

УДК 338.2

Применение нечеткой логики в управлении предприятием пищевой промышленности

Байченко А.А. externalize@yandex.ru, доц. **Байченко Л.А.**, larabaychenko@yandex.ru,

проф. **Арет В.А.** valdurtera@rambler.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье показано, что нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно, неопределенно. Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Нечеткая логика, в основном, обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Наличие математических средств отражения нечеткости исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности.

Ключевые слова: нечеткая логика, экономика, менеджмент, мониторинг, лингвистическая переменная.

Application of fuzzy logic in the management of food industry enterprises

Baychenko A.A. externalize@yandex.ru,

Ph.D. **Baychenko L.A.** larabaychenko@yandex.ru,

prof. **Aret V.A.** valdurtera@rambler.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The article shows that the fuzzy control is particularly useful when the processes are too complex for analysis by conventional quantitative techniques or when the available sources of information are interpreted qualitatively, inaccurate, vague. Fuzzy logic, which is based on fuzzy control is closer in spirit to human thinking and natural language than traditional logical systems. Fuzzy logic is basically provides effective means for displaying uncertainty and inaccuracy of the real world. Availability mathematical tools reflection fuzzy initial information allows us to construct a model adequate reality.

Keywords: fuzzy logic, economics, management, monitoring, linguistic variable.

Введение

При постоянном и динамичном развитии бизнеса, быстрорастущей конкуренции и агрессивности внешнего окружения приходится кардинально пересматривать современные подходы к сущности и возможностям инновационной деятельности. Инновации представляют собой особый ресурс предприятия, без использования которого становится невозможным эффективное управление отдельными бизнес-процессами и мониторингом всей деятельности на предприятиях промышленности.

В исследовании раскрывается значение и использование инновационного управления с помощью IT технологий ERP-систем и нечеткой логики на предприятиях пищевой промышленности России.

Актуальность и практическая значимость темы, выбранной для исследования, заключается в том, что развитие малого бизнеса в пищевой промышленности в современных условиях России может быть убыточно без использования высококлассного оборудования, инновационных технологий сбора и обработки поступающей информации, особой тактики при быстро меняющейся ситуации на рынке. Только постепенный переход на инновационный тип развития, дополненный соответствующими инструментами, позволит расширить и производство и улучшить деятельность подразделений предприятий пищевой промышленности.

На сегодняшний день управленческие решения на предприятиях не могут основываться на дискретных данных. Необходимо не только систематизировать информацию с помощью последних достижений программного обеспечения, но и обеспечить динамическое наблюдение на предприятии, а так же настроить алгоритм автоматизма решений для снижения издержек в условиях сильной конкуренции и неполноты информации.

К сожалению, на большинстве российских малых предприятиях в процессе принятия решений не в полном объеме используются данные информационных систем, или используются с опозданием.

На предприятиях с перспективной системой управления обычно используется стратегия по сокращению расходов - минимизация издержек. Из этого следует, что происходит переход от производственной к маркетинговой ориентации управления, внедрение управленческого учета и современных методов финансового менеджмента, изменения организационной структуры предприятия внедрение автоматизированных информационных систем.¹

Цель данной работы - показать преимущества использования информационных технологий в финансовом менеджменте, и в частности, использование элементов нечеткой логики в процессе принятия важных управленческих решений.

¹ 53. <http://www.managment.aaanet.ru/economics/fin-analiz-predpriyatii.php>

Для этого были решены следующие задачи:

- рассмотрены информационные технологии в области управления предприятием, их преимущества и недостатки, зависимость от размеров и оснащения предприятия (малое предприятие).

- исследован процесс разработки и принятия краткосрочных финансово-экономических решений на основе информационных технологий.

В работе сделан анализ программного обеспечения финансового менеджмента на предприятии, выбран подходящий вариант для данного предприятия и проведен расчет оптимальной цены пищевого продукта с применением нечетких множеств на базе программы Mathcad14.

Нечеткая логика в IT и ERP, нечеткие множества, сущность и перспективность применения.

Удивительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной и асимметричной информации. Одну из важнейших проблем науки сегодня представляет построение моделей приближенных к рассуждениям человека и доступность их использование в компьютерных системах в повседневной жизни.

Компании пищевой промышленности сталкиваются с вопросами эффективного планирования производства и потребностей в ресурсах для обеспечения хорошего результата функционирования. Современные IT-решения позволяют решать ряд задач, связанных с управлением производством и логистикой.²

Многие компании задаются вопросом «есть ли общее IT -решение?», подходящее для всех, поскольку практически каждая производственная организация работает по своей индивидуальной схеме. Конечно, каждое предприятие, работающее в пищевой отрасли, имеет свои особенности, однако они объединены процессным типом производства. Это значит, что необходимо при планировании цепочек поставок и автоматизации управления учитывать ряд особенностей: непрерывный характер основных технологических процессов, наличие технологически сложных бизнес-процессов, присутствие сложных рецептур, наличие параллельных производственных цепочек и работа с быстро портящимися ресурсами.³

Также для любой производственной компании актуальна задача планирования. Произвести продукцию согласно плану продаж невозможно без закупки нужного количества сырья, которое зачастую имеет ограниченные сроки хранения и без выдержки необходимого уровня качества.⁴

² 24. Моданов В.В. Некоторые вопросы правового обеспечения, № 4, 2007.

³ 44. http://www.bitfinance.ru/?_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5yd

⁴ 49. <http://www.finansy.ru/eco/nao/#publ>

В этой связи владельцы или менеджеры малых пищевых производств используют недорогие и гибкие IT решения для управления и принятия мобильных задач на своих предприятиях. В большинстве своем используют дополнительные модули уже установленных ERP (англ. Enterprise Resource Planning System — Система планирования ресурсов предприятия) или берут компьютерные программы для быстрых расчетов. Данная тенденция наблюдается последнюю пару лет. Влияет как все большая осведомленность, так и кризис в SB-секторе (малый бизнес).

Использование нечеткой логики при бизнес решениях в ограниченное время стал доступен любому менеджеру.

Нечеткая логика это обобщение традиционной Аристотелевой логики на случай, когда истинность рассматривается в качестве лингвистической переменной, принимающей значения типа: "очень истинно", "более-менее истинно", "не очень ложно" и так далее. Указанные лингвистические значения представляются нечеткими множествами.⁵

Лингвистической называется переменная, принимающая значения из множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка. Множество допустимых значений лингвистической переменной называется терм-множеством. Задание значения переменной словами, без использования чисел, для человека более естественно. Ежедневно мы принимаем решения на основе лингвистической информации типа: "очень высокая температура"; "длительная поездка"; "быстрый ответ"; "красивый букет"; "гармоничный вкус" и т.п. Психологи установили, что в человеческом мозге почти вся числовая информация вербально перекодируется и хранится в виде лингвистических термов. Понятие лингвистической переменной играет важную роль в нечетком логическом выводе и в принятии решений на основе приближенных рассуждений. Формально, лингвистическая переменная определяется следующим образом.⁶

Лингвистическая переменная задается пятеркой (x, T, U, G, M) , где x - имя переменной; T - терм-множество, каждый элемент которого (терм) представляется как нечеткое множество на универсальном множестве U ; G - синтаксические правила, часто в виде грамматики, порождающие название термов; M - семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G .⁷

Особое место в нечеткой логике занимает лингвистическая переменная «истинность». В классической логике истинность может принимать только два значения: истинно и ложно. В нечеткой логике истинность «размытая». Нечеткая истинность определяется аксиоматически, причем разные авторы делают это по-разному. Интервал $[0, 1]$ используется как универсальное множество для задания лингвистической

⁵ 50. http://www.classs.ru/stati/uchet/teoria_nechetkih_mnojestv/

⁶ 21. Кравец А.С. Природа вероятности. - М.: Мысль, 1976. - 173 с.

⁷ 33. Hurwicz L. Optimality Criteria for Decision Making Cowles commission papers, 1951, №370.

переменной «истинность». ⁸Обычная, четкая истинность может быть представлена нечеткими множествами-синглтонами.

Самым главным понятием систем, основанных на нечеткой логике, является понятие нечеткого (под)множества (Fuzzy set). Пусть A – нечеткий интервал от 5 до 8. Функция принадлежности $\mu_A(u)$ – это функция, областью определения которой является носитель U , $u \in U$, а областью значений – единичный интервал $[0,1]$, в данном случае $(5,8)$. Чем выше $\mu_A(u)$, тем выше оценивается степень принадлежности элемента носителя u нечеткому множеству A .⁹

Например, на рисунке представлена функция принадлежности нечеткого множества «Оптимальный возраст работающего», полученная на основании опроса ряда экспертов. Видно, что возраст от 20 до 35 оценивается экспертами как бесспорно оптимальный, а от 60 и выше – как бесспорно неоптимальный. В диапазоне от 35 до 60 эксперты проявляют неуверенность в своей классификации, и структура этой неуверенности как раз и передается графиком функции принадлежности.¹⁰

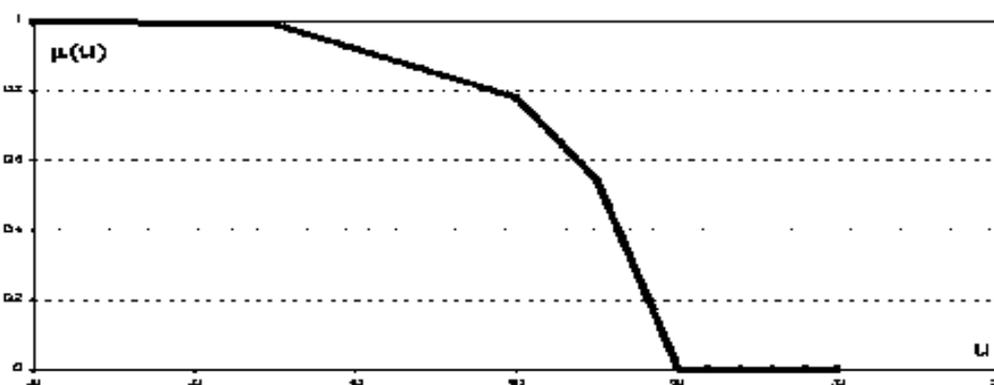


Рисунок 1 « Функция принадлежности нечеткого подмножества «Оптимальный возраст работника»»¹¹

История развития Fuzzy sets

В 1965 г. в журнале «Information and Control» была опубликована известная работа Лотфи Заде (Лотфи Заде, родился 4 февраля 1921 г. в Баку - Советский Азербайджан, создатель теории нечетких множеств и основанных на ней т.н. нечеткой логики и

⁸ 2. Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений

⁹ 43. А.И.Масалович. Этот нечеткий, нечеткий, нечеткий мир / PC Week/RE N.16,1995,стр.7

¹⁰ 18. Количественные методы в экономических исследованиях, ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 791 с. С.378

¹¹ 26. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечёткой логики Mathematical Principles of Fuzzy Logic. — Физматлит, 2006. — 352 с.

нечетких систем - важного направления в современной науке об искусственном интеллекте. Ныне проживает в США) под названием «Fuzzy sets». Это название переведено на русский язык как нечеткие множества. Побудительным мотивом представления Л. Заде идеи и теории нечетких множеств стала необходимость описания таких явлений и понятий, которые имеют многозначный и неточный характер. Известные до этого математические методы, использовавшие классическую теорию множеств и двузначную логику, не позволяли решать проблемы этого типа.

Данная статья инициировала огромный поток публикаций в области нечеткой математики, который не иссякает до сих пор. В шестидесятые-семидесятые годы неортодоксальные идеи Л.Заде встретили весьма настороженный, а порой и холодный прием в различных научных кругах, особенно, в среде «чистых математиков». Однако, практический потенциал теории нечетких множеств и нечеткой логики, их способность моделировать гибкие и неточные ограничения, частичное проявление свойств, плавный переход из одной ситуации в другую привлекли в эту область целую армию прикладников. За последние двадцать лет разработаны приложения методов и моделей нечеткой математики в распознавании образов, анализе изображений, экспертных системах, системах поддержки принятия решений и многих-многих других сферах. Особенно следует отметить модели нечеткого управления, которые нашли широчайшее промышленное применение, начиная от бытовой техники (пылесосы, стиральные машины с нечеткой логикой) и кончая управлением сложными технологическими процессами (управление доменным процессом, управление атомными энергоблоками) и динамическими объектами (поезда метро, автомобили, вертолеты, роботы и пр.).¹²

Сегодня теория нечетких множеств и нечеткая логика получили всемирное признание. Большая заслуга в этом принадлежит самому Л.Заде, который активно пропагандирует свои идеи по всему миру. Помимо своей постоянной работы в Беркли он многие годы работал в качестве приглашенного профессора: в Массачусетском технологическом институте (1963 и 1968 г.), в научно-исследовательской лаборатории корпорации IBM в Сан-Хосе (1968, 1971, 1974 и 1977 г.), в Стэнфордском университете (1987 г.). Выступал с чтением лекций во Франции, Англии, Канаде, Германии, Японии, Китае, Италии, Испании, Португалии, Швеции, Швейцарии, Австрии, Румынии, Венгрии, Югославии, СССР, Польше, Турции, Индии, Бразилии, Сингапуре, Саудовской Аравии и других странах.¹³

Лотфи Заде входит в когорту весьма немногочисленных ученых-первооткрывателей, которые генерируют оригинальные научные идеи и формируют новые научные направления. Почти каждая его публикация становится событием в научном мире. Среди самых знаменитых работ Л.Заде, написанных в семидесятые годы,

¹² 22. Лотфи Заде – 80 лет. - *Новости Искусственного Интеллекта*, №3, 2001, с. 3-6.

¹³ 28. Турксен И.Б. О вкладе Лотфи Заде в современную науку, №2-3, 2001, с. 12-15.

следует отметить «Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений» (1973 г.), «Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений» (1975-1976 г.), «Нечеткие множества как основа теории возможности» (1978 г.). В первых двух работах им было введено и описано понятие лингвистической переменной, рассмотрены пути его применения в интеллектуальных системах и управлении. Именно здесь были сформулированы идеи управления на основе нечеткой логики, которые затем были воплощены в технологии нечетких регуляторов. В статье «Нечеткие множества как основа теории возможности» (1978 г.), открывшей первый номер международного журнала «Нечеткие множества и системы», Л.Заде предложил вариант исчисления неопределенностей, опирающийся на неаддитивную меру возможности, и в частности, интерпретацию нечеткого множества как функции распределения возможностей. В отличие от нечеткого множества, выражающего неточность оценки некоторого атрибута, мера возможности описывает неопределенность, неполноту информации, связанную с появлением того или иного четкого события. По сути, это способ количественного описания (представления смысла) экспертных суждений, который является обобщением интервального анализа и теории ошибок. В настоящее время мера возможности и двойственная ей мера необходимости выступают как основные средства моделирования неопределенности в интеллектуальных системах.

В восьмидесятые годы профессор Л.Заде продолжает активно работать над проблемами развития нечеткой логики и теории возможностей, а также их применения в интеллектуальных системах. Так в статье «Роль нечеткой логики в управлении неопределенностью в экспертных системах» (1983 г.) им описан способ применения нечеткой логики в интересах представления неточной информации и построен ряд правил вывода на основе комбинирования свидетельств. Затем он пишет ряд работ, посвященных вопросам моделирования рассуждений здравого смысла: «Теория знаний здравого смысла» (1984 г.), «Силлогизмы в нечеткой логике и их применение к обыденным рассуждениям и рассуждениям с диспозициями» (1985 г.), «Вычислительная теория диспозиций» (1986 г.) и др.¹⁴

Наряду с И.Пригожиным, Г.Хакеном, Р.Томом, Б.Мандельбротом, Лотфи Заде можно смело отнести к родоначальникам синергетической научной парадигмы. С одной стороны, в рамках синергетической методологии, неопределенность более не рассматривается как внешняя аномалия в поведении системы, с которой надо бороться, а трактуется как ее неотъемлемая характеристика. Очевидно, что принцип несовместимости Л.Заде «при возрастании сложности системы уменьшается возможность ее точного описания» тесно связан с идеями синергетики. И конечно, весь широкий спектр понятий и подходов, предложенных Л.Заде с целью адекватного

¹⁴ Турксен И.Б. О вкладе Лотфи Заде в современную науку, №2-3, 2001, с. 12-15.

моделирования нечеткости и неопределенности в гуманистических системах, можно считать важным вкладом в общую методологию синергетики как междисциплинарного научного движения. С другой стороны, введенная им в 1991-1993 г. схема мягких вычислений (soft computing) представляет собой вариант непосредственного использования принципов синергетики в ИИ.

Классические интеллектуальные системы, основанные на символьной обработке информации и булевой логике, не используют численных методов для учета неопределенности и нечеткости и опираются на технологию жестких вычислений (hard computing). Поэтому соответствующие компьютерные программы служат примерами закрытых, трудно модифицируемых систем; в них возможности самоорганизации, кооперации, эволюции компонентов полностью отсутствуют. В работе «Мягкие вычисления, нечеткие множества и нейронные сети» (1992 г.) профессор Л.Заде одним из первых предложил вариант построения гибридной интеллектуальной системы путем совместного использования разнородных моделей в интересах взаимной компенсации их недостатков и объединения преимуществ; при этом, как следствие, можно получить синергетические (нелинейные) эффекты. В рамках мягких вычислений три аспекта интеллекта – управление неопределенностью, обучение и адаптация в процессе эволюции – объединяются путем представления нечетких продукционных моделей в обучаемой нейронной сети, оптимизация которой происходит с помощью генетических алгоритмов. Возможны и более сложные гибриды, включающие помимо указанных компонентов, хаотические модели, эволюционные вычисления, вероятностные рассуждения, байесовские сети и их расширения, модели обучения и пр.¹⁵

Помимо мягких вычислений, в 90-е годы интересы Л.Заде связаны с разработкой методологии вычислений со словами, а также вычислительной теории перцептивных оценок.

Среди опубликованных им работ можно отметить «Нечеткая логика = Вычисления со словами» (1996 г.), «Нечеткая логика и исчисления нечетких правил и нечетких графов» (1997 г.), «От вычислений с числами к вычислениям со словами, от манипуляции с измерениями к манипуляции с перцептивными оценками» (1999-2001 г.), «Заметки о вычислительной теории перцептивных оценок, основанной на вычислениях со словами» (2000 г.).

Жизнеспособность любой теории во многом определяется ее эволюционным потенциалом, возможностью расширения ее основных понятий и конструкций, а также появлением новых подходов, примыкающих к этой теории и порой и конкурирующих с ней.¹⁶ В этом плане движение, порожденное пионерскими работами Л.Заде по нечетким множествам, продолжает плодотворно развиваться: его последователями предложены

¹⁵ Турксен И.Б. О вкладе Лотфи Заде в современную науку, №2-3, 2001, с. 12-15.

¹⁶ 40. Ward T.L. Discounted Fuzzy Cashflow Analysis, 1985, pp.476 –481.

такие математические конструкции как L-нечеткие множества со значениями принадлежности в дистрибутивной решетке, R-нечеткие множества с интервальными значениями принадлежности в каждой точке, вероятностные множества, нечеткие множества уровня, интуиционистские нечеткие множества, и пр. В то же время, успешно применяются и (в той или иной степени) альтернативные подходы – случайные множества, непрерывные логики, теория свидетельств, приближенные множества, недоопределенные множества.

В настоящее время проф. Л.Заде является всемирно известным ученым, членом IEEE, Американской ассоциации искусственного интеллекта AAAI, ACM, Национальной инженерной академии США, иностранным членом Российской академии естественных наук, почетным членом Азербайджанской академии наук, Австрийского общества кибернетических исследований.¹⁷

Он почетный доктор Университета штата Нью-Йорк и Университета Центральной Флориды в Орландо (США), Университета Париж-6 и Университета Поля Сабатье в Тулузе (Франция), Дортмундского и Гамбургского университета (Германия), Университета г. Овьедо и Университета г.Гранады (Испания), Университета г. Торонто (Канада), Университета г. Остравы (Чехия), Силезского технического университета в Гливице (Польша), Бакинского государственного университета (Азербайджан), а также ряда других университетов. Лауреат японских премий корпорации Хонда (1989 г.) и Окава «За выдающийся вклад в информатику, развитие нечеткой логики и ее приложений» (1996 г.), французской премии им. Кампе де Ферье (1992 г.), премии румынской академии наук за фундаментальные исследования им. Григоре Мойзила (1993 г.), американской премии им. Р.Беллмана в области управления (1998 г.), премии IEEE по нечетким системам (2000 г.), премии ACM им. Алана Ньюэлла «За основополагающий вклад в ИИ путем развития нечеткой логики» (2001 г.) и др. Имеет также медали IEEE в области образования (1973 г.), в ознаменование ее столетнего юбилея (1984 г.), а также медаль им. Ричарда Хэмминга «За выдающийся вклад в информатику и информационные системы» (1992 г.) и медаль тысячелетия за создание теории нечетких систем, (2000 г.), медаль им. Руфуса Ольденбургера «За выдающийся вклад в теорию систем, анализ решений, теорию нечетких множеств и ее применения» от Американского машиностроительного общества (1993 г.), медаль им. Б.Больцано «За выдающиеся достижения в нечеткой математике» от Чешской академии наук (1997 г.), медаль им. Эдварда Фейгенбаума от Международного общества по интеллектуальным системам (1998 г.).

Профессор Л.Заде участвует в работе многих научных журналов в качестве почетного редактора, ассоциированного издателя или члена редколлегии. Среди них следует отметить такие известные журналы как *Fuzzy Sets and Systems*, *Fuzzy*

¹⁷ 22. Лотфи Заде – 80 лет. - *Новости Искусственного Интеллекта*, №3, 2001, с. 3-6.

Mathematics, Cybernetics and Systems, Journal of Fuzzy Systems and Artificial Intelligence, International Journal of Computational Intelligence, Soft Computing, Intelligent Automation and Soft Computing и др.

В настоящее время нечеткой логикой во всем мире занимаются тысячи ученых и инженеров, по этой тематике опубликованы сотни книг, десятки тысяч статей, издается более 40 научных журналов по нечеткой логике и мягким вычислениям, механизмы нечеткой логики реализованы в сотнях прикладных систем: в стиральных машинах, видеокамерах, двигателях, системах управления метро и летательными аппаратами.¹⁸

Число патентов, с применением нечеткой логики

Япония: 22,541

США: 33,022

Журналы со словом Fuzzy в названии:

1. Fuzzy Sets and Systems
2. IEEE Transactions on Fuzzy Systems
3. Fuzzy Optimization and Decision Making
4. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems
5. Fuzzy Economic Review
6. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems
7. Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems
8. International Journal of Fuzzy Systems
9. International Review of Fuzzy Mathematics
10. Fuzzy Systems and Soft Computing
11. Turkish Journal of Fuzzy Systems
12. Annals of Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Systems
13. Iranian Journal of Fuzzy Systems
14. Fuzzy Information and Engineering
15. Advances in Fuzzy Systems
16. International Journal of Fuzzy System Applications
17. Advances in Fuzzy Sets and Systems
18. International Journal of Fuzzy Systems and Rough Systems
19. International Journal of Fuzzy Logic Systems
20. Journal of Biomedical Fuzzy Systems Association
21. Advances in Fuzzy Mathematics
22. Journal of Fuzzy Mathematics
23. Journal of Advanced Research in Fuzzy and Uncertain Systems
24. Fuzzy Systems & AI — Reports & Letters

Журналы со словом Soft Computing в названии:

¹⁸ 45. http://www.victoria.lviv.ua/html/oio/html/theme11_rus.htm

1. Soft Computing
2. Applied Soft Computing
3. Mathware & Soft Computing
4. Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing
5. Applied Computational Intelligence and Soft Computing
6. Autosoft Journal. Intelligent Automation & Soft Computing
7. International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications
8. International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing
9. International Journal of Soft Computing Applications
10. International Journal on Soft Computing
11. International Journal of Soft Computing
12. International Journal of Mathematics and Soft Computing
13. International Journal of Soft Computing Simulation and Software Engineering
14. International Journal of Soft Computing and Bioinformatics
15. Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research
16. International Journal of Soft Computing and Engineering
17. Fuzzy Systems and Soft Computing
18. International Journal of Research and Reviews in Soft and Intelligent Computing
19. International Journal of Factory Automation, Robotics and Soft Computing
20. International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences ¹⁹

Число публикаций

Число публикаций со словом fuzzy в заголовке по базам данных INSPEC и MATH.SCI.NET

Данные на 21 Сентября 2011

INSPEC Database

| | |
|--------------------|--------|
| 1970 - 1979: | 563 |
| 1980 - 1989: | 2,375 |
| 1990 - 1999: | 21,554 |
| 2000 - 2009: | 44,462 |
| 2010 - 21.09.2011: | 9, 696 |

Всего: 78,650

MathSciNet Database

| | |
|--------------------|--------|
| 1970 - 1979: | 446 |
| 1980 - 1989: | 2,474 |
| 1990 - 1999: | 5,525 |
| 2000 - 2009: | 10,237 |
| 2010 - 21.09.2011: | 1584 |

¹⁹ 6.Василевский Э. Информационные технологии: масштабы. 2006. №5.

Всего: 20,266

Число публикаций со словом fuzzy в заголовке по Google Scholar
256,000

Число цитирований статей Л.Заде (по разным базам данных)

Web of Science: 30,256

Google Scholar: 95,600

Число цитирований статьи L.Zadeh. Fuzzy sets. Information and Control, 1965

Google Scholar: 28,711²⁰

Не обошли средства нечеткой логики и программные системы, обслуживающих большой бизнес. Первыми, разумеется, были финансисты, задачи которых требуют ежедневного принятия правильных решений в сложных условиях непредвиденного рынка. Первый год использования системы FujiBank по официальным данным принес прибыль банку в размере \$770000 за месяц.

Вслед за финансистами, обеспокоенные успехами японцев и потерей стратегической инициативы, когнитивными нечеткими схемами заинтересовались промышленные гиганты США. Motorola, General Electric, Otis Elevator, Pacific Gas & Electric, Ford и другие в начале 90-х начали инвестировать в разработку изделий, использующих нечеткую логику. Имея солидную финансовую «поддержку», фирмы, специализирующиеся на нечеткой логике, получили возможность адаптировать свои разработки для широкого круга применений. «Оружие элиты» вышло на массовый рынок.

Среди лидеров нового рынка выделяется американская компания HyperLogic, основанная в 1987 году Фредом Уоткинсом (Fred Watkins). Сначала компания специализировалась на нейронных сетях, однако в скором времени целиком сконцентрировалась на нечеткой логике. Недавно вышла на рынок вторая версия пакета CubiCalc фирмы HyperLogic, которая является одной из мощнейших экспертных систем на основе нечеткой логики. Пакет содержит интерактивную оболочку для разработки нечетких экспертных систем и систем управления, а также run-time модуль, позволяющий оформлять созданные пользователем системы в виде отдельных программ.²¹

Кроме HyperLogic среди «патриархов» нечеткой логики можно назвать фирмы IntelligenceWare, InfraLogic, Apronix. Всего же на мировом рынке представлено более 100 пакетов, которые так или иначе используют нечеткую логику. В трех десятках СУБД реализована функция нечеткого поиска. Собственные программы на основе нечеткой логики анонсировали такие гиганты как IBM, Oracle и другие.

²⁰ 51. <http://www.dynsoft.ru/index.php>

²¹ 48. <http://old.ulstu.ru/people/SOSNIN/umk/DecisionsSupport/metod/model.htm>

Что касается отечественного рынка коммерческих систем на основе нечеткой логики, то его формирование началось в середине 1995 года. Популярными являются следующие пакеты:

- CubiCalc 2.0 RTC - одна из мощных коммерческих экспертных систем на основе нечеткой логики, позволяющая создавать собственные прикладные экспертные системы;
- CubiQuick - дешевая «университетская» версия пакета CubiCalc;
- RuleMaker - программа автоматического извлечения нечетких правил из входных данных;
- FuziCalc - электронная таблица с нечеткими полями, позволяющая делать быстрые оценки при неточных данных без накопления погрешности;
- OWL - пакет, содержащий исходные тексты всех известных видов нейронных сетей, нечеткой ассоциативной памяти.

На принципах нечеткой логики создан и один из российских программных продуктов - известный пакет «Бизнес-прогноз». Назначение этого пакета - оценка рисков и потенциальной прибыльности разных бизнес-планов, инвестиционных проектов и просто идей относительно развития бизнеса. «Ведя» пользователя по сценарию его замысла, программа задает ряд вопросов, которые допускают как точные количественные ответы, так и приближенные качественные оценки - типа «маловероятно», «степень риска высокая» и т.д. Обобщив всю полученную информацию в виде одной схемы бизнес-проекта, программа не только выносит окончательный вердикт о рискованности проекта и ожидаемых прибылей, но и указывает критические точки и слабые места в авторском замысле. От аналогичных иностранных пакетов «Бизнес-прогноз» отличается простотой, низкой ценой и русскоязычным интерфейсом.²²

Если рассматривать финансово-экономический сектор, то по-мнению А.О. Недосекина, сотрудника компании Siemens Business Services Russia, доктора экономических наук: «Поток публикаций по применению нечетких множеств в экономическом и финансовом анализе растет лавинообразно. Международная ассоциация International Association for Fuzzy-Set Management & Economy (SIGEF) регулярно апробирует новые результаты в области нечетко-множественных экономических исследований. Исследователями написано несколько сотен монографий по этой проблематике. В России этот процесс только набирает обороты. На своем персональном сайте в сети Интернет я собираю работы по направлению «Нечеткие множества в экономике и финансах».²³

Исследования неопределенности в экономике выгодны и причин к этому несколько:

²² 9. Деревянко П.М. Нечетко-логический подход, 2004. - с. 119-120

²³ 30. Alexey Nedosekin. FUZZY FINANCIAL MANAGEMENT. Russia, Moscow, AFA Library, 2005

- Нечеткие множества идеально описывают субъектную активность
- Нечеткие числа (разновидность нечетких множеств) идеально подходят для планирования факторов во времени, когда их будущая оценка затруднена (размыта, не имеет достаточных вероятностных оснований).
- Можно в пределах одной модели формализовывать как особенности экономического объекта, так и познавательные особенности связанных с этим объектом субъектов менеджера и аналитика.
- Можно вернуть вероятностные описания в свой научный обиход, как вероятностные распределения с нечеткими параметрами

Вероятности как инструмент моделирования финансовых процессов присутствуют в экономическом анализе уже сравнительно давно (более полувека назад).²⁴ Однако нечеткие множества – инструмент для экономических исследований довольно непривычный и новый, причем это замечание справедливо не только для России (где рыночная экономика существует всего 23 года, если не брать в расчет дореволюционную историю), но и для всего остального мира.²⁵

Если инструмент нечеткие множества рассматривать на базе ERP (что дешевле и проще), то бюджетный вариант для SB:

Метод внедрения «Развертывание» - система сначала внедряется на одном участке производства (в отделе, филиале и т. п.), а затем уже распространяется на другие участки. Само развертывание на каждом участке можно провести как поэтапную реализацию или как «большой взрыв». Риск в этом случае, как правило, незначительный.²⁶ («Большой взрыв» - система внедряется целиком и сразу. Это очень рискованный вариант, который предпочтителен для компаний с простой организационной структурой и относительно несложным производством.)

Следует сказать, что, по данным зарубежных аналитиков, до 40% проектов внедрения ERP-систем завершаются неудачно. После долгого, болезненного и дорогого внедрения многие предприятия в конце концов приходили к выводу, что практически аналогичных результатов можно было достигнуть и без установки ERP-систем (например, за счет обычной оптимизации бизнес-процессов на базе уже существующих аппаратно-программных средств). Однако если головная компания обладает ERP-системой, филиалам и подотчетным подразделениям следует воспользоваться подключаемыми модулями BI. Далее рассмотрены решения BI с применением Fuzzy sets для малого бизнеса (SB) в России.

Проблемы применения нечеткой логики в финансовом секторе

²⁴ 42. Zemankova-Leech, Maria, and Abraham Kandel. Fuzzy Relational Data Bases, Rheinland, 1984.

²⁵ 9. Деревянко П.М. Нечетко-логический подход, 2004. - с. 119-120.

²⁶ 25. Мосейко В. Управление в структурах малого бизнеса: 2004. - № 5.

Рост потребности в получении качественной и достоверной аналитической информации, необходимой для принятия управленческих решений вынуждает даже совсем небольшие предприятия обращаться к современным компьютерным технологиям. Несколько лет назад решения класса Business Intelligence (BI) в России покупали преимущественно банки и брокерские конторы. Сегодня же аналитическим ПО активно интересуются оптовые и розничные торговцы, операторы связи, страховщики, пивоварни, транспортные компании и даже государственные структуры. Чем более зрелый рынок, чем выше на нем конкуренция, тем больший интерес проявляют предприятия отрасли к аналитическим приложениям. Иначе можно попасть в аутсайдеры. Для ряда компаний BI-системы стали приоритетными и определяющими внедрениями. Несомненно, важную роль здесь играют отложенный спрос и желание дальнейшего развития уже внедренных ERP-систем с помощью BI-решений. В настоящее время организации испытывают потребность в создании более совершенных систем управления и контроля, позволяющих не использовать локально разрозненные информационные сети и обеспечивающих высокую эффективность бизнес-процессов. Востребованность BI-решений в последние годы подтверждается ростом числа масштабных BI-проектов. Количество завершённых проектов в 2012 году на 46% больше по сравнению с 2011 годом, что доказывает устойчивый рост потребности в BI-системах на российском рынке.²⁷

При формировании календарного плана большинство компаний используют отечественные программы, такие как 1С. Сам процесс производства в таком случае рассматривается как «черный ящик»: определенное количество ресурсов используется на входе и из него получается продукт. Что и как происходит с ресурсами, система 1С не расскажет. Для таких задач нужны более аналитические инструменты, входящие в BI-решения.

Для этого подходят подключаемые модули BI. В первую очередь, организация получает возможность осуществлять грамотное и прозрачное планирование с возможностью моделировать различные ситуации. Во-вторых, BI-решения помогают упорядочить данные, что повышает управляемость. В-третьих, использование возможностей аналитических систем способствует оптимальному планированию запасов, поставок и отгрузок, что сокращает затраты и повышает прибыль организации.

Лидером рынка ИСУП в 2012 г., по данным IDC, стала SAP (рост рыночной доли с 40,7% до 45%). Oracle, занимающая вторую позицию, сократила свою долю на 4,5%, увеличив отставание от лидера, и заняла 19%. Российская «1С», которая контролировала в 2011 г. 15% рынка - на третьем месте.²⁸

²⁷ 49. <http://www.finansy.ru/eco/nao/#publ>

²⁸ 49. <http://www.finansy.ru/eco/nao>

Прошедший год не был одинаково успешным для российских поставщиков: «1С» удалось нарастить свою долю на 2,3%. «Галактика» увеличила свою долю с 6,1 до 6,3%, «Парус» уменьшил свое присутствие на российском рынке ERP-систем с 2,8 до 2%.

Рост показателей «1С» был обеспечен активным продвижением версии 8.0. «Большая доля продаж приходится на малые предприятия, которые пока осваивают только финансовую часть бизнес-решения на платформе «1С». Если они будут расширять корпоративные системы и внедрять и другие функциональные блоки, то «1С» может рассчитывать на положительные перспективы», - считает эксперт компании «1С» Елена Семеновская.²⁹

IDC считает, что российский рынок ИСУП в ближайшие пять лет будет ежегодно расти в среднем на 30%. Наиболее динамичным будет объединенный правительственный сектор, затраты на ИСУП в секторах бизнес-услуг и розничной торговли будут опережать темпы роста рынка в целом. Темпами, опережающими средние показатели рынка, будут увеличиваться и затраты в секторах финансов, страхования и энергетики.

Человеческий мозг мыслит геометрическими примитивами - двумерными, в лучшем случае трехмерными представлениями. Вообразить четырехмерную структуру уже невозможно, но такие задачи встречаются в бизнесе повсеместно. Примером может служить филиал розничной сети, который описывается десятком параметров: объем продаж, близость к метро, ассортимент товаров, площадь помещения, количество продавцов и т. д. Одна из самых популярных задач, решаемых средствами BI, состоит в том, чтобы выяснить, как на одну из этих характеристик влияют изменения других. Человек с такой задачей справиться не в состоянии либо, как правило, решает ее неверно, пленившись кажущейся очевидностью ошибочного вывода. Поэтому, увидев результат работы аналитической системы, менеджеры нередко испытывают настоящий шок. Бывает, в компании думают, что снизить затраты им удалось благодаря тому или иному мудрому управленческому действию, а BI-система беспристрастно показывает: заслуги менеджеров тут нет, это всего лишь влияние сезонного тренда.

В качестве примера можно привести ситуацию в российском подразделении французской фармацевтической компании Ipsen International. Около сотни ее представителей в России работают над маркетинговым продвижением лекарственных препаратов, сбытом Ipsen сама не занимается. Сотрудники компании использовали такие маркетинговые инструменты, как участие в престижных выставках, организацию семинаров, визиты к врачам и заведующим клиник. Самым дорогостоящим и, как считалось, эффективным инструментом, которым активно пользовалась Ipsen, была телевизионная реклама. Так ли это, взялась выяснить компания «М-Лоджикс». Загрузив в свою BI-систему «С.М.А.Р.Т.» данные о продажах Ipsen в России за месяц по городам, а также информацию о проведенных маркетинговых мероприятиях, аналитики запустили

²⁹ 46. <http://www.1c.ru/rus/partners/ckp-rate-info.jsp?id=9541>

процедуру кластерного анализа. С каждым кликом компьютерной мышки лицо регионального директора Ipsen все больше вытягивалось. Сразу выяснилось, что участие в выставках никак не коррелирует с продажами по городам. Деньги на телерекламу тоже оказались потраченными зря: на уровень продаж они практически не влияли. Объем продаж зависел только от одного фактора - количества личных встреч представителей компании с врачами. Рекламу с ТВ сняли, в выставках участвовать практически перестали, зато число агентов увеличили - и продажи пошли вверх.³⁰

Большой спектр аналитических задач присутствует в розничной торговле. Так, с помощью комбинаторного анализа можно выявить важные закономерности в поведении покупателей. Можно установить, что при покупке товара А с какой-то вероятностью берут и товар Б. Эти сочетания зачастую бывают неочевидными (например, Соса-Сола в больших бутылках с чипсами). Выявив их, можно продавать товары А и Б в связке. Другое применение ВІ в розничной торговле - решение задачи оптимального размещения товаров на полках. Если разместить слишком мало товара, он будет незаметен, слишком много - затормозятся оборотные средства. ИТ-директор питерской сети гипермаркетов «Лента» предложил считать оптимальный складской запас, используя «идеальные» продукты - макароны, рис и сахар. К этому балансу «на полке/на складе» идеального среднего продукта были максимально приближены другие подгруппы продуктов. Для этого использовался генетический алгоритм перебора состояний объектов с целью приближения к некоей идеальной функции. Абстрактная математика привела к вполне конкретному бизнес-результату: складские запасы сократились на несколько процентов, а продажи при этом не уменьшились. На огромном обороте «Ленты» эти несколько процентов вылились в весьма существенную экономию.

В 2012 году компания ООО ПЕТРОБАРС, снабжающая пищевые и кондитерские предприятия своей продукцией (орехи, сухофрукты), занялась модернизацией своей деятельности – расширение складских помещений, внедрение новых ERP модулей для быстрой работы с клиентами и мониторингом упаковки своей продукции, регулирование складских запасов, учитывая убытки из-за сезонных колебаний и специфики работы с постоянными клиентами.

В информационной сети офиса «ПЕТРОБАРС» использовались аналитические возможности математического аппарата нечеткой логики ВІ (нового модуля). Мною было сделано предложение использовать новые возможности для регулярного мониторинга, чтобы снизить издержки. Задача была такая. Ящики сухофруктов с нового склада покупают не больше двух-трех партий в день, но ассортимент нужно поддерживать. Менеджеры, отвечающие за поставки, рассуждали примерно так: сегодня продажи шли хорошо, значит, подвезем больше; продали мало - подвезем мало; не продали ни одного - вообще везти не нужно. И зачастую действовали наугад. Зато

³⁰ 13.Ендови Д.А. Комплексный анализ и контроль финансовой деятельности, 2008. - 200 с.

каждый месяц было видно, что есть издержки в связи с изменением потребностей клиентов. Загрузив всю необходимую информацию в новом офисе в модуль ВІ на базе ERP 1С, в компании начали ежедневно следить за остатком на складе и объемом продаж. Но дело в том, что термины «много» или «мало» размыты и для разных людей означают разное. На помощь пришла нечеткая логика, напоминающая человеческое мышление. Если между «да» и «нет» есть очевидная разница, то между «много» и «мало» существует зона перекрытия. Аналитики разработали правила нечеткой логики: сколько понимать под «мало», сколько под «много», сколько под «средне». Допустим, остаток может быть от 1 до 100. «Мало» - это точно меньше 40, «много» - точно больше 70. Посмотрев на результаты работы ВІ-системы, менеджер изменил тактику. Чтобы остаток неуклонно не накапливался, менеджер еще раз сформулировал правила и начал ими руководствоваться - сначала для оценки своих предыдущих решений. Затем в зависимости от остатков система стала подсказывать, какому клиенту нужно завозить много, мало или вообще не завозить продукцию, а завозить только на торговую точку. Любая ERP-система содержит механизм планирования потребностей и вычисляет скользящий складской остаток с учетом партии поставок. Но если срок доставки и объем продаж спрогнозировать невозможно, то ERP-система будет рекомендовать либо закупать 0, либо все 100. Поэтому во многих случаях традиционные логистические системы, скорее всего, должны уступить место решениям на базе нечеткой логики.

Сущность системы, программы Dyn-soft и Mathcad

Как сказал сам Л.Заде: «Я считаю, что излишнее стремление к точности стало оказывать действие, сводящее на нет теорию управления и теорию систем, так как оно приводит к тому, что исследования в этой области сосредоточиваются на тех и только тех проблемах, которые поддаются точному решению. Для того чтобы сказать что-либо существенное для проблем подобного рода, мы должны отказаться от наших требований точности и допустить результаты, которые являются несколько размытыми или неопределенными».³¹

Несмотря на внешнюю простоту и естественность базовых понятий нечеткой логики, понадобилось более пяти лет, чтобы построить и доказать комплекс постулатов и теорем, делающих логику логикой.³²

С разработкой теоретических основ новой науки, Заде прорабатывал различные возможности ее практического применения. И в 1973 году эти усилия увенчались успехом - ему удалось показать, что нечеткая логика может быть положена в основу нового поколения интеллектуальных систем управления. Практически сразу после

³¹ 41. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control, 1965, Vol.8, №3, pp. 338-353.

³² 16. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной - М.: Мир, 1980. С.152

выхода в свет фундаментального доклада Заде³³ одна небольшая предприимчивая фирма из Дании применила изложенные в нем принципы для усовершенствования системы управления сложным производственным процессом. Результат превзошел все ожидания - через четыре года прибыли от внедрения новой системы исчислялись десятками тысяч долларов.

Чтобы понять, что дает применение нечеткой логики в системах управления, рассмотрим простой пример. Необходимо разработать систему управления тяжелым длинномерным грузовиком, способную автоматически загонять его в узкий гараж из произвольной начальной точки. Если попытаться решить эту задачу классическим способом, то это будет очень непросто.³⁴ Придется в буквальном смысле слова увешать автомобиль всевозможными датчиками и акселерометрами, после чего привлечь пару докторов наук для составления отнюдь не простой системы уравнений в частных производных.

Использование нечеткой логики принципиально упрощает задачу. Прежде всего, используя лишь три нечетких параметра - скорость и ориентацию автомобиля и расстояние до гаража, получается исчерпывающее описание текущей ситуации. Далее строится простая и естественная система нечетких правил типа :

«Если до гаража достаточно далеко, скорость невелика, а нос смотрит влево возьми правее». В пакете CubiCalc, одном из наиболее популярных пакетов на основе нечеткой логики, для полной реализации указанной задачи понадобилось описать лишь двенадцать ситуаций и тридцать пять нечетких правил - каждое не сложнее приведенного выше. Можно часами наблюдать за кружением трасс на экране - действия системы экономичны и безошибочны.³⁵

Этот несложный пример позволяет проиллюстрировать два ключевых преимущества нечеткой логики по сравнению с другими методами построения систем управления. Во-первых, при тех же объемах входной и выходной информации, центральный блок принятия решений становится компактнее и проще для восприятия человеком. Во-вторых, решение сложной и громоздкой задачи вычисления точных воздействий подменяется значительно более простой и гибкой стратегией адаптивного «подруливания»- при сохранении требуемой точности результата

Известно, что многие предпочитают работать на основе опыта и интуиции и без каких-либо методов и программ. Сложные математические расчеты также не привлекают управленцев. Возможно, это обусловлено, в том числе следующими основными причинами^{36,37}:

³³ 15. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем, - М.: Знание, 1974, с.30-36.

³⁴ 17. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование, Издательская группа BHV, 2004. - 847 с. С.465

³⁵ 32. Hua Wang Fuzzy Control Systems Design A Linear Matrix Inequality Approach., 2011

³⁶ 39. Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky Neural Cell Behavior Springer, 2008. — 478 с.

³⁷ 38. McNeill, Daniel and Freiburger, Paul. Fuzzy Logic Touchstone Rockefeller Center, 1993.

спецификой предметной области исследования, так как она находится на стыке современной прикладной математики, экономики и психологии;

относительной новизной и недостаточной проработанностью математических методов анализа в условиях неопределенности;

низкой осведомленностью топ-менеджеров предприятий и специалистов в области финансов о новых математических подходах формализации и одновременной обработки разнородной информации (детерминированной, интервальной, лингвистической, статистической) и о возможностях построения на базе этих подходов специализированных методик.

Однако для простоты расчетов (в программе или без), по-моему мнению, можно использовать следующий алгоритм:

1. Сформулировать решение в виде системы утверждений, не обращая внимания на нечеткость.

2. Для каждого предиката каждого утверждения найти такую функцию, которая в крайних случаях давала бы 1 и 0; в остальных, равномерно распределенные значения в пределах (0, 1).

3. Применить нечеткую логику.

Этот метод можно применять в практике обычного программирования — для реализации, к примеру, бизнес-логики. С этой точки зрения, нечеткая логика — это просто.

Если развивать идею дальше, то видно, что при помощи нечетких множеств можно формально определить неточные и такие многозначные понятия, как «высокая температура», «молодой человек», «средний рост» либо «большой город». Перед формулированием определения нечеткого множества необходимо задать так называемую область рассуждений (universe of discourse). В случае неоднозначного понятия «много денег» большой будет признаваться одна сумма, если мы ограничимся диапазоном [0, 1000 руб.] и совсем другая — в диапазоне [0, 1000000 руб.].

Из разработок искусственного интеллекта завоевали устойчивое признание экспертные системы, как системы поддержки принятия решений. Они способны аккумулировать знания, полученные человеком в различных областях деятельности. Посредством экспертных систем удастся решить многие современные задачи, в том числе и задачи управления. Одним из основных методов представления знаний в экспертных системах являются продукционные правила, позволяющие приблизиться к стилю мышления человека. Обычно продукционное правило записывается в виде: «ЕСЛИ (посылка) (связка) (посылка)... (посылка) ТО (заключение)». Возможно наличие нескольких посылок в правиле, в этом случае они объединяются посредством логических связок «И», «ИЛИ».³⁸

³⁸ 36. Kosko, Bart. Neural Networks and Fuzzy Systems

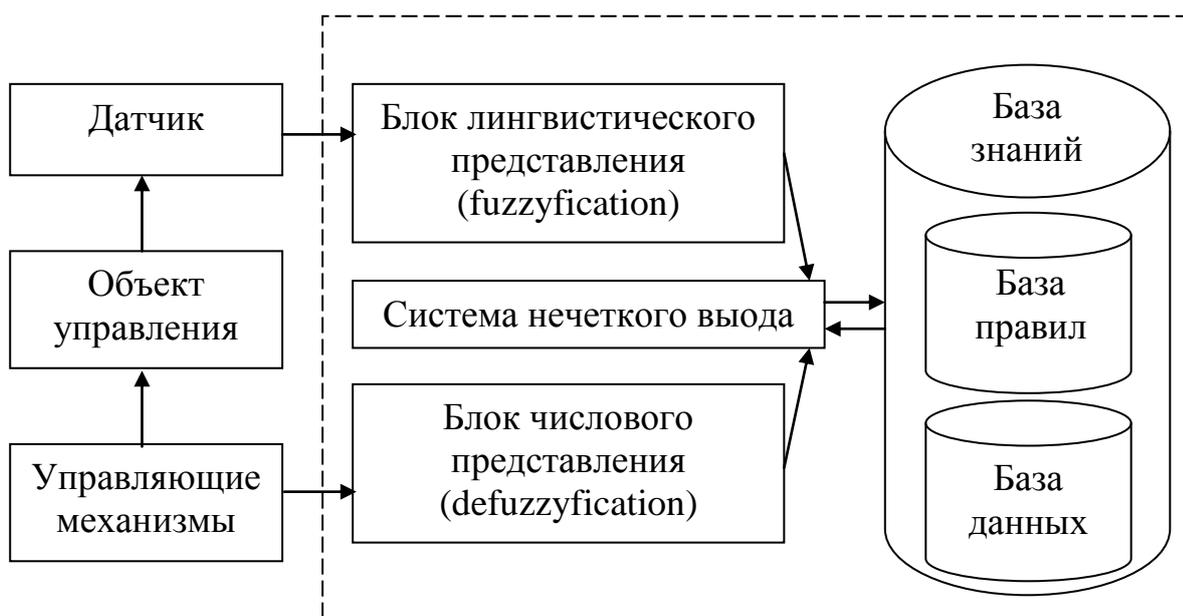
Нечеткие системы тоже основаны на правилах продукционного типа, однако в качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам.³⁹

Нечеткие системы управления

Нечеткая система (НС) — это система, особенностью описания которой является: нечеткая спецификация параметров; нечеткое описание входных и выходных переменных системы; нечеткое описание функционирования системы на основе продукционных «ЕСЛИ...ТО...»правил.

Важнейшим классом нечетких систем являются нечеткие системы управления (НСУ). Одним из важнейших компонентов НСУ является база знаний, которая представляет собой совокупность нечетких правил «ЕСЛИ—ТО», определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемой системы. Существуют различные типы нечетких правил: лингвистическая, реляционная, модель Takagi-Sugeno.⁴⁰

Для многих приложений, связанных с управлением технологическими процессами, необходимо построение модели рассматриваемого процесса. Знание модели позволяет подобрать соответствующий регулятор (модуль управления). Однако часто построение корректной модели представляет собой трудную проблему, требующую иногда введения различных упрощений. Применение теории нечетких множеств для управления технологическими процессами не предполагает знания моделей этих процессов. Следует только сформулировать правила поведения в форме нечетких условных суждений типа «ЕСЛИ-ТО».



³⁹ 37. Li Calzi M. Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance, 1990, №35, pp. 265-280.

⁴⁰ 1. А. В. Алтухов Формирование нечетких правил типа Takagi-Sugeno, 2008. С. 44-50

Рисунок 10 «Структура нечеткой системы управления»⁴¹

Процесс управления системой напрямую связан с выходной переменной нечеткой системы управления, но результат нечеткого логического вывода является нечетким, а физическое исполнительное устройство не способно воспринять такую команду. Необходимы специальные математические методы, позволяющие переходить от нечетких значений величин к вполне определенным.

В целом весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько стадий: фаззификация, разработка нечетких правил и дефаззификация.⁴²

Фаззификация (переход к нечеткости)

На данной стадии точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно - при помощи определенных функций принадлежности.

Лингвистические переменные

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются «термами». Так, значением лингвистической переменной «Дистанция» являются термы «Далеко», «Близко» и т. д. Для реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения ее термов. Допустим переменная «Дистанция» может принимать любое значение из диапазона от 0 до 60 метров. Согласно положениям теории нечетких множеств, каждому значению расстояния из диапазона в 60 метров может быть поставлено в соответствие некоторое число, от нуля до единицы, которое определяет степень принадлежности данного физического значения расстояния (допустим, 10 метров) к тому или иному терму лингвистической переменной «Дистанция».⁴³ Тогда расстоянию в 50 метров можно задать степень принадлежности к терму «Далеко», равную 0,85, а к терму «Близко» - 0,15. Задаваясь вопросом, сколько всего термов в переменной необходимо для достаточно точного представления физической величины принято считать, что достаточно 3-7 термов на каждую переменную для большинства приложений. Большинство применений вполне исчерпывается использованием минимального количества термов. Такое определение содержит два экстремальных значения (минимальное и максимальное) и среднее. Что касается максимального количества

⁴¹ 27. Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Изд-во ТГУ, 2008. - 349 с.

⁴² 34. Kaufmann, Arnold, and Gupta, Madan M. Introduction to Fuzzy Arithmetic/ Thomson Computer Press, 1991.

⁴³ 35. Kosko, Bart. Fuzzy thinking / Hyperion, 1993.

термов, то оно не ограничено и зависит целиком от приложения и требуемой точности описания системы. Число 7 же обусловлено емкостью кратковременной памяти человека, в которой, по современным представлениям, может храниться до семи единиц информации.

Как пример программы, совместимой с ERP (1С8) на базе решений нечеткой логики, в настоящее время, этот вариант оформлен в виде программного модуля, который компания «Dun-soft» использует в своих программных решениях. Внешний вид программного интерфейса этого модуля представлен на рис.11-12⁴⁴

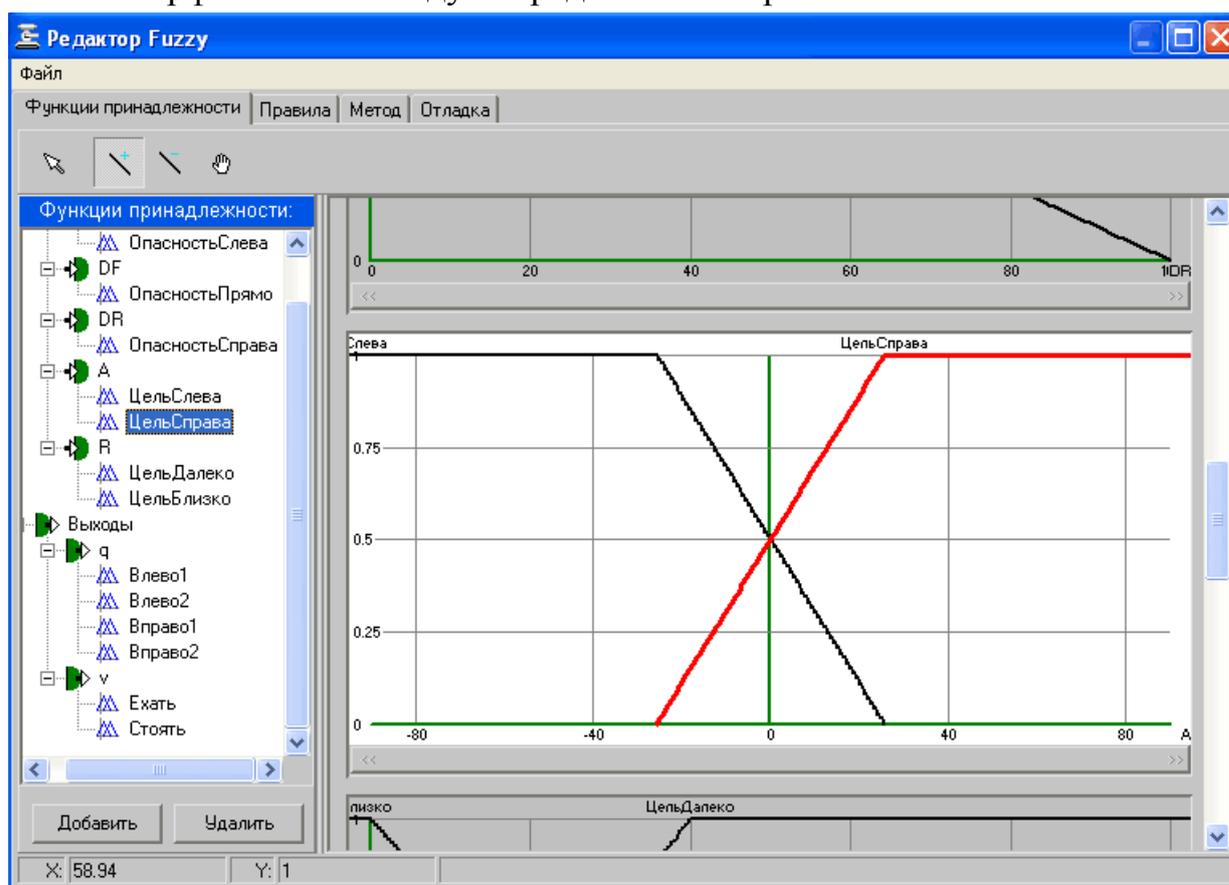


Рисунок 11 «Внешний вид графического редактора нечеткой логической системы»

⁴⁴ 51. <http://www.dynsoft.ru/index.php>

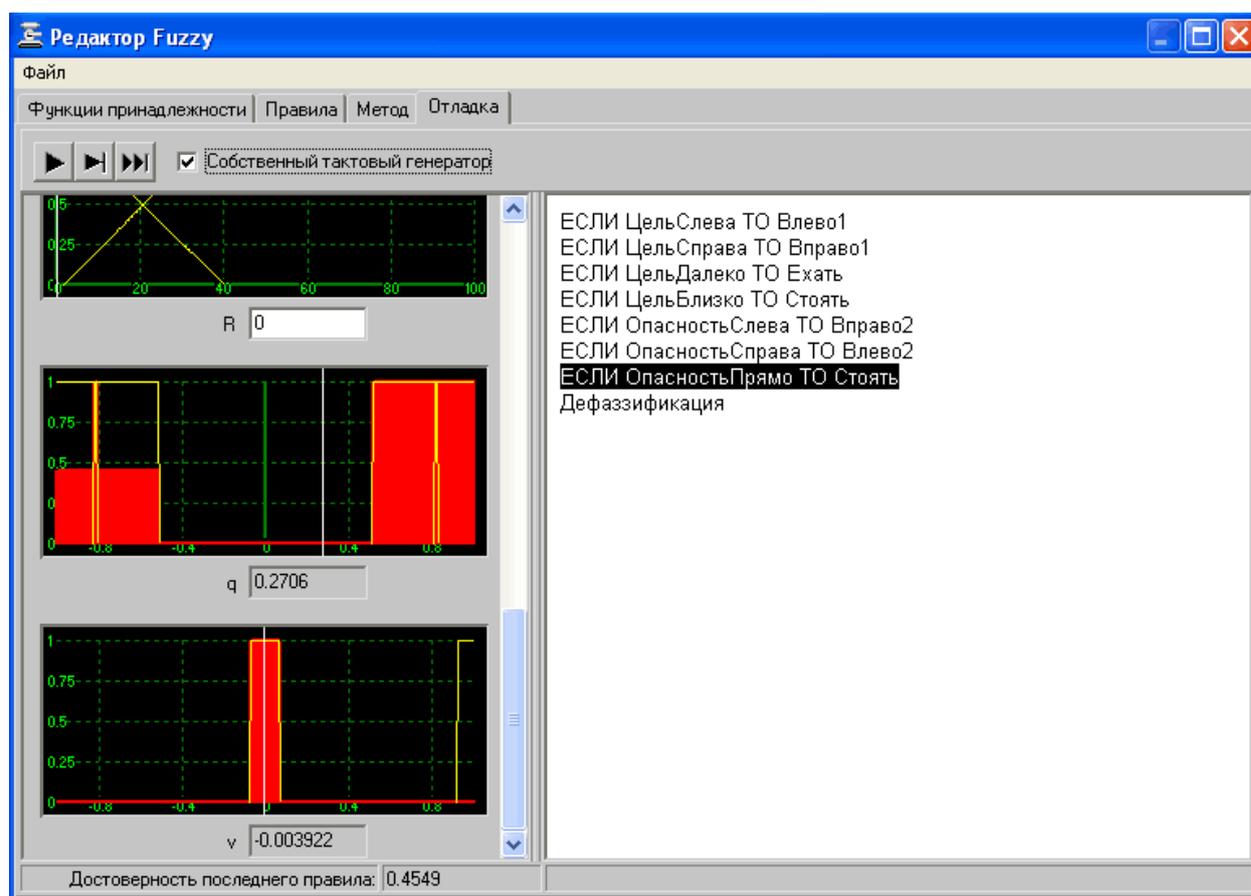


Рисунок 12 «Внешний вид графического редактора нечеткой логической системы»

Но, если нет возможности сразу подключить нужный модуль, можно сразу использовать программу Mathcad.⁴⁵

Mathcad является интегрированной системой решения математических, инженерно-технических и научных задач. Он содержит текстовый и формульный редактор, вычислитель, средства научной и деловой графики, а также огромную базу справочной информации, как математической, так и инженерной, оформленной в виде встроенного в Mathcad справочника, комплекта электронных книг и обычных «бумажных» книг, в том числе и на русском.

Текстовый редактор служит для ввода и редактирования текстов. Тексты являются комментариями, и входящие в них математические выражения не выполняются. Текст может состоять из слов, математических символов, выражений и формул.

Формульный процессор обеспечивает естественный «многоэтажный» набор формул в привычной математической нотации (деление, умножение, квадратный корень, интеграл, сумма и т.д.). Последняя версия Mathcad полностью поддерживает буквы кириллицы в комментариях, формулах и на графиках.⁴⁶

⁴⁵ 52. http://www.mathcad.com.ua/mathcad_links.php

⁴⁶ 47. <http://matlab.exponenta.ru/seminar/default.php>

Вычислитель обеспечивает вычисление по сложным математическим формулам, имеет большой набор встроенных математических функций, позволяет вычислять ряды, суммы, произведения, интегралы, производные, работать с комплексными числами, решать линейные и нелинейные уравнения, а также дифференциальные уравнения и системы, проводить минимизацию и максимизацию функций, выполнять векторные и матричные операции, статистический анализ и т.д. Можно легко менять разрядность и базу чисел (двоичная, восьмеричная, десятичная и шестнадцатеричная), а также погрешность итерационных методов. Автоматически ведётся контроль размерностей и пересчёт в разных системах измерения (СИ, СГС, англо-американская, а также пользовательская).

В Mathcad встроены средства символьной математики, позволяющие решать задачи через компьютерные аналитические преобразования.

Графический процессор служит для создания графиков и диаграмм. Он сочетает простоту общения с пользователем с большими возможностями средств деловой и научной графики. Графика ориентирована на решение типичных математических задач. Возможно быстрое изменение вида и размера графиков, наложение на них текстовых надписей и перемещение их в любое место документа.

Mathcad является универсальной системой, т.е. может использоваться в любой области науки и техники – везде, где применяются математические методы. Запись команд в системе Mathcad на языке, очень близком к стандартному языку математических расчётов, упрощает постановку и решение задач.⁴⁷

Mathcad интегрирован со всеми другими компьютерными системами счёта.

Начиная с 14-й версии, Mathcad интегрирован с Pro/ENGINEER (а также и с SolidWorks). В основе интеграции Mathcad и Pro/ENGINEER лежит двухсторонняя связь между этими приложениями. Их пользователи могут легко связать любой файл Mathcad с деталью и сборкой Pro/ENGINEER при помощи такой функции системы Pro/ENGINEER, как фичер анализа.

Использование Fuzzy Sets для быстрого определения выгодной цены нектара

Можно сказать что, аппарат теории нечеткости громоздок. В качестве примера можно использовать определения теоретико-множественных операций над нечеткими множествами. Пусть C и D - два нечетких подмножества A с функциями принадлежности $\mu_c(x)$ и $\mu_d(x)$ соответственно. Пересечением $C \cap D$, произведением CD , объединением

⁴⁷ 29. Яньков В.Ю. Лабораторный практикум по Маткаду . Модуль 3. Моделирование в Маткаде. -М.: МГУТУ, 2009.- с. 68.

CUD, отрицанием CĪ, суммой C+D называются нечеткие подмножества A с функциями принадлежности соответственно.⁴⁸⁴⁹

$$\mu_{C \cap D}(x) = \min(\mu_C(x), \mu_D(x)), \mu_{CD}(x) = \mu_C(x)\mu_D(x), \mu_{\bar{C}}(x) = 1 - \mu_C(x),$$

$$\mu_{C \cup D}(x) = \max(\mu_C(x), \mu_D(x)), \mu_{C+D}(x) = \mu_C(x) + \mu_D(x) - \mu_C(x)\mu_D(x), x \in A,$$

Функции принадлежности.⁵⁰

Метод нечеткого отношения предпочтения.

Далее с помощью обычного софта произведен расчет наиболее подходящих параметров.

Для рабочих металлургического комбината (вредная работа с фенолами), важно сделать пищевой продукт привлекательным по вкусу, пользе и цене.

Показана возможность использования теории нечетких множеств для оптимизации рецептуры и цены профилактических плодово-ягодных нектаров «Витанект», предназначенных для людей, контактирующих с фенолом и анилином. Органолептические оценки по природе можно рассматривать как лингвистическими переменными теории нечетких множеств, что позволяет одновременно в одной серии экспертных исследований оптимизировать биотехнологические (содержание ингредиентов) и экономический параметр продукта (цена).⁵¹ Поскольку здесь решение проблемы ориентировано на использование теории нечетких множеств в экономической задаче ценообразования, то не будем уточнять физико-химической природы биотехнологических ингредиентов нектара. Обозначим ингредиенты через порядковые номера 1 и 2 (это может быть, например, содержание витаминов и сахаров)⁵² и сосредоточим внимание на цене.

В результате органолептической оценки дегустаторами профилактического нектара «Витанект» было получены три матрицы оценок следующего вида.

Таблица 4.⁵³

| Обозначение матриц | Показатели | Средние арифметические величины | | | | | |
|--------------------|------------|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| μ_1 | Содерж | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

⁴⁸ 14. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение, М.: Мир, 1976. - 165 с.

⁴⁹ 20. Кофман А., Хил Алуха Х. Введение теории нечетких множеств, Высшая школа, 1992. - 224 с.

⁵⁰ 31. Buckley J.J. The Fuzzy Mathematics of Finance // Fuzzy Sets and Systems, 1987, N21, pp. 257-273.

⁵¹ 4. Байченко А.А., Байченко Л.А. Изучение ценообразования плодово-ягодных нектаров, 2012. - Т. 1. - С. 36,37

⁵² 19. Колодяжная В.С., Байченко Л.А. Оптимизация рецептуры, №1. — март 2012.

⁵³ 3. Арет В.А., Байченко А.А., Байченко Л.А., Василенок В.Л. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ, 2012. - С. 4

| | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| матрица ингредиента 1 | ание мг/100 г, g | 0 | 1.4 | 3 | 5 | 7.2 | 8.6 | 0 |
| | Средни е оценки экспертов | .12 | .32 | .68 | .88 | .82 | .38 | .06 |
| μ2- матрица ингредиента 2 | Содерж ание мг/100 г, b | 0 | 1.7 | 3.4 | 5 | 6.7 | 8.4 | 0 |
| | Средни е оценки экспертов | | .33 | .65 | | .63 | .32 | |
| μ3- матрица цены | Цена нектара руб/100 г , h | .5 | | | | 0 | 0 | 0 |
| | Средни е оценки экспертов | | | | | .64 | .35 | |

Мнения экспертов представляли собой степень принадлежностей:

вкусно -1, почти вкусно -0.8, не очень вкусно – 0.3, невкусно – 0, а также дешево -1, довольно дешево - 0,8, дороговато – 0,3, слишком дорого -0. Поскольку экспертов пять человек, то их оценки отличаются и в таблице уже приведены математические ожидания оценок экспертов. Для матрицы оценок μ1 применим функцию принадлежности в виде нормального закона распределения и программу Matcad 14 . В обозначениях программы:

$$\mu_g(g, A1, B1) := \exp [- A1 \cdot (B1 - g)^2], \quad (1)$$

где g – содержание ингредиента 1 в таблице,

A1 – статистическая дисперсия строки g в таблице,

B1 – среднее арифметическое строки g в таблице.

Расчет дал величины B1=25.029, A1=0.083.

На рис. 14 видно, что ломанная сплошная линия, которая проходит через экспериментальные точки, хорошо аппроксимируется функцией принадлежности виде

нормального закона распределения (точечная линия). Делается сопоставление функции принадлежности $\mu_g(g, A1, B1,)$ и точек нечеткого множества μ_1 из таблицы, и сопоставление функции принадлежности $\mu_b(b, A2, B2)$ и точек нечеткого множества μ_2 из таблицы. $A2 = 0.09$; $B2 = 15,03$.

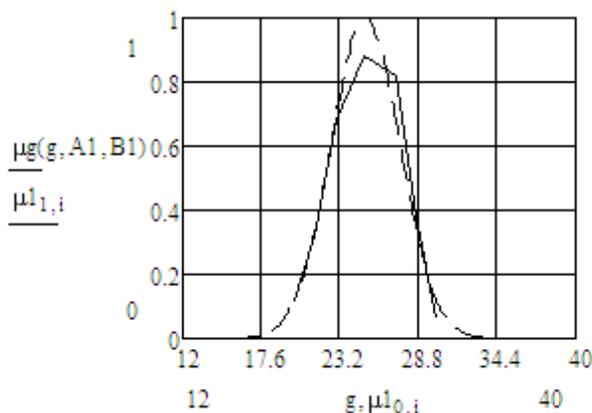


Рисунок 14. Сопоставление функции принадлежности и точек нечеткого множества μ_1 из таблицы 4

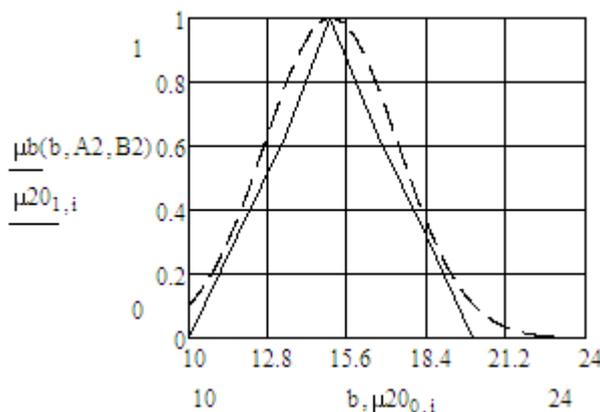


Рисунок 15. Сопоставление функции принадлежности и точек нечеткого множества μ_2 из таблицы 4

По данным таблицы, очевидно, что для нечеткого множества, нельзя построить такую простую функцию принадлежности, как для двух предыдущих. Не останавливаясь на промежуточных операциях, приведем вид функции (2) принадлежности для второго множества в обозначениях Mathcad 14:

$$\mu_h(h, A3, B5) = \text{if}[h \leq 12,6, \mu_{h0}(h, A3, B3)], \tag{2}$$

где h – цена в таблице,

$A3$ – статистическая дисперсия правой части строки h таблице,

$B3$ – среднее арифметическое правой части строки h в таблице.

Сопоставление функции принадлежности $\mu_h(h, A3, B3)$ и точек нечеткого множества μ_3 из таблицы. $A3 = 0,011$; $B3 = 11,21$.

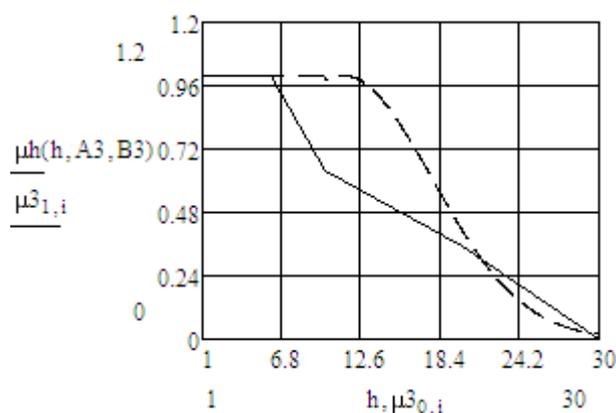


Рисунок 16. Сопоставление функции принадлежности $\mu_h(h, A3, B3)$ и точек нечеткого множества μ_3 из таблицы № 1. $A3 = 0,011$; $B3 = 11,21$

С целью оптимизации находим пересечение трех функций принадлежности виде функции трех переменных:

$$\mu_{gbh}(g, b, h) = \min \begin{bmatrix} \mu_g & (g, A1, B1) \\ \mu_b & (b, A2, B2) \\ \mu_h & (h, A3, B3) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Составим программу расчета в Mathcad14. В программе величина G_0 – это максимальное значение функции (3). В программе каждый участок изменения величин g , b и h делится на 500 отрезков и для каждого сочетания величин g_i , b_i и h_i на этих отрезках вычисляются значения $d1$, (начиная с $d = 0$) которое сравниваются с предыдущим значением d . Если новое значение $d1$ больше предыдущего, то величины G_0 , G_1 , G_2 и G_3 запоминаются в векторе G . В конечном счете получаем четырехмерную функцию принадлежности, где $G_1 = 25$, и $G_2 = 15$ – оптимальные с точки зрения экспертов величины ингредиентов, а $G_3 = 3,5$ наилучшая цена.

Этот результат на первый взгляд банален, поскольку естественно, что эксперты считают наилучшей ценой минимальную -3.5 руб. Но важно другое – третий график принадлежности (рис. 3) показывает, что потребитель еще при цене 6.5 склонен покупать нектар, а при 12 рублей и выше число желающих резко падает, что следует

учесть при построение планов продаж и поставке в столовую. Остальные элементы вектора важны с позиции биотехнологической оценки рецептуры. Пример показывает, что теория нечетких множеств позволяет проводить оптимизацию по факторам совершенно разной природы, используя один и тот же состав экспертов на одной одновременной сессии.

```

G :=
d ← 0
for m ∈ 0..100
  for n ∈ 0..100
    for r ∈ 0..100
      gm ← 20 +  $\frac{(30 - 20) \cdot m}{100}$ 
      bn ← 10 +  $\frac{(20 - 10) \cdot n}{100}$ 
      hr ← 3.5 +  $\frac{(30 - 3.5) \cdot r}{100}$ 
      d1 ← μgbh(gm, bn, hr)
      G1 ← gm if d < d1
      G2 ← bn if d < d1
      G3 ← hr if d < d1
      d ← d1 if d < d1
      G0 ← d
    m
  n
r
G

```

Рисунок 17 «Расчет в Mathcad14»⁵⁴

Анализ приведенных результатов позволяет сделать следующие выводы:

Методы принятия решений на нечетких моделях позволяют удобно и достаточно объективно производить оценку альтернатив по отдельным критериям. При оценке альтернатив по критериям возможна как лингвистическая оценка, так и оценка на основе точечных оценок с использованием функций принадлежности критериев.

Каждый подход имеет свои ограничения и особенности, и пользователь должен получить о них представление, прежде чем применять тот или иной метод принятия решений.

Заключение

⁵⁴ 5. Байченко А.А., Байченко Л.А. Использование нечетких множеств при определении цены, 2012. - № 1

Мало кто задумывается, насколько ощутимую помощь могут оказать методы нечеткой логики в управлении. Ввиду вышесказанного можно сделать следующие выводы:

Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно, неопределенно. Экспериментально показано, что нечеткое управление дает лучшие результаты, по сравнению с получаемыми при общепринятых алгоритмах управления.⁵⁵ Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Нечеткая логика, в основном, обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира. Наличие математических средств отражения нечеткости исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности.

Некоторые преимущества fuzzy по сравнению с другими:

- возможность оперировать нечеткими входными данными: например, непрерывно изменяющиеся во времени значения (динамические задачи), значения, которые невозможно задать однозначно (результаты статистических опросов, рекламные компании и т.д.);
- возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения: оперирование критериями «большинство», «возможно», «преимущественно»;
- возможность проведения качественных оценок как входных данных, так и выходных результатов: оперируемость не только значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением;
- возможность проведения быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности: оперируя принципами поведения системы, описанными fuzzy-методами, во-первых, не тратится много времени на выяснение точных значений переменных и составление описывающих уравнений, во-вторых, можно оценить разные варианты выходных значений.

Анализ нечетких методов принятия решений позволяет сформулировать требования к дальнейшим разработкам в этой области. Это развитие теоретических подходов к описанию сложных взаимоотношений между критериями, более широкое применение интеллектуальных методов на основе нечеткой логики, а также развитие комбинированных методов принятия решений с использованием нечетких представлений.

⁵⁵ 2. Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации, – М: Радио и связь. 1995. – 305с.

Таким образом, внедрение новых информационных систем позволяет автоматизировать не только бухгалтерский учет, но и навести порядок в складском учете, в снабжении и реализации продукции, товаров, отслеживать договоры, быстрее рассчитывать заработную плату, своевременно сдавать отчетность. Информационные системы и организации имеют взаимное влияние друг на друга. С одной стороны ИС должны присоединиться к организации, чтобы обеспечить необходимой информацией важные группы внутри организации, и повысить эффективность работы самого предприятия. В то же время организация должна сознавать и открывать себя влияниям информационных систем, чтобы извлечь выгоду из новых технологий.

Список литературы

1. А. В. Алтухов Формирование нечетких правил типа Takagi-Sugeno по результатам нечеткой кластеризации..2008. С. 44-50(ВЕСТНИК ВГУ)
2. Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М: Радио и связь. 1995. – 305с.
3. Арет В.А., Байченко А.А., Байченко Л.А., Василенок В.Л. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ // Международная научно-техническая конференция :Адаптация ведущих технологических процессов к пищевым машинным технологиям: сб.научн.тр -2012. - С. 4
4. Байченко А.А., Байченко Л.А. Изучение ценообразования плодово-ягодных нектаров на рынке России с помощью нечетких множеств // Международная Интернет-Конференция -2012. - Т. 1. - С. 36,37
5. Байченко А.А., Байченко Л.А. Использование нечетких множеств при определении цены профилактического нектара «Витанект» // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2012. № 1.
6. Василевский Э. Информационные технологии: масштабы и эффективность использования // Мировая экономика и международные отношения. 2006. №5.
7. Воцинин А.П. Задачи анализа с неопределенными данными – интервальность и/или случайность? // Интервальная математика и распространение ограничений: Рабочие совещания. – МКВМ-2004, с. 159-160.
8. Деревянко П.М. Нечеткое моделирование деятельности предприятия и оценка риска принятия стратегических финансовых решений в условиях неопределенности // Современные проблемы прикладной информатики СПб.,2006 –14
9. Деревянко П.М. Нечетко-логический подход к формированию инвестиционного портфеля // Инструментальные методы в экономике: Сборник научных

трудов. - СПб.: СПбГИЭУ, 2004. - с. 119-120.: Персональный сайт в Интернете. – Электрон. дан. – СПб.,

10. Деревянко П.М. Применение теории нечетких множеств в финансовом и инвестиционном анализе деятельности предприятия в условиях неопределенности // Менеджмент и экономика в творчестве молодых исследователей ИНЖЭКОН - 2005. VIII научно-практическая конференция студентов и аспирантов СПбГИЭУ 19-20 апреля 2005 г.

11. Деревянко П.М. Сравнение нечеткого и имитационного подхода к моделированию деятельности предприятия в условиях неопределенности // Современные проблемы экономики и управления народным хозяйством: Сб. научн. статей. Вып. 14. – СПб.: СПбГИЭУ, 2005. - с. 290-291

12. Е. В. Кочергин, Т. М. Леденева, А. В. Алтухов Об одном подходе к аппроксимации функции с помощью Систем Takagi-Sugeno. 2008. С. 74-77 (ВЕСТНИК ВГУ)

13. Ендови Д.А. Комплексный анализ и контроль финансовой деятельности: методология и практика /– М.: Финансы и статистика, 2008. - 200 с.

14. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. - 165 с.

15. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений.- В кн.: Математика сегодня. - М.: Знание, 1974, с.30-36.

16. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной - М.: Мир, 1980. С.152

17. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. - Классика CS. 3-е изд. - СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. - 847 с. С.465

18. Количественные методы в экономических исследованиях / Под ред. М.В. Грачевой и др. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 791 с. С.378

19. Колодязная В.С., Байченко Л.А. Оптимизация рецептуры профилактического нектара «Витанект» с использованием нечетких множеств: Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств»— Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ. — №1. — март 2012.

20. Кофман А., Хил Алуха Х. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями: Пер. с исп. – Мн.: Высшая школа, 1992. - 224 с.

21. Кравец А.С. Природа вероятности. - М.: Мысль, 1976. - 173 с.

22. Лотфи Заде – 80 лет. - Новости Искусственного Интеллекта, №3, 2001, с. 3-6.

23. Мельничук Д.Б. Механизм оценки состояния системы стратегического управления предприятием// Менеджмент в России и за рубежом. № 2. - 2009. -56 с.

24. Моданов В.В. Некоторые вопросы правового обеспечения государственного финансового контроля. - М.: Изд-во «Известия Международной академии наук», № 4, 2007.

25. Мосейко В. Управление в структурах малого бизнеса: системно-конструктивистский подход // Проблемы теории и практики управления. 2004. - № 5.
26. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечёткой логики *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. — Физматлит, 2006. — 352 с.
27. Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Изд-во ТГУ, 2008. - 349 с.
28. Турксен И.Б. О вкладе Лотфи Заде в современную науку и научное мировоззрение. - *Новости Искусственного Интеллекта*, №2-3, 2001, с. 12-15.
29. Яньков В.Ю. Лабораторный практикум по Маткаду . Модуль 3. Моделирование в Маткаде. -М.: МГУТУ, 2009.- с. 68.
30. Alexey Nedosekin. *FUZZY FINANCIAL MANAGEMENT*. Russia, Moscow, AFA Library, 2005
31. Buckley J.J. *The Fuzzy Mathematics of Finance* // *Fuzzy Sets and Systems*, 1987, N21, pp. 257-273.
32. Hua Wang *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach.*, 2011
33. Hurwicz L. *Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance* // *Cowles commission papers*, 1951, №370.
34. Kaufmann, Arnold, and Gupta, Madan M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic*/ Thomson Computer Press, 1991.
35. Kosko, Bart. *Fuzzy thinking* / Hyperion, 1993.
36. Kosko, Bart. *Neural Networks and Fuzzy Systems* / Englewood Cliffs, NJ
37. Li Calzi M. *Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance* // *Fuzzy Sets and Systems*, 1990, №35, pp. 265-280.
38. McNeill, Daniel and Freiberger, Paul. *Fuzzy Logic* / Touchstone Rockefeller Center, 1993.
39. Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky *Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic*. Springer, 2008. — 478 с.
40. Ward T.L. *Discounted Fuzzy Cashflow Analysis* // *Proceedings of Fall Industrial Engineering Conference*, 1985, pp.476 –481.
41. Zadeh L.A. *Fuzzy Sets* // *Information and Control*, 1965, Vol.8, №3, pp. 338-353.
42. Zemankova-Leech, Maria, and Abraham Kandel. *Fuzzy Relational Data Bases: A Key to Expert Systems* / Cologne: Verlag TUV Rheinland, 1984.
43. А.И.Масалович. Этот нечеткий, нечеткий, нечеткий мир / *PC Week/RE* N.16,1995,стр.7
44. http://www.bitfinance.ru/?_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs0NjUyNzc3OzY3MjYzNDkwO3lhbmRleC5ydTpwcmlVtaXVt
45. http://www.victoria.lviv.ua/html/oio/html/theme11_rus.htm

46. <http://www.1c.ru/rus/partners/ckp-rate-info.jsp?id=9541>
47. <http://matlab.exponenta.ru/seminar/default.php>
48. Методы принятия управленческих решений // Ульяновский Государственный Технический Университет <http://old.ulstu.ru/people/SOSNIN/umk/DecisionsSupport/metod/model.htm>.
49. <http://www.finansy.ru/eco/nao/#publ>
50. http://www.classs.ru/stati/uchet/teoria_nechetkih_mnojestv/
51. <http://www.dynsoft.ru/index.php>
52. http://www.mathcad.com.ua/mathcad_links.php
53. <http://www.managment.aaanet.ru/economics/fin-analiz-predpriyatii.php>