. 125-138.
3. Babenko, Yu.V. (2017), "Metody y krytery podderzhky prynyatyia resheny pry modyfikatsyonnykh yzmenenyakh samoletov transportnoy katehoryy v techenye zhyznennoho tsykla: monohrafiia" [Methods and criteria of support of making a decision at the modification changes of airplanes a transport category during a life cycle: monohrafiia], *Publication of international scientific symposium «Science and innovations in the modern world»*, it is Odessa, <https://www.sworld.education>.
4. Ereemeev, A.P. and Warsaw, P.R. (2005), "Poysk reshenyia na osnove pretsedentov v yntellektual'nykh systemakh podderzhky prynyatyia resheny" [Search of decision on the basis of precedents in the intellectual systems of support of making a decision], *News of RAN. Systems of support of making a decision*, No. 1, pp. 97-109.

Надійшла до редколегії 28.07.2017

Схвалена до друку 7.09.2017

## Відомості про авторів:

**Бабенко Юлія Вікторівна**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри фінансів Національного аерокосмічного  
університету ім. М.С. Жуковського «ХАІ»,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8624-3318>  
e-mail: 2506lu@mail.ru

**Шостак Ігор Володимирович**

доктор технічних наук,  
професор кафедри інженерії програмного забезпечення  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.С. Жуковського «ХАІ»,  
Харків, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-3051-0488>  
e-mail: iv.shostak@gmail.com

**Данова Марія Олександрівна**

кандидат технічних наук,  
професор кафедри інженерії програмного забезпечення  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.С. Жуковського «ХАІ»,  
Харків, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-8116-8598>  
e-mail: danovamariya@gmail.com

## Information about the authors:

**Babenko Julia**

Candidate of Technical Sciences  
Associate Professor the Department of Finance  
the National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute",  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8624-3318>  
e-mail: 2506lu@mail.ru

**Schostak Igor**

Doctor of Technical Sciences  
Professor of Department of Software  
Engineering of National Aerospace University  
"Kharkiv Aviation Institute",  
Kharkiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-3051-0488>  
e-mail: iv.shostak@gmail.com

**Danova Mariia**

Candidate of Technical Sciences  
Associate Professor of Department of Software  
Engineering of National Aerospace University  
"Kharkiv Aviation Institute",  
Kharkiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-8116-8598>  
e-mail: danovamariya@gmail.com

**ПРЕДСТАВЛЕННЯ СТРУКТУР «ПРЕЦЕДЕНТ МОДИФІКАЦІЇ»  
В ПОНЯТТЯХ ЇХ СХОЖОСТІ І ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ**

Ю.В. Бабенко, І.В. Шостак, М.О. Данова

*При розробленні модифікацій літаків транспортної категорії зберігають частину властивостей і параметрів базової моделі (прецеденту), а досягнення відмінних ознак модифікації здійснюється шляхом цілеспрямованої зміни параметрів верхнього (УП)в і нижнього (УП)н рівнів. У статті вагу (УП)в прийнято вважати поняттям подібності, а вагу (УП)н – поняттям еквівалентності структури «прецедент – модифікації». На основі такого підходу сформовано безліч параметрів, що характеризують модифікацію в цілому, розроблено математичний апарат подання модифікації у поняттях їхньої схожості з базовою моделлю.*

**Ключові слова:** модифікації літаків, поняття подібності (толерантності) й еквівалентності, ефективність.

**PRESENTATION OF STRUCTURES «PRECEDENT OF MODIFICATION»  
IN CONCEPTS OF THEIR LIKENESS AND EQUIVALENCE**

J. Babenko, I. Shostak, M. Danova

*At development of modifications of airplanes of a transport category save part of properties and parameters of base model (precedent), and achievement of distinctive signs of modification is carried out by the purposeful change of parameters overhead (UP) in and нижнього (UP) n levels. In the article weight (UP) in it is accepted to consider the concept of likeness, and weight (UP) of n – by the concept of equivalence of structure «precedent of modification». On the basis of such approach the great numbers of parameters, characterizing modification on the whole are formed, and the mathematical vehicle of presentation of modifications is developed in the concepts of their likeness with a base model.*

**Keywords:** modifications of airplanes, concepts of likeness (to tolerance) and equivalence, efficiency.