

# Математичні моделі та методи

УДК 004.891

Ю.В. Бабенко, И.В. Шостак

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ПРЕЦЕДЕНТНО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИЙ САМОЛЕТОВ

Рассмотрена процессная модель оценки эффективности модификаций самолетов транспортной категории на основе прецедентно-множественного подхода. В качестве прецедента принято считать базовую модель, а в виде множеств на основе принципа декомпозиции – неизменяемые параметры прецедента и модифицируемые параметры верхнего и нижнего уровней. Под эффективностью принято понимать: производительность, стоимость жизненного цикла и критерии поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** модификации самолетов, теория прецедентов, множества управляющих параметров, эффективность.

### Введение

Процесс создания модификаций самолетов транспортной категории получил широкое распространение как в отечественном, так и в мировом самолетостроении. В практике создания модификаций самолетов [1] существуют два пути: последовательный и параллельный (рис. 1).

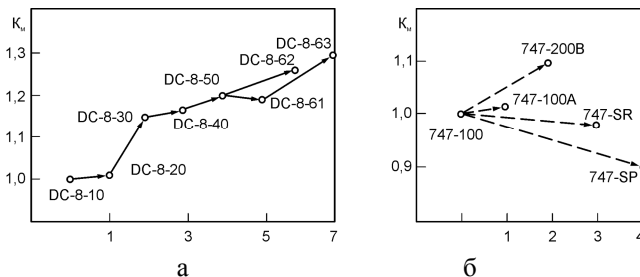


Рис. 1. Последовательная (а) и параллельная (б) разработки модификаций: DC-8-10 и 747-100 – базовые модели (прецеденты); 1 – 5 – модификации;  $K_m$  – коэффициент изменения массы

Из приведенных графиков следует, что базовой моделью для модификаций самолета DC-8-10 являлась предыдущая модификация, тогда как для всех модификаций самолета В-747 прецедентом служил самолет В747-100.

При этом перед разработчиками возникает необходимость в реализации модификации не только как физического объекта, но представления её в виде параметров эффективности произведенных модификационных изменений.

В предыдущих исследованиях [2] оценку эффективности модификационных изменений предложено вести по показателям интегральной эффективности: производительности ( $W$ ), стоимости жизненного цикла ( $C_{ж.ц}$ ) и критериев поддержки принимаемых решений на основных этапах жизненного цикла ( $\bar{C}_{ж.ц}, a' \leq a$ ) (рис. 2).

Исходным объектом в предложенном подходе является базовая модель (прецедент в математическом описании) с последующим представлением её

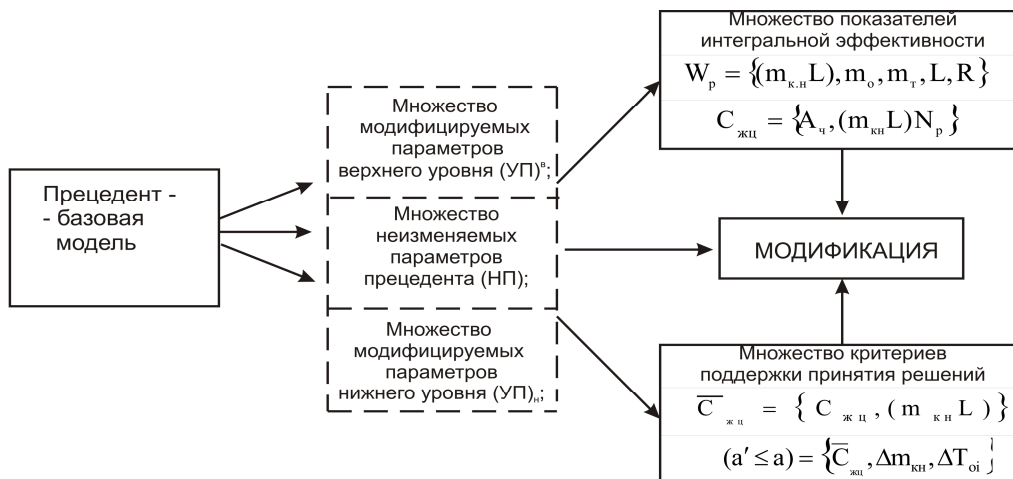


Рис. 2. Представление оценки эффективности модификационных изменений в виде иерархии множеств [2]

в виде неизменяемых (НП) и модифицируемых параметров, а в виде множеств в таком подходе выступают модифицируемые параметры верхнего (УП)<sup>в</sup> и нижнего (УП)<sub>н</sub> уровней.

**Процессная модель формирования оценивания эффективности модификации с учетом особенностей представления прецедента**

Как следует из приведенных данных, в процедуре оценивания эффективности модификаций вопрос выбора прецедента (рис. 1) имеет определяющую роль.

Если же учесть и временной фактор (модификации разрабатываются через 10...20 и даже 50 лет), то станет очевидным, что процесс выбора параметров прецедента в виде математической модели становится проблемной задачей.

Вопросам формализованного описания подобных знаниеориентированных проблем [3], а также решению задач поддержки принятия решений посвящен ряд работ таких ученых, как В.М. Глушков, В.П. Гладун, А.П. Еремеев, А.Г. Братухин, О.Н. Ларичев, О.Е. Федорович, И.В. Шостак и др.

В основе теории прецедентов [4, 5] лежит гипотеза о монотонности пространства решений: «по-

хожие входные ситуации приводят к похожим выходным реакциям системы». Сформулируем на основе указанной гипотезы ряд базовых положений, дающих возможность реализовать на практике задачу комплексного оценивания модификационного ряда самолета транспортной категории.

При рассмотрении каждой новой модификации достаточно найти одну или несколько похожих модификаций (прецедентов) и принимать решения, опираясь на них.

Применительно к оценке прецедентов достаточно найти (из состава зафиксированных) хотя бы одну или несколько близких по заданным параметрам модификаций и оценить их меру близости.

Для решения данной задачи необходимо обеспечить формирование соответствующей базы прецедентов в специально разработанной системе поддержки принятия решений (ППР).

Формирование базы прецедентов включает в себя следующие этапы (рис. 3):

- 1) задание признаков для определения уровня значимости прецедента;
- 2) кластеризацию прецедентов по их параметрам;
- 3) формирование требуемого множества прецедентов на основе критерия подобия модификаций.

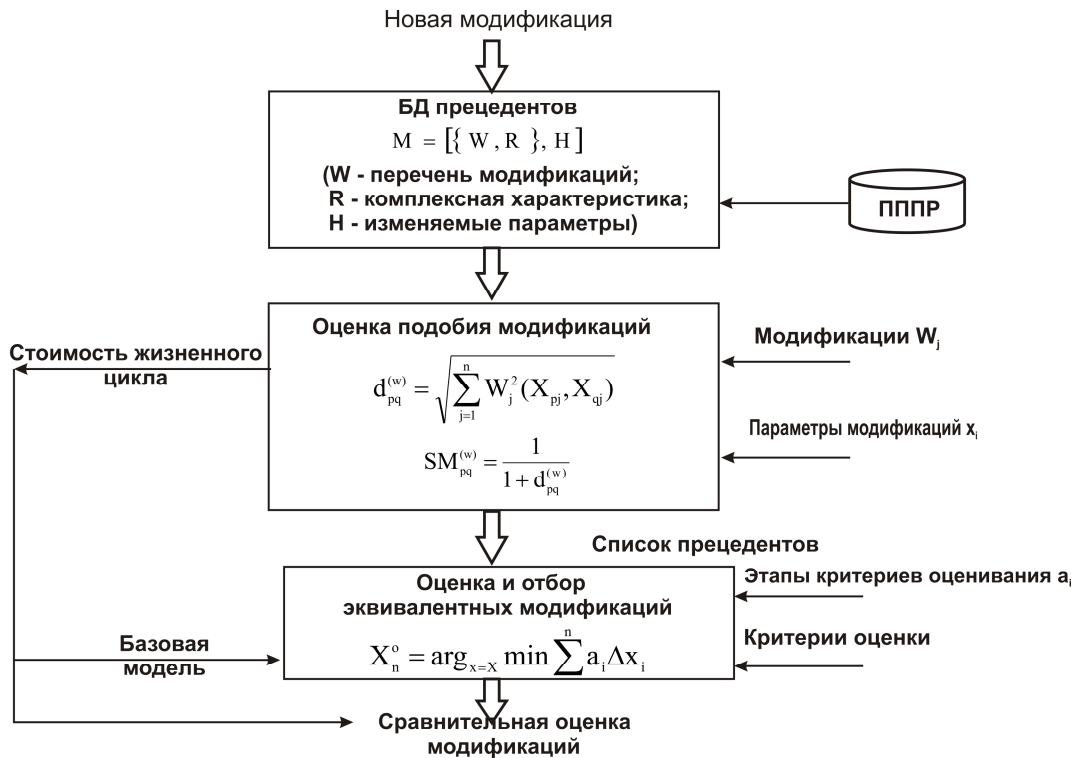


Рис. 3. Процессная модель формирования оценки модификаций

На этапе 1 определяется оценочная функция параметров, что позволяет в дальнейшем производить отбор уместных прецедентов, используя отношение подобия, построенное на множестве наиболее существенных параметров.

Для заданного набора весов признаков

$$W_j (W_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n) \tag{1}$$

и пары прецедентов  $I_p, I_q$ , взвешенная мера близости определяется как

$$d_{pq}^{(W)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j^2 (X_{pj} - X_{qj})^2}, \quad (2)$$

где  $X$  – значения признаков.

Мера подобия прецедентов  $SM_{pq}^{(W)}$  будет определяться выражением

$$SM_{pq}^{(W)} = \frac{1}{1 + d_{pq}^{(W)}}. \quad (3)$$

Если все веса  $W$  одинаковы и равны 1, то мера близости соответствует евклидовой мере и обозначается  $d_{pq}^{(W)}$ , а соответствующая ей мера подобия обозначается  $SM_{pq}^{(W)}$ .

Тогда оценочная функция признаков будет определяться следующим образом:

$$E(W) = 2 \times \frac{\sum_p \sum_{q(q < p)} (SM_{pq}^{(W)}(1 - SM_{pq}^{(W)}) + (1 - SM_{pq}^{(W)})SM_{pq}^{(W)})}{N(N-1)}, \quad (4)$$

где  $N$  – число прецедентов в базе прецедентов.

На **этапе 2** производится кластеризация базы прецедентов для ускорения операций выборки сходных прецедентов и разбиения базы прецедентов на компактные множества покрытия.

В основе алгоритма кластеризации (см. рис. 4) лежит понятие матрицы сходства, определяемой на основе выражений для  $d_{pq}^{(W)}$  и  $SM_{pq}^{(W)}$ .

Основные шаги рассматриваемой процедуры кластеризации [ ]:

1) задается пороговый уровень значимости  $\beta$  ( $\beta \in \{0, 1\}$ );

2) определяется матрица сходства  $SM = (SM_{pq}^{(W)})$  в соответствии с выражениями для  $d_{pq}^{(W)}$  и  $SM_{pq}^{(W)}$ ;

3) определяется модифицированная матрица подобия

$$SM_1 = SM \circ SM = (S_{pk}),$$

где  $S_{pk} = \max \left[ \min \left( SM_{pk}^{(W)}, SM_{kq}^{(W)} \right) \right]$ ;

4) если  $SM_1 \subset SM$ , то определяются отдельные кластеры на основе правила: прецедент  $p$  и прецедент  $q$  принадлежат к одному кластеру тогда и только тогда, когда  $S_{pq} \geq \beta$ , в противном случае матрица  $SM$  заменяется на  $SM_1$  и происходит возврат к **шагу 3**.

В системе поддержки принятия решений, построенной на основе рассмотренной процедуры, достигается рост быстродействия за счет снижения временных затрат на поиск решения.

Задача выбора прецедентов является основной для рассматриваемой СППР. Данная задача решена в рамках блока распознавания модификаций или отдельных их параметров. В указанном блоке реализован механизм поиска близких по параметрам модификаций на основе нахождения наиболее сходных с рассматриваемой модификацией эталонных (из числа ранее разработанных) модификаций, на основе заданной меры сходства, т. е. модификации, с которыми производится сравнение рассматриваемой, являются эталонными. Процесс поиска эталонных модификаций включает следующие этапы:

1) описание текущей модификации в виде комплекса параметров;

2) поиск эталонной модификации путем сравнения соответствующих параметров в пределах заданного интервала близости;

3) анализ перечня найденных подобий и формирование искомой информации.

Таким образом, для поиска аналогов необходимо произвести поиск всех модификаций исходной модели самолета транспортной категории, схожих с планируемым на основании заданного отношения подобия.

Поиск эталонных модификаций производится на основе анализа степени близости основных параметров, которые составляют некий набор характеристик  $X_{ij}$ , где  $i$  – порядковый номер модификации,  $j$  – порядковый номер параметра:  $i = (1, n)$ ,  $j = (1, m)$ .

Описание эталонной модификации будет формироваться из аналогичного набора свойств  $X_{ij}$ .

Отклонение комплексной характеристики рассматриваемой модификации от найденных эталонных обозначим как  $\Delta X_i$ . Используя определение понятия функции полезности [5], характеристики  $X_i$  приводятся к изоморфному виду.

Многофакторная обобщенная оценка «расстояния» комплексной характеристики модификации от характеристик найденных эталонов будет иметь вид

$$L = \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i, \quad (5)$$

где  $a_i$  – весовые коэффициенты сравнительной значимости отдельных характеристик,

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad 0 \geq a_i \geq 1. \quad (6)$$

Тогда принцип оптимальности может быть представлен в виде

$$X_n^0 = \arg_{x=X} \min \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i. \quad (7)$$

По указанному выше принципу оптимальности происходит ранжирование найденных эталонных модификаций по степени подобия базовой модели самолета транспортной категории.

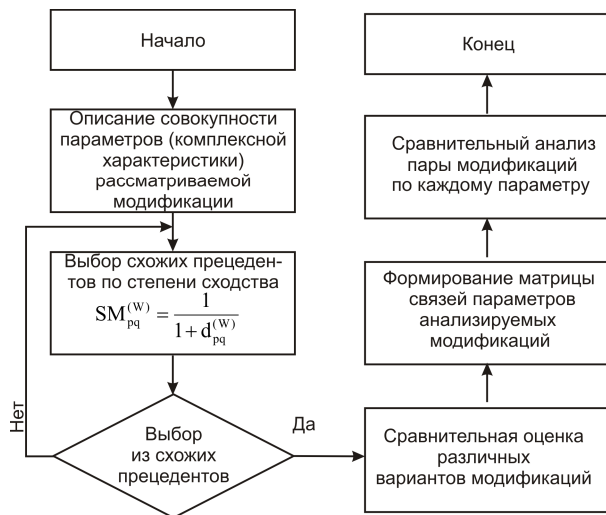


Рис. 4. Алгоритм сравнения рассматриваемой модификации с эталонными

### Выводы

В методах оценки эффективности модификационных изменений самолетов транспортной категории исходное положение принадлежит базовой модели – в математическом представлении – прецеденту, и декомпозиции общей характеристики модификаций 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.

Для определения свойств и параметров прецедента предложены процессная модель и алгоритм формирования общей характеристики интегральной эффективности модификации с использованием опыта создания и эксплуатации других модификаций, базовой модели и степени их близости данной модификации, что позволяет реали-

зовать указанную модель в рамках теории дискретной оптимизации.

Предложенный метод представления эффективности в виде структур «прецедент – модификации» имеет следующие преимущества в сравнительном оценивании отдельных параметров верхнего и нижнего уровней, а также различных модификаций модельного ряда:

- упорядоченная процедура сбора и обработки информации;
- уменьшение вероятности манипулирования информацией;
- использование различных вариантов достижения компромисса.

### 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. Бабенко, Ю. В. Методы и критерии поддержки принятия решений при модификационных изменениях самолетов транспортной категории в течение жизненного цикла: Монография / Ю. В. Бабенко // Публикации международного научного симпозиума «Наука и инновации в современном мире». – Одесса, 2017, www.sworld.education.
3. Братухин, А. Г. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Сб. ст. под общей редакцией А. Г. Братухина. – Киев.: «Техніка». – 2001. – 709 с.
4. Еремеев, А. П. Поиск решения на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / А. П. Еремеев, П. Р. Варшавский // Известия РН. Системы поддержки принятия решений, 2005, № 1. – С. 97 – 109.
5. Черноморов, Г. А. Теория принятия решений [Текст] / Г. А. Черноморов // Известия вузов. № 3, 2002. – 276 с.

Надійшла до редколегії 1.08.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.П. Божко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

### ВИКОРИСТАННЯ ПРЕЦЕДЕНТНО-МНОЖИННОГО ПІДХОДУ В ПРОЦЕДУРІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКАЦІЙ ЛІТАКІВ

Ю.В. Бабенко, І.В. Шостак

*Розглянуто процесну модель оцінки ефективності модифікацій літаків транспортної категорії на основі прецедентно-множинного підходу. Як прецедент прийнято вважати базову модель, а у вигляді множин на основі принципу декомпозиції – незмінні параметри прецеденту і модифіковані параметри верхнього і нижнього рівнів. Під ефективністю прийнято розуміти: продуктивність, вартість життєвого циклу і критерії підтримки ухвалення рішень.*

**Ключові слова:** модифікації літаків, теорія прецедентів, множина керованих параметрів, ефективність.

### THE USE OF A PREDDY-MULTIPLE APPROACH IN THE PROCEDURE FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF AIRCRAFT MODIFICATIONS

Yu.V. Babenko, I.V. Shostak

*The process model of the estimation of the efficiency of modifications of aircraft transport category on the basis of the precedent-plural approach is considered. As a precedent, it is considered to be the base model, but in the form of sets based on the principle of decomposition - the unchanged parameters of the precedent and modified parameters of the upper and lower levels. Under efficiency it is commonly understood: productivity, cost of life cycle and criteria for sub-decision making.*

**Key words:** aircraft modifications, precedent theory, set of controlled parameters, efficiency.