

## 11. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

### 11.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ СНИЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАТРАТ С ПОМОЩЬЮ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кузнецов С.Ю., к.э.н., доцент кафедры  
«Информационные системы в экономике»;  
Терелянский П.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой  
«Информационные системы в экономике»

*Волгоградский государственный  
технический университет*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом затрат и возможностей их снижения в рамках методологии функционально-стоимостного анализа (ФСА) технических систем. Определены основные факторы и направления снижения функциональных затрат с учетом сохранения или повышения общего уровня качества исследуемого объекта.

Предлагается использовать экспертный подход к оценке относительной величины затрат и эффективности анализируемых систем по выявленным функциям. Для повышения точности получаемых оценок целесообразно использовать иерархический подход к представлению альтернативных вариантов технических объектов и критериев, по которым оцениваются затраты и эффективность этих объектов. Решение о выборе наиболее рациональных вариантов, обеспечивающих снижение функциональных затрат, принимается на основе рассчитанных интегральных векторов приоритетов альтернатив по комплексному критерию «затраты – эффективность».

Для повышения качества анализа и снижения его трудоемкости предлагается использовать компьютерную систему поддержки принятия решений. В статье описан алгоритм, лежащий в основе функционирования этой системы.

Одна из наиболее широких трактовок функционально-стоимостного анализа (ФСА) заключается в том, что он рассматривается как метод системного комплексного исследования функций объектов, направленный на обеспечение общественно необходимых потребительских свойств объектов при минимальных затратах на реализацию этих свойств на всех этапах жизненного цикла объектов. Приведенная трактовка охватывает все существующие формы ФСА, сферы его применения и все варианты частных методик исследования. Объектами анализа при этом могут являться любые изделия, технологические процессы, производственные, организационные и информационные структуры, а также отдельные их элементы или группы элементов.

Наиболее распространенный в настоящее время вариант применения ФСА – использование его для снижения затрат на реализацию и функционирование объекта при сохранении неизменными потребительских свойств [2, с. 11]. Однако наряду с этим существует целый ряд не менее перспективных вариантов применения метода ФСА, а именно:

- одновременное снижение до общественно необходимого уровня затрат на реализацию объекта и его потребительских свойств;
- улучшение потребительских свойств объекта при неизменных затратах;
- улучшение потребительских свойств объекта, сопровождаемое снижением издержек;
- одновременное повышение до общественно необходимого уровня потребительских свойств объекта и затрат на его реализацию.

В рамках ФСА реализуется ряд принципов и подходов, наиболее полный перечень которых включает:

- плановый характер проведения ФСА;
- комплексный, системный и функциональный подходы;
- принципы соответствия значимости функций и затрат на их реализацию, а также соответствия реального параметра (ресурса) требуемому;
- принципы активизации творческого мышления, коллективного труда, междисциплинарного подхода;
- принцип применения новейших научных, технических и экономических знаний;
- принцип прогнозирования развития исследуемого объекта.

Плановый характер проведения ФСА означает его использование в качестве систематически действующего, обязательно учитываемого при организации хозяйственной деятельности фактора повышения эффективности производства, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Комплексный подход предусматривает исследование всех факторов, определяющих потребительские свойства анализируемого объекта и затраты на его создание, функционирование и утилизацию.

Системный подход проявляется в исследовании объекта как системы, имеющей в своем составе отдельные элементы (подсистемы) и являющейся, в свою очередь, частью некоей мегасистемы (надсистемы). В рамках ФСА подлежит рассмотрению весь комплекс внутрисистемных связей, а также требований, обусловленных существованием и деятельностью мегасистемы.

Функциональный подход означает, что исследуемый объект рассматривается и преобразуется не в конкретной предметной форме, а как комплекс функций, которые он выполняет или должен выполнять. Под функциями при этом понимаются проявления свойств объекта в определенных условиях, его действия или способности к выполнению действий. В основной своей части ФСА базируется на исследовании функций объекта. Рассмотрение в рамках ФСА не конкретных конструкторских, технологических или организационных решений, а функций, выполняемых всем объектом и отдельными его составными частями, позволяет раскрепостить мышление, уйти от стереотипов и, таким образом, стимулирует нахождение нетрадиционных решений. Функциональный подход является одним из основополагающих при проведении ФСА.

Принцип соответствия значимости функций и затрат на их осуществление связан с реализацией функционального подхода и состоит в следующем. При рассмотрении объекта как комплекса выполняемых им функций становится очевидным, что значимость этих функций неодинакова, кроме того, существуют отдельные функции, выполнение которых в данном объекте не является обязательным. Исходя из описываемого принципа затраты на реализацию тех или иных функций должны распределяться пропорционально значимости этих функций. Сопоставление значимости каждой из функций с затратами на ее реализацию предоставляет возможность эффективной диагностики объекта, выявления и постановки экономически обоснованных задач по его созданию или совершенствованию.

Принцип соответствия реального параметра (ресурса) требуемому также связан с реализацией функционального подхода. Для функций объекта определяются количественные параметры, способные однозначно

характеризовать степень выполнения (невыполнения) этих функций.

Рассмотрим существующий и модифицированный метод исследования факторов снижения затрат по функциям, который основан на том, что ожидаемая экономия за счет мероприятий ФСА определяется как уровнем исходных затрат, так и возможными факторами их снижения.

Относительно технических систем машиностроительного профиля наиболее значимыми факторами экономии затрат являются следующие:

- 1 – повышение технического уровня конструкции;
- 2 – устранение функционально излишних элементов в конструкции;
- 3 – повышение обоснованности значений технических параметров на основе технических и организационно-экономических расчетов;
- 4 – применение прогрессивных техпроцессов, заготовок и материалов;
- 5 – повышение коэффициента унификации;
- 6 – улучшение качества компоновки и технологичности сборки;
- 7 – повышение показателей надежности.

Каждый фактор вносит в общую экономию свой вклад, который приближенно оценивается соответствующим процентом снижения фактических затрат на функцию. Схематично в общем виде функциональные затраты и факторы их снижения для *i*-й функции приведены на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

- $Z_{ci}$  – суммарные приведенные затраты на *i*-ю функцию за срок службы,
- $Z_{min_i}$  – минимально возможный уровень функциональных затрат,
- $Z_{pi}$  – производственные затраты,
- $Z_{эi}$  – эксплуатационные затраты [5, с. 144].

Указанные затраты рассчитываются по следующим стандартным формулам:

$$Z_{ci} = Z_{pi} + Z_{эi}; \tag{1}$$

$$Z_{pi} = C_i + E_n \cdot K_i;$$

$$Z_{эi} = I_i / (A_i + E_n),$$

где  $C_i$  – производственные затраты на функцию, т.е. себестоимость носителя данной функции;

$K_i$  – капитальные вложения в сфере производства носителя функции;

$I_i$  – годовые эксплуатационные затраты при осуществлении функции;

$A_i$  – норма амортизационных отчислений на реновацию для анализируемого вида изделий;

$E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (обычно принимается равным 0,15).

Для выявления факторов экономии в методе ФСА предполагается использовать экспертов, которые обладают знаниями об альтернативных исполнениях исследуемых функций. Задавая такие вопросы, как «Нельзя ли сложную деталь заменить набором простых или стандартных?» или «Можно ли применить другой принцип действия для данной функции?» и т.п., эксперты мысленно сравнивают существующую техническую реализацию функции с альтернативными решениями и фиксируют ответы в форме «да» или «нет». Далее по положительным ответам определяется количество и состав используемых факторов по каждой функции. Функция с ожидаемой наибольшей экономией затрат определяется по следующему выражению:

$$\Delta\phi = 3п * 0,01\sum e_{pi} + 3э * 0,01\sum e_{эi} \rightarrow \max, \tag{2}$$

где

$\Delta\phi$  – ожидаемая экономия затрат;

$3п$  и  $3э$  – затраты на функцию в сфере производства и эксплуатации соответственно;

$e_{pi}$  и  $e_{эi}$  – эффект одного *i*-го фактора, выраженный в процентах снижения затрат в сфере производства и эксплуатации соответственно (определяется экспертно).

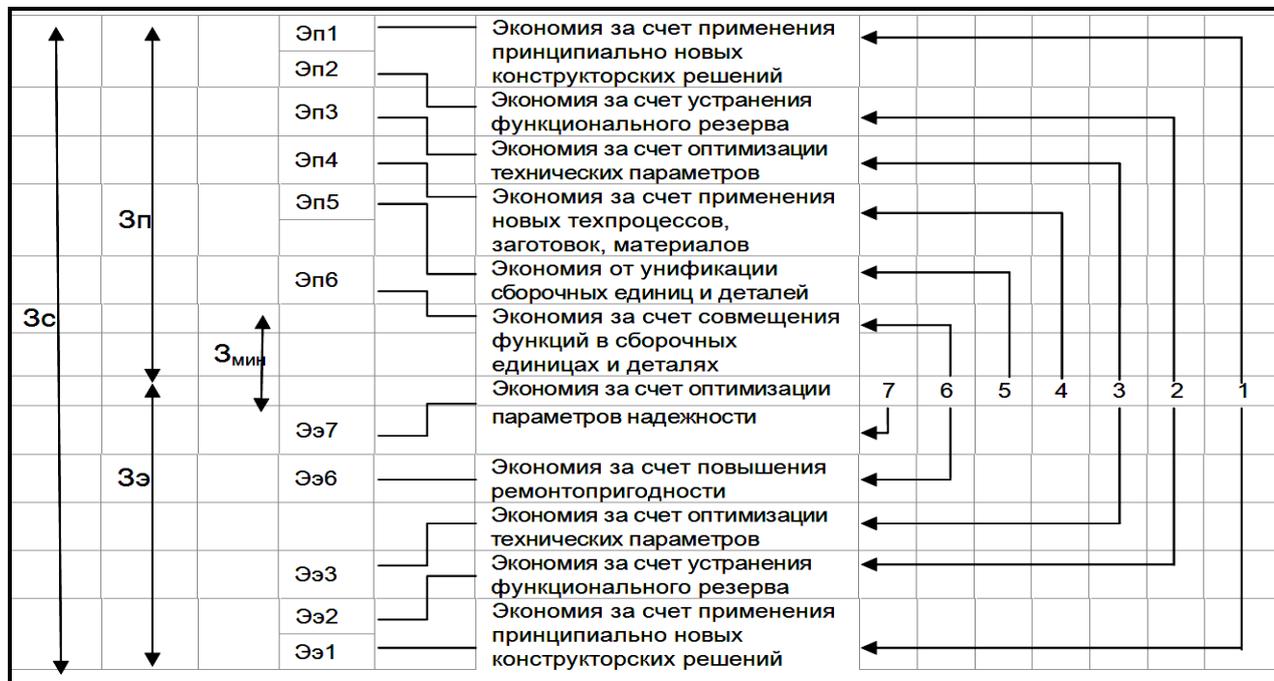


Рис. 1. Обобщенная схема снижения функциональных затрат

Недостатком данного метода исследования факторов снижения затрат по функциям является то, что в нем отсутствует подход выбора наиболее эффективной альтернативы из множества возможных реализаций *i*-го фактора, учитывающий одновременно функциональную эффективность и стоимостные затраты. В связи с этим предлагается лучшие факторы и их альтернативы определять по критерию максимального соотношения уровня технической эффективности к уровню затрат на реализацию функции. Рассмотрим последовательность решения указанной задачи.

Прежде всего следует отметить, что критерий эффективности технической системы в целом или отдельного ее элемента является комплексным и включает показатели назначения, надежности, экономичности, патентоспособности и т.п. Поскольку все показатели имеют свои единицы измерения, то при комплексной оценке необходимо использовать безразмерные единицы. Критерий технической эффективности может быть представлен в виде иерархической структуры показателей качества, конкретизирующих обобщенный критерий. В связи с этим для оценки альтернатив факторов по снижению затрат функций целесообразно использовать метод анализа иерархий. После построения иерархической структуры и попарного сравнения альтернатив *i*-го фактора относительно критериев самого нижнего иерархического уровня осуществляется вычисление интегрального вектора приоритета  $W_{TЭ}$  альтернатив по целевому критерию технической эффективности исследуемой системы в целом или отдельного ее элемента.

Далее определяются затраты альтернатив факторов по каждой функции. При этом возможны два способа определения затрат. В соответствии с первым способом определяются относительные затраты, исходя из стоимостей функций, выраженных в денежных единицах (случай, когда на функциональные элементы системы имеется калькуляция). В соответствии со вторым способом определяются приросты затрат путем попарного сравнения функций системы. Этот способ применяется в ситуациях, когда на элементы системы отсутствует калькуляция, например при исследовании принципиально новой системы [3, с. 108].

При использовании второго способа прирост затрат определяется на основе самостоятельной иерархической структуры, для которой рассматривается вектор приоритета  $W_{З}$ , ранжирующий альтернативы, принадлежащие *i*-му фактору, относительно вершины иерархической структуры. Вершина иерархии в данном случае определяет затраты на реализацию факторов. Далее берется соотношение соответствующих значений векторов  $W_{TЭ}$ ,  $W_{З}$  и строится искомым вектор:

$$W_{TЭ/З} = \{W_{TЭ_{i1}}/W_{З_{i1}}, W_{TЭ_{i2}}/W_{З_{i2}} \dots \dots W_{TЭ_{ij}}/W_{З_{ij}} \dots W_{TЭ_{in}}/W_{З_{in}}\}^T, \tag{3}$$

где

*i* – фактор предполагаемого снижения затрат;

*j* = 1...*n* – порядковый номер альтернативы;

*n* – число альтернатив *i*-го фактора;

$w_{TЭ_{ij}}$  и  $w_{З_{ij}}$  – значения соответствующих векторов  $W_{TЭ}$  и  $W_{З}$ .

Наиболее значимой альтернативой фактора для улучшения функции по технико-экономическому критерию является та, которая имеет максимальное значение в векторе  $W_{TЭ/З}$ .

Рассмотрим пример определения наиболее значимой альтернативы фактора для улучшения по технико-экономическому критерию функции: «создавать упругую восстанавливающую силу», которая относится к виброзащитной металлической винтовой пружине.

Пусть для улучшения технико-экономических показателей указанной функции используется один фактор: «повышение технического уровня конструкции путем использования новых технических идей, в том числе изобретений». Альтернативами реализации данного фактора являются следующие виброзащитные элементы:

- $A_1$  – пневматический;
- $A_2$  – торсионный;
- $A_3$  – резиновый;
- $A_4$  – электромагнитный;
- $A_5$  – металлический торсионный;
- $A_6$  – металлический консольный [1, с. 32].

Иерархическая структура для оценки технической эффективности альтернатив приведена на рис. 2.

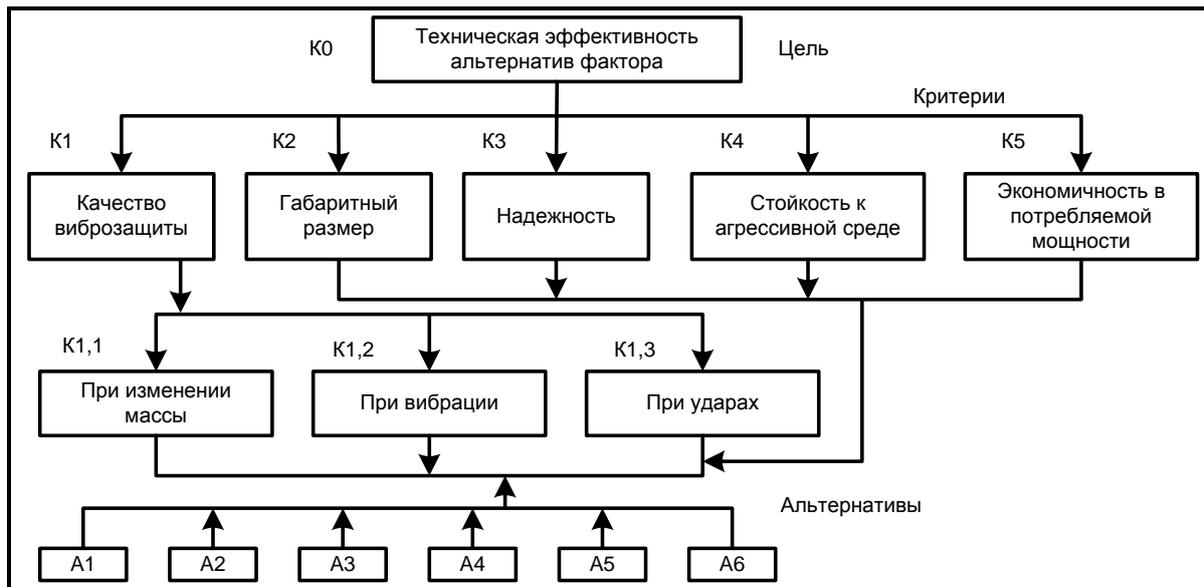


Рис. 2. Иерархия критериев для оценки технической эффективности альтернатив

Установление относительной предпочтительности критериев и альтернатив осуществлялось попарным сравнением. Значения векторов приоритетов альтернатив, рассчитанные по всем критериям иерархии, приведены в табл. 1, а абсолютные затраты на реализацию альтернатив в табл. 2.

Таблица 1

**ЗНАЧЕНИЯ ВЕКТОРОВ ПРИОРИТЕТОВ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ ОЦЕНКЕ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ**

A <sub>i</sub>	K <sub>i</sub>								
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>1,1</sub>	K <sub>1,2</sub>	K <sub>1,3</sub>	K <sub>0</sub>
A <sub>1</sub>	0,291	0,440	0,059	0,048	0,616	0,508	0,312	0,052	0,180
A <sub>2</sub>	0,196	0,202	0,261	0,265	0,228	0,133	0,138	0,318	0,231
A <sub>3</sub>	0,066	0,096	0,119	0,048	0,228	0,031	0,038	0,129	0,111
A <sub>4</sub>	0,154	0,097	0,038	0,110	0,027	0,097	0,312	0,052	0,085
A <sub>5</sub>	0,146	0,048	0,261	0,265	0,228	0,056	0,063	0,318	0,189
A <sub>6</sub>	0,147	0,117	0,261	0,265	0,228	0,174	0,138	0,129	0,204

Таблица 2

**АБСОЛЮТНЫЕ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ НА АЛЬТЕРНАТИВЫ**

Альтернативы A <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
Абсолютные затраты (руб.)	250	260	200	140	160	200
Относительные затраты	0,207	0,215	0,165	0,116	0,132	0,165

Относительные затраты Z<sub>i</sub> на i-ю альтернативу рассчитываются по формуле:

$$Z_i = C_i / C_{общ}, \quad (4)$$

где

C<sub>i</sub> – затраты на осуществление i-й альтернативы;

C<sub>общ</sub> – общие затраты на все альтернативы.

Векторы относительных затрат W<sub>зi</sub> по альтернативам и результирующий вектор, отражающий отношение значений векторов W<sub>тэi</sub> и W<sub>зi</sub>, имеют следующий вид:

$$W_{зi} = \{0.207 \ 0.215 \ 0.165 \ 0.116 \ 0.132 \ 0.165\}^T$$

$$W_{тэ/зi} = \{0.870 \ 1.074 \ 0.673 \ 0.733 \ 1.432 \ 1.236\}^T.$$

Для альтернативного определения отношения эффективности – затраты могут использоваться значения прироста затрат, определяемые методом попарного сравнения абсолютных затрат, принадлежащих альтернативам. Для этого определяется правый собственный вектор матрицы парных сравнений, при составлении которой эксперт отвечает на вопрос: какая из двух сравниваемых альтернатив имеет большие затраты, и на сколько?

В табл. 3 приведена матрица парных сравнений альтернатив, построенная по критерию «затраты» на основании экспертного оценивания абсолютных затрат.

**МАТРИЦА ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ АЛЬТЕРНАТИВ ПО КРИТЕРИЮ «ЗАТРАТЫ»**

Какой из сравниваемых виброзащитных элементов имеет наибольшие затраты							Правый
Сравниваемые попарно элементы	Пневматический	Торсионный	Резиновый	Электромагнитный	Металл торсионный	Консольный	Собственный вектор W <sub>зi</sub>
Пневматический	1	1/2	1	7	1/3	3	0,157
Торсионный	2	1	2	7	1/2	3	0,236
Резиновый	1	1/2	1	7	1/2	3	0,166
Электромагнитный	1/7	1/7	1/7	1	1/8	1/7	0,025
Металл торсионный	3	2	2	8	1	3	0,328
Консольный	1/3	1/3	1/3	7	1/3	1	0,088

Результирующий вектор, отражающий отношение значений векторов W<sub>тэi</sub> и W<sub>зi</sub> с учетом ранее полученных данных, имеет следующий вид:

$$W_{тэ/зi} = \{1.146 \ 1.022 \ 1.495 \ 0.294 \ 1.735 \ 0.431\}^T$$

Анализ двух результирующих векторов W<sub>тэ/зi</sub> и W<sub>тэ/зi</sub> показывает, что выбранный метод определения затрат оказывает существенное влияние на конечный результат. При этом второй подход имеет смысл применять в тех случаях, когда эксперту важно при решении конкретной задачи выразить свое личное отношение в установление относительной предпочтительности по каждой альтернативе.

При рассмотрении принципиально новых альтернатив, например на уровне описаний изобретений, затраты для них определяются по нескольким категориям, которые упорядочиваются конкретной иерархией (рис. 3).

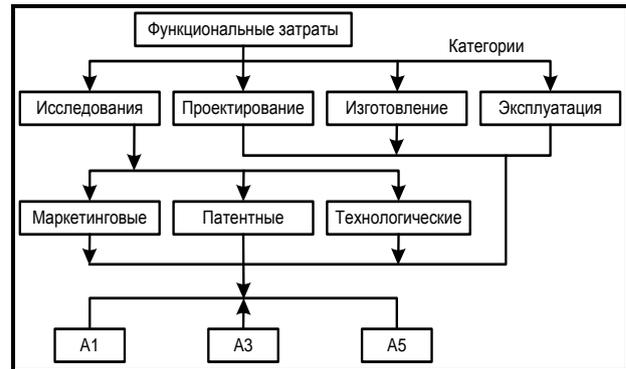


Рис. 3. Иерархия критериев, определяющих затраты на создание принципиально новых элементов

Далее методом попарного сравнения или методом сравнения относительно стандартов устанавливается степень предпочтения альтернатив и критериев качества. После проведения экспертной оценки осуществляется иерархический синтез, в результате которого рассчитывается интегральный вектор приоритетов альтернатив относительно фокуса иерархии. Для рассматриваемого примера имеем следующий интегральный вектор:

$$W_{зi} = \{0.328 \ 0.088 \ 0.236 \ 0.166 \ 0.157 \ 0.025\}^T.$$

Окончательный результат получается путем деления значений вектора W<sub>тэi</sub> на соответствующие значения вектора W<sub>зi</sub>:

$$W_{тэ/зi} = \{0.549 \ 0.625 \ 0.470 \ 0.512 \ 0.204 \ 8.16\}^T.$$

Таблица 3

Анализ последнего вектора позволяет сделать вывод, что лучшей альтернативой является  $A_6$  со значением 8,16.

Эффективная реализация рассмотренных методик подразумевает применение современных информационных технологий, программных средств, позволяющих автоматизировать трудоемкие расчеты, а также обеспечить наглядное представление получаемых результатов. Одним из представителей актуальных информационных технологий выступают системы поддержки принятия решений.

Автоматизированная система поддержки принятия решений (СППР) является средством организации процесса экспертного оценивания и выбора рационального, с точки зрения показателей качества, варианта технического решения (ТР) из множества альтернативных вариантов. Данная автоматизированная система реализует процедуры метода анализа иерархии и может использоваться в различных предметных областях. Процесс функционирования СППР, как средства обработки экспертной информации, можно представить в виде последовательности четырех процедур.

- Процедура 1. Предполагает подготовку информации, необходимой для построения обобщенной оценки приоритета альтернативных вариантов ТР. Предполагается, что в первую очередь будет разработана система показателей качества, а затем будет проведено сравнение ТР и оценка весомости показателей экспертным способом.
- Процедура 2. Предполагает расчет значений собственного вектора для всех матриц экспертных оценок элементов системы оценки – матриц сравнительной оценки альтернатив относительно показателей нижнего уровня иерархии и матриц сравнительной оценки для показателей, конкретизирующих показатель, относящийся к более высокому уровню иерархии.
- Процедура 3. Включает расчет степени приоритета альтернатив на основе вычисленных в процессе реализации второй процедуры векторов приоритетов матриц сравнительных экспертных оценок.
- Процедура 4. Ее содержанием является представление информации о приоритете альтернатив, соответствующей их оценкам относительно показателя на высшем уровне иерархии (он определяется на этапе разработки модели как принципиальный критерий качества ТР, цель исследований, которой в той или иной мере соответствуют варианты решений).

В процессе проектирования СППР описанные процедуры получили формализованное развитие в виде алгоритмической модели функционирования автоматизированной системы, построение которой потребовало проведения дополнительного анализа вычислительных операций, предусматриваемых методом принятия решений на иерархии. Приведем рассуждения, отражающие процесс систематизации и формализации подходов к обработке экспертных данных, предусматриваемых этим методом [4, с. 174].

Модель оценки альтернативных вариантов решений имеет иерархическую структуру и принципиально определяется включаемыми ею уровнями иерархии, а также связями элементов системы оценки (показателей качества и альтернатив) в пределах одного уровня иерархии и связями с элементами смежных уровней. Если представить все показатели, составляющие систему оценки в виде множества  $P = \{P_i\}$ , то принцип их организации, соответствующий этой системе, можно отразить множеством:

$$H = \{H_{jk}\},$$

где  $H_{jk}$  – номер показателя из множества  $P$ , находящийся на уровне  $j$ , а его порядковый номер в множестве показателей этого уровня –  $k$ .

Если число иерархических уровней  $N_i$ , то каждому показателю:

$$P_t \in P, t \in H = \{H_{jk}\}, j = 1, N_i - 1,$$

можно поставить в соответствие множество подчиненных ему показателей  $p^t = \{p^t\}$ , находящихся на более низком уровне иерархий  $j + 1$ . Каждый показатель нижнего уровня иерархий:

$$P_i \in P, i \in H = \{H_{jk}\}, j = N_i,$$

связан с альтернативами из множества  $A = \{A_{ij}\}$ . Каждому показателю  $P_t$  может поставлена в соответствие матрица экспертных оценок конкретизирующих его показателей  $M^{P^t}$ , размерность которой  $N_{sp^{P^t}} * N_{sp^{P^t}}$ , определяется числом подчиненных  $P_t$  показателей. Для данной матрицы рассчитывается собственный вектор:

$$W^{P^t} = \{W^{P^t}\}, i = 1, N_{sp^{P^t}}.$$

Значение элемента этого вектора отражает весовость подчиненного показателя, которая будет учитываться в процессе расчета приоритета альтернатив относительно всех показателей системы оценки. Каждому показателю нижнего иерархического уровня:

$$P_i, i \in H = \{H_{jk}\}, j = N_i$$

можно поставить в соответствие матрицу экспертных оценок альтернатив  $M_A^{P_i}$ , с которыми связан данный показатель. Для нее также рассчитывается собственный вектор  $W_A^{P_i}$ . Значения его элементов отражают приоритет альтернатив относительно данного показателя.

Из вышеизложенного можно заключить, что операция расчета весомости показателей качественно не отличается от процедуры расчета приоритета альтернатив относительно показателей нижнего уровня иерархии. Любой элемент системы оценки – показатель или альтернатива – могут быть определены в рамках этой системы следующими параметрами:

- номером уровня иерархии, на котором он расположен;
- порядковым номером в множестве элементов этого уровня;
- номерами подчиненных элементов на нижнем, смежном с данным уровнем иерархии;
- матрицей экспертных оценок подчиненных элементов и соответствующим ей собственным вектором.

Метод принятия решений на иерархии предполагает проведение расчетов, этапы которых соответствуют иерархической многоуровневой организации системы оценки; определение приоритета альтернатив ведется относительно всех показателей каждого уровня иерархии, начиная с последнего. Результатом выполнения вычислительных процедур является вектор оценок альтернатив  $W_A^u$  относительно показателя высшего уровня иерархии  $U$  (цели выбора). Принцип его расчета может быть представлен следующей формулой:

$$W_A^u = \sum_{k=1}^{N_{pN_i}} \left( \prod_{i=1}^{N_i} V_{ij} \right) \cdot W_{A_j}^k, \quad (5)$$

где

$V_{ij}$  – значение элемента собственного вектора, соответствующее показателю, находящемуся на уровне иерархии  $i$ ;

$N_i$  – число уровней иерархии в системе оценки;

$N_{pN_i}$  – число показателей на последнем ( $N_i$ ) уровне иерархии;

$W_{A_j}^k$  – оценка приоритета альтернативы  $A_j \in A$ , относительно каждого показателя нижнего уровня иерархии, с которым она связана.

Номер показателя на уровне иерархии  $li$  изменяется с учетом его взаимосвязи с показателями смежных иерархических уровней. Для двух смежных уровней  $l$  и  $l+1$ , где  $l \neq Nl$ ,  $li+1 < Nsp^{il}$ , где  $Nsp^{il}$  – число показателей, конкретизирующих показатель с номером  $il$ , если в конструкцию  $\prod_{i=1}^{Nl} V_{il}$  вошел показатель с номером  $li+1$ , то

следующим в нее войдет показатель с номером  $li+1+1$ . Если показатели, подчиненные показателю с номером  $li$  исчерпаны, то с уровня  $l+1$  в множество произведенных, в соответствии с формулой (5), войдут показатели, подчиненные показателю с номером  $li+1$ . Если все показатели с номером  $l+1$  учтены в процессе построения обобщенной оценки приоритета альтернатив, то уровень  $l$  рассматривается как подчиненный уровню  $l+1$ .

Приведенные рассуждения позволяют разработать законченное описание данных, соответствующее алгоритму функционирования СППР. Приведем это описание.

$NSP$  – число показателей и альтернатив в системе оценки вариантов ТР.

$NL$  – число уровней в структуре модели оценки.

$NPi$  – число элементов системы оценки (показателей или альтернатив), находящихся на уровне иерархии  $i$ ;  $i = \overline{1, NL}$ ;

$SPijk$  – массив номеров показателей, подчиненных показателю, находящемуся на уровне иерархии  $i$ ; его порядковый номер в множестве показателей этого уровня  $j$ ;  $i = \overline{1, NL-1}$ ,  $j = \overline{1, NP_i}$ ,  $k = \overline{1, NSP_j}$ ,

где  $NSPij$  – число показателей, конкретизирующих данный, с параметрами  $i$  и  $j$ ;

$PEijkl$  – массив экспертных оценок, определяемых сравнением показателей уровня  $i-1$ , конкретизирующих показатель с номером  $j$ ;  $i = \overline{1, NSP_j}$ ;

$Vij$  – вектор весомости показателей уровня  $i$ , который рассчитывается на основе матриц экспертного сравнения показателей данного уровня;  $i = \overline{1, NL}$ ,  $j = \overline{1, NP_i}$ ;

$PSij$  – специальное значение, требуемое для организации процесса поэтапного расчета приоритета альтернатив, которое характеризует каждый элемент системы оценки.

Приведем описание шагов алгоритма расчета приоритета альтернатив.

Шаг 1. На первом шаге осуществляется ввод информации, определяющей структуру модели оценки ТР. При этом задаются значения следующих переменных:

$$NL; NPi, i = \overline{1, NL}; NSPij, i = \overline{1, NL-1}, j = \overline{1, NP_i};$$

Шаг 2. На втором шаге производится сравнительная оценка альтернатив и показателей, что предполагает заполнение матриц парного сравнения элементов системы оценки, описываемых массивом:

$$PEijkl, i = \overline{1, NL-1}, j = \overline{1, NP_j}, k = \overline{1, NSP_k}, l = \overline{1, NSP_k}.$$

Шаг 3. Для матриц парного сравнения показателей и альтернатив рассчитывается собственный вектор, в соответствии с соотношением (5), алгоритм вычисления которого приводится в данном разделе.

Шаг 4. Начиная с четвертого шага производится расчет приоритета альтернатив относительно цели выбо-

ра. Переменной счетчику уровней  $L$  присваивается значение единица.

Шаг 5. Счетчику критериев  $I$ , соответствующих уровню  $L$  присваивается значение единица.

Шаг 6. Счетчику подкритериев  $K$ , соответствующих критерию уровня  $L$  с номером  $I$  присваивается значение единица.

Шаг 7. На этом шаге производится операция со значениями оценок весомости показателей с использованием специальной переменной, соответствующей каждому элементу системы оценки ТР.

$t = SP_{LIK}$  (переменная  $t$  определила порядковый номер подкритерия  $K$  на уровне  $L+1$ ).

$$PS_{L+1t} = PS_{L+1t} + PS_{Lr} V_{L+1t}.$$

Данная операция принципиально соответствует соотношению (5).

Шаг 8. На данном шаге выполняются следующие операции. Счетчик подкритериев  $K$  увеличивается на 1. Если его значение больше числа подкритериев критерия с параметрами  $(L, I)$ , то выполняется следующий шаг алгоритма; если нет, то производится переход на шаг 7.

Шаг 9. Выполняются следующие действия. Счетчик критериев  $I$ , соответствующих уровню  $L$ , увеличивается на 1 ( $I = I + 1$ ). Проверяется условие  $I > NP_L$ . Если все критерии на уровне  $L$  рассмотрены, то выполняется шаг 10 алгоритма, иначе осуществляется переход к шагу 6.

Шаг 10. На данном шаге осуществляется увеличение переменной – счетчика уровней  $L$  на 1 ( $L = L + 1$ ). Если все уровни проанализированы ( $L > NL$ ), то реализуется шаг 11 данного алгоритма, если нет, то выполняется переход на шаг 5.

Шаг 11. В массиве  $PS_{NLj}$ ,  $j = \overline{1, NP_{NL}}$  (его значения соответствуют элементам последнего уровня иерархии  $NL$  системы оценки) хранятся значения приоритетов альтернатив относительно цели выбора. На данном шаге осуществляется выдача информации о предпочтительности альтернатив на основе значений их обобщенных оценок.

На шаге 3 описанного алгоритма выполнялась процедура расчета собственного вектора для матриц парных сравнений альтернатив и показателей. Приведем описание алгоритма данной процедуры, который можно рассматривать как достаточно законченную, с точки зрения входных, выходных данных и операций над ними, часть вычислительного процесса определения приоритета альтернатив.

В качестве входных данных для алгоритма выступает матрица  $Mij$ , размерностью  $NM$ .

В результате выполнения шагов данного алгоритма рассчитывается собственный вектор матрицы  $V_i$ ,  $i = \overline{1, NM}$ . Расчет его ведется с точностью до значения  $EPS$ , которое принимается равным 0,01.

Алгоритм расчета собственного вектора включает следующие шаги.

Шаг 1. Расчет значения собственного вектора, соответствующего данному номеру итерации  $ITER$ . Первоначально номер итерации считается равным единице. В процессе расчета реализуются следующие операции.

$$B_i = \sum M_{ij}, j = \overline{1, NM}, i = \overline{1, NM};$$

$$S = \sum B_i, i = \overline{1, NM};$$

$$VO_i = \frac{B_i}{S}.$$

Здесь  $B_i$ ,  $S$  – промежуточные значения, необходимые для расчета вектора  $VO_i$ .

$VO_i$  – собственный вектор, используемый наряду с собственным вектором  $Vi$  для выполнения операции проверки достижения заданной точности вычислений. Они соответствуют процедурам, реализуемым на двух последовательных итерациях.

Шаг 2. На данном шаге осуществляется возведение исходной матрицы  $M_{ij}$  в степень  $k=2^{ITER}$ . В соответствии с этим принципом, на каждой итерации производится умножение матрицы самой на себя. Эту операцию можно выразить следующим соотношением:

$$M_{ij} = \sum M_{ik} \cdot M_{kj}, k = \overline{1, NM}, j = \overline{1, NM}, i = \overline{1, NM}.$$

Шаг 3. На третьем шаге осуществляется расчет значений элементов собственного вектора  $Vi$ , соответствующего данной итерации:

$$B_i = \sum M_{ij}, j = \overline{1, NM}, i = \overline{1, NM};$$

$$S = \sum B_i, i = \overline{1, NM};$$

$$V_i = \frac{B_i}{S}.$$

Шаг 4. На этом шаге производится сравнение суммы модулей разностей значений элементов собственного вектора, соответствующего данной итерации и собственного вектора, соответствующего предыдущей итерации, с заданной точностью  $EPS$ .

Если выполняется условие:  $\sum(V_i - VO_i) \geq EPS$ , то осуществляется переход на следующий шаг алгоритма. Если же заданная точность достигнута, то расчет собственного вектора можно считать законченным. Его значение содержит переменная  $Vi$ .

Шаг 5. Номер итерации увеличивается на единицу ( $ITER = ITER + 1$ ), элементам вектора  $VO_i$  присваиваются значения элементов вектора  $Vi$ , соответствующие предыдущей итерации:

$$VO_i = V_i, i = \overline{1, NM}.$$

После этого осуществляется переход к шагу 2.

Разработанная алгоритмическая модель функционирования СППР позволяет построить программно-ориентированную модель, компонентами которой будут программные подсистемы, реализующие принципиальные функции СППР, в соответствии с методом принятия решений на иерархии и проектно-исследовательскими моделями данной автоматизированной системы. Принципиальная структурная схема программной организации СППР представлена на рис. 4.

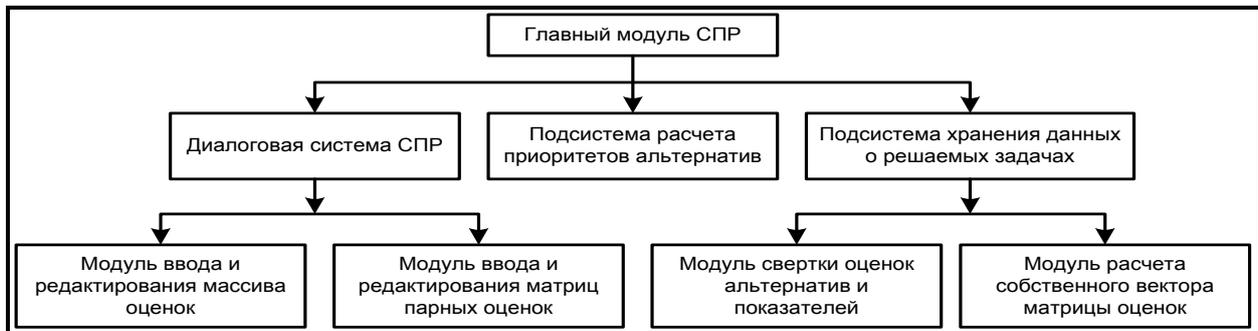


Рис. 4. Структурная схема программной системы

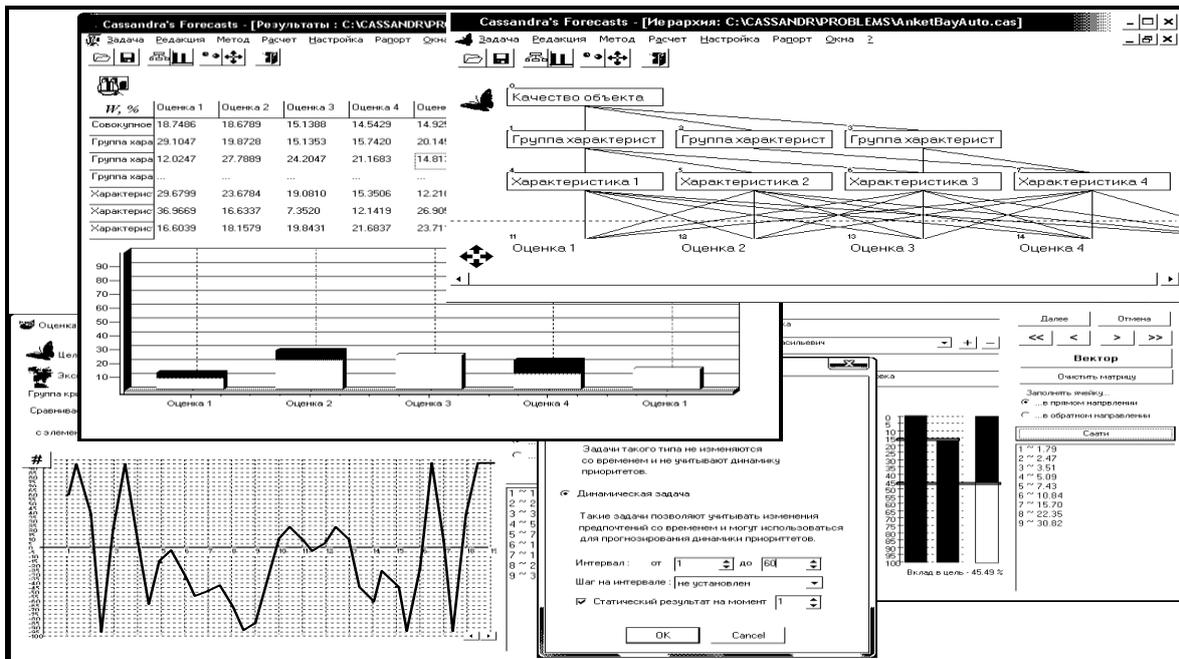


Рис. 5. Экранная форма, иллюстрирующая принципы работы системы поддержки принятия решений

В качестве одного из принципов, лежащих в основе представления информации в СПР, выступает отображение иерархической структуры и матриц парного сравнения показателей и альтернатив в форме близкой к той, которая используется в методических описаниях и примерах, иллюстрирующих процесс принятия решений. В целом, интерфейс СПР реализован в соответствии с современными требованиями к диалоговому взаимодействию с программными системами для Windows [4, с. 192].

Программная система позволяет автоматизировать расчеты векторов приоритетов альтернатив и критериев, обеспечивает наглядное отображение результатов ранжирования анализируемых объектов. Важным достоинством системы является широкая инвариантность относительно исследуемой предметной области.

**Литература**

1. Декатов Д.Е. и др. Модели и средства концептуального проектирования виброзащитных систем [Текст] : монография / Андрейчиков А.В., Декатов Д.Е., Кузнецов С.Ю., Егорова И.Е. – Волгоград : Изд-во Волгоград. гос. техн. ун-та, 2004. – 144 с.
2. Карпунин М.Г. Функционально-стоимостной анализ в инженерной деятельности [Текст] : учеб. пособие / М.Г. Карпунин, А.М. Кузьмин, С.В. Шалденков. – М. : Информэлектро, 1990. – 75 с.
3. Кузнецов С.Ю. и др. Модели и программные средства поддержки процедур функционально-стоимостного анализа промышленной продукции [Текст] : монография / Андрейчиков А.В., Кузнецов С.Ю., Декатов Д.Е. – Волгоград : Изд-во Волгоград. гос. техн. ун-та, 2005. – 147 с.
4. Терелянский П.В. Информационные технологии прогнозирования технических решений на основе нечетких и иерархических моделей [Текст] : монография / П.В. Терелянский, А.В. Андрейчиков. – Волгоград : ВолГТУ, 2007. – 204 с.
5. Терелянский П.В. Непараметрическая экспертиза объектов сложной структуры [Текст] : монография / П.В. Терелянский. – М. : Дашков и К<sup>о</sup>, 2009. – 221 с.

**Ключевые слова**

Функционально-стоимостной анализ; функциональные затраты; значимость функций; иерархия; парные сравнения; приоритетность альтернатив; система принятия решений.

*Кузнецов Сергей Юрьевич*

*Терелянский Павел Васильевич*

## РЕЦЕНЗИЯ

Задача снижения затрат на всех этапах создания новой техники является одной из актуальных в теории и практике управления. Эффективным инструментом оптимизации производственных затрат является метод функционально-стоимостного анализа систем (ФСА). В представленной статье описывается методика применения элементов ФСА к анализу путей снижения затрат на создание технических систем. При этом формулируются направления снижения функциональных затрат при условии сохранения качества объекта анализа.

Важным моментом является использование экспертного оценивания эффективности анализируемых альтернативных технических решений по функциям системы, с применением иерархических структур для представления альтернатив и критериев оценки. Вместе с тем, затраты на реализацию технических подсистем также могут быть выражены в виде относительных безразмерных оценок, получаемых на основе попарного сравнения альтернатив по критерию «превосходство по затратам». Такой подход, очевидно, применим на ранних этапах исследований, при отсутствии точных данных о стоимости конкретных технических систем.

В итоге, осуществляется ранжирование альтернативных вариантов технических решений, обеспечивающих снижение затрат на функции системы, по значениям рассчитанных интегральных векторов приоритетов в соответствии с комплексным критерием затраты – эффективность. Качественное и эффективное проведение анализа обеспечивается за счет использования программной системы поддержки принятия решений, которая реализует трудоемкие процедуры расчетов векторов приоритетов альтернатив и критериев. В статье приведено описание алгоритма, лежащего в основе работы данной компьютерной программы.

Таким образом, очевидна актуальность и научно-практическая ценность представленной статьи. Считаю возможным рекомендовать ее к печати.

*Московцев А.Ф., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент, маркетинг и организация производства», декан факультета «Экономика и управление» Волгоградского государственного технического университета*