

# Моделирование с применением нечетких множеств для определения границ качества обслуживания

М. А. Селезнева

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University  
maselezneva@mail.ru

**Аннотация.** В современных реалиях, к сожалению, проблема многокритериальной оценки качества среди математических и любых других моделей, оценки состояния и упрощения различных классов моделей, выбора моделей с целью решения конкретных практических задач остаётся мало исследованной. Данная проблема становится ещё актуальнее в случае, когда подвергающийся исследованию объект описывается не одной моделью, а целым полимодельным комплексом, частями которого, в свою очередь, являются разные по составу и комбинированные модели.

**Ключевые слова:** модели; комплекс; моделирование; неопределенность; управление

Термин «мягкие вычисления» был введен Лотфи Заде только в 1994 году, что говорит о том, что данный раздел науки достаточно новый и только начинает применяться в различных сферах человеческой деятельности. Мягкие вычисления – это некоторая совокупность неточных или приближенных методов решения, которые не имеют тривиального решения за полиномиальное время, то есть время которое зависит от времени ввода данных. Такие классы задач больше всего применяются в следующих областях: биология, медицина, гуманитарные науки, робастное управление, менеджмент. Технология мягких вычислений практически разрабатывается 25 лет. Она применяется к задачам управления слабо структурированными объектами, что особенно актуально в теории и практике проектирования систем управления.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ, НЕЧЕТКИХ И МЯГКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

К концу 20 века систематизированным и первым трудом была выпущенная в 1999 году монография Соболева В.С., Романова В.Н., Цветкова Э.Н. под названием «Интеллектуальные средства измерений». Авторы данной монографии попытались обобщить и собрать материал по программным, метрологическим и аппаратным аспектам. Даже учитывая большинство изменений и достижений, которые произошли в сфере интеллектуальных измерений в последние годы, данная область знаний остается основной по вопросам интеллектуализации, метрологическому обеспечению, моделированию и прочим вопросам интеллектуальных измерений [8].

Интеллектуальными измерениями называются такие, которые применяются к системам для поиска решений слабо структурированных задач.

Инструментарием технологии мягких вычислений является метод нечетких множеств и нечеткой логики, а так же модели нечетких нейронных сетей, которые основаны на генетических алгоритмах, которые включают иммунные алгоритмы, алгоритмы оптимизации поведенческих реакций, групп.

Последние 25 лет происходит интенсивная разработка технологии мягких вычислений. Данная технология предполагает решение задач процесса управления слабо структурированными объектами управления, которые особенно актуальны для общей практики и теории проектирования систем управления. Мягкими вычислениями называется сложная информационная методология, которая основана на нечеткой логике, генетических вычислениях, нейрокомпьютинге и вероятностных вычислениях.

Перечисленные составные части не являются конкурирующими, а наоборот дополняют друг друга, то есть возникает эффект синергизма, который суммирует эффект взаимодействия всех факторов. Синергетический эффект не является просто суммой действия всех факторов одновременно, он больше, чем такая сумма.

Инструментарий технологий, предполагающих разъяснение мягких вычислений, базируется на нечетких системах (нечеткие регуляторы, нечеткая логика, нечеткие множества и др.)

Основной принцип мягких вычислений - учет неточностей, неопределенностей, частичных истин, аппроксимаций для достижения робастности, что позволяет достичь низкой стоимости решения, и что самое главное большего соответствия с действующей практикой.

Составные части мягких вычислений: нечеткая логика; нейрокомпьютинг; генетические вычисления (но также и включая алгоритмы оптимизации, иммунные алгоритмы на базе поведенческих реакций птиц, групп животных, пчел, муравьев, и тому подобное); вероятностные вычисления.

Впервые термин «нечеткая логика» («fuzzy logic») введен американским ученым – профессором

азербайджанского происхождения Лотфи Заде в 1965 г. в научной работе «Нечеткие множества» в журнале «Информатика и управление». Основания для создания новой теории – послужил спор профессора и его друга, чья из жен более привлекательна. Им так и не удалось прийти к единому мнению. Именно поэтому Лотфи Заде решил разработать концепцию, выражающую нечеткие понятия в числовой форме.

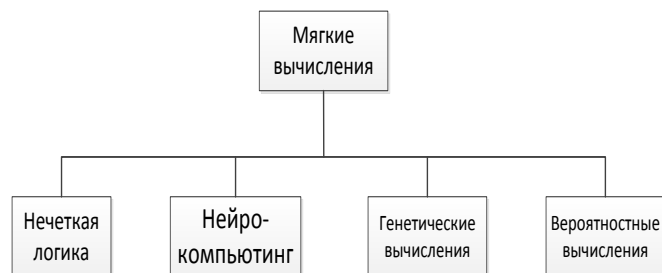


Рис. 1. Четыре составные части мягких вычислений

Очевидная область внедрения алгоритмов нечеткой логики – всевозможные экспертные системы, которые характеризуются:

- нелинейным контролем за процессами (к примеру, производство);
- самообучающимися системами (или классификаторами), исследованиями критических и рискованных ситуаций;
- распознаваниями образов;
- финансовым анализом (к примеру, рынки ценных бумаг);
- исследованием данных (к примеру, корпоративные хранилища);
- совершенствованием стратегий управления и координацией действий, к примеру, сложное промышленное производство.

Области применения методов нечеткой логики являются экспертные системы:

1. нелинейный контроль за процессами (применяется в производстве);
2. самообучающиеся системы (классификаторы), для исследования рискованных и критических ситуаций;
3. методы распознавания образов;
4. в финансовом анализе (на рынке ценных бумаг);
5. в исследовании данных (для организации корпоративных хранилищ);
6. для совершенствования стратегий и координации управления (сложном промышленном производстве).

Интеллектуальная мощь и интуитивная простота методов нечеткой логики в решении задач обеспечивает успешное применение в системах контроля и анализа

данных. Одновременно к этому подключается человеческая интуиция и опыт оператора.

Традиционная математика, требует на каждом этапе моделирования точных и однозначных формулировок законов и уравнений, а методы нечеткой логики позволяют методологически обеспечить качественно новый уровень мышления, с применением которого, творческая часть процесса моделирования осуществляется на наивысшем уровне абстракции, когда постулируется минимальный набор принципов и закономерностей.

Недостатки нечетких методов нечетких измерений:

- отсутствие стандартизированной методики конструирования нечетких систем;
- невозможность математического анализа нечетких систем.
- применение нечеткого подхода по сравнению с вероятностным не приводит к повышению точности вычислений.

Отличительная особенность «мягких вычислений»: приспособленность к неточности описания реального мира.

Основной принцип «мягких вычислений»: терпимость к неточностям, неопределенностям и частичной истинности для удобства манипулирования, робастности, низкой цены решения и лучшего соответствия с реальностью. Под робастностью понимается незначительные изменения выхода замкнутой системы управления при несущественных изменениях параметров объекта управления. Исходной моделью «мягких вычислений» является человеческое мышление, особенностью которого есть конструирование аргументированного и интуитивного в один способ описания и оценки ситуации. Методы мягких вычислений хорошо дополняют друг друга, и часто используются совместно. Принято считать, что методы «мягких измерений» получают значительное развитие в высокотехнологичном мире, где экспертные и интеллектуальные системы станут жизнеопределяющей необходимостью. Таким образом, подведем итог, главная особенность мягких вычислений – это то, что в сравнении с традиционными (жесткими) вычислениями, эти вычисления приспособлены к неточностям реального мира. Перечисленные основные принципы мягких вычислений дают более точное определение данного понятия. Исходная модель для мягких вычислений – это человеческое мышление.

## II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Одним из важнейших этапов определения качества сервисного обслуживания предприятия является разработка критериев оценки их качественного уровня. Одним из наиболее перспективных направлений научных исследований в области анализа, прогнозирования и моделирования социально-экономических явлений и

процессов является нечеткая логика (fuzzy logic). Нечетко-множественные модели, часто представленные в виде программного обеспечения для персональных компьютеров, позволяет как менеджерам различного уровня, так и владельцам предприятий принимать экономически грамотные решения [1]. Критерии оценки полученного уровня качества сервисного обслуживания предприятия, по которому предлагается разработать методом нечеткой классификации, который позволит отнести объект заданный вектором экспертных оценок качества сервисного обслуживания в один из классов [1, 3]. Мощь и интуитивная простота нечеткой логики как методологии разрешения проблем гарантирует ее успешное использование во встроенных системах контроля и анализа информации. При этом происходит подключение человеческой интуиции и опыта оператора. В Японии данное направление проходит этап настоящего бума. В этой стране осуществляет свою деятельность специально разработанная лаборатория LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering Research). Программой данной организации определяется разработка вычислительных устройств особенно близких человеку. LIFE включает в себя 48 компаний, в их числе находятся: Mitsubishi, Hitachi, Sharp, NEC, Mazda, Sony, Toyota, Honda. Из зарубежных (то есть не Японских) участников LIFE можно выделить: Fuji, Xerox IBM, также можно отметить, что NASA проявляет интерес к деятельности LIFE.

В отличие от традиционной математики, требующей на каждом шаге моделирования точных и однозначных формулировок закономерностей, нечеткая логика предлагает совершенно иной уровень мышления, благодаря которому творческий процесс моделирования происходит на наивысшем уровне абстракции, при котором постулируется лишь минимальный набор закономерностей. Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы относительно их низкого или высокого уровня, оказывается особенно полезным для процессов определения стратегий развития, поскольку: на их ход влияют объективные и субъективные факторы; они являются слишком сложными для формализации и анализа только с помощью общепринятых количественных методов; доступные источники информации интерпретируются недостаточно точно, качественно и выразительно; по технологии процессы формирования стратегий совпадают с процессами человеческого мышления и естественных языков.

Наличие математических средств отображения нечеткости исходной информации позволяет построить модели, адекватные реальности. Для пространства функции принадлежности  $\mu : X \rightarrow [0, 1]$ . В общем случае нечеткое множество определяется как:

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \}.$$

Функция принадлежности  $\mu_A(x)$  количественно градуирует принадлежность элементов фундаментальной составляющей пространства мыслей (высказываний)  $x \in X$

нечеткого множества  $\tilde{A}$ . Значение 0 означает, что элемент не включен в нечеткую множество, 1 описывает полностью включенный элемент. Значение между 0 и 1 характеризуют нечетко включены элементы.

Функция принадлежности класса  $\gamma$  определяется как:

$$\gamma(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & x \geq b, \end{cases}$$

Для определения границ показателя возможности предприятия по обеспечению качества сервисного обслуживания по качественным уровням «недостаточный», «достаточный» целесообразно построить функции принадлежности, для чего осуществлен опрос 15 экспертов, которые отметили в диапазоне от 0,1 до 1,0, границы низкого уровня присвоением 1 балла, и высокого уровня присвоением 2 баллов. Результаты опроса экспертов представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА ЭКСПЕРТОВ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕДОСТАТОЧНОГО И ДОСТАТОЧНОГО УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА СЕРВИСНОГО ОБЛУЖИВАНИЯ

Эксперт	Значения уровней показателя качества сервисного обслуживания									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
6	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
7	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
8	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
9	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
10	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
11	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
12	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
13	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
14	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Сумма баллов	16	16	17	19	22	28	29	29	29	29
Отклонение от средней суммы баллов	-7,4	-7,4	-6,4	-4,4	-1,4	4,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Квадрат отклонения	54,8	54,8	41,0	19,4	2,0	21,2	31,4	31,4	31,4	31,4

Для оценки согласованности мнений экспертов применим энтропийный коэффициент конкордации [2]:

$$W_e = 1 - \frac{H}{H_{\max}},$$

где  $H$  – энтропия,  $H_{\max}$  – максимальное значение энтропии.

$$H = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot \log p_{ij}, \quad \text{где } p_{ij} = \frac{m_{ij}}{m}$$

$p_{ij}$  – оценка вероятности  $j$ -ранга, которые присваиваются  $i$ - объекту.  $m$  – количество экспертов.

$m_{ij}$  количество экспертов, присвоили оценку  $j$ -ранга  $i$ - объекту.

$$H_{\max} = n \cdot \log n,$$

где  $n$  – количество рангов.

Согласованность мнений экспертов определена энтропийным коэффициентом конкордации, и имеет значение 0,847:  $W_e = 1 - \frac{3,53}{23,03} = 0,847$ .

Расчет энтропийного коэффициента конкордации для показателя качества сервисного обслуживания (0,847) доказывает достоверность оценок и возможность их практического использования. Графическое распределение функций принадлежности показателя качества сервисного обслуживания, отражено на рис. 2. Расчет точек пересечения найден при интерполяции кривых до значений координат, можно считать прямыми. Таким образом, были построены системы одновременных линейных уравнений. Координаты точки недостаточного уровня условий внешней среды (0,5; 7) и (0,6; 13). Координаты точки достаточного уровня условий внешней среды (0,5; 8) и (0,6; 2). Система одновременных линейных уравнений для функции принадлежности качества сервисного обслуживания:

$$\begin{cases} Y = -60 \cdot X + 38 \\ Y = 60 \cdot X - 23 \end{cases}$$

Координата точки пересечения этих двух прямых в значении (0,51; 7,6). Шкала количественно-качественных характеристик показателя качества сервисного обслуживания представлены в табл. 2, где количественное значение соответствует точкам функций принадлежности. Таким образом, оценивая качество сервисного обслуживания конкретного предприятия достаточно определить диапазон, в который он входит, чтобы установить достаточный или недостаточный ли это уровень.

ТАБЛИЦА 2 ШКАЛА КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА СЕРВИСНОГО ОБЛУЖИВАНИЯ

Качественная оценка характеристики	Количественное значение интервала оценки характеристики
Недостаточный уровень условия внешней среды	от 0 до 0,51
Достаточный уровень условий внешней среды	от 0,51 до 1

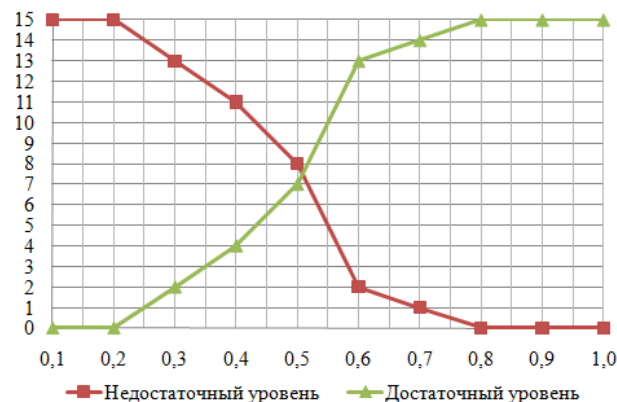


Рис. 2. Функции принадлежности качества сервисного обслуживания

«Мягкие вычисления» – это не самостоятельная методология, а объединение разных направлений, которые применяются для описания хаотических систем, сетей доверия и в разработке разделов теории обучения. «Мягкие вычисления» перспективная отрасль. В будущем, именно на основе данной технологии будет возможно создание полноценного искусственного интеллекта с полной непредсказуемостью, как у среднестатистического человека. Как частный случай в экономике применяются методы нечеткой логики для оценки качества сервисного обслуживания. Разрабатывая планы деятельности организации на основе алгоритма многомерного шкалирования стратегического анализа представляется возможным установить набор возможных сценариев развития событий, с целью повышения эффективности принятых управленческих решений и подготовки набора альтернативных вариантов действий топ-менеджмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования. М.: КДУ, 2006. 160 с.
- [2] Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Раннев. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 272 с.
- [3] Юсупов Р.М., Иванищев В.В., Костельцев В.И., Суворов А.И. Принципы квалиметрии моделей // IV СПб Междунар. конф. «Региональная информатика-95»: тез. докладов. СПб.: 1995. С.90–91.
- [4] Звягин Л.С. Итерационные и неитеративные методы монте-карло как актуальные вычислительные методы байесовского анализа// Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2017. Т. 1. С. 39-44.
- [5] Zvyagin L.S. System modeling in marketing research// В сборнике: Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. С. 241-243.