

05.00.00 Engineering science

05.00.00 Технические науки

UDC 004.9

## The Soft Describing of the Fundamental Laws of the Nature and Society for Expert Systems

Vladislav Kh. Fedotov

Chuvash State University, Russia  
428000, Cheboksary, Moskow Prosp., 15,  
PhD (Chemistry), Assistant Professor  
E-mail: fvh@inbox.ru

**Abstract.** The Designed methods of the description ill-defined analogue laws of the nature, society, cognitions, economy and good sense. The approach can be used at development rulebase expert systems for different application domains.

**Keywords.** Fuzzy logic; soft computations; expert systems.

В работах [1, 2] изложена методика построения мягких экспертных систем управления социально-экономическими системами на базе моделей искусственного интеллекта – нейронных сетей, нечеткой логики и гибридных сетей. При этом учитывались только формальные правила на основе макроэкономической статистики регионов, которые привязаны к временным периодам и имеют низкую степень общности. Мягкая система управления должна учитывать не только локальные закономерности, но и общие законы природы и общества. Эти законы, как правило, не зависят от времени и часто не имеют четкой математической формулировки. Целью данной работы является разработка методики описания нечетких аналогов общих законов природы и общества в виде продукционных (эвристических) правил для экспертных систем.

Идея методики состоит в построении гибридной модели на основе семантической сети [3] и нечеткой логики [4] по следующей схеме: 1) четкая формулировка – выбор одной из нескольких альтернативных (если они есть) формулировок закона; 2) семантизация – выделение переменных (объектов) и связей (отношений); 3) фаззификация – выбор значений  $x$  характеристик объектов и функций принадлежности  $\mu_x$ , т.е. описание каждого объекта парой  $O = \{\mu_x, x\} = \sum \mu_x/x$ ; 4) нечеткая формулировка – описание закона с помощью нечетких правил и операций (включая введение новых операций, если необходимо). Семантические объекты, отношения и нечеткие функции принадлежности допускаются любые.

Операции над нечеткими числами определяются через соответствующие четкие операции (+, ×, / и др.) по принципу нечеткого обобщения Заде [4]. Пусть  $A$ ,  $B$  и  $C$  – нечеткие числа,  $f$  – нечеткая операция. Нечеткая унарная операция определяется как пара  $f(A) = \{\max \mu_A, f(x)\}$ . Нечеткая бинарная операция определяется как пара  $C = f(A, B) = \{\max \min(\mu_A, \mu_B), f(x)\}$ . Нечеткие аналоги четких арифметических операций будем заключать «в кружочек»  $\oplus, \otimes, \oslash$  и др.

**Законы природы.** Фундаментальные законы природы, как правило, не зависят от времени (автономные) и имеют четкие формулировки. Например, закон всемирного тяготения может быть выражен так: 1) Две материальные точки с массами  $m_1$  и  $m_2$  притягиваются друг к другу с силой  $F = \gamma m_1 m_2 / R^2$ , где  $R$  – расстояние между точками,  $\gamma$  –

константа тяготения. Выберем в качестве объектов физические понятия (масса, расстояние, сила). Проведем их фаззификацию  $M_1=\{\mu_1,m_1\}$ ,  $M_2=\{\mu_2,m_2\}$ ,  $R_1=\{v_1,r_1\}$ ,  $R_2=\{v_2,r_2\}$ ,  $r=\{v,R\}$ ,  $F=\{\lambda,F\}$ , где  $\mu_1, \mu_2, v_1, v_2, v, \lambda$  – соответствующие функции принадлежности (например, гауссовы  $\mu_x(x,b,c) = \exp[-(x-c)^2/b^2]$ , где  $c$  – четкое значение,  $b$  – размах нечеткости). В качестве отношений выберем операции над нечеткими числами. Получим нечеткий аналог закона тяготения  $F = \gamma \otimes M_1 \otimes M_2 \otimes r^{-2}$ , записанный с помощью трех бинарных (умножение) и одной унарной (степень) нечетких операций.

Пусть  $\gamma=1$ ,  $m_1=2$ ,  $m_2=4$ ,  $R=1$ . Тогда четкое значение  $F = \gamma m_1 m_2 / R^2 = 8$ . Поведем фаззификацию  $M_1=0,7/1+1/2+0,8/3$  – нечеткое число «2»,  $M_2=0,8/3+1/4+0,9/5$  – нечеткое число «4» и  $r=0,7/0,8+1/1+0,8/1,2$  – нечеткое число «1». Константу  $\gamma$  фаззифицировать не нужно (примем  $\gamma=1$ ). Выполним унарную операцию  $r^{-2} = 0,7/0,8^{-2}+1/1^{-2}+0,8/1,2^{-2} \approx 0,8/0,7+1/1+0,7/1,6$ . Выполним бинарную операцию  $M_1 \otimes M_2 = \min(0,7,0,8)/3 + \min(0,7,1)/4 + \min(0,7,0,9)/5 + \min(1,0,8)/6 + \min(1,1)/8 + \min(1,0,9)/10 + \min(0,8,0,8)/9 + \min(0,8,1)/12 + \min(0,8,0,9)/15 = 0,7/3+ 0,7/4+ 0,7/5+ 0,8/6 + 1/8+ 0,8/9+ 0,9/10+ 0,8/12+ 0,8/15$ . Выполним последнюю бинарную операцию  $F = (M_1 \otimes M_2) \otimes r^{-2} = (0,7/2,1+ 0,7/2,8+ 0,7/3,5+ 0,8/4,2 + 0,8/5,6+ 0,8/7+ 0,8/6,3+ 0,8/8,4+ 0,8/10,5) + (0,7/3+ 0,7/4+ 0,7/5+ 0,8/6 + \max(0,7,1)/8 + 0,8/9+ 0,9/10+ 0,8/12+ 0,8/15) + (0,7/4,8+ 0,7/6,4+ + 0,7/9,6 + 0,7/12,8+ 0,7/16+ 0,7/14,4+ 0,7/19,2+ 0,7/24)$ . Ближайшим четким числом является  $F=8$ , т.к.  $\max(0,7,1)/8=1/8$ . Дефаззификация методом центра тяжести дает  $F \approx \sum \mu F / \sum \mu = 8,81$ . Исходные уровни нечеткости (база) находятся в интервале [1-5], а достоверное нечеткое значение  $F$  – в интервале [4- 15], рис. 1.

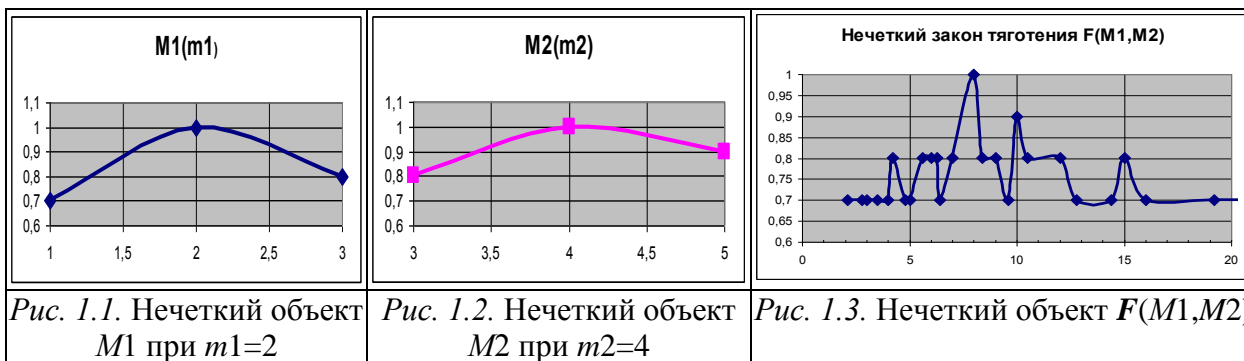


Рис. 1.1. Нечеткий объект M1 при m1=2

Рис. 1.2. Нечеткий объект M2 при m2=4

Рис. 1.3. Нечеткий объект F(M1,M2)

Понятие «материальная точка» – абстракция, под которой понимается тело, размерами которого можно пренебречь. Поэтому, формулировка 1) справедлива, если размеры тел существенно меньше расстояния между ними, тогда под  $R$  понимается расстояние между внешними границами объектов. Если же они соизмеримы с расстоянием, то под  $R$  понимается расстояние между центрами их тяжести. Поэтому можно выбрать более общую формулировку закона тяготения с большим числом объектов: 2) Два тела притягиваются друг к другу с силой  $F=\gamma m_1 m_2 / (r_1+r_2+R)^2$ , где  $r_1, r_2$  – радиусы тел. Или формулировку в виде продукционного правила: 3) Если  $r_1, r_2 \ll R$  то  $F=\gamma m_1 m_2 / R^2$ , которая следует из общей формулировки. Для формулировки 3) требуется определить нечеткие бинарные отношения «много меньше», «сравнимы» и др.

Примером нечеткой формы закона природы является всеобщий закон сохранения энергии (в замкнутой системе) в формулировке Ломоносова М.В., который распространяется на материю и движение: «Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимется у чего-то другого. [5]. Этой формулировке можно придать различные семантические интерпретации.

**Законы экономики.** Менее четкие законы экономики (предметной области) можно выразить еще большим количеством формулировок. Часто их можно описать зависимостями степенного вида  $y \sim x^\alpha$  и разделить на три категории – однонаправленные ( $\alpha>0$ ),

разнонаправленные ( $\alpha < 0$ ) и нейтральные ( $\alpha = 0$ ). Например, разнонаправленный закон спроса и предложения можно выразить формулировками: 1) «Если спрос выше предложения, то цены высокие»; 2) «Если спрос ниже предложения, то цены низкие»; 3) «Если спрос соизмерим с предложением, то цены стабильны» и т.д. Объектами здесь являются «спрос», «предложение» и «цена», унарными отношениями – «высокий», «низкий», «стабильный», бинарными отношениями – «выше», «ниже», «соизмерим».

Нечеткие объекты и отношения требуется определить через лингвистические переменные предметной области. Следует учитывать, что они допускают принадлежность к нескольким классам одновременно (неоднозначность) и могут быть заданы множеством способов. Например, объект «цена» может принадлежать классам «высокая» и «выше средней» одновременно. При небольшом числе уровней нечеткости (функций принадлежности)  $n$  экспертных оценок решить эту проблему можно перечислением всех возможных комбинаций состояний переменных, соответствующих отношению. Минимально достаточное  $n$  можно принять равным 5 по шкале 0–120 %: Н – низкий ( $\leq 50$  %), НС – ниже среднего (51–65 %), С – средний (66–80 %), ВС – выше среднего (81–90 %), В – высокий ( $\geq 91$  %). Унарные отношения (свойства) для одной переменной задаются лингвистическими значениями. Например, унарное отношение «цена» «высокая» можно задать как «цена = ВС» или «цена = В» или «цена  $\geq$  ВС». Для двух переменных (бинарные отношения) возможно до  $n^2$  комбинаций (правил), табл. 1.

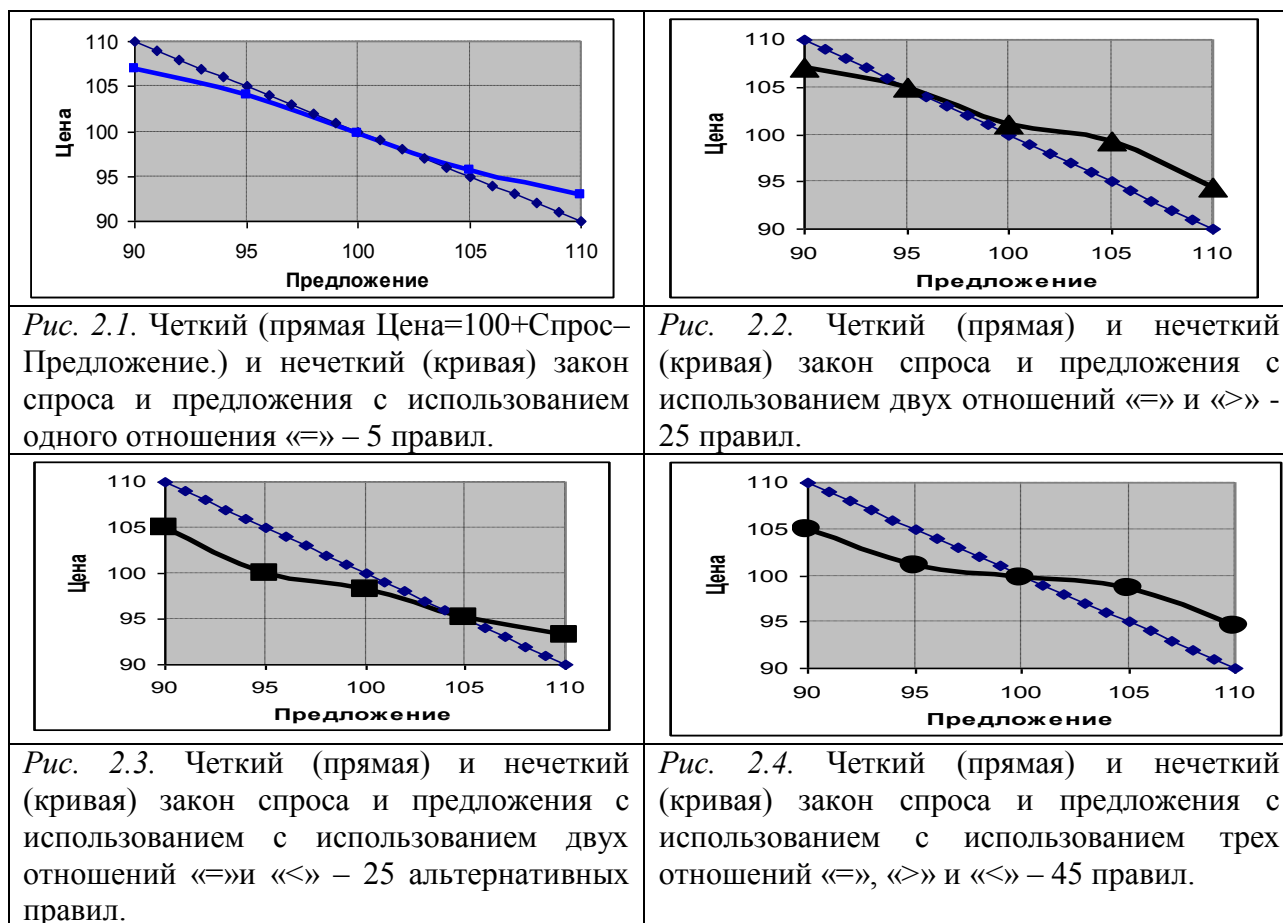
Таблица 1.

### Бинарные отношения для пяти уровней нечеткости ( $n=5$ )

Отношение	Объекты	Комбинация значений объектов (нечеткие правила)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Равно (=)	Объект 1	В	ВС	С	НС	С								
	Объект 2	В	ВС	С	НС	С								
Больше (>)	Объект 1	В	В	В	В	ВС	ВС	ВС	С	С	НС			
	Объект 2	ВС	С	НС	Н	С	НС	Н	НС	Н	Н			
Меньше (<)	Объект 1	Н	Н	Н	Н	НС	НС	НС	С	С	ВС			
	Объект 2	НС	С	ВС	В	С	ВС	В	ВС	В	В			
Много меньше (<<)	Объект 1	Н	Н	Н	Н	НС	НС	НС	С	С	ВС			
	Объект 2	-	С	ВС	В	-	ВС	В	-	В	-			
Сравнимы ( $\approx$ )	Объект 1	Н	Н	НС	НС	НС	С	С	С	ВС	ВС	ВС	В	В
	Объект 2	НС	Н	Н	НС	С	НС	С	ВС	С	ВС	В	ВС	В

Комбинированные отношения « $\geq$ » и др. образуются нечетким объединением элементарных.

Тогда формулировку 1) «Если спрос  $>$  предложения, то цены высокие» можно записать с помощью 20 элементарных или одного комбинированного нечеткого правила: Если [спрос=В и (предложение=ВС или предложение=С или предложение=НС или предложение=Н)] или [спрос=ВС и (предложение=С или предложение=НС или предложение=Н)] или [спрос=С и (предложение=НС или предложение=Н)] или [спрос=НС и предложение=Н] то [цена = ВС или цена = В]. Формулировка 2) «Если спрос  $<$  предложения, то цены низкие» соответственно запишется: Если [спрос=Н и (предложение=НС или предложение=С или предложение=ВС или предложение=В)] или [спрос=НС и (предложение=С или предложение=ВС или предложение=В)] или [спрос=С и (предложение=ВС или предложение=В)] или [спрос=ВС и предложение=В] то [цена = Н или цена = НС]. Сравнение разных формулировок нечетких аналогов закона спроса и предложения для нечеткой сети «2-1» при постоянном спросе (Спрос=100) приведено на рис. 2.



Как видно, различные нечеткие отношения дают различные, но сопоставимые результаты и обладают специфическими нелинейными свойствами.

Аналогично можно описать и другие законы – экономики, общества и здравого смысла: «Если доходы (бюджета) растут медленнее расходов, то показатели уровня жизни (ВРП и др.) снижаются»; «Если инвестиции (в отрасль) снижаются, то показатели эффективности (отрасли) снижаются»; «Чем выше инфляция, тем ниже реальные доходы (населения, организаций)». Для качественных факторов (доверие власти, вера в будущее, патриотизм и др.) также можно использовать нечеткую интерпретацию, с привязкой ко времени (не автономно) или без нее.

**Выводы.** Разработана методика описания нечетких аналогов фундаментальных законов природы и общества, которая может быть использована при разработке продукционных правил в экспертных системах для различных предметных областей.

#### Примечания:

1. Федотов В.Х. Нечеткое управление региональными экономическими системами // Вестник Чувашского университета. 2011. №4. С. 504–511.
2. Федотов В.Х. Мягкое управление социально-экономическими системами // Прикладная эконометрика. 2012. № 2.
3. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. СПб: Питер, 2000. 384 с.
4. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейросети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. М.: Физматлит, 2001. 224 с.
5. Ломоносов М.В. Полн. собр. соч. М.-Л.: Наука, 1950. т. 1. С. 79.

УДК 004.9.:У(075.8)

**Мягкое описание фундаментальных законов  
природы и общества для экспертных систем**

Владислав Харитонович Федотов

Чувашский государственный университет, Россия  
Чебоксары, Московский проспект, 15  
Кандидат химических наук, доцент  
E-mail: fvh@inbox.ru

**Аннотация.** Разработана методика описания нечетких аналогов законов природы, общества, познания, экономики и здравого смысла. Подход может быть использован при разработке баз правил экспертных систем для различных предметных областей.

**Ключевые слова.** Нечеткая логика, мягкие вычисления, экспертные системы, законы природы.