

УДК 621.0:621.867

DOI: 10.12737/article\_59353e297d5205.11729580

А.А. Реутов

## НЕЧЕТКОЕ ОПИСАНИЕ И ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предложено нечеткое описание концепции проектирования, включающее фасетную формулу, нечеткое описание оценки совместимости пар фасетов лингвистической переменной, представление параметров и характеристик нечеткими множествами. Представлен метод нечеткого выбора предпочтительной концепции путем сравнения нечет-

ких описаний технического задания и множества концепций. Приведен пример выбора концепции проектирования привода конвейера.

**Ключевые слова:** концепция проектирования, техническое задание, фасетная формула, нечеткое множество, лингвистическая переменная.

А.А. Reutov

## FUZZY DESCRIPTION AND CHOICE OF DESIGN CONCEPT

The offered fuzzy description of the design concept includes a faceted formula, a fuzzy description of the assessment of the compatibility of facet pairs with a linguistic variable, the presentation of parameters and characteristics through fuzzy sets.

Preferred concepts of design are chosen with the compatibility assessment of value pair facets and comparison of descriptions of concepts and technical tasks (TTs) for design. Thereupon the descriptions of concepts and TTs must have an equal format which implies equal rules for making up descriptions, methods for data presentation in information objects, use of fuzzy sets.

A joint use of compatibility assessments in pairs

Концепцией проектирования называют общий замысел проекта без конкретизации составляющих. Выбор концепции определяет направление проектирования, область возможных проектных решений.

В [1] предложен фасетный метод описания концепций. Каждая концепция  $g$  представлена фасетной формулой  $F(g)$  – последовательностью пар: фасет  $\varphi$  и его значение  $\varphi(g)$  на этой концепции для всех фасетов.

$$F(g) = \langle (\varphi, \varphi(g)) \rangle \mid \varphi \in \Phi, \quad g \in G,$$

где  $\Phi$  – множество фасетов;  $G$  – множество концепций.

Базовое множество концепций  $G_b$  включает все сочетания значений фасетов для конкретной проектной задачи. Количество концепций базового множества  $N_b$  определяется формулой

$$N_b = \prod_{i=1}^f N_i,$$

где  $f$  – количество фасетов;  $N_i$  – количество значений  $i$ -го фасета.

Для конкретной проектной задачи  $G_b$

of facet values and results of the comparison of concepts and TTs allows passing to a resultant fuzzy assessment and choosing a preferable concept of design. A resultant assessment includes partial criteria taking into account values of a linguistic variable of the compatibility of facets value pairs and also an intersection of fuzzy sets of TT characteristics and concept descriptions.

There is offered a method of a fuzzy choice of a preferred design concept at information lack and TT uncertainty.

**Key words:** design concept, technical task, facet formula, fuzzy set, linguistic variable.

необходимо предварительно отфильтровать с использованием известных теоретических положений и ограничений исходного или технического задания (ТЗ).

В [1] предложено четкое правило фильтрации, согласно которому концепция отбраковывается, если хотя бы одна пара значений ее фасетов признана несовместимой. Признание несовместимости, как правило, обосновывают отсутствием положительного опыта создания объектов с данными значениями фасетов или известными фактами неудовлетворительной эксплуатации таких объектов.

Подобная четкая оценка совместимости неприменима для новаторских проектов, когда предыдущий опыт проектирования и эксплуатации отсутствует либо недостаточен.

Несовместимость пары фасетов может быть преодолена использованием дополнительных средств, усложняющих и удорожающих объект проектирования (ОП). В ряде случаев подобное усложнение оправдано, поскольку общий эффект

использования концепции превышает все затраты. Например, известно смертельное воздействие проникающей радиации на живые организмы, и пара значений фасетов «источник радиации» - «обслуживающий персонал» относится к несовместимым. Несмотря на это, ядерные реакторы нашли широкое применение в военном судостроении, поскольку обеспечивают высокие энергетические показатели кораблей.

Другим примером плохо совместимых значений фасетов является пара «использование технического золота» - «крупносерийное или массовое производство изделий». Современная радиоэлектронная промышленность преодолела эту несовместимость. Золото широко используется в бытовых электронных приборах, поскольку позволяет снизить их энергопотребление, размеры и стоимость.

В общем случае проектировщики могут давать нечеткие оценки совместимости значений фасетов с использованием теории нечетких множеств [2].

Одним из способов нечеткой оценки может быть применение лингвистической переменной.

Лингвистическая переменная характеризуется набором  $\langle L, T(L), X, S, M \rangle$ , где  $L$  – название переменной;  $T(L)$  – множество ее значений (терм-множество);  $X$  – универсальное множество с базовой переменной

$x$ ;  $S$  – синтаксическое правило образования новых значений лингвистической переменной;  $M$  – семантическое правило перевода нового значения лингвистической переменной в нечеткую переменную [3].

Формальную оценку совместимости пары значений фасетов можно проводить лингвистической переменной  $L$  = «оценка совместимости пары фасетов» с терм-множеством  $T(L) = \{ \text{неудовлетворительная, плохая, удовлетворительная, хорошая, отличная} \}$ . В результате экспертного опроса (правило  $M$ ) каждая концепция получает набор значений оценок совместимости пар фасетов из терм-множества  $T(L)$ .

Степень принадлежности  $\mu_{ij}$   $i$ -й пары фасетов  $j$ -му значению оценки из терм-множества  $T(L)$  вычисляются по формуле [4]

$$\mu_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{j,i,k}, \quad i = 1, \dots, N_f, \quad (1)$$

где  $K$  – количество экспертов;  $N_f$  – количество пар фасетов;  $b_{i,j,k}$  – мнение  $k$ -го эксперта о наличии у  $i$ -й пары значений фасетов  $j$ -го значения оценки из терм-множества  $T(L)$ .

Рассмотрим в качестве примера классифицирующие признаки (фасеты) приводов ленточных конвейеров (ЛК) и варианты их реализации (значения фасетов) [5] (табл. 1).

Таблица 1

Фасеты приводов ЛК и их значения

Фасет		Обозначение и значение фасета
Обозначение	Наименование	
$\varphi_1$	Место установки привода на конвейере	$\varphi_{11}$ – грузовая ветвь ленты, $\varphi_{12}$ – концевой барабан, $\varphi_{13}$ – порожняковая ветвь ленты
$\varphi_2$	Вид подводимой энергии	$\varphi_{21}$ – электрическая, $\varphi_{22}$ – гидравлическая, $\varphi_{23}$ – пневматическая, $\varphi_{24}$ – тепловая
$\varphi_3$	Способ передачи силы тяги	$\varphi_{31}$ – фрикционный контакт с прижатием за счет натяжения ленты, $\varphi_{32}$ – фрикционный контакт с прижатием за счет натяжения ленты и дополнительных сил, $\varphi_{33}$ – бесконтактное электромагнитное взаимодействие
$\varphi_4$	Тип компоновки узлов привода	$\varphi_{41}$ – привод из отдельных по функциональному назначению узлов, $\varphi_{42}$ – привод из совмещенных по функциональному назначению узлов

Базовое множество концепций приводов ЛК, включающее 72 концепции ( $N_b$

= 72), представим фасетной таблицей (табл. 2).

Таблица 2

Фасетная таблица

Обозначение концепции	Значения фасетов			
	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$
$g_1$	$\varphi_{11}$	$\varphi_{21}$	$\varphi_{31}$	$\varphi_{41}$
$g_2$	$\varphi_{11}$	$\varphi_{21}$	$\varphi_{31}$	$\varphi_{42}$
	...	...	...	
$g_{72}$	$\varphi_{13}$	$\varphi_{24}$	$\varphi_{33}$	$\varphi_{42}$

Фасетная формула каждой концепции содержит 6 пар значений фасетов. Степени принадлежности  $\mu_{ij}$  оценок совместимости пар значений фасетов из

терм-множества  $T(L)$ , вычисленные по формуле (1) для концепции  $g_1$ , приведены в табл. 3.

Таблица 3

Степени принадлежности оценок совместимости пар значений фасетов

Терм	$\varphi_{11}-\varphi_{21}$	$\varphi_{11}-\varphi_{31}$	$\varphi_{11}-\varphi_{41}$	$\varphi_{21}-\varphi_{31}$	$\varphi_{21}-\varphi_{41}$	$\varphi_{31}-\varphi_{41}$
Неуд.	0	0	0	0	0	0
Плохая	0	0	0	0	0	0
Удовлет.	0,2	0,8	0	0	0	0
Хорошая	0,2	0,2	1	0	0,2	0,4
Отличная	0,6	0	0	1	0,8	0,6

Снижение экспертных оценок пары  $\varphi_{11}-\varphi_{21}$  вызвано необходимостью дополнительных затрат на подведение электроэнергии к грузовой ветви конвейера, пары  $\varphi_{11}-\varphi_{31}$  – сложностью конструкции с фрикционным контактом за счет силы натяжения ленты грузовой ветви. Некоторые пары значений фасетов данного примера имеют неудовлетворительную или плохую оценку совместимости. Так, плохая совместимость пары значений фасетов  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{32}$  обусловлена нецелесообразностью расположения на грузовой ветви конвейера дополнительных устройств для создания фрикционного контакта с прижатием за счет натяжения ленты и других сил. Неудовлетворительная совместимость пар  $\varphi_{22}-\varphi_{33}$ ,  $\varphi_{23}-\varphi_{33}$ ,  $\varphi_{24}-\varphi_{33}$  связана с тем, что бесконтактный электромагнитный способ передачи силы тяги невозможен без электрической энергии.

Описание концепций должно содержать информацию, необходимую для последующего выбора одной концепции проектирования. В этой связи описания кон-

цепций должны иметь одинаковый формат и быть сопоставимы с ТЗ на проектирование. Одинаковый формат подразумевает одинаковые правила составления описаний концепций (перечень и содержание разделов, способ представления данных в таблицах, базах данных и других информационных объектах).

В [2] приведены разделы ТЗ и описания концепций. Каждый раздел ТЗ и описания концепции может иметь несколько пунктов, содержащих текстовую, графическую и числовую информацию. Ряд разделов ТЗ носят информационный или директивный характер и не требуют сопоставления с описанием концепции.

Традиционное ТЗ содержит целевые значения характеристик объекта проектирования и требования к нему, представленные в четкой форме. Хотя разработке ТЗ предшествуют предварительные исследования, составление ТЗ всегда связано с неопределенностью и недостатком информации. В процессе проектирования и испытаний объекта становится очевидным,

что ряд значений характеристик и требований ТЗ требуют корректировки. В этом случае заказчик вносит изменения в ТЗ по согласованию с проектировщиком.

Возможным способом учитывать неопределенность при составлении ТЗ и описания концепций является использование нечеткой формы представления данных. При этом численные значения параметров и характеристик ТЗ задают в виде нечетких множеств

$$A_i = (x, \mu_i(x)), \quad x \in X, \quad \mu_i \in [0, 1],$$

где  $X$  – универсальное множество;  $\mu_i$  – функция принадлежности нечеткого множества  $A_i$ .

Функция принадлежности параметра или характеристики отражает степень уверенности разработчиков ТЗ в правильности конкретного значения. Например,  $\mu_i = 1$  означает согласованное необходимое значение параметра или характеристики,  $\mu_i < 1$  – допустимое или желательное значение. Носитель нечеткого множества  $A_i$  может быть представлен как дискретными значениями, так и непрерывным интервалом.

При составлении описания концепции выбирают объекты-аналоги, соответствующие фасетной формуле. В качестве объектов-аналогов могут использоваться реальные объекты, проектная документация, описания изобретений, отчеты НИР и пр.

Во многих случаях точные значения параметров и характеристик объектов-аналогов найти невозможно, и в описание концепции включают значения в виде нечетких множеств  $B_i$ , функции принадлежности которых  $\mu_{B_i}$  отражают их реальность.

$$B_i = (x, \mu_{B_i}(x)), \quad x \in X, \quad \mu_{B_i} \in [0, 1].$$

$\mu_{B_i} = 1$  означает существование реального объекта с данным значением параметра или характеристики,  $\mu_{B_i} < 1$  – возможное недоказанное значение параметра или характеристики,  $\mu_{B_i} = 0$  – достоверное невозможное значение параметра или характеристики.

В [6] в качестве критерия подобия проектного решения требованиям ТЗ используют квадратичную меру отклонения

параметров ОП от целевых значений ТЗ. Для концепций такой критерий подобия не подходит, поскольку в отличие от ОП параметры и характеристики концепции представлены широкими диапазонами или множествами значений.

Сравнивая концепции по каждому пункту  $i$  ТЗ, необходимо сопоставить значения соответствующих параметров или характеристик. Результатом сравнения являются нечеткие множества  $C_i$  – пересечения нечетких множеств  $A_i$  и  $B_i$ :

$$C_i = A_i \cap B_i, \quad i = 1, \dots, r,$$

где  $r$  – количество характеристик (параметров, требований) ТЗ, подлежащих сопоставлению.

Носитель и функция принадлежности нечеткого множества  $C_i$  определяются формулами [3]

$$\text{supp } C_i = (\text{supp } A_i) \cap (\text{supp } B_i), \\ \mu_{C_i} = \min\{\mu_{A_i}, \mu_{B_i}\}, \quad x \in X.$$

Если  $C_i$  – пустое множество ( $C_i = \emptyset$ ), то характеристики концепции не соответствуют  $i$ -му пункту ТЗ. В противном случае необходимо ранжировать  $N_b$  наборов нечетких множеств  $C_i$  по каждой из  $r$  характеристик (параметров, требований) ТЗ, подлежащих сопоставлению.

Для сравнения нечетких множеств предложены различные нечеткие отношения и меры. Выбор конкретного метода сравнения и ранжирования нечетких множеств определяется содержанием конкретной прикладной задачи.

Если оценивать потенциал концепций по реализации требований ТЗ, то следует сравнить размеры  $\alpha$ -сечений нечетких множеств  $C_i$

$$C_{\alpha i} = \{x : x \in X, \mu_i(x) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in [0, 1], \\ i = 1, \dots, r.$$

Уровень  $\alpha$  устанавливает минимальное значение функции принадлежности  $\mu_i$  нечеткого множества  $C_i$ , необходимое для его дальнейшего использования. Большой размер  $C_{\alpha i}$  теоретически обеспечивает большие возможности концепции.

Совместное использование оценок совместимости пар значений фасетов и результатов сопоставления концепций и ТЗ

позволяет перейти к результирующей оценке  $R$  и выбрать предпочтительную концепцию проектирования.

Результирующая нечеткая оценка концепций  $R$  включает частные критерии  $R_i$ , учитывающие значения лингвистической переменной  $L$  для  $N_f$  пар значений фасетов, а также  $\alpha$ -сечения  $r$  пересечений  $C_{\alpha i}$ .

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}, \quad m = N_f + r.$$

Частный критерий  $R_i$  является нечетким множеством на базовом множестве концепций  $G_b$ :

$$R_i = \left\{ \frac{\mu_i(g_1)}{g_1}, \frac{\mu_i(g_2)}{g_2}, \dots, \frac{\mu_i(g_{N_b})}{g_{N_b}} \right\}.$$

При  $i = 1, \dots, N_f$   $\mu_i(g_j)$  – это степень принадлежности  $i$ -й пары значений фасетов  $j$ -й концепции нечеткому множеству совместимых значений фасетов.

Степени принадлежности  $\mu_i(g_j)$  вычислим по значениям лингвистической переменной оценок совместимости пар фасе-

тов:

$$\mu_i(g_j) = \sum_{k=1}^{\chi} \mu_{ik} x_k, \quad i = 1, \dots, N_f, \quad (2)$$

где  $\chi$  – количество термов  $i$ -й пары фасетов;  $\mu_{ik}$  – степень принадлежности  $k$ -го терма  $i$ -й пары фасетов;  $x_k$  – значение базовой переменной, соответствующей  $k$ -му терму.

При  $i = N_f + 1, \dots, r$   $\mu_i(g_j)$  – это степень принадлежности  $j$ -й концепции нечеткому множеству концепций, соответствующих  $i$ -й характеристике ТЗ.  $\mu_i(g_j) = 1$ , если нечеткие возможности  $j$ -й концепции полностью соответствуют  $i$ -му требованию ТЗ.

Нечеткий выбор концепции проектирования найдем как пересечение частных критериев:  $\tilde{R} = R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_m$ .

$$\tilde{R} = \left\{ \frac{\min \mu_i(g_1), i = 1, \dots, m}{g_1}, \dots, \frac{\min \mu_i(g_{N_b}), i = 1, \dots, m}{g_{N_b}} \right\}. \quad (3)$$

Предпочтительной следует считать концепцию  $g_{opt}$  с наибольшей степенью принадлежности:

$$g_{opt} = \arg \max \{ \mu_R(g_1), \mu_R(g_2), \dots, \mu_R(g_{N_b}) \}.$$

При неравнозначных частных критериях  $R_i$  коэффициенты их значимости  $\gamma_i$  могут быть определены различными методами, например с помощью парных срав-

нений по шкале Саати. Тогда, концентрируя нечеткие множества  $R_i$ , получим

$$R_i = \left\{ \frac{[\mu_i(g_1)]^{\gamma_i}}{g_1}, \frac{[\mu_i(g_2)]^{\gamma_i}}{g_2}, \dots, \frac{[\mu_i(g_{N_b})]^{\gamma_i}}{g_{N_b}} \right\}. \quad (4)$$

$$\mu_{\tilde{R}}(g_j) = \min [\mu_i(g_j)]^{\gamma_i}; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, N_b.$$

Рассмотрим в качестве простого примера три концепции привода ЛК:

$g_1$  – одноблочный гидропривод из

$$F(g_1) = \langle (\varphi_1, \varphi_{12}); (\varphi_2, \varphi_{22}); (\varphi_3, \varphi_{31}); (\varphi_4, \varphi_{41}) \rangle;$$

$g_2$  – многоблочный асинхронный электропривод из отдельных по функциональному назначению узлов,

$$F(g_2) = \langle (\varphi_1, \varphi_{13}); (\varphi_2, \varphi_{21}); (\varphi_3, \varphi_{31}); (\varphi_4, \varphi_{41}) \rangle;$$

$g_3$  – одноблочный безредукторный синхронный электропривод из совмещенных по функциональному назначению узлов,

$$F(g_3) = \langle (\varphi_1, \varphi_{12}); (\varphi_2, \varphi_{21}); (\varphi_3, \varphi_{31}); (\varphi_4, \varphi_{42}) \rangle.$$

Фасетные формулы концепций

отдельных по функциональному назначению узлов,

включают значения 4 фасетов, поэтому

необходимо оценить совместимость 6 пар значений фасетов.

Степени принадлежности  $\mu_{ij}$  оценок совместимости пар значений фасетов кон-

цепций  $g_1, g_2$  и  $g_3$ , вычисленные на основе экспертных оценок по формуле (1), приведены в табл. 4.

Таблица 4

Степени принадлежности оценок совместимости пар значений фасетов  $\mu_{i1}/\mu_{i2}/\mu_{i3}$

Терм	$\varphi_1-\varphi_2$	$\varphi_1-\varphi_3$	$\varphi_1-\varphi_4$	$\varphi_2-\varphi_3$	$\varphi_2-\varphi_4$	$\varphi_3-\varphi_4$
Неуд.	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
Плохая	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
Удовлет.	0/0/0	0/0/0	0/0/0,4	0/0/0	0/0/0	0/0/0
Хорошая	0/0/0	0/0,8/0	0/0/0,6	0/0/0	0/0/0	0/0/0
Отличная	1/1/1	1/0,2/1	1/1/0	1/1/1	1/1/1	1/1/1

В экспертных оценках учтено, что фрикционный контакт с прижатием за счет натяжения ленты порожняковой ветви (пара  $\varphi_{13}-\varphi_{31}$ ) требует установки дополнительных отклоняющих барабанов [7]. Размещение безредукторного привода из совмещенных по функциональному назначению узлов у концевой барабана (пара  $\varphi_{12}-\varphi_{42}$ ) требует большого пространства.

По формуле (2) вычислим значения  $\mu_i(g_1), \mu_i(g_2)$  и  $\mu_i(g_3)$ ,  $i = 1, \dots, 6$ ;

$$x_k = \{0; 0,3; 0,6; 0,8; 1\}.$$

$$\mu_i(g_1) = \{1; 1; 1; 1; 1; 1\}, \mu_i(g_2) = \{1; 0,84; 1; 1; 1; 1\}, \mu_i(g_3) = \{1; 1; 0,72; 1; 1; 1\}.$$

Сравним возможности концепций  $g_1, g_2$  и  $g_3$  по реализации следующих 6 характеристик ТЗ, заданных нечеткими интервалами (L-R)-типа и нечеткими множествами:

- мощность привода (400, 400, 10,

50)<sub>LR</sub> кВт;

- диапазон изменения скорости ленты (0, 4, 0, 1)<sub>LR</sub> м/с;

- продолжительность непрерывной работы привода (16, 16, 1, 4)<sub>LR</sub> ч/сут.;

- коэффициент готовности привода (0,9; 0,9; 0,01; 0,05)<sub>LR</sub>;

- категория размещения (0,1/1; 1/2) (1 – эксплуатация на открытом воздухе, 2 – эксплуатация под навесом);

- климатическое исполнение (0,4/У; 1/УХЛ) (У – для макроклиматических районов с умеренным климатом, УХЛ – для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом).

Технические характеристики рассматриваемых концепций привода ЛК также представим в виде нечетких интервалов (L-R)-типа и нечетких множеств (табл. 5).

Таблица 5

Технические характеристики концепций привода ЛК

Техническая характеристика	$g_1$	$g_2$	$g_3$
Мощность серийно выпускаемых электродвигателей и гидромоторов, кВт	(8,7; 66; 6; 30) <sub>LR</sub>	(1/200, 1/250, 1/315, 1/400), (100, 400, 95, 200) <sub>LR</sub>	(1/400, 1/500, 1/630)
Диапазон изменения скорости ленты, м/с	(0, 4, 0, 4) <sub>LR</sub>	(0, 4, 0, 4) <sub>LR</sub>	(0, 4, 0, 4) <sub>LR</sub>
Продолжительность непрерывной работы привода, ч/сут.	Продолжительный режим работы гидропривода при соблюдении температурного режима	Продолжительный режим работы электродвигателя (S1) по ГОСТ 183-74	Продолжительный режим работы электродвигателя (S1) по ГОСТ 183-74
Коэффициент готовности привода	(0,89; 0,92; 0,03; 0,02) <sub>LR</sub>	(0,9; 0,92; 0,02; 0,01) <sub>LR</sub>	(0,92; 0,93; 0,02; 0,01) <sub>LR</sub>
Категория размещения	(0,1/1; 1/2)	(0,2/1; 1/2)	(0,2/1; 1/2)
Климатическое исполнение	(1/У; 0,2/УХЛ)	(1/У, 1/УХЛ)	(1/У, 1/УХЛ)

При заполнении табл. 5 использова-

лись каталоги продукции концерна «Ру-

сэлпром», компании «Rexroth Bosch Group», НТЦ «Редуктор». Мощности электродвигателей и гидромоторов из табл. 5

представлены на рисунке.

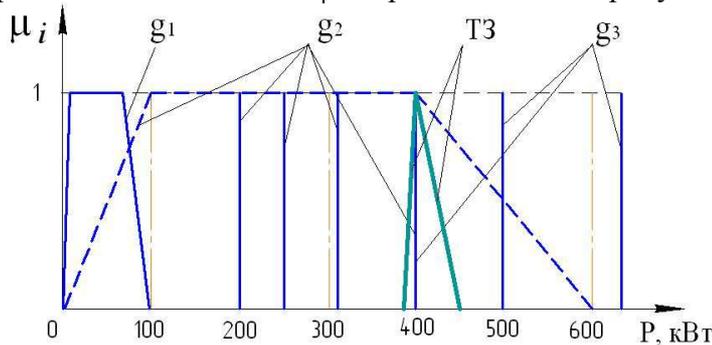


Рис. Нечеткое представление мощности привода в ТЗ и описаниях концепций  $g_1$ ,  $g_2$  и  $g_3$

Результатом сравнения концепций и ТЗ являются степени принадлежности концепций нечеткому множеству концепций, соответствующих  $i$ -й характеристике ТЗ при  $\alpha = 1$ .

$\mu_i(g_1) = \{0; 1; 1; 1; 1; 0,2\}$ ,  $\mu_i(g_2) = \{1; 1; 1; 1; 1; 1\}$ ,  $\mu_i(g_3) = \{1; 1; 1; 1; 1; 1\}$ ,  $i = 7, \dots, 12$ .

Сконцентрируем нечеткие множества

$R_i$ , используя следующие коэффициенты значимости частных критериев:  $\gamma = \{1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0,5; 0,5; 0,5\}$ .

Тогда частные критерии (4) принимают значения, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Значения частных критериев

$g_j$	$R_1(g_j)$	$R_2(g_j)$	$R_3(g_j)$	$R_4(g_j)$	...	...	...	...	...	...	$R_{11}(g_j)$	$R_{12}(g_j)$
$g_1$	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0,447
$g_2$	1	0,84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$g_3$	1	1	0,72	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Найдем пересечение частных критериев по формуле (3):

$$\tilde{R} = \left\{ \frac{0}{g_1}; \frac{0,84}{g_2}; \frac{0,72}{g_3} \right\}.$$

Предпочтительной является концепция  $g_2$  с наибольшим значением частного критерия:

$$g_{opt} = g_2.$$

Итак, предложенное нечеткое описание концепции проектирования включает фасетную формулу, нечеткое описание оценки совместимости пар фасетов лингвистической переменной, представление параметров и характеристик нечеткими множествами.

Предпочтительные концепции проектирования выбирают, оценивая совместимость пар значений фасетов и сопоставляя описания концепций и ТЗ на проектирование. В этой связи описания концепций и

ТЗ должны иметь одинаковый формат, что подразумевает одинаковые правила составления описаний, способы представления данных в информационных объектах, использование нечетких множеств.

Совместное использование оценок совместимости пар значений фасетов и результатов сопоставления концепций и ТЗ позволяет перейти к результирующей нечеткой оценке  $R$  и выбрать предпочтительную концепцию проектирования.

Результирующая оценка  $R$  включает частные критерии, учитывающие значения лингвистической переменной совместимости пар значений фасетов, а также пересечения нечетких множеств характеристик ТЗ и описаний концепций.

Предложенный метод нечеткого выбора позволяет определить предпочтительную концепцию проектирования при недостатке информации и неопределенно-

сти ТЗ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реутов, А.А. Формализация выбора концепции проектирования технического объекта / А.А. Реутов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2009. - № 2. - С. 53-56.
2. Реутов, А.А. Основы автоматизации проектирования машин / А.А. Реутов. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2013. - 220 с.
3. Павлов, А.Н. Принятие решений в условиях нечеткой информации / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та аэрокосм. приборостроения, 2006. - 72 с.
4. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 288 с.

1. Reutov, A.A. Formalization of concept choice for technical object design / A.A. Reutov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2009. - № 2. - pp. 53-56.
2. Reutov, A.A. *Fundamentals of Machine Design Automation* / A.A. Reutov. - Bryansk: Publishing House of BSTU, 2013. - pp. 220.
3. Pavlov, A.N. *Decision-Making under Conditions of Fuzzy Information* / A.N. Pavlov, B.V. Sokolov. - S-Pb.: Publishing House of S-Petersburg State University of Aerospace Device Manufacturing, 2006. - pp. 72.
4. Shtovba, S.D. *Designing Fuzzy Systems by Matlab Means* / S.D. Shtovba. - M.: Hotline - Telecom,

5. Реутов, А.А. Моделирование приводов ленточных конвейеров / А.А. Реутов. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2011. - 152 с.
6. Сабо, Ю.И. Критерий подобия проектных решений требованиям технического задания в авионике / Ю.И. Сабо, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. - 2010. - № 3 (67). - С. 57-63.
7. Реутов, А.А. Особенности применения дополнительных лент в приводах ленточных конвейеров / А.А. Реутов // Известия Уральского государственного горного университета. - 2014. - № 1. - С. 44-47.

2007. - pp. 288.

5. Reutov, A.A. *Modeling of Band Conveyer Drives* / A.A. Reutov. - Bryansk: Publishing House of BSTU, 2011. - pp. 152.
6. Sabo, Yu.I. Similarity criterion of design decisions to technical task requirements in aircraft instruments / Yu.I. Sabo, I.O. Zharinov // *Scientific Technical Bulletin of Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics*. - 2010. - № 3 (67). - pp. 57-63.
7. Reutov, A.A. Peculiarities of supplementary bands use in band conveyer drives / A.A. Reutov // *Bulletin of Urals State Mining University*. - 2014. - № 1. - pp. 44-47.

Статья поступила в редколлегию 15.12.16.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета Лозбинева Ф.Ю.

### Сведения об авторах:

**Реутов Александр Алексеевич**, д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Брянского государственного техниче-

**Reutov Alexander Alexeevich**, D.Eng., Prof. of the Dep. "Mechanical-Handling Machines and Equip-

ского университета, тел.: (4832) 58-82-13, e-mail: [bgtu2012@yandex.ru](mailto:bgtu2012@yandex.ru).

ment", Bryansk State Technical University, Phone:(4832) 58-82-13, e-mail: [bgtu2012@yandex.ru](mailto:bgtu2012@yandex.ru).

