

**Герасименко Евгения Михайловна** – Научно-технический центр «Информационные технологии» Южного федерального университета (НТЦ «Интех» ЮФУ); e-mail: e.rogushina@gmail.com; 347922, г. Таганрог, Октябрьская площадь, 4; тел.: +79885315343; к.т.н.; м.н.с.

**Розенберг Игорь Наумович** – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС); e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 109029, Москва, ул. Нижегородская, 27, стр. 1; тел.: 84959677701; д.т.н.; зам. генерального директора.

**Bozhenyuk Alexandr Vitalievich** – Southern Federal University; e-mail: avb002@yandex.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371695; the department of information-analytical systems of safety; dr. of eng. sc.; professor.

**Gerasimenko Evgeniya Michailovna** – Scientific and Technical Center «Intech» of Southern Federal University; e-mail: e.rogushina@gmail.com; 4, Oktyabrskaya Square, Taganrog, 347922, Russia; phone: + 79885315343; cand. of eng. sc.; junior scientist.

**Rozenberg Igor Naymovich** – Public corporation “Research and development institute of railway engineers”; e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 27/1, Nizhegorodskaya, Moscow, 109029, Russia; phone: +74959677701ж dr. of eng. sc.; deputy director.

УДК 681.3

**Ю.О. Чернышев, Н.Н. Венцов, П.А. Панасенко**

#### **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИИ ИМПЛИКАЦИИ\***

*Принципиальным отличием сформулированной проблемы является разработка элементов математического аппарата, обеспечивающего вариативные расплывчатые оценки анализируемого решения. Вариативность оценок заключается в возможности построения различных обобщенных функций принадлежности текущего решения к множеству допустимых решений на основе сопоставления двух расплывчатых ограничений. Разработан способ формирования обобщенных нечетких ограничений на основе импликации запрещающего и разрешающего правил. Импликации вычисляются в соответствии с логиками Райхенбаха, Лукасевича, Рейчера-Геинеса, правила заданы в виде функций. Приведено сопоставление полученных импликаций, показано влияние операции CON на результаты, полученные при помощи логик Райхенбаха и Лукасевича. Обобщенная функция принадлежности, полученная импликацией запрещающего правила в разрешающее по Райхенбаху, стремится к единице (равна единице), когда функция, описывающая разрешающее правило, стремится к единице (равна единице) или функция, описывающая запрещающее правило к нулю (равна нулю). Поэтому импликацию по Райхенбаху целесообразно использовать при проектировании узлов, к которым предъявляются повышенные требования в области надежности, точности и т.д. Импликация запрещающего правила в разрешающее по Лукасевичу равна единице в точках, для которых значение функции, описывающей разрешающее правило, больше, чем значение функции, описывающей запрещающее правило. Если значение функции, описывающей разрешающее правило, незначительно, меньше значения функции, описывающей запрещающее правило, то импликация по Лукасевичу стремится к единице. Импликация запрещающего правила в разрешающее по Рейчеру-Геинесу равна единице, когда значение функции, описывающей разрешающее правило, не меньше, чем значение функции описывающей запрещающее. В противном случае импликация по Рейчер-Геинесу равна нулю. Полученные результаты позволяют говорить о том, что, в случае, если необ-*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты: № 13-01-00343, № 15-01-05129).

*ходимо четко разграничить область решений на допустимые и запрещенные, целесообразно использовать операцию импликации по Рейчер-Геинесу. В случае, если необходимо обеспечить вариативность классификации решений за счет нечетких значений, можно использовать импликацию по Лукасевичу или Райхенбаху.*

*Нечеткие системы; адаптация; импликация; интеллектуальные методы.*

**Yu.O. Chernyshev, N.N. Ventsov, P.A. Panasenko**

## **DEVELOPMENT OF FUZZY METHOD FOR FORMING THE LIMITATIONS ON THE BASIS OF OPERATIONS IMPLICATIONS**

*The principal difference formulated problem is the development of elements of the mathematical apparatus providing divergent vague assessment of the analyzed solutions. Variability of grade is the ability to build different distributions of current supplies solutions to the set of feasible solutions based on a comparison of two vague restrictions. A method of forming generalized fuzzy restrictions based on the implications of the rules prohibiting and permitting. The implications are calculated in accordance with the logic of Reichenbach, Lukasiewicz, Reychera-Geinesa, the rules given in the form of functions. The comparison of obtained implication, shows the effect of operations CON for the results obtained using the logic of Reichenbach and Lukasiewicz. Generalized membership function obtained by implication prohibit rules allowing for Reichenbach tends to unity (equal to one), the function describing the allow rule, tends to unity (equal to one) or a function describing the blocking rule to zero (zero). Therefore, the implication of Reichenbach should be used when designing sites, which are increased requirements for reliability, accuracy, etc. The implication prohibits rules allowing for Lukasiewicz is unity at the points for which the value of the function describing the allow rule, more than the value of the function describing the blocking rule. If the value of the function describing the allow rule, slightly less than the values of the function describing the block rule, the implication of Lukasiewicz tends to unity. The implications prohibiting rules allowing for Reycheru-Geinesu is equal to one when the value of the function describing the allow rule, no less than the value of the function describing prohibited. Otherwise, the implication of Reycher-Geinesu zero. The results suggest that, if the need to clearly delineate the area of solutions permissible and forbidden, it is advisable to use the operation of the implication of Reycher-Geinesu. If you need to provide variability of classification decisions by fuzzy values can be used by Lukasiewicz implication or Reichenbach.*

*Fuzzy systems; adaptation; implication; intellectual methods.*

**Введение.** В настоящее время для решения оптимизационных задач активно используются генетические алгоритмы, алгоритмы случайного поиска, методы муравьиной колонии, подходы на основе иммунного ответа [1–5]. В случае, если поиск решения носит итеративный характер, подобные алгоритмы целесообразно дополнить диалоговыми системами адаптивного взаимодействия вычислительной среды и лица, принимающего решение (ЛПР). При этом, диалог ЛПР – ЭВМ наиболее эффективен, если он происходит в режиме реального времени. По мнению экспертов, ЭВМ должна ответить на запрос (команду) ЛПР за время, не превышающее 2–3 секунды, а наиболее комфортным считается интервал времени 0.2 секунды. При выпадении из зоны комфорта человек становится самым ненадежным элементом в связке «ЛПР-ЭВМ» [6]. В качестве аппарата для моделирования человеческих рассуждений и объяснения приёмов принятия решений активно используются методы нечёткой логики [7, 8]. Поэтому целесообразно разрабатывать инструменты, позволяющие ЛПР конвертировать свою интуицию и опыт в нечеткие математические инструменты.

Одним из важнейших этапов поиска решений является построение подмножества альтернатив [9]. В случае, если формирование потенциально целесообразных альтернатив осуществляется ЛПР, необходимо обеспечить быстрое преобразование предположений ЛПР в параметры задачи оптимизации. Для одних и тех же оптимизационных процедур в одних случаях необходимо получать точные решения, а в других достаточно получения приближенных [10]. Кроме того, предположения эксперта могут носить достаточно абстрактный характер, например,

«данный узел является системно образующим, поэтому он должен быть максимально надежен» или «разрабатываемая подсистема выполняет вспомогательные функции, поэтому на её проектирование не рационально тратить много ресурсов». Логично предположить, что в первом случае необходимо сформулировать более жесткие ограничения на область допустимых решений.

**Постановка задачи.** Современные системы поддержки принятия решений (СППР) в процессе своей работы используют массивы информации, различные как по происхождению (статистические данные, экспертные оценки и т.д.), так и по форме представления (четкие/расплывчатые, количественные/качественные и т.д.). Полная унификация информационных массивов не только потребует существенных вычислительных ресурсов, но и может привести к потере наглядности. Рассмотрим ситуацию, когда некоторая задача имеет два расплывчатых ограничения: одно в разрешающей, а второе в запрещающей форме. Ограничение в разрешающей форме задано в виде функции  $rL(L)$  и подразумевает, что чем больше значение  $rL(L)$ , тем более приемлемым является решение, характеризуемое переменной  $L$ . Ограничение в запрещающей форме задано в виде функции  $zL(L)$  и подразумевает, что чем больше значение  $zL(L)$ , тем менее приемлемо решение, характеризуемое переменной  $L$ . Функции  $rL(L)$  и  $zL(L)$  могут иметь различные области значений, нормирование данных функций позволит трактовать их значения как степени принадлежности.

На рис. 1 графики описывают в нечеткой форме степени принадлежности размещения элементов, характеризуемых длиной полупериметра  $L$ , к разрешающему  $rL(L)$  и запрещающему  $zL(L)$  правилу, т.е. график  $rL(L)$  соответствует функции  $\mu r(L)$ , а график  $zL(L)$  –  $\mu z(L)$ . Графики построены на основе дискретных значений с шагом  $0,05 nm$ , функции принадлежности  $\mu r(L)$  и  $\mu z(L)$  принимают значения от 0 до 1.

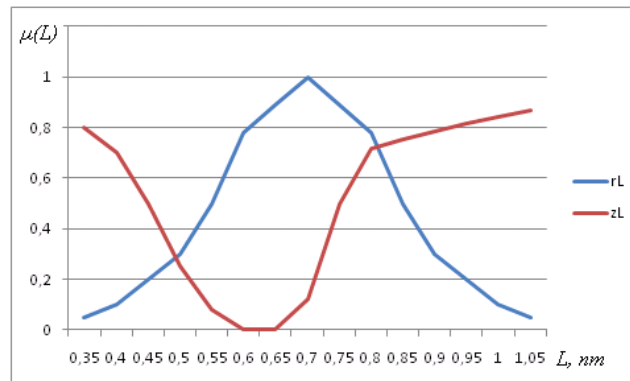


Рис. 1. Исходные графики принадлежности длины полупериметра  $L$  к разрешающему и запрещающему правилу

Из рис. 1 следует, что в диапазоне  $0,5-0,8$  значения функции  $\mu r(L)$  больше, чем  $\mu z(L)$ . Но так как отсутствует область определения, для которой выполнялись бы одновременно два условия  $\mu r=1$  и  $\mu z=0$ , решение которое полностью удовлетворяет запрещающему и разрешающему правилу, отсутствует. По этой причине принципиальным отличием формулируемой проблемы является разработка элементов математического аппарата, обеспечивающего вариативные расплывчатые оценки анализируемого решения. Поэтому необходимо проработать способы классификации подмножеств области определения.

Предположим, что ЛПР на основе функций  $\mu r(L)$  и  $\mu z(L)$  необходимо сформулировать обобщенное ограничение, которое в дальнейшем будет использоваться СППР. Наряду с графиками функций  $\mu r(L)$  и  $\mu z(L)$  на структуру формируемого о-

раничения могут оказывать влияние другие, трудно формализуемые факторы, например, требуемая надежность разрабатываемого изделия, допустимое время проектирования и т.д. Так как перечисленные факторы могут быть динамическими, необходимо рассмотреть различные варианты построения формируемого ограничения.

**Предлагаемый подход.** С целью получения некоторой обобщающей нечеткой функции, характеризующей целесообразность размещения элементов на основе длины полупериметра, описывающего данные элементы, определим различные варианты применения к  $\mu r(L)$  и  $\mu z(L)$  операторов импликации.

Импликация по Райхенбаху  $\mu R$  определяется на основе формулы [11]:

$$\mu R(x,y)=1-x+x*y, \quad (1)$$

где  $x,y \in [0,1]$ .

На рис. 2 приведен график, полученный в результате вычисления  $\mu R(\mu z(L), \mu r(L))$ , т.е. график зависимости степени принадлежности  $\mu R$  от длины полупериметра  $L$

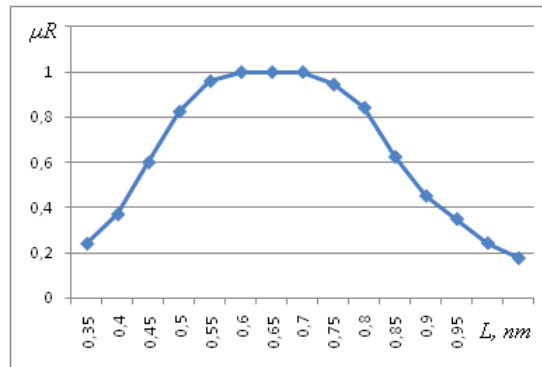


Рис. 2. График зависимости степени принадлежности  $\mu R$  от длины полупериметра  $L$

Из рис. 1,2 и формулы (1) следует, что равенство  $\mu R(\mu z(L), \mu r(L))=1$  истинно в точках 0,6 и 0,65, так как  $\mu z(0,6)=0$  и  $\mu z(0,65)=0$ , а в точке 0,7, так как  $\mu r(0,7)=1$ . В точке  $L=0,5$   $\mu R(0,5)=0,6$ , а в точке  $L=0,8$   $\mu R(0,85)=0,84$ .

Импликация по Лукасевичу  $\mu L$  определяется на основе формулы [11]:

$$\mu L(x,y)=\min(1-x+y;1). \quad (2)$$

На рис. 3. приведен график зависимости степени принадлежности  $\mu L$  от длины полупериметра  $L$ , полученный в результате применения операции  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))$ .

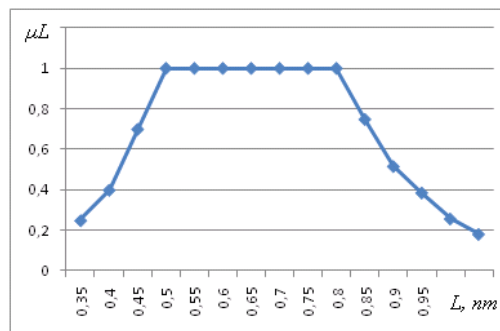


Рис. 3. График зависимости степени принадлежности  $\mu L$  от длины полупериметра  $L$

Из рис. 1, 3 и формулы 2 следует, что в случае, если  $\mu z(L) \leq \mu r(L)$ , то  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))=1$ , т.е. если принадлежность решения к запрещающему множеству меньше, чем к разрешающему, то  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))=1$ . В точках  $L=0,5$   $\mu L(0,5)=1$ , а также в точке  $L=0,85$   $\mu L(0,85)=1$ .

Импликация по Рейчер-Геинесу задается формулой [11]:

$$\mu RG(x, y) = \begin{cases} 1, & x \leq y, \\ 0, & x > y. \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 4. приведен график зависимости степени принадлежности  $\mu RG$  от длины полупериметра  $L$ , полученный в результате применения операции  $\mu RG(\mu z(L), \mu r(L))$ .

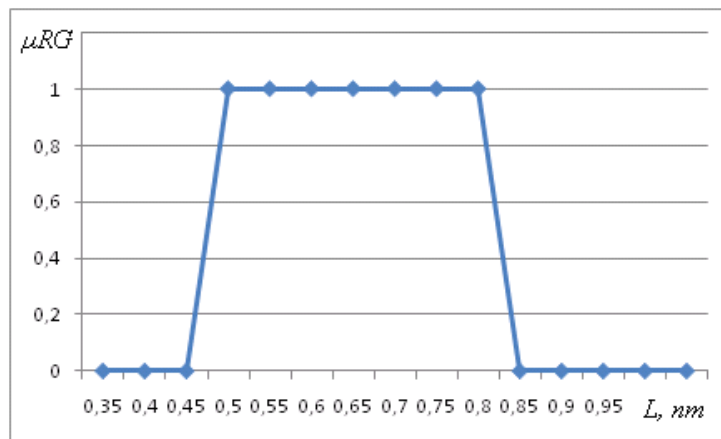


Рис. 4. Зависимость степени принадлежности  $\mu RG$  от длины полупериметра  $L$

Из графиков, представленных на рис. 2, 3, 4, следует, что применение импликаций по Райхенбаху и Лукасевичу сохраняет нечеткость описания, а использование импликации Рейчера-Геинеса переводит описание степени принадлежности из расплывчатой в четкую.

Сопоставив результаты расчета, представленные виде графиков на рис. 1, 2, 3, 4, можно утверждать, что в точках, для которых  $\mu R(\mu z(L), \mu r(L))=1$ ,  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))=1$  и  $\mu RG(\mu z(L), \mu r(L))=1$  (например,  $L=0,6$ ), разрешающие условия полностью доминируют над запрещающими, т.е., чем больше значение функций  $\mu R(\mu z(L), \mu r(L))$ ,  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))$ ,  $\mu RG(\mu z(L), \mu r(L))$ , тем более предпочтительнее размещение элементов с указанной длиной полупериметра.

На рис. 5 приведены графики зависимостей функций  $\mu R(\mu z(L), \mu r(L))$  (овальные маркеры) и  $\mu L(\mu z(L), \mu r(L))$  (прямоугольные маркеры) от длины полупериметра  $L$ . В точке  $L=0,45$  функции  $\mu L(\mu z(0,45), \mu r(0,45))=0,7$  и  $\mu R(\mu z(0,45), \mu r(0,45))=0,6$ , в точке  $L=0,5$   $\mu L(\mu z(0,5), \mu r(0,5))=1$  и  $\mu R(\mu z(0,6), \mu r(0,6))=0,825$ . На рассматриваемом участке области определения (0,45...0,5) значение функций принадлежности  $\mu L$  и  $\mu R$  больше 0,5, поэтому увеличение степени принадлежности можно трактовать как рост однозначности в формулировке нечеткой оценки. То есть чем выше значение функции принадлежности, тем более однозначно можно говорить о причастности длины данного полупериметра к множеству разрешенных решений.

Таким образом, использование операции импликации по Лукасевичу не только повышает четкость (однозначность) описания на 5–20 % на участках области определения (0,45...0,55) и (0,75...0,85) по сравнению с использованием имплика-

ции, построенной на основе логики Райхенбаха, но и увеличивает область решений, которые можно трактовать как однозначно допустимые. Вариативность в оценках решений может понадобиться на этапе доводки изделия, когда вносятся точечные изменения [14, 15].

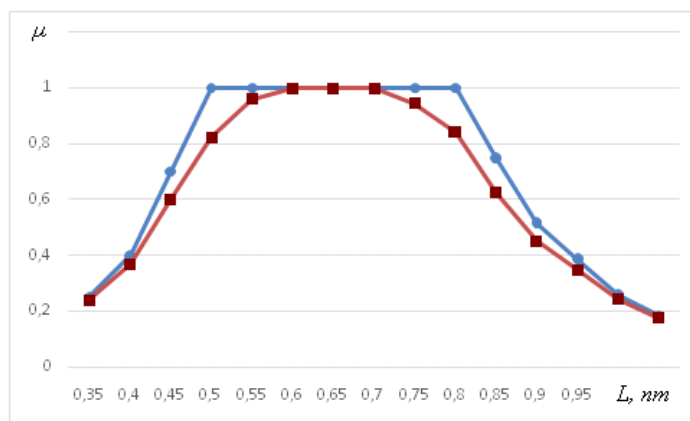


Рис. 5. Графики зависимости степени принадлежности  $\mu_R$  и  $\mu_L$  от длины полупериметра  $L$

Полученные результаты позволяют говорить о том, что, в случае, если необходимо четко разграничить область решений на допустимые и запрещенные, целесообразно использовать операцию импликации по Рейчер-Геинесу. В случае, если необходимо обеспечить вариативность классификации решений за счет нечетких значений, можно использовать сначала операцию импликации по Лукасевичу, а затем по Райхенбаху. Данную процедуру можно формализовать, используя  $S$ -нечеткие линейно упорядоченные множества, как набор лингвистических значений переменной «сопоставление по ...», содержащий элементы импликаций по Рейчер-Геинесу, Лукасевичу, Райхенбаху. Свойство упорядоченности не требует вычисления расстояний между элементами, но позволяет задавать операторы сдвига и инверсии [16]. Операции сдвига и инверсии можно реализовать как реакцию на нечеткие команды [17–19]. При создании адаптивных механизмов реализация операции сдвига может быть использована для локальных корректировок, например, перехода от логики Лукасевича к логике Райхенбаха или Рейчер-Геинеса, а операция инверсии для более существенных, например, переход от логики Рейчер-Геинеса к логике Райхенбаха. Наделить данную систему инерционностью можно, используя автоматы адаптации, чем больше состояний автомата адаптации соответствуют альтернативам (т.е. применению одной из логик), тем более инерционна система [20, 21].

Одним из способов повышения четкости трактовки результатов является применение операции  $CON(\mu(x)) = \mu(x) * \mu(x)$ . На рис. 6 приведен график зависимости функции  $CON(\mu_R(\mu_z(L), \mu_r(L)))$  от длины полупериметра  $L$ .

Из рис. 6 следует, что в точке  $L=0,45$  значение функции  $\mu_R(\mu_z(0,45), \mu_r(0,45))=0,6$ , а  $CON(\mu_R(\mu_z(0,45), \mu_r(0,45)))=0,36$ , в точке  $L=0,5$  значение функции  $\mu_R(\mu_z(0,5), \mu_r(0,5))=0,825$ , а  $CON(\mu_R(\mu_z(0,5), \mu_r(0,5)))=0,68$ , в точке  $L=0,55$  значение функции  $\mu_R(\mu_z(0,55), \mu_r(0,55))=0,96$ , а  $CON(\mu_R(\mu_z(0,55), \mu_r(0,55)))=0,92$ .

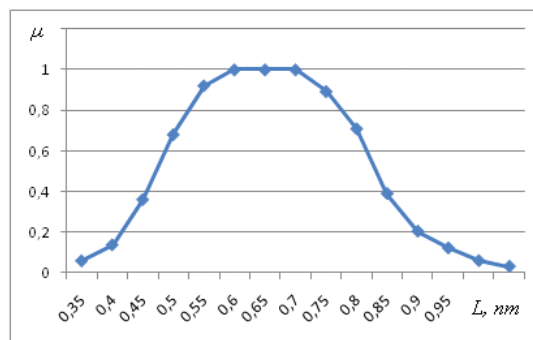


Рис. 6. График зависимости функции  $CON(\mu R(\mu z(L), \mu r(L)))$  от длины полупериметра  $L$

На рис. 7 приведен график зависимости функции  $CON(\mu L(\mu z(L), \mu r(L)))$  от длины полупериметра  $L$ .

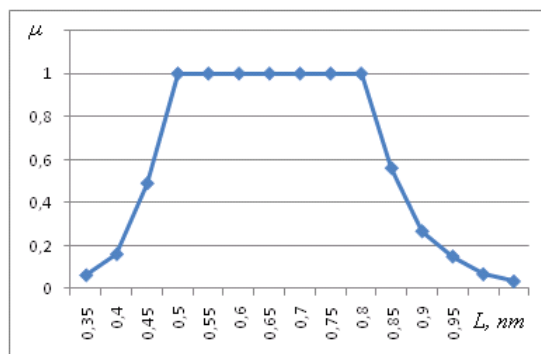


Рис. 7. График зависимости функции  $CON(\mu L(\mu z(L), \mu r(L)))$  от длины полупериметра  $L$

Из рис. 7 следует, что в точке  $L=0,45$  значение функции  $\mu L(\mu z(0,45), \mu r(0,45))=0,7$ , а  $CON(\mu L(\mu z(0,45), \mu r(0,45)))=0,49$ .

На основе анализа приведенных данных расчета (рис. 6, 7) можно сделать заключение о том, что, чем ближе значение функции принадлежности к 1, тем меньше вероятность того, что при применении операции  $CON$  результирующее значение функции принадлежности будет существенно уменьшено и выйдет за границу минимального допустимого значения.

**Заключение.** На основе анализа результатов сопоставления разрешающего и запрещающего правил (рис. 1) можно утверждать, что:

- ◆ наибольшую область полностью и частично допустимых значений обобщенной функции принадлежности можно получить, вычислив импликацию запрещающего правила в разрешающее на основе логики Лукасевича ( $\mu L$ );
- ◆ область полностью допустимых решений, полученная импликацией запрещающего правила в разрешающее на основе логики Рейчера-Геинеса ( $\mu RG$ ), соответствует аналогичной области, полученной при использовании логики Лукасевича;
- ◆ наименьшая область полностью допустимых решений получена в результате импликации запрещающего правила в разрешающее на основе логики Райхенбаха ( $\mu R$ ).

В случае, если роль проектируемого узла в общей логике изделия не велика, возможно использование функций  $\mu R_G$  и  $\mu L$ , которые формируют значение функции принадлежности, равные единице, даже если для текущего решения разрешающее правило едва превышает запрещающее.

Импликацию  $\mu R$  целесообразно применять при проектировании узлов, к которым предъявляются повышенные требования в плане отказоустойчивости функционирования, точности получаемых результатов и т.д. Так как подобные элементы должны соответствовать максимальным значениям разрешающих функций и минимальным – запрещающих.

Применение операции  $CON(\mu R)$  и  $CON(\mu L)$  позволяет уменьшить значение функции принадлежности в тех точках, для которых  $\mu R \approx 1$  и  $\mu L \approx 1$ . В приводимых примерах данное уменьшение составляло приблизительно 10–40 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б. Поисковая адаптация: теория и практика: Монография. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
2. Остроух Е.Н., Золотарева Л.И., Бычков А.А., Долгов В.В. Векторная оптимизация перерабатывающих процессов с учетом сырьевого дефицита // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12-1. – С. 224-227.
3. Dasgupta D., Forrest S. Novelty Detection in Time Series Data using Ideas from Immunology. Fifth International Conference on Intelligent Systems. Reno, Nevada: June, 1996.
4. Calenbuhr V., Bersini Я., Varela F.J., Stewart J. The impact of the structure of the connectivity matrix on the dynamics of a simple model for the immune network // *Proc. 1st Copenhagen Symp. on Computer Simulation in Biology, Ecology and Medicine* (Ed. E.Mosekilde). – 1993. – P. 41-45.
5. Kennedy J. The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge // *In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. – 1997. – P. 303-308.
6. Глушань В.М., Лаврик П.В. Распределенные САПР. Архитектура и возможности. – Старый Оскол: ТНТ, 2104. – 188 с.
7. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечеткой логики // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2014. – № 1 (150). – С. 83-92.
8. Zade L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338.
9. Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 7 (132). – С. 92-98.
10. Литвиненко В.А. Адаптивные алгоритмы проектных операций САПР ЭВА // *IS-IT 14: Тр. Междунар. конгр. по интеллект. системам и информ. технологиям*, п. Дивноморское, 2-9 сент. – М.: Физматлит, 2014. – Т. 1. – С. 113-119.
11. Берштейн Л.С., Боженик А.В. Анализ использования оператора импликации в нечетком правиле вывода по аналогии // *Известия ТРТУ. Технические науки*. – 2004. – № 3 (38). – С. 5-10.
12. Мальшиев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженик А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
13. Walter Banks, Gordon Hayward. Fuzzy logic in embedded microcomputers and control systems. Published by Byte Craft Limited, Waterloo Ontario Canada, 2001.
14. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Мухтаров С.А. К вопросу об интеллектуальной поддержке процесса доводки СБИС // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 7 (132). – С. 63-69.
15. Чернышев Ю.О., Венцов Н.Н., Мухтаров С.А. Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки улучшения промежуточных решений оптимизационных задач // *Вестник ДГТУ*. – 2012. – № 5 (56). – С. 68-76.
16. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 321 с.
17. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
18. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 386 с.



19. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
20. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Чернышев Ю.О. Адаптация на основе самообучения. – Ростов-на-Дону: РГАСХМ ГОУ, 2004. – 146 с.
21. Лебедев Б.К. Адаптация в САПР: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 160 с.

#### REFERENCES

1. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B. Poiskovaya adaptatsiya: teoriya i praktika: Monografiya [Search adaptation: theory and practice: Monograph]. Moscow: Fizmatlit, 2006, 272 p.
2. Ostroukh E.N., Zolotareva L.I., Bychkov A.A., Dolgov V.V. Vektornaya optimizatsiya pererabatyvayushchikh protsessov s uchetom syr'evogo defitsita [Vector optimization of processing processes with regard to raw material shortage], *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2011, No. 12-1, pp. 224-227.
3. Dasgupta D., Forrest S. Novelty Detection in Time Series Data using Ideas from Immunology. Fifth International Conference on Intelligent Systems. Reno, Nevada: June, 1996.
4. Calenbuhr V., Bersini Я., Varela F.J., Stewart J. The impact of the structure of the connectivity matrix on the dynamics of a simple model for the immune network, *Proc. 1st Copenhagen Symp. on Computer Simulation in Biology, Ecology and Medicine* (Ed. E. Mosekilde), 1993, pp. 41-45.
5. Kennedy J. The Particle Swarm: Social Adaptation of Knowledge, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 1997, pp. 303-308.
6. Glushan' V.M., Lavrik P.V. Raspredeleynnye SAPR. Arkhitektura i vozmozhnosti [Distributed CAD systems. Architecture and capabilities]. Stary Oskol: TNT, 2104, 188 p.
7. Polkovnikova N.A., Kureychik V.M. Razrabotka modeli ekspertnoy sistemy na osnove nechetkoy logiki [Development of an expert system model based on fuzzy logic], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 1 (150), pp. 83-92.
8. Zade L.A. Fuzzy sets, *Information and Control*, 1965, Vol. 8, pp. 338.
9. Kureychik V.M. Osobennosti postroeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Features of decision making support system design], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 92-98.
10. Litvinenko V.A. Adaptivnye algoritmy proektnykh operatsiy SAPR EVA [Adaptive algorithms design and CAD operations EVA], *IS-IT 14: Tr. Mezhdunar. kongr. po intellekt. sistemam i inform. tekhnologiyam, p. Divnomorskoe, 2-9 sent.* [IS-IT 14: Proceedings of the International Congress on intellectual systems and information technologies, Divnomorskoe, 2-9 September]. Moscow: Fizmatlit, 2014, Vol. 1, pp. 113-119.
11. Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V. Analiz ispol'zovaniya operatora implikatsii v nechetkom pravile vyvoda po analogii [An analysis of the use of the implication operator in fuzzy rule inference by analogy], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2004, No. 3 (38), pp. 5-10.
12. Malyshev N.G., Bershteyn L.S., Bozhenyuk A.V. Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR [Fuzzy models for expert systems in CAD]. Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.
13. Walter Banks, Gordon Hayward. Fuzzy logic in embedded microcomputers and control systems. Published by Byte Craft Limited, Waterloo Ontario Canada, 2001.
14. Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A. K voprosu ob intellektual'noy podderzhke protsessa dovodki SBIS [To the question of intellectual support of process of finishing VLSI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 7 (132), pp. 63-69.
15. Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Mukhtarov S.A. Razrabotka algoritma intellektual'noy podderzhki uluchsheniya promezhutochnykh resheniy optimizatsionnykh zadach [Algorithm development of intellectual support of improving intermediate solutions of optimization problems], *Vestnik DGTU* [Vestnik of DSTU], 2012, No. 5 (56), pp. 68-76.
16. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in management models and artificial intelligence], Under ed. D.A. Pospelova. Moscow: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986, 321 p.

17. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning]. Moscow: Mir, 1976, 165 p.
18. Prikladnye nechetkie sistemy [Applied fuzzy system]: Translation from Japanese K. Asai, D. Vatada, S. Iwai i dr. / Under ed. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno. Moscow: Mir, 1993, 386 p.
19. Kofman A. Vvedeniye v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]: Translated from French. Moscow: Radio i svyaz', 1982, 432 p.
20. Kureychik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.B., Chernyshev Yu.O. Adaptatsiya na osnove samoobucheniya [Adaptation based on learning]. Rostov-on-Don: RGASKhM GOU, 2004, 146 p.
21. Lebedev B.K. Adaptatsiya v SAPR: Monografiya [Adaptation in CAD: Monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 1999, 160 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., проф. Н.И. Витиска

**Чернышев Юрий Олегович** – Донской государственный технический университет; e-mail: myvnn@list.ru; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; тел.: 88632738582; кафедра автоматизации производственных процессов; профессор.

**Венцов Николай Николаевич** – e-mail: vencov@list.ru; кафедра информационных технологий; доцент.

**Панасенко Павел Александрович** – Филиал военной академии связи (г. Краснодар); e-mail: we\_panasenko\_777@mail.ru; 350035, г. Краснодар, ул. Красина, 4; адъюнкт.

**Chernyshev Yury Olegovich** – Don State Technical University; e-mail: myvnn@list.ru; 1, Gagarina square, Rostov-on-Don, 344000, Russia; phone: +78632738582; the department of automation of productions; dr. of en. sc.; professor.

**Ventsov Nikolay Nikolaevich** – e-mail: vencov@list.ru; the department of information technologies; associate professor; cand. of eng. sc.

**Panasenko Pavel Alexandrovich** – Branch of the Military Academy of Telecommunications (Krasnodar); e-mail: we\_panasenko\_777@mail.ru; 4, Krasin street, Krasnodar, 350035, Russia; adjunct.

УДК 002.53:004.89

**Ю.А. Кравченко, А.А. Новиков, В.В. Марков**

## **МЕТОД СОЗДАНИЯ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ГЛОССАРИЯ\***

*Рассмотрена разработка метода для создания онтологии предметной области из одного или нескольких глоссариев. Особенностью данного метода является параллельное построение онтологии и формирование полной терминологии предметной области. Метод позволяет определить основные этапы построения онтологии предметной области на основе итерационного отражения понятий глоссария в объектах онтологии. Данный процесс максимально автоматизирован, но на начальных этапах построения он должен вручную корректироваться разработчиками онтологии при помощи экспертов в данной предметной области. На этапе кластеризации термины глоссария группируются в кластеры на основе алгоритма кластеризации k-средних. Множество элементов глоссария разбивается на заранее известное количество кластеров k. Алгоритм заканчивает свою работу, когда кластеры больше не изменяются. Затем происходит добавление новых (неописанных в глоссарии) терминов и их определений. Для каждого кластера определяются отношения между всеми объектами, входящими в него. Предоставляется неформальное описание значения и особенности для каждой связи. На основе этих связей осуществляется поиск понятий, которые можно было бы выделить в подклассы кластера, в котором они находятся, и их группировка. Затем строится концептуальная модель*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-07-00537).