

# Нечеткая модель плохо формализуемых факторов

Д. М. Назаров

ФГБОУ ВО Уральский государственный экономический университет  
slup2005@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена модель плохо формализуемых факторов на основе тезаурусного подхода и проведена их оценка с помощью технологии нечеткого логического вывода.

**Ключевые слова** плохо формализуемый фактор; нечеткий логический вывод; метод гипонимов; тезаурус

## I. ВВЕДЕНИЕ

Плохо формализуемые и плохо структурируемые системы (объекты, задачи) наиболее часто возникают при исследовании проблемных полей находящихся на стыке различных наук. К плохо формализуемым относят задачи (системы, объекты), не имеющие точно выраженной математической постановки, решение которых традиционными алгоритмическими методами невозможно или неэффективно. Такие задачи (системы, объекты), как правило имеют изначально нечисловой формат и обладают следующей спецификой: неоднозначность, неполнота, вариативность, противоречивость данных, информации и знаний об объекте исследования, многоаспектность постановок задачи, многообразие возможных способов решения и наличие интеллектуальной составляющей в процессе постановки, решения и анализа результатов. Очевидно, что решение таких задач не автоматизировано и требует огромных затрат. Экономические системы функционируют в условиях неопределенности, которая обусловлена недостаточностью или полным отсутствием методов и средств измерения параметров объекта управления в фазовом пространстве, неполнотой требований или же невозможностью точного предсказания наступления тех или иных событий, невозможностью математически четко определить значения параметров, либо невозможностью строгого численного определения границ их принадлежности. В процессе управления такими системами присутствует достаточно много плохо формализуемых факторов.

Под плохо формализуемыми факторами мы будем понимать такие факторы, которые обладают системной сложностью, степень их влияния на протекающие экономические процессы до конца не изучена, а невозможность их аналитического представления значительно снижает эффективность управления экономической системой.

Для того чтобы повысить эффективность управления экономическими процессами в случаях неопределенности исходных данных и необходимости учета такого рода плохо формализуемых факторов, целесообразно создавать

модели, основанные на нечетком моделировании и нечеткой логике. [1]

## II. ОПИСАНИЕ ПЛОХО ФОРМАЛИЗУЕМОГО ФАКТОРА КАК ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Моделирование плохо формализуемых факторов чаще всего затруднена лингвистической неопределенностью рассматриваемого понятия на естественном языке. Поэтому для построения модели и определения структуры таких факторов необходимо рассматривать их на понятийном уровне, как лингвистические переменные. Лингвистической переменной называется переменная, значениями которой являются не числа, а слова или предложения естественного, или формального языка. В этом смысле лингвистическая переменная может быть ассоциирована с понятием естественного языка. Лингвистический подход составляет основу нечеткой логики и приближенных способов рассуждений для реалистичного моделирования сложных экономических систем, на поведение которых значительное влияние оказывают суждения, восприятия и эмоции человека. Использование лингвистических переменных позволяет проводить адекватно описывающие проблему исследования экономической системы в терминах, естественных для ЛПР и экспертов.[1]

Методы теории нечетких множеств позволяют выделить структуру плохо формализуемого фактора, определить взаимосвязи внутри рассматриваемой структуры, при необходимости учесть ее специфику по отношению к исследуемой группе объектов, а самое главное получить методику измерения

Приведем авторское понимание описания плохо формализуемого фактора, для этого представим его как лингвистическую переменную, в виде объединения конечного количества термов  $T_i$ :

$$ПФ \leftrightarrow T_1(A_1(t)) \cup T_2(A_2(t)) \cup \dots \cup T_n(A_n(t)), \quad (1)$$

где ПФ – лингвистическая переменная, характеризующая плохо формализуемый фактор;  $T_i(A_i(t))$  – терм-множество, характеризующее  $i$ -параметр ПФ, как системы ( $i=1..n$ );  $A_i(t)$  – элемент системы, описывающий рассматриваемое понятие в момент времени  $t$  ( $i=1..n$ ).

Исходя из вышесказанного, плохо формализуемый фактор ПФ в общем виде можно представить в виде иерархической структуры (рис. 1). [2]

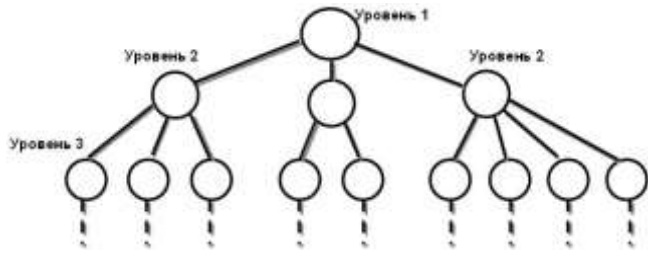


Рис. 1. Пример иерархической структуры плохо формализуемого фактора до 3 уровня

На рис. 1. изображена типичная иерархическая структура разложения понятия  $\Pi$  в виде ациклического графа с узлами  $A_i(t)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). Будем все узлы графа  $A_i(t)$  представлять нечеткими множествами. Рассмотрим  $k$ -тый уровень декомпозиции исходного понятия ПФ. Каждая составляющая этого уровня  $A_k$ , представлена  $s_k$  разбиениями  $A_{kj}$ :

$$A_k = \sum_{j=1}^{j=s_k} A_{kj}. \quad (2)$$

В свою очередь, каждое разбиение  $A_{kj}$  состоит из  $n_{kj}$  компонентов. Применим традиционную запись нечеткого множества  $A_{kj}$ :

$$A_{kj} = \sum_{i=1}^{i=n_{kj}} \{ \mu(x_i^{kj}) | x_i^{kj} \}, \quad (3)$$

где  $x_i^{kj}$  –  $i$ -ый элемент нечеткого множества  $A_{kj}$ ,  $\mu(x_i^{kj})$  – функция принадлежности этого элемента нечеткому множеству  $A_{kj}$ .

При таком аналитическом описании плохо формализуемого фактора возникает две основные проблемы: оценка глубины ациклического графа и построение модели свертки и получение оценки плохо формализуемого фактора.

#### А. Методика получения оценки плохо формализуемого фактора

Для получения агрегированной оценки, показывающей рейтинг того или иного объекта в системе, обычно используют алгоритм линейной свертки показателей, формализующих этот объект. Опираясь на теорию нечетких множеств, агрегированный результат можно получить исходя из правил построения нечетко-логических выводов. В зависимости от того, какие формулы используются в структуре нечетко-логического вывода, различают следующие алгоритмы нечеткого вывода, использующиеся в различных системах: алгоритм Мамдани, алгоритм Ларсена, алгоритм Тсукамото, алгоритм Сугэно и упрощенный алгоритм [3].

Рассмотрим алгоритм нечетко-логического вывода (по Мамдани). [4]

1. Имеем  $m$  нечетких множеств, соответствующих разбиению  $k$ -уровня, где  $p$  – максимальная оценка исследуемой составляющей плохо формализуемого фактора,  $E$  – множество всех составляющих плохо формализуемого фактора.

$$\begin{aligned} M_1 &= \left\{ \mu_{11}(E) / 1 + \mu_{21}(E) / 2 + \dots + \mu_{p1}(E) / p \right\} \\ M_2 &= \left\{ \mu_{12}(E) / 1 + \mu_{22}(E) / 2 + \dots + \mu_{p2}(E) / p \right\} \\ &\dots \\ M_m &= \left\{ \mu_{1m}(E) / 1 + \mu_{2m}(E) / 2 + \dots + \mu_{pm}(E) / p \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Эти множества используем в качестве основы для агрегации в виде последовательности значений функции принадлежности единого нечеткого множества  $B$ :

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \mu_{11}(E) \vee \mu_{12}(E) \vee \dots \vee \mu_{1m}(E) = \max_i \mu_{1i}(E); \\ \alpha_2 &= \mu_{21}(E) \vee \mu_{22}(E) \vee \dots \vee \mu_{2m}(E) = \max_i \mu_{2i}(E); \\ &\dots \\ \alpha_p &= \mu_{p1}(E) \vee \mu_{p2}(E) \vee \dots \vee \mu_{pm}(E) = \max_i \mu_{pi}(E), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Напомним, что операция дизъюнкция ( $\vee$ ) в нечеткой логике это нахождение максимума.

2. Преобразуем полученную функцию принадлежности множества  $B$  по формуле:

$$\mu_g(B) = \frac{\alpha_g}{\max_g \alpha_g}, \text{ где } g = 1 \dots p. \quad (6)$$

Получим:

$$\mu_g(B) = \frac{\alpha_g}{\max_g \alpha_g}, \text{ где } g = 1 \dots p. \quad (7)$$

На основании полученной функции принадлежности можно получить дефазифицированное значение, выражающее совокупное мнение экспертов используя формулу Мамдани (метод центра масс): [5], [6]

$$x^* = \frac{\sum_g \mu_g(B)}{\sum_g \mu_g(B)}. \quad (8)$$

где  $x^*$  – это четкое значение переменной, соответствующее логическому объединению в форме «если-то», полученное в результате процедуры дефазификации.

Описанная выше процедура позволяет, по сути, перейти от  $k$ -уровня иерархии (см. рис. 1) к  $k-1$  уровню. Такой переход основан на построении нечеткого множества  $k-1$

уровня, функцией принадлежности которого является значения

$$\mu_{A_{k-1j}} = \mu_g(B), \text{ где } j = 1 \dots s_{k-1} \quad (9)$$

Учитывая иерархичность (в общем случае) представления плохо формализуемого фактора, как лингвистической переменной, описанные выше процедуры и формула (2) позволяют перейти с одного уровня иерархии на другой, получая и анализируя функции принадлежности промежуточных составляющих. Достоинством такого представления является и то, что, можно выявить наиболее важные составляющие и отбросить несущественные, и тем самым упростить дальнейшее исследование. Полученный алгоритм универсален и может быть применен для формализации любого плохо формализуемого фактора. [7], [8]

#### *В. Методика оценка глубины ациклического графа представления плохо формализуемого фактора*

Оценка глубины ациклического графа представления плохо формализуемого фактора связана семантическим подходом к измерению информации. Наибольшее распространение здесь получила тезаурусный подход, связывающий семантические свойства информации со способностью пользователя формализовать свои знания об объекте исследования. *Тезаурус* – это совокупность сведений, которыми располагает пользователь или система. Суть тезаурусного подхода к формализации имплицитных факторов можно представить в виде реализации метода «гипонимов-гиперонимов», используемого при построении тезаурусов на основе контента сети Интернет. Идея метода заключается в построении взаимосвязанных ассоциаций «гипероним-гипоним». Гипероним – слово с широким значением, выражающее общее, родовое понятие, название класса (множества) предметов (свойств, признаков). Гипонимы – слова, называющие предметы (свойства, признаки) как элементы класса (множества). Гипероним является результатом логической операции обобщения или в математическом смысле – дополнения до множества.

Метод гипонимов основан на том, что любую предметную область можно описать иерархическим словарем понятий, который собственно и называется тезаурусом. Тезаурус представляет собой дерево понятий для данной предметной области, начиная с верхних, самых общих, и кончая нижними, самыми конкретными, узкими понятиями. Слова (термины) в тезаурусе обычно связаны отношениями «общее-частное», «целое-часть» и т.п. Практика использования поисковых систем для построения дерева понятий показывает, что достаточно помнить хотя бы **три** гипонима, чтобы в выдаче поисковой системы получить весь список составляющих плохо формализуемого фактора. Подобный подход, соответствующий формуле, используется при построении системы запросов и семантического ядра сайта или портала.

### III. ВЫВОДЫ

Таким образом, особенностью полученного представления плохо формализуемого фактора является:

динамический характер лингвистической переменной, обеспечивающийся за счет введения переменной  $t$ , которая показывает, что некоторые элементы  $A_i(t)$  системы существенно меняются со временем, в связи с развитием научных представлений о них; наличие иерархической модели лингвистической переменной; тезаурусный подход делающий понятной процедуру получения составляющих с учетом многозначности, практического понимания и интерпретации экономических явлений.

Преимущества такого представления заключаются в возможности формального описания плохо формализуемого фактора с учетом цели исследования с помощью аппарата теории нечетких множеств. Предложенный нами алгоритм нечетко-логического вывода для получения агрегированной оценки плохо формализуемого фактора основан на идее построения суперпозиции нечетких функций принадлежности, в виде технологии аддитивной свертки его составляющих по правилу Мамдани с учетом их степени важности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Alizadeh, A., Chehrehpak, M. (2017) Fuzzy group decision making model for identifying and ranking of success factors in fraud prevention in Iranian e-banking. *Journal of Information Technology Management* 9(2), с. 355-378.
- [2] Liu, F., Li, R., Li, Y., Yan, R., Saha, T. (2017) Takagi-Sugeno fuzzy model-based approach considering multiple weather factors for the photovoltaic power short-term forecasting. *IET Renewable Power Generation*, 11(10), с. 1281-1287.
- [3] Mahmoudi, H., Aleenejad, M., Moamaei, P., Ahmadi, R. (2016) Fuzzy adjustment of weighting factor in model predictive control of permanent magnet synchronous machines using current membership functions. *2016 IEEE Power and Energy Conference at Illinois, PEI* 2016 7459225.
- [4] Nazarov, D.M. (2017) Fuzzy model for assessment of causality of factors. *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017*, 7970746, с. 859-861.
- [5] Nazarov, D.M. (2017) Fuzzy Model for Assessment of Causality of Factors in Collaborative Economy, *Proceedings – 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics, CBI 2017* 2,8012936, с. 28-31.
- [6] Norman, T.J., Jennings, N.R., Faratin, P., Mamdani, E.H. (2015) Designing and implementing a multi-agent architecture for business process management. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 1193, с. 261-275.
- [7] Zadeh, L.A., Abbasov, A.M., Shahbazova, S.N. (2015) Fuzzy-based techniques in human-like processing of social network data. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 23, с. 1-14.
- [8] Zadeh, L.A. (2015) Fuzzy logic - A personal perspective. *Fuzzy Sets and Systems* 281, с. 4-20.