

УДК 629.7: 629.01
DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-1-77-87

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ

С.Г. ПАРАФЕСЬ¹, О.Г. ФЕОКТИСТОВА²

¹ *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия*

² *Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Сущность экспертизы как научного метода заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы. Все многообразие решаемых экспертами задач сводится к двум типам: системному анализу проектного предложения и параметрическому анализу. Системный анализ имеет целью подтвердить целесообразность (или нецелесообразность) создания нового образца техники, оценить его технический уровень и экономическую эффективность с учетом требований и возможностей технической системы более высокого уровня. Параметрический анализ проектного предложения состоит в обосновании достоверности проектных параметров и характеристик рассматриваемой технической системы, их реализуемости, важности целевых задач. Несмотря на достаточно хорошо отработанный и проверенный на практике инструментальный методов экспертизы, проведение экспертизы проектных предложений сложных технических систем остается до конца не решенной задачей. Основная сложность состоит в декомпозиции задачи экспертизы, определении иерархической системы критериев (признаков, по которым проводится сравнение проектных предложений).

В статье предложены методика и программный комплекс экспертизы проектных предложений в интересах оценки качества и конкурентоспособности изделий авиационной и ракетной техники. Методика экспертизы предполагает сравнительный анализ проектных предложений в соответствии со сформированной системой критериев качества изделия. Используется метод анализа иерархий, который в настоящее время является одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений. Благодаря иерархическому представлению задачи экспертизы и относительно простой процедуре парного оценивания на каждом этапе экспертизы, имеется возможность оперативно проводить сравнительную оценку большого числа альтернативных проектных предложений с использованием сколь угодно сложной системы критериев.

Приведен пример использования разработанной методики и программного комплекса экспертизы проектных предложений изделий авиационной и ракетной техники при решении задачи выбора рационального варианта конструктивно-технологического решения крыла.

Ключевые слова: изделие авиационной и ракетной техники, экспертиза, проектное предложение, альтернативный вариант, крыло.

ВВЕДЕНИЕ

Сущность экспертизы как научного метода заключается в рациональной организации проведения экспертами анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой результатов. Обобщенное мнение группы экспертов принимается как решение проблемы. Все многообразие решаемых экспертами задач сводится к двум типам: системный анализ проектного предложения и параметрический анализ. Системный анализ имеет целью подтвердить целесообразность (или нецелесообразность) создания нового образца техники, оценить его технический уровень и экономическую эффективность с учетом требований и возможностей технической системы более высокого уровня. Параметрический анализ проектного предложения состоит в обосновании достоверности проектных параметров и характеристик рассматриваемой технической системы, их реализуемости, важности целевых задач.

Несмотря на достаточно хорошо отработанный и проверенный на практике инструментальный методов экспертизы [1–10], проведение экспертизы проектных предложений сложных

технических систем, к которым по праву относятся изделия авиационной и ракетной техники, остается до конца не решенной задачей. Основная сложность состоит в декомпозиции задачи экспертизы, определении иерархической системы критериев (признаков, по которым проводится сравнение проектных предложений).

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка методики и программного комплекса экспертизы проектных предложений в интересах оценки качества и конкурентоспособности технических систем – изделий авиационной и ракетной техники. Методика экспертизы предполагает сравнительный анализ проектных предложений в соответствии со сформированной системой критериев качества технической системы.

В предлагаемой методике экспертизы проектных предложений будем использовать метод анализа иерархий, который в настоящее время является одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений [11, 12]. Предложенный Томасом Саати метод анализа иерархий объединяет идею парного сравнения объектов (одного из классических методов экспертных оценок) с аналитическим подходом к формированию оценочного решения. Аналитический подход, опирающийся на алгебраическую теорию матриц, позволяет по результатам парных сравнений построить упорядоченный ряд объектов по одному или совокупности иерархически связанных показателей (признаков сравнения) и тем самым определить лучший объект. Практическое применение метода анализа иерархий включает три основных этапа:

1) иерархическое представление задачи экспертизы, в которой нижний уровень иерархии составляют альтернативы (конкурентные проектные предложения изделия), верхний уровень содержит цель экспертизы (определение наилучшего проектного предложения), а промежуточные уровни иерархии занимают критерии (единичные и комплексные показатели и требования) – признаки, по которым проводится экспертное оценивание проектных предложений;

2) проведение парных сравнений с целью определения количественной оценки степени влияния элементов каждого уровня иерархии (альтернатив, критериев) на каждый элемент соседнего с ним верхнего уровня иерархии (критерий, цель);

3) получение приоритетов, характеризующих количественно степень влияния альтернатив (оцениваемых проектных предложений) через систему критериев на цель (обобщенный показатель качества изделия) и представляющих собой, по сути, оценочное решение, на основании которого делается вывод о наилучшем проектном предложении.

Цель экспертизы – сравнительная оценка проектных предложений с позиции качества технической системы (изделия) – занимает верхний уровень в иерархическом представлении рассматриваемой задачи экспертизы. Нижний уровень иерархии – уровень альтернатив – представлен набором оцениваемых проектных предложений, включая базовый образец (аналог), выбранный для сравнения, или техническое задание на разработку технической системы. Промежуточные уровни иерархии занимают комплексные и единичные показатели качества технической системы. По нашему мнению, качество технических систем достаточно полно определяют три составляющих – комплексных показателя: целевое качество, качество сервиса выполнения целевой задачи и экологическое качество [13, 14]. Каждый из этих показателей рассматривается в виде пирамиды, нижний уровень которой составляют единичные показатели, отражающие основные свойства технической системы.

Формирование системы критериев, по которым производится сравнение проектных предложений, является неформальной задачей. Она может быть также решена экспертным методом. На основании экспертных оценок о важности тех или иных показателей качества технической системы делается вывод о целесообразности включения их в систему критериев – показателей, в соответствии с которыми будет производиться сравнительная оценка альтернативных проектных предложений.

На основе методики разработан программный комплекс экспертизы проектных предложений технических систем (рис. 1). Проведены тестовые примеры экспертизы проектных предложений некоторых сложных технических систем, в том числе изделия авиационной и ракетной техники.

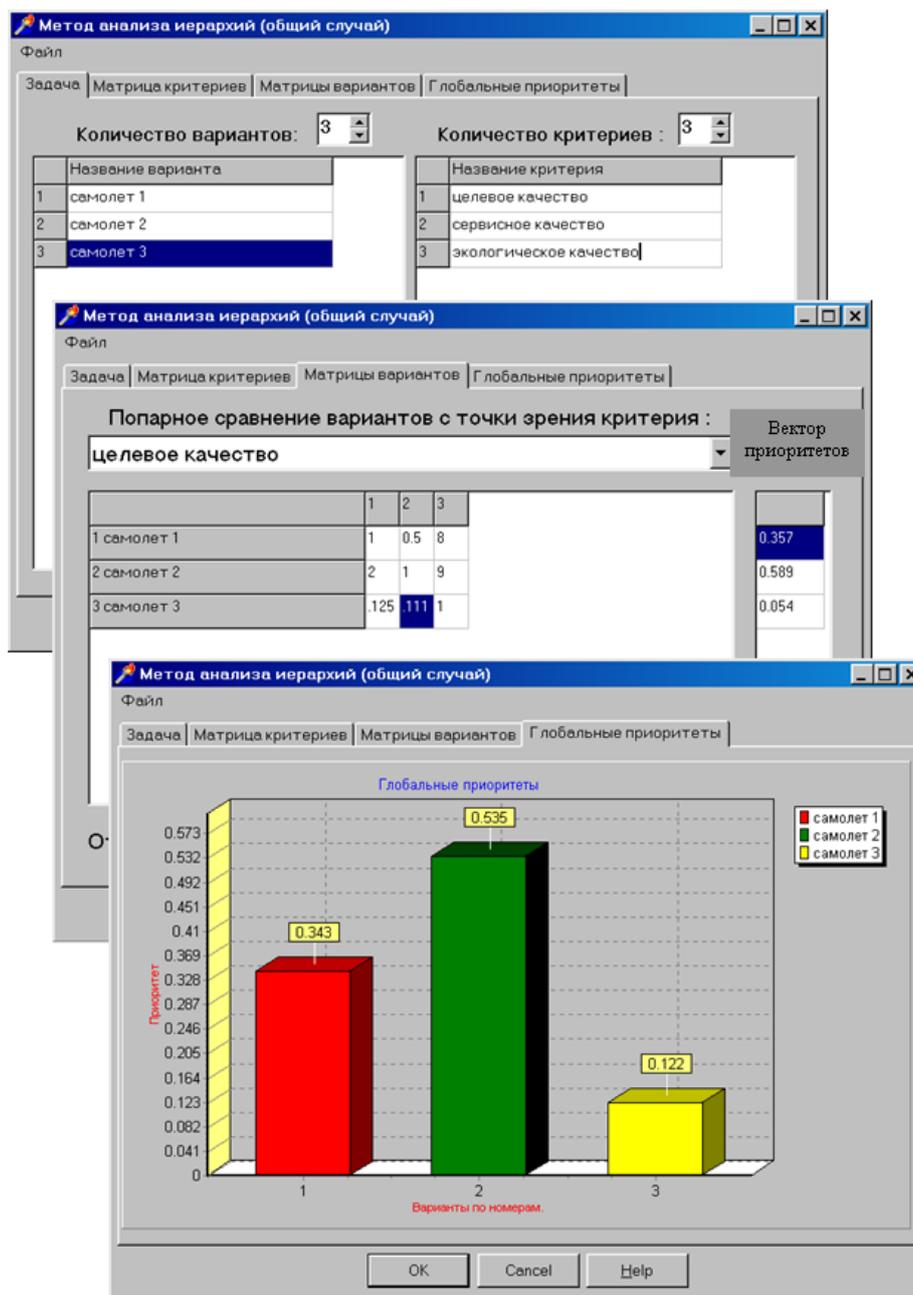


Рис. 1. Интерфейс программного комплекса экспертизы проектных предложений технических систем [15]
Fig. 1. The interface of the software for the expertise of project proposals of technical systems [15]

Методика и программное обеспечение экспертизы проектных предложений технических систем (изделий авиационной и ракетной техники) являются универсальными и могут быть использованы для решения широкого класса экспертных задач (оценки качества, технического уровня, конкурентоспособности) на проектной стадии жизненного цикла технических систем различного назначения. Благодаря иерархическому представлению задачи экспертизы и относительно простой процедуре парного оценивания на каждом этапе экспертизы, имеется возможность оперативно проводить сравнительную оценку большого числа альтернативных проектных предложений изделия с использованием сколь угодно сложной системы критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве примера использования разработанной методики и программного комплекса экспертизы проектных предложений рассмотрим задачу выбора рационального варианта конструктивно-технологического решения (КТР) крыла малого удлинения из трех альтернативных вариантов. Крыло имеет шестигранный профиль и крепится к корпусу БЛА с помощью трех моментных и одного шарнирного узлов. В число рассматриваемых вариантов КТР крыла включены: наборная конструкция с тремя лонжеронами («лонжеронное крыло»), моноблочная конструкция из двух штампованных панелей («моноблочное крыло») и наборная конструкция со стенками («многостеночное крыло») (рис. 2). Все три варианта крыла удовлетворяют всем предъявляемым функциональным требованиям (прочности, аэроупругой устойчивости и др.).

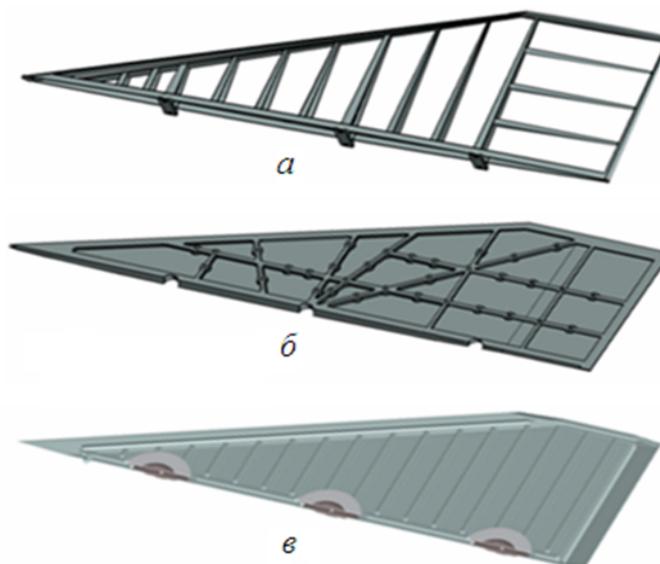


Рис. 2. Анализируемые конструктивно-технологические решения крыла:
a – лонжеронное крыло; *б* – моноблочное крыло; *в* – многостеночное крыло

Fig. 2. Analyzable wing constructive and engineering solutions:
a – longerone wing; *b* – a monocoque wing; *c* – a multi-web wing

Лонжеронное крыло (рис. 2, *a*) состоит из двух обшивок и подкрепляющего силового набора: трех лонжеронов, бортовой и концевой нервюры, носка, законцовки, набора стенок и нервюры. Штампованные лонжероны имеют сечения в виде двутавра, параметры которых меняются по линейному закону по длине силового элемента. Стенки, подкрепляющие обшивку, и бортовая нервюра изготовлены из гнутых профилей с сечением в виде швеллера. Штампованные нервюры, подкрепляющие обшивку в хвостовой части крыла, имеют сечения в виде швеллера с постоянными по длине толщиной и шириной. Обшивки, стенки и бортовая нервюра изготовлены из алюминиевого деформируемого сплава Д16АТ. Масса крыла равна 4,048 кг.

Моноблочное крыло (рис. 2, *б*) изготовлено из двух штампованных подкрепленных панелей, соединенных винтами и заклепками. Подкрепляющие элементы (ребра) изготовлены за одно целое с обшивкой. Штампованные панели выполнены из алюминиевого сплава АК8. Масса крыла равна 5,647 кг.

Многостеночное крыло (рис. 2, *в*) представляет собой наборную конструкцию, в которой для подкрепления листовой обшивки используются стенки. Стенки, а также носок, законцовка, бортовая и концевая нервюры выполнены из гнутых профилей, имеющих сечение в виде швеллера. Все элементы конструкции выполнены из алюминиевого сплава Д16АТ. Масса крыла равна 4,678 кг.

Рассмотрим упрощенное решение рассматриваемой задачи, характерное для начальных этапов проектирования конструкции, когда еще нет точных оценок ее технологической эффективности. В качестве показателя конструктивного совершенства крыла примем его массу, в качестве показателей производственно-технологического совершенства – показатели технологической рациональности и преемственности (коэффициенты: использования материала, унификации и сборности) [16]. Коэффициент использования материала в конструкции $K_{исп.м}$ определяется как отношение массы КТР к суммарной массе заготовок. Коэффициент унификации – коэффициент применяемости унифицированных деталей $K_{ун}$ – находится как отношение унифицированных элементов конструкции к общему числу элементов. Коэффициент сборности $K_{сб}$ определяется как отношение числа специфицируемых составных частей конструкции (равное числу сборочных единиц) к общему числу его составных частей.

Рассматриваемой задаче экспертизы соответствует четырехуровневая иерархия (рис. 3): I уровень – цель – оценка совершенства альтернативных КТР крыла; II и III уровень – критерии: обобщенные и единичные показатели совершенства КТР; IV уровень – альтернативы – альтернативные КТР крыла: лонжеронное крыло – $\{КТР\}_1$, моноблочное крыло – $\{КТР\}_2$, многостеночное крыло – $\{КТР\}_3$.

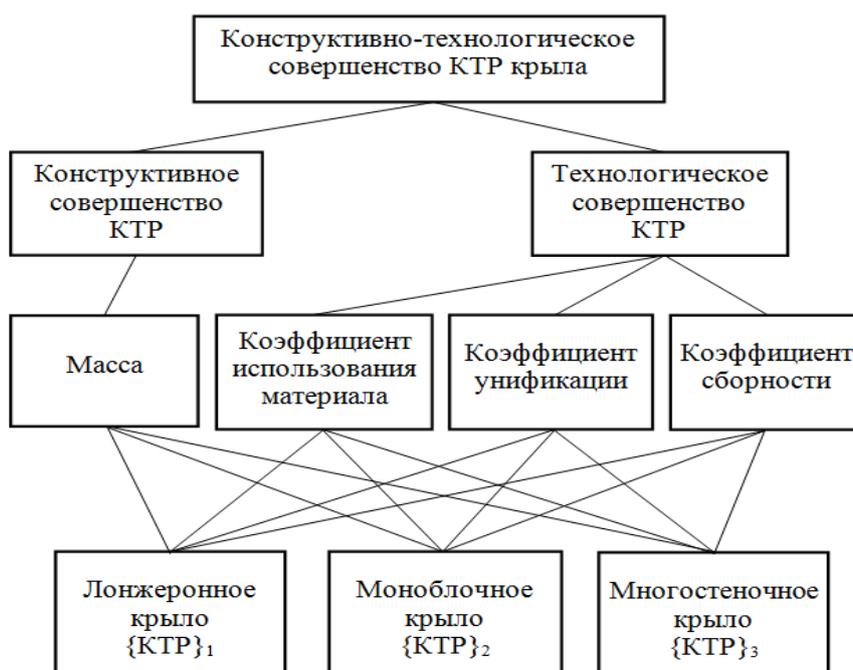


Рис. 3. Иерархическое представление задачи выбора КТР крыла
Fig. 3. The hierarchical representation of the problem of choosing wing constructive and engineering solution

В соответствии с методом анализа иерархий [11] строятся матрицы парных сравнений для сопоставления относительной важности обобщенных показателей совершенства КТР (критериев II уровня иерархии) по отношению к цели (табл. 1), а также единичных показателей технологического совершенства КТР (критериев III уровня иерархии) – на обобщенный показатель технологического совершенства (табл. 2). Матрицы парных сравнений строятся на основе суждений экспертов в соответствии со специальной шкалой, включающей оценки относительной важности сравниваемых элементов иерархии от 1 до 9 [11]. При построении данных матриц парных сравнений полагается, что обобщенные показатели конструктивного и производственно-технологического совершенства (критерии II уровня иерархии) вносят равный вклад в цель и

что единичные показатели технологического совершенства КТР (критерии III уровня иерархии) также равнозначны относительно обобщенного показателя технологического совершенства (критерия II уровня иерархии).

Таблица 1
Table 1

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности обобщенных показателей совершенства КТР крыла по отношению к цели
The matrix of paired comparisons to compare the relative importance of generalized indicators of the perfection of wing constructive and engineering solution in relation to the purpose

Цель	Критерий М	Критерий Т	Вектор приоритетов X
Критерий М	1	1	0,5
Критерий Т	1	1	0,5

Таблица 2
Table 2

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности единичных показателей технологического совершенства КТР крыла по отношению к обобщенному показателю T
The matrix of paired comparisons to compare the relative importance of individual indicators of the technological perfection of wing constructive and engineering solution in relation to the generalized indicator T

Критерий T	$K_{исп.м}$	$K_{сб}$	$K_{ун}$	Вектор приоритетов X_T
$K_{исп.м}$	1	1	1	0,333
$K_{сб}$	1	1	1	0,333
$K_{ун}$	1	1	1	0,333

Далее строятся матрицы парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернатив (КТР крыла) по отношению к каждому из критериев. При формировании суждений экспертов учитывались следующие моменты. При проведении парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критерию конструктивного совершенства (критерий М) анализировались как сами абсолютные значения масс (массы лонжеронного, моноблочного и многостеночного крыла соответственно равны 4,048, 5,647 и 4,678 кг), так и их относительные величины. Результаты экспертных суждений формализованы матрицей парных сравнений (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критерию конструктивного совершенства М
The matrix of paired comparisons to compare the relative importance of alternative wing constructive and engineering solution in relation to the criterion of the constructive perfection M

Критерий M	{КТР} ₁	{КТР} ₂	{КТР} ₃	Вектор приоритетов X_M
{КТР} ₁	1	5	2	0,582
{КТР} ₂	$1/5$	1	$1/3$	0,109
{КТР} ₃	$1/2$	3	1	0,309

При проведении парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критериям технологического совершенства учитывалось качественное превосходство той или иной технологической концепции в отношении изготовления (показатели использования материала и унификации) и сборки (показатели сборности и унификации). По показателям использования материала и сборности (критерии $K_{исп.м}$ и $K_{сб}$) предпочтение было отдано моноблочному крылу (табл. 4, 5), а по показателю унификации (критерий $K_{ун}$) – многостеночному крылу (табл. 6).

Таблица 4
Table 4

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критерию $K_{исп.м}$

The matrix of pairwise comparisons for the relative importance of alternative constructive and technological patterns of the wing in relation to the criterion $K_{isp.m}$

$K_{исп.м}$	{КТР} ₁	{КТР} ₂	{КТР} ₃	Вектор приоритетов $X_{исп.м}$
{КТР} ₁	1	$1/3$	1	0,2
{КТР} ₂	3	1	3	0,6
{КТР} ₃	1	$1/3$	1	0,2

Таблица 5
Table 5

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критерию $K_{сб}$

The matrix of pairwise comparisons for the relative importance of alternative constructive and technological patterns of the wing in relation to the criterion K_{sb}

$K_{сб}$	{КТР} ₁	{КТР} ₂	{КТР} ₃	Вектор приоритетов $X_{сб}$
{КТР} ₁	1	$1/5$	1	0,143
{КТР} ₂	5	1	5	0,714
{КТР} ₃	1	$1/5$	1	0,143

Таблица 6
Table 6

Матрица парных сравнений для сопоставления относительной важности альтернативных КТР крыла по отношению к критерию $K_{ун}$

The matrix of pairwise comparisons for the relative importance of alternative constructive and technological patterns of the wing in relation to the criterion K_{un}

$K_{ун}$	{КТР} ₁	{КТР} ₂	{КТР} ₃	Вектор приоритетов $X_{ун}$
{КТР} ₁	1	2	$1/3$	0,230
{КТР} ₂	$1/2$	1	$1/5$	0,122
{КТР} ₃	3	5	1	0,648

Далее для каждой матрицы парных сравнений была решена проблема определения собственных значений и векторов и найдены векторы приоритетов (см. табл. 1–6). Векторы приоритетов, определяемые из матриц парных сравнений (табл. 3–6), являются локальными. Для определения глобальных приоритетов выполнен (в соответствии с математическим аппара-

том метода анализа иерархий [11]) синтез приоритетов, результаты которого приведены на рис. 4.

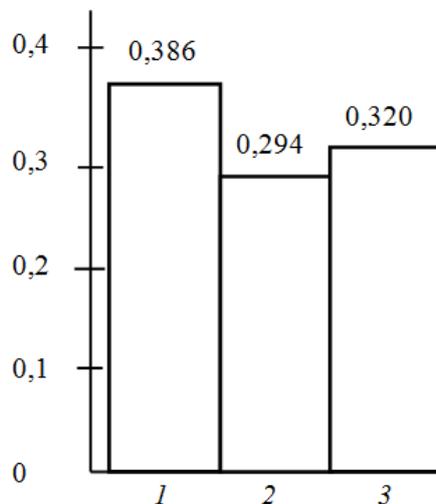


Рис. 4. Вектор глобальных приоритетов:
1 – лонжеронное крыло; 2 – моноблочное крыло; 3 – многостеночное крыло

Fig. 4. A vector of the global priorities:
1 – the longerone wing; 2 – the monocoque wing; 3 – the multi-web wing

Вектор глобальных приоритетов X с компонентами 0,386, 0,294 и 0,320 (рис. 4) существенно отличается от вектора локальных приоритетов X_M с компонентами 0,582, 0,109 и 0,309, отражающего массовое совершенство сравниваемых КТР крыла (табл. 3). Сравнение этих векторов приоритетов показывает, что вес моноблочного крыла в векторе глобальных приоритетов X значительно возрос (в 2,7 раза), тогда как вес лонжеронного крыла существенно уменьшился (в 1,5 раза), благодаря более высоким технологическим свойствам моноблочной конструкции по сравнению с наборной. Тем не менее вектор глобальных приоритетов X устанавливает предпочтение лонжеронного крыла моноблочному и многостеночному.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика и программный комплекс экспертизы проектных предложений разработаны в интересах оценки качества и конкурентоспособности изделий авиационной и ракетной техники. Методика экспертизы предполагает сравнительный анализ проектных предложений в соответствии со сформированной системой критериев качества изделия. Используется метод анализа иерархий, который в настоящее время является одним из самых мощных и эффективных методов экспертизы и принятия решений. Благодаря иерархическому представлению задачи экспертизы и относительно простой процедуре парного оценивания на каждом этапе экспертизы, имеется возможность оперативно проводить сравнительную оценку большого числа альтернативных проектных предложений изделия с использованием сколь угодно сложной системы критериев.

Приведен пример использования разработанной методики и программного комплекса экспертизы проектных предложений изделий авиационной и ракетной техники при решении задачи выбора рационального варианта конструктивно-технологического решения крыла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: Предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

2. **Евланов Л.Г.** Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 176 с.
3. **Елтаренко Е.А.** Оценка и выбор решений по многим критериям. М.: МИФИ, 1995. 112 с.
4. **Голубев И.С., Парафесь С.Г.** Экспертиза проектов летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 1996. 100 с.
5. **Литвак Б.Г.** Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. 271 с.
6. Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys / Ed. by J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott. Boston, MA: Springer, 2005. 1084 p.
7. Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems // Proceedings of the 19th International Conference on Multiple Notes in Economics and Mathematical Systems) 2010th / Ed. by M. Ehrgott, B. Naujoks, T. Stewart, J. Wallenius. Springer, 2010. 389 p.
8. **Saaty T.L.** Decision making with the analytic hierarchy process // International Journal of Services Sciences. 2008. Vol. 1, No. 1. pp. 83–98.
9. **Parnell G.S., Bresnick T.A., Tani S.N., Johnson E.R.** Handbook of Decision Analysis. Publisher: John Wiley & Sons, 2012. 432 p.
10. **Isaev D.V.** Decision making using a combination of management accounting and an expert approach // Business Informatics. 2016. No. 4 (38). pp. 70–78.
11. **Саати Т.** Принятие решений: Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 314 с.
12. **Саати Т.Л.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: ЛЕНАНД, 2015. 360 с.
13. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / П.П. Афанасьев, И.С. Голубев, С.Б. Левочкин, В.Н. Новиков, С.Г. Парафесь, М.Д. Пестов, И.К. Туркин; под ред. И.С. Голубева и И.К. Туркина. М.: МАИ, 2010. 654 с.
14. **Голубев И.С., Левочкин С.Б.** Грани качества и конкурентоспособности летательных аппаратов. М., 2008. 224 с.
15. Методическое и программное обеспечение экспертизы проектных предложений технических систем / И.С. Голубев, Б.В. Малахов, С.Г. Парафесь, Ву Хоа Тиен // Качество. Инновации. Образование. М.: Фонд «Качество», 2004. С. 99–101.
16. Технологичность конструкции изделия: справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; под общ. ред. Ю.Д. Амирова. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Парафесь Сергей Гаврилович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры авиационно-ракетных систем МАИ, s.parafes@mail.ru.

Феоктистова Оксана Геннадьевна, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой вычислительных машин, комплексов, систем и сетей МГТУ ГА, oksana-feoktistova@yandex.ru.

TECHNIQUE AND SOFTWARE FOR PROJECT PROPOSALS EXPERT ASSESSMENT OF AVIATION AND ROCKETRY PRODUCTS

Sergey G. Parafes¹, Oksana G. Feoktistova²

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

²*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

The essence of an expert assessment as a scientific method is a rational organization of experts analyzing the problem from a quantitative evaluation of judgments and results processing. A generalized opinion of the expert group is taken as the solution. The diversity of the problems solved by the experts is reduced to two types: a system analysis and a parametric analysis of the design proposal. The system analysis aims to confirm the feasibility (or non-expediency) of creating

a new equipment model, to estimate its technical level and economic efficiency, taking into account requirements and possibilities of an upgraded technical system. The parametric analysis of the project proposal is to justify the validity of design parameters and characteristics of the considered technical system, their marketability, the importance of targets. Despite the relatively well-established and proven tools expertise methods, the expert assessment of complex technical systems project proposals still remains a challenge. The main difficulty is the decomposition of tasks, the definition of a hierarchical system of criteria (grounds on which project proposals are compared).

The technique and software for the expert assessment of project proposals for the sake of assessing the quality and competitiveness of aviation and rocketry products are suggested in the article. The technique of expert assessment involves the comparative analysis of project proposals in accordance with the formed system of criteria of products quality. The method of analysis of hierarchies, which is currently one of the most powerful and effective methods of the expert assessment and the decision-making, is used. Thanks to the hierarchical representation of the expert assessment task and the relatively simple procedure for the pairwise estimation of project proposals at each stage of the expert procedure, there is a possibility operatively to carry out the comparative assessment of a large number of alternative design proposals, using arbitrarily complex system of criteria.

An example of using the developed technique and software for the expert assessment of project proposals of aviation and rocketry products in the solution of the problem of choosing the rational option of constructive and technological patterns of a wing is given.

Key words: aviation and rocketry products, expert assessment, project proposal, alternative variant, wing.

REFERENCES

1. **Kini R.L., Rajfa H.** *Prinyatie reshenij pri mnogih kriteriyah: Predpochteniya i zameshcheniya* [Decision-making in many criteria: preferences and substitutions]. M., Radio and Communication publ., 1981, 560 p. (in Russian)
2. **Evlanov L.G.** *Teoriia i praktika priniatiia reshenii* [Theory and practice of decision making]. Moscow, Ekonomika Publisher, 1984, 176 p. (in Russian)
3. **Eltarenko E.A.** *Otsenka i vybor reshenii po mnogim kriteriiam* [Evaluation and selection decisions according to many criteria]. Moscow, MEPhI, 1995, 112 p. (in Russian)
4. **Golubev I.S., Parafes' S.G.** *Ekspertiza proektov letatelnykh apparatov* [Project appraisal of flight vehicles]. Moscow, MAI Publ., 1996, 100 p. (in Russian)
5. **Litvak B.G.** *Ekspertnye otsenki i priniatie reshenii* [Expert assessments and decision-making]. Moscow, Patent, 1996, 271 p. (in Russian)
6. Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. Ed. by J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott. Boston, MA, Springer, 2005, 1084 p.
7. Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems: Proceedings of the 19th International Conference on Multiple Notes in Economics and Mathematical Systems) 2010th. Ed. by M. Ehrgott, B. Naujoks, T. Stewart, J. Wallenius. Springer, 2010, 389 p.
8. **Saaty T.L.** Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 2008, Vol. 1, No. 1, pp. 83–98.
9. **Parnell G.S., Bresnick T.A., Tani S.N., Johnson E.R.** Handbook of Decision Analysis. Publisher, John Wiley & Sons, 2012, 432 p.
10. **Isaev D.V.** Decision making using a combination of management accounting and an expert approach. Business Informatics, 2016, No. 4 (38), pp. 70–78.
11. **Saaty T.L.** *Prinyatie reshenij: Metod analiza ierarhij* [Decision making. Hierarchy analysis method]. Moscow, Radio i svjaz' [Radio and Communication], 1993, 314 p. (in Russian)
12. **Saaty T.L.** *Priniatie reshenii pri zavisimostiakh i obratnykh svyaziakh: Analiticheskie seti* [Decision making with dependences and feedbacks: Analytical networks]. Moscow, LENAND publ., 2015, 360 p. (in Russian)
13. **Afnas'yev P.P., Golubev I.S., Levochkin S.B., Novikov V.N., Parafes' S.G., Pestov M.D., Turkin I.K.** *Bespilotnye letatel'nye apparaty. Osnovy ustrojstva i funktsionirovaniya* Unmanned aerial vehicles. Fundamentals of structure and functioning]. Ed. by I.S. Golubev and I.K. Turkin. Moscow, 2010, 654 p. (in Russian)

14. **Golubev I.S., Levochkin S.B.** *Grani kachestva i konkurentosposobnosti letatelnykh apparatov* [Aspects of quality and competitiveness of flight vehicles]. Moscow, 2008, 224 p. (in Russian)

15. **Golubev I.S., Malakhov B.V., Parafes' S.G., Vu Khoa Tien.** *Metodicheskoe i programmnnoe obespechenie ekspertizy proektnykh predlozhenii tekhnicheskikh sistem* [Methodology and software of expertise for design proposals of technical systems]. Quality. Innovations. Education. M., Fond "Kachestvo", 2004, pp. 99–101. (in Russian)

16. *Tekhnologichnost konstruksii izdeliia: Spravochnik* [Technological effectiveness of the product design: Handbook]. Ed. by Y.D. Amirov. M., *Mashinostroenie* [Mechanical engineering publ.], 1990, 768 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey G. Parafes', Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor of the Aviation & Rocket Systems Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University), s.parafes@mail.ru.

Oksana G. Feoktistova, Doctor of Technical Science, Associate Professor, Head of Chair of the Computing Machines, Complexes, Systems and Networks, Moscow State Technical University of Civil Aviation, oksana-feoktistova@yandex.ru.

Поступила в редакцию
Принята в печать

16.09.2017
28.12.2017

Received
Accepted for publication

16.09.2017
28.12.2017