

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.1.1-197-212

УДК 338.2

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В ЭКОНОМИКЕ – ФОРМИРОВАНИЕ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Лебедева Маргарита Евгеньевна,

младший научный сотрудник

Института экономики и организации

промышленного производства СО РАН,

Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 17;

ассистент, экономический факультет,

Новосибирский национальный исследовательский

государственный университет,

Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

ORCID: 0000-0002-5289-1074

margarita.e.morozova@gmail.com

Аннотация

В статье дается краткий обзор истории возникновения нечеткой логики. Рассмотренный путь берет начало от трехзначной логики, разработанной польским математиком Я. Лукашевичем, который вводит модальные (сильные и слабые утверждения и отрицания) высказывания и затем развивает n -значные логические системы. В дальнейшем в работах профессора Л. Заде возникает нечеткая логика с бесконечным количеством результатов, вводятся нечеткие множества «Fuzzy Sets» – классы с неточно определенными границами. Характеризуются основные направления развития нечеткой логики в сфере интеллектуального анализа данных (Data Mining). Показано, что широкое применение нечеткая логика находит в области экономических исследований: при оценке развития отраслей экономики, в страховании, при поддержке принятия решений, моделировании экономики регионов и стран, прогнозировании и проч. Особое внимание уделено истории развития и возможностям применения такого направления нечеткой логики, как нечеткое когнитивное моделирование, основы которого были заложены американским исследователем Б. Коско. Приводятся примеры использования когнитивного подхода для решения разнообразных задач в экономических исследованиях, включая теоретический анализ развития ресурсозависимой экономики, исследование инновационных процессов в экономике ресурсного типа, построение прогнозов развития российской экономики.

Делается вывод, что множество экономических исследований, использующих преимущества нечеткой логики, свидетельствует о ее применимости для изучения самых различных аспектов экономического развития.

Ключевые слова: неопределенность, многозначная логика, нечеткая логика, нечеткие множества, когнитивное моделирование.

Библиографическое описание для цитирования:

Лебедева М.Е. Нечеткая логика в экономике – формирование нового направления // Идеи и идеалы. – 2019. – Т. 11, № 1, ч. 1. – С. 197–212. – DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.1.1-197-212.

История возникновения методов нечеткой логики

Напомним, что слово «логика» происходит от греческого λόγος – «рассуждение», «мысль», «разум», и, таким образом, логикой можно назвать науку о мышлении, чьей задачей является изучение законов правильного мышления. Как наука, логика формируется в IV в. до н. э. в работах Аристотеля. Изучая проблему познания, он поставил задачу создать учение о законах, формах научного познания и доказательстве истины. Вклад Аристотеля заключается в том, что он разделил логическую форму мышления и содержание, а также сделал предметом отдельного исследования логические структуры мышления [4].

До 1960-х гг. основой всех научных теорий была классическая логика, базирующаяся на аристотелевской логике, а подход к изучению понятия множеств основывался на двузначной логике, в которой возможны только истинные и ложные значения. Аристотелевскую логику можно представить в следующем виде. В случае если некоторый объект принадлежит множеству, то его характеристическая (различительная) функция равна единице, если же объект не является элементом множества – то нулю [34]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \text{ – элемент множества } A; \\ 0, & \text{если } x \text{ не является элементом множества } A. \end{cases}$$

В названном свойстве выражается классическое понятие множества, согласно которому некоторый объект или принадлежит множеству, или нет. Множества, к которым применимо данное понятие, называются четкими множествами. Именно с такими множествами имеет дело классическая логика. Но во всех ли случаях жизни она эффективна? Люди умеют различать неформально определенные свойства вроде «сильного дождя» или «невысокого роста». Традиционные вычислительные алгоритмы же, напротив, оперируют строгими значениями, выраженными точными цифрами в конкретных единицах измерения. Отличить неклассическую логику от классики довольно просто: классическая логика воплощает собой определенность, а неклассика – вектор в сторону неопределенности (с разной степенью). Классика позволяет мыслить лишь в категориях действительного (да или нет), а неклассика – это мышление в категориях возможного. В самых простых ситуациях достаточно классической логики. Чтобы включить свет в комнате, достаточно поместить кнопку выключа-

теля в одно положение, выключить – в другое. Но в ситуациях, в которых открывается простор воображению, определяющему возможные варианты и перспективы, востребована неклассика [3].

В 1920 г. польский математик Ян Лукашевич разрабатывает первую систему многозначной логики – трехзначную логику высказываний. Каждое высказывание в системе Лукашевича либо истинно (1), либо ложно (0), либо нейтрально (1/2). Сначала Лукашевич предлагает построение логических исчислений без принципа непротиворечивости, а затем строит систему модальной логики, где вместе с ассерторическими высказываниями (утверждениями и отрицаниями) используются модальные высказывания (сильные и слабые утверждения и отрицания). В 1954 г. Лукашевич исследует возможности четырехзначной логики, а затем рассматривает n -значные логические системы, где n – рациональные числа от 0 до 1 [30].

Британско-американский философ Макс Блэк (Max Black) в 1937 г. в работе «Неопределенность: упражнение в логическом анализе» рассмотрел природу и наблюдаемость неопределенности, а также возможное значение неопределенности для логики [22]. Блэк впервые применил многозначную логику Лукашевича к спискам как множествам объектов. Эти множества получили название *vague* – «неопределенные».

В конце 1964 – начале 1965 г. профессор Лютфи Заде, американский математик азербайджанского происхождения, заканчивает первые две статьи по нечетким множествам, которые были практически одновременно переданы им в научный журнал «Information and Control» [38], издаваемый на английском языке, и журнал АН СССР «Проблемы передачи информации» [5]. Статья «Fuzzy Sets» в журнале «Information and Control» вышла на год раньше, и с тех пор год 1965-й в мировых научных кругах признается датой рождения нечеткой математики.

Эта статья имеет большое историческое значение, так как она положила начало новому научному направлению. Заде определяет нечеткие множества – классы с неточно определенными границами, описываемые функциями принадлежности, и базовые отношения и операции над ними. Вместе с этим Заде доказал необходимость ослабления закона исключенного третьего и двойственного ему закона непротиворечивости, считавшихся неизблемыми в классической теории множеств [7]. Нечеткие множества создали основу для развития более гибкого подхода к анализу рассуждений и моделированию сложных систем. Методы и модели нечеткой математики нашли свое применение в распознавании образов, анализе изображений, экспертных системах, системах поддержки принятия решений и во множестве других сфер. На сегодняшний день теория нечетких множеств и нечеткая логика получили признание во всем мире [Там же].

Сначала Заде использовал термин *fuzzy* относительно категорий языка и мышления. Затем в работе «На пути к теории информационной грануляции» [37] он вводит типологию границ в терминах описывающих их категорий. Если границы хорошо различимы, то они могут быть описаны нечеткими функциями принадлежности, которые лежат в основе теории нечетких множеств типа 1. Если границы плохо различимы, например, выражены некоторыми зонами, то они выражаются нечеткими множествами типа 2 и выше. В нечетких множествах типа 2 значения принадлежности заданы функциями принадлежности, т. е. учтена неточность определения принадлежности. Это может быть лингвистическая неопределенность, связанная с разными оттенками смысла слов. В живом общении слова имеют неточные значения, что интерпретируется как двусмысленность. Это справедливо также, например, в случае процессов принятия решений или описания природных явлений [7].

Таким образом, если для четкой логики результатом являются лишь два значения – 0 или 1, то для *fuzzy sets* количество результатов бесконечно, но ограничено диапазоном от нуля до единицы. Каждому числовому коэффициенту в нечеткой логике может быть сопоставлена лингвистическая переменная. Например, лингвистическая переменная *влияние* может принимать следующие значения: 0,1 – *слабое*, 0,3 – *умеренное*, 0,5 – *существенное*, 0,7 – *сильное*, 0,9 – *очень сильное*.

Среди работ в области нечеткой логики следует также отметить публикации Д. Дюбуа (D. Dubois) и А. Прада (H. Prade) по теории нечеткой меры и меры возможности; Дж. Беждека (J. Bezdek) по нечеткой кластеризации и распознаванию образов; М. Сугено (M. Sugeno) по нечеткому выводу и нечеткому интегралу; Р. Ягера (R. Yager) по нечеткой логике. Но, несмотря на большое количество теоретических работ, прикладное значение нечетких моделей долгое время ставилось под сомнение [12]. Только в 1975 г. английский инженер Ибрагим Мамдани (Ebrahim Mamdani) впервые применяет нечеткие множества в действующей системе управления. На основе алгебры Л. Заде он спроектировал контроллер для управления паровой турбиной, и сегодня при нечетком моделировании чаще других используют базу знаний в формате Мамдани [20].

В конце 1980-х Бартоломей Коско (Bart Kosko) доказал теорему о нечеткой аппроксимации (Fuzzy Approximation Theorem, FAT), согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике [28]. Говоря простым языком, с помощью естественно-языковых высказываний-правил «если – то» с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств можно сколь угодно точно отразить произвольную взаимосвязь «входы – выход» без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального

ного исчислений, традиционно применяемого в управлении и идентификации [20].

Нечеткая логика сегодня: направления развития

Диапазон применения методов нечеткой логики с каждым годом расширяется, охватывая такие области, как проектирование промышленных роботов и бытовых электроприборов, управление доменными печами и движением поездов метро, автоматическое распознавание речи и изображений и т. д.

Нечеткая логика, лежащая в основе реализации методов нечеткого управления, позволяет описать характер человеческого мышления и ход рассуждений более естественно, чем формально-логические системы. Именно поэтому применение математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, более адекватно отражающие различные аспекты неопределенности [12].

Значительное влияние нечеткая логика оказала на развитие различных методов интеллектуального анализа данных (Data Mining). Появляются *нечеткие нейронные сети (fuzzy-neural networks)*, которые осуществляют выводы на основе аппарата нечеткой логики, но параметры функций принадлежности настраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей; *адаптивные нечеткие системы (adaptive fuzzy systems)*, в которых не нужно привлекать экспертов для формулирования правил и функций принадлежности, так как в таких системах подбор параметров производится в процессе обучения на экспериментальных данных; *нечеткие запросы к базам данных (fuzzy queries)* – инструмент, дающий возможность формулировать запросы на естественном языке; *нечеткие ассоциативные правила (fuzzy associative rules)* позволяют извлекать из баз данных закономерности, которые формулируются в виде лингвистических высказываний; *нечеткие когнитивные карты (fuzzy cognitive maps)*, используемые для оценивания причинных взаимосвязей, выявленных между концептами некоторой области; *нечеткая кластеризация*, которая позволяет одному и тому же объекту принадлежать одновременно нескольким кластерам [17].

В наши дни нечеткая логика используется в лингвистике, социологии, философии, психологии, политике и во многих других областях. Нечеткая логика позволяет описать нетривиальные нечеткие системы, что особенно актуально в экономических исследованиях.

Применение нечеткой логики в экономике

Методы исследования экономических систем можно разделить на несколько типов. Классическим считается эконометрическое моделирование, при котором требуется сбор статистических данных и их анализ при

помощи методов экономической статистики. Другой вид инструментария – модели общего экономического равновесия. Они основаны на понятии равновесного состояния в экономике, достигаемого за счет равенства спроса и предложения на всех рынках. Особую нишу занимают имитационные модели, незаменимые при описании развивающихся во времени сложных систем с элементами случайного поведения. Наконец, упомянем балансовые модели, основной чертой которых является соответствие «поступления» какого-либо ресурса и его «распределения». Каждый класс методов включает в себя множество разновидностей инструментов моделирования. Все методы имеют свои сильные стороны и слабости и определенный круг задач, ими решаемый.

В настоящее время в экономических исследованиях широко применяется инструментарий нечеткой логики. При оценке инвестиционных рисков он помогает сформировать полный спектр возможных сценариев инвестиционного процесса, получить всю совокупность оценок для принятия инвестиционного решения и руководствоваться не точечным показателем ожидаемой эффективности проекта, а полем ее интервальных значений со своим распределением ожиданий [9, 16]. Теория нечетких множеств полезна в прогнозировании стоимости страховых убытков [25]. Методы нечеткой логики используются для поддержки процесса принятия управленческих решений в производственном менеджменте и повышении управляемости производственных процессов [19]. Исследуется перспективность применения нечеткой логики при оценке значения рыночной стоимости объекта, что позволяет снизить проблему нехватки исходной информации об объектах оценки [8]. Нечеткая логика используется при принятии решений о выходе на альтернативные рынки [35], служит инструментом категоризации новых продуктов для их позиционирования на рынке [31]. Представляют интерес модели оценки и прогнозирования уровня инновационного развития отраслей экономики на основе принципов нечеткой логики [1]; нечеткая логика применяется также при изучении понятия неравенства доходов [26].

Одним из наиболее интересных направлений развития нечеткой логики являются когнитивные карты. Зарождение когнитологии произошло в 1960-х гг. в Гарварде, где был создан первый центр когнитивных исследований. Любопытно, что термин «когнитивная карта» появился намного раньше, в 1948 г. в работе американского психолога Э. Толмена «Когнитивные карты у крыс и человека» [36]. Затем появилось течение *concept mapping (mind mapping)* – способ представления мыслей. Основные правила Concept Maps были разработаны Д. Новаком (J.D. Novak) [33]. Современную реализацию этого течения связывают с работами Т. Бьюзена (T. Buzan) – английского психолога, создателя интеллект-карт [23]. Методология когнитивного

моделирования, предназначенная для анализа и принятия решений в слабо определенных ситуациях, была предложена американским исследователем Р. Аксельродом (R. Axelrod) в 1976 г. [21]. В конце 1980-х гг. развитие идеи когнитивного моделирования выражается в виде нечетких когнитивных карт (Fuzzy Cognitive Maps – FCM), изобретенных профессором Б. Коско, как результат объединения нечеткой логики (*fuzzy logic*) с системной динамикой (*system dynamics*) [29].

День сегодняшний дает множество примеров прикладных и теоретических когнитивных исследований в области экономики. З. Исмиханов использовал когнитивный инструментарий для моделирования региональной стратегии социально-экономического развития [6]. И. Лавреш, В. Миронов и А. Смирнов при помощи методологии когнитивного моделирования создали рейтинги перспективных направлений социально-экономического развития Республики Коми [11]. С. Солохин применил когнитивный подход к анализу туристско-рекреационной системы Юга России [18]. J. Carvalho и J. Tome изучали применимость нечетких когнитивных карт для моделей социально-экономических систем [24]. С. Neocleous и М. Papaioannou создали когнитивную модель для оценки социально-экономического последствия добычи нефти и газа на Кипре [32]. R. Jasinevičius и V. Petrauskas обосновали целесообразность применения когнитивной модели для SWOT-анализа в стратегическом корпоративном менеджменте [27].

Методы когнитивного моделирования для определения приоритетов государственной политики повышения конкурентоспособности российской экономики использует А. Алексеев [2]. Для построения модели экономики РФ он взял основные факторы, максимально скоррелированные с ВВП: качество институтов, инфраструктура, конкурентоспособность компаний и т. д. Когнитивная модель позволяет численно верифицировать эту ситуацию: выявить силу и глубину воздействия выбранных факторов на экономическое развитие страны (динамику развития отраслей, вклад в ВВП). А. Алексеев делает вывод, что наибольшее влияние на систему оказывает промышленная политика, повышение качества которой на условные 10 % приводит к росту ВВП на 3 %. Далее по силе влияния идут ключевая ставка, денежная эмиссия и прочие факторы. Когнитивная модель позволяет автору не только сделать качественную интерпретацию экономических процессов, но и осуществить их количественную оценку [2].

М. Морозова и В. Шмат ставят перед собой цель расширить инструментальную базу исследований проблем ресурсозависимости экономики за счет когнитивного моделирования. Применение метода когнитивного моделирования позволило рассмотреть закономерности и механизмы ресурсозависимости, проанализировать взаимодействие эндогенных факто-

ров и экстерналий. Построены две версии теоретической когнитивной модели, соответствующие российскому (влияние ресурсного сектора на экономику через распределение рентного дохода) и норвежскому (сильный «ресурсный мультипликатор») типам влияния. Когнитивное моделирование показало, как влияют факторы, отражающие ресурсозависимость, на экономический рост и состояние институтов [13].

Следующим шагом исследователей было изучение инновационной направленности в развитии минерально-сырьевого комплекса. Выявлены различия инновационного процесса в ресурсном и нересурсном секторах экономики, что проиллюстрировано когнитивным анализом. Результаты моделирования говорят о возможности усиления эффективности ресурсного мультипликатора при помощи целенаправленной промышленной и научно-технической политики. Моделируемые системы ресурсного и нересурсного секторов имеют различия в составе факторов и взаимосвязей на когнитивном графе: в ресурсной экономике преобладают отрицательные обратные связи, а в нересурсной – положительные. Поэтому систему ресурсной экономики нельзя вывести из стационарного состояния за счет единичных импульсов, моделируемые показатели возвращаются к своим начальным значениям. Отсюда следует вывод, что позитивная динамика развития ресурсного сектора требует непрекращающихся внешних импульсов (постоянного роста спроса на сырьевые товары, расширения ресурсной базы). Именно этим определяется уязвимость российской экономики в современных условиях, что требует усиления секторов, не связанных с освоением ресурсов и не зависящих от действия «ресурсного мультипликатора» [14].

Когнитивный подход интересен для прогнозирования развития сложных экономических систем. При высокой степени неопределенности в экономике логико-качественное моделирование прогнозов имеет ряд преимуществ перед функционально-количественным. М. Морозова и В. Шмат построили прогнозную когнитивную модель развития российской экономики на период до 2020 г. с ее верификацией на ретроспективных данных 2000–2013 гг., что подтвердило ее корректность. Моделирование среднесрочного прогноза до 2020 г. проводилось в три этапа: 1) имитация саморазвития ситуации за счет импульсных воздействий; 2) имитация управляемого развития ситуации; 3) решение обратной задачи с нахождением интенсивностей управляющих воздействий, обеспечивающих заданное приращение целевого фактора. В итоге было установлено, что для достижения прироста ВВП на душу населения к 2020 г. относительно 2013 г. на 16 % (согласно плану правительства) наибольшая интенсивность воздействия требуется для стимулирования инвестиций и развития инновационного сектора, что позволит преодолеть «узкие места» в экономике [15].

В. Крюков, А. Токарев, В. Шмат и другие при помощи когнитивного SWOT-анализа исследовали социально-экономические системы пространственных зон Республики Саха-Якутия. Данный подход представляет собой последовательность действий: изучение внешней и внутренней среды объекта исследования, построение SWOT-таблицы, оценка взаимосвязей между полученными факторами и когнитивное моделирование. В результате проведенного исследования были получены оценки реализуемости зональных стратегий социально-экономического развития Якутии, указаны наиболее предпочтительные направления управляющих воздействий для Центральной, Южной и Арктической зон республики [10].

Следует отметить, что использование нечеткой логики при анализе проблемных ситуаций имеет и свои минусы. Логические значения (коэффициенты) в моделируемой ситуации присваивают эксперты; чаще всего это качественная оценка, основанная на личном опыте. Результаты моделирования также требуют интерпретации экспертами. Возникают закономерные вопросы: «Если экспертная группа владеет неполной информацией, насколько пострадает качество модели?», или «Что если экспертам выгодно получить определенный результат, и они будут “подкручивать” коэффициенты модели для его достижения?». Такие риски всегда существуют при использовании любых методов, основанных на экспертных оценках. Главным способом, снижающим долю ошибки в исследовании, является привлечение к работе экспертов, обладающих высокой профессиональной квалификацией. Важно заранее исключить возможность личной заинтересованности эксперта в получении определенных результатов. В отчете о выполнении исследовательской работы достоверность представленных результатов должна подкрепляться прозрачностью используемой методики и четким обоснованием выводов.

Заключение

Слабо структурированные ситуации в экономике, в которых «участвует» множество разнородных взаимодействующих факторов, удобно изучать с помощью когнитивного моделирования. Большое число экономических исследований с применением нечеткой логики говорит о том, что данный инструментарий подходит для исследования различных аспектов экономического развития. Он позволяет описывать сложные динамические системы, характеризующиеся высокой степенью неопределенности, что дает шанс приблизиться к истине в тех случаях, когда строгие объективные методы не могут быть использованы по причине отсутствия надежных измеримых данных. Достоверность полученных результатов определяет

ся профессиональной квалификацией экспертов, применяющих субъективизированные методы нечеткой логики, прозрачностью используемой методики и четким обоснованием выводов.

Литература

1. *Александрова И.А., Губернаторов А.М.* Моделирование инновационных процессов в отраслях экономики на основе принципов нечеткой логики [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22993> (дата обращения: 25.02.2019).
2. *Алексеев А.В.* Современные приоритеты государственной политики повышения эффективности российской экономики: инновационные аспекты: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2016. – 321 с.
3. *Герасимова И.А.* Классическая и неклассическая логика: возможности и границы применимости // Эпистемология и философия науки. – 2006. – № 2 (8). – С. 203–214.
4. *Егорова О.А.* Предмет, методы и значение классической формальной логики в философии и научном познании: учение Аристотеля // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 5-3. – С. 8–13.
5. *Заде Л.А.* Тени нечетких множеств // Проблемы передачи информации. – 1966. – Т. 2, вып. 1. – С. 37–44.
6. *Исмиханов З.Н.* Моделирование социально-экономического развития региона на основе когнитивного подхода (на примере Республики Дагестан) // Бизнес-информатика. – 2015. – № 2 (32). – С. 59–68.
7. К юбилею Лотфи Заде (подборка статей) // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 2–3. – С. 3–27.
8. *Костин А.В., Смирнов В.В.* Метод согласования результатов оценки стоимости, основанный на нечеткой логике // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2012. – № 12 (135). – С. 3–20.
9. *Котов В.И.* Риск-анализ на основе функций чувствительности и теории нечетких множеств. – СПб.: Астерион, 2014. – 219 с.
10. Исследование социально-экономических систем с применением когнитивного SWOT-анализа (на примере экономических зон Якутии) / В.А. Крюков, А.Н. Токарев, В.В. Шмат, А.Е. Севастьянова, Я.В. Крюков, М.Е. Морозова // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Серия: Экономика. Социология. Культурология. – 2018. – № 1 (09). – С. 6–13.
11. *Лавреш И.И., Миронов В.В., Смирнов А.В.* Когнитивное моделирование социально-экономических рейтингов регионов // Вестник ИТАРК. – 2011. – № 1. – С. 22–30.
12. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
13. *Морозова М.Е., Шмат В.В.* Как познать механизмы ресурсозависимости? Применение метода когнитивного моделирования при исследовании ресурсозависимой экономики // ЭКО. – 2015. – № 6. – С. 146–159.

14. Морозова М.Е., Шмат В.В. Ресурсы против инноваций. Об ограниченном действии «ресурсного мультипликатора» с точки зрения развития инноваций в экономике // ЭКО. – 2017. – № 7. – С. 124–145.
15. Морозова М.Е., Шмат В.В. Среднесрочное прогнозирование российской экономики с использованием когнитивной модели // Проблемы прогнозирования. – 2017. – № 3. – С. 19–25.
16. Недосекин А.О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами [Электронный ресурс] // Аудит и финансовый анализ. – 2000. – № 2. – URL: <https://www.cfn.ru/press/afa/2000-2/08-3.shtml> (дата обращения: 25.02.2019).
17. Паклин Н. Нечеткая логика – математические основы [Электронный ресурс] / BaseGroup Labs. – 2005. – URL: <https://basegroup.ru/community/articles/fuzzylogic-math> (дата обращения: 25.02.2019).
18. Солохин С.С. О когнитивном моделировании устойчивого развития социально-экономических систем (на примере туристско-рекреационной системы Юга России) // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 150–160.
19. Целых А.Н., Целых О.С., Причина О.С. Методы нечеткой логики в управлении производственными процессами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 1 (150). – С. 111–119.
20. Штовба С.А. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/0.php> (дата обращения: 25.02.2019).
21. Axelrod R. The structure of decision: cognitive maps of political elites. – Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976. – 404 p.
22. Black M. Vagueness // Philosophy of Science. – 1937. – Vol. 4. – P. 427–455.
23. Вузжан Т., Вузжан В. The mind map book: how to use radiant thinking to maximize your brain's untapped potential. – New York: E.P. Dutton, 1996. – 320 p.
24. Carvalho J.P., Tome J.A.B. Rule based fuzzy cognitive maps in socio-economic systems // IFSA-EUSFLAT 2009 Proceedings. – Lisbon, 2009. – P. 1821–1826.
25. Cummins J.D., Derring R.A. Fuzzy trends in property-liability insurance claim costs // The Journal of Risk and Insurance. – 1993. – Vol. 60, N 3. – P. 429–465.
26. Efe A.O. Fuzzy measurement of income inequality: some possibility results on the fuzzification of the Lorenz ordering // Economic Theory. – 1996. – Vol. 7, N 3. – P. 513–530.
27. Jasinevičius R., Petrauskas V. Dynamic SWOT analysis as a tool for system experts // Engineering Economics. – 2006. – N 5 (50). – P. 33–35.
28. Kosko B. Neural networks and fuzzy systems. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991. – 449 p.
29. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – N 24. – P. 65–75.
30. Łukasiewicz J. On determinism // Selected works / ed. by L. Borkowski. – Amsterdam; Warszawa, 1970. – P. 110–128.

31. *Madhubalan V., Childers T.L.* Understanding how product attributes influence product categorization: development and validation of fuzzy set-based measures of gradedness in product categories // *Journal of Marketing Research*. – 1999. – Vol. 36, N 1. – P. 75–94.
32. *Neocleous C., Schizas C., Papaioannou M.* Fuzzy cognitive maps in estimating the repercussions of oil/gas exploration on politico-economic issues in Cyprus // 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. – Taipei, Taiwan: IEEE, 2011. – P. 1119–1126.
33. *Novak J.D.* Concept mapping: a useful tool for science education // *Journal of Research in Science Teaching*. – 1990. – Vol. 27, N 9. – P. 937–949.
34. *Ross T.J.* Fuzzy logic with engineering applications. – 3rd ed. – Chichester, UK: Wiley, 2010. – 606 p.
35. A fuzzy attractiveness of market entry (FAME) model for market selection decisions / M.F. Shipley, M. Johnson, L. Pointer, N. Yankov // *The Journal of the Operational Research Society*. – 2013. – Vol. 64, N 4. – P. 597–610.
36. *Tolman E.* Cognitive maps in rats and men // *Psychological Review*. – 1948. – Vol. 55, N 4. – P. 189–208.
37. *Zadeh L.A.* Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic // *Fuzzy Sets and Systems*. – 1997. – Vol. 90. – P. 111–127.
38. *Zadeh L.A.* Fuzzy Sets // *Information and Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338–353.

Статья поступила в редакцию 30.08.2018.

Статья прошла рецензирование 27.09.2018.

DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.1.1-197-212

FUZZY LOGIC IN ECONOMICS – THE FORMATION OF A NEW DIRECTION

Lebedeva Margarita,*Junior Researcher,**Institute of Economics and Industrial Engineering,**Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,**17, Acad. Lavrentyeva Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation;**Assistant, Faculty of Economics,**Novosibirsk State National Research University,**2, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

ORCID: 0000-0002-5289-1074

margarita.e.morozova@gmail.com

Abstract

The article presents a brief overview of the history of fuzzy logic. The considered path starts with the three-digit logic developed by the Polish mathematician Jan Lukasiewicz, who enters model statements (strong and weak approval and denial) and further develops an infinite (n-digit) logical system. Later in the works of Professor L. Zadeh there is fuzzy logic with an infinite number of results, created fuzzy sets – classes with inaccurately defined boundaries. We describe the main directions of fuzzy logic development in the field of data mining. It is shown that fuzzy logic is widely used in the field of economic research: in assessing the development of economic sectors, in insurance, decision support, modeling the economy of regions and countries, in forecasting and etc. Special attention is paid to the history of development and the possibilities of application of such direction of fuzzy logic as fuzzy cognitive modeling, the foundation for which was laid by the American researcher B. Kosko. The article includes examples of the use of cognitive approach to solve various problems in economic research, including theoretical analysis of the resource-dependent economy, the study of innovative processes in the resource-type economy, the construction of forecasts of the Russian economy. It is concluded that the existence of a lot of economic research that takes advantage of fuzzy logic indicates about its applicability to the study of various aspects of economic development.

Keywords: uncertainty, multivalued logic, fuzzy logic, fuzzy sets, cognitive modeling.

Bibliographic description for citation:

Lebedeva M.E. Fuzzy logic in economics – the formation of a new direction. *Idey i idealy – Ideas and Ideals*, 2019, vol. 11, iss. 1, pt. 1, pp. 197–212. DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.1.1-197-212.

References

1. Aleksandrova I.A., Gubernatorov A.M. Modelirovanie innovatsionnykh protsessov v otraslyakh ekonomiki na osnove printsipov nechetkoi logiki [Modeling of in-

novation processes in branches of economy based on the principles of fuzzy logic]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2015, no. 2-2. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22993> (accessed 25.02.2019).

2. Alekseev A.V. *Sovremennye priority gosudarstvennoi politiki povysbeniya effektivnosti rossiiskoi ekonomiki: innovatsionnye aspekty*. Diss. dokt. ekon. nauk [Modern priorities of the state policy to improve the efficiency of the Russian economy: innovative aspects. Dr. in economics diss.]. Novosibirsk, 2016. 321 p.

3. Gerasimova I.A. Klassicheskaya i neklassicheskaya logika: vozmozhnosti i granitsy primenimosti [Classical and non-classical logic: possibilities and limits of application]. *Epistemologiya i filosofiya nauki – Epistemology & Philosophy of Science*, 2006, no. 2 (8), pp. 203–214.

4. Egorova O.A. Predmet, metody i znachenie klassicheskoi formal'noi logiki v filosofii i nauchnom poznanii: uchenie Aristotelya [Subject, methods and significance of classical formal logic in philosophy and scientific knowledge: Aristotle's teaching]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2016, no. 5-3, pp. 8–13. (In Russian).

5. Zadeh L.A. Shadows of fuzzy sets. *Problemy peredachi informatsii – Problems of Information Transmission*, 1966, vol. 2, iss. 1, pp. 37–44. (In Russian).

6. Ismikhhanov Z.N. Modelirovanie sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona na osnove kognitivnogo podkhoda (na primere respubliki Dagestan) [Modeling of the regional social and economic development on the basis of a cognitive approach (on materials of the Republic of Dagestan)]. *Biznes-informatika – Business Informatics*, 2015, no. 2 (32), pp. 59–68.

7. K yubileyu Lotfi Zade (podborka statei) [For the anniversary of Lotfi Zadeh (selection of articles)]. *Novosti iskusstvennogo intellekta*, 2001, no. 2–3, pp. 3–27. (In Russian).

8. Kostin A.V., Smirnov V.V. Metod soglasovaniya rezul'tatov otsenki stoimosti, osnovannyi na nechetkoi logike [The method of matching the results of the valuation based on fuzzy logic]. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii – Property Relations in the Russian Federation*, 2012, no. 12 (135), pp. 3–20.

9. Kotov V.I. *Risk-analiz na osnove funktsii chuvstvitel'nosti i teorii nechetkikh mnozhestv* [Risk analysis based on sensitivity functions and fuzzy set theory]. St. Petersburg, Asterion Publ., 2014. 219 p.

10. Kryukov V.A., Tokarev A.N., Shmat V.V., Sevast'yanova A.E., Kryukov Ya.V., Morozova M.E. Issledovanie sotsial'no-ekonomicheskikh sistem s primeneniem kognitivnogo SWOT-analiza (na primere ekonomicheskikh zon Yakutii) [Study of social and economic systems using the cognitive SWOT analysis: the case of Yakutia economic zones]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Kul'turologiya – Vestnik of North-Eastern Federal University. Economics. Sociology. Culturology*, 2018, no. 1 (09), pp. 6–13.

11. Lavresh I.I., Mironov V.V., Smirnov A.V. Kognitivnoe modelirovanie sotsial'no-ekonomicheskikh reitingov regionov [Cognitive modeling of socio-economic ratings of regions]. *Vestnik ITARK*, 2011, no. 1, pp. 22–30. (In Russian).

12. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2003. 736 p.
13. Morozova M.E., Shmat V.V. Kak poznat' mekhanizmy resursozavisimosti? Primenenie metoda kognitivnogo modelirovaniya pri issledovanii resursozavisimoi ekonomiki [How to cognize the mechanisms of resource dependence? Application of cognitive modeling in the study of resource-dependent economy]. *EKO – ECO*, 2015, no. 6, pp. 146–159.
14. Morozova M.E., Shmat V.V. Resursy protiv innovatsii. Ob ogranichenom deistvii "resursnogo multiplikatora" s tochki zreniya razvitiya innovatsii v ekonomike [Resources against innovations. On the limited effect of the "resource multiplier" in terms of the innovation development]. *EKO – ECO*, 2017, no. 7, pp. 124–145.
15. Morozova M.E., Shmat V.V. Srednesrochnoe prognozirovanie rossiiskoi ekonomiki s ispol'zovaniem kognitivnoi modeli [Medium-term forecasting of the Russian economy using a cognitive model]. *Problemy prognozirovaniya – Studies on Russian Economic Development*, 2017, no. 3, pp. 19–25. (In Russian).
16. Nedosekin A.O. Primenenie teorii nechetkikh mnozhestv k zadacham upravleniya finansami [Application of fuzzy set theory to financial management problems]. *Audit i finansovyi analiz – Audit and financial analysis*, 2000, no. 2. Available at: <https://www.cfin.ru/press/afa/2000-2/08-3.shtml> (accessed 25.02.2019).
17. Paklin N. Nechetkaya logika – matematicheskie osnovy [Fuzzy logic – mathematical foundations]. BaseGroup Labs, 2005. Available at: <https://basegroup.ru/community/articles/fuzzylogic-math> (accessed 25.02.2019).
18. Solokhin S.S. O kognitivnom modelirovanii ustoichivogo razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem (na primere turistsko-rekreatsionnoi sistemy Yuga Rossii) [About cognitive modeling of the development social-economic systems (on the example of the tourist- recreation systems of the South to Russia)]. *Iskusstvennyi intellekt – Artificial intelligence*, 2009, no. 4, pp. 150–160. (In Russian).
19. Tselykh A.N., Tselykh O.C., Prichina O.S. Metody nechetkoi logiki v upravlenii proizvodstvennymi protsessami [Fuzzy logic methods in the management of production processes]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – Izvestiya Southern Federal University. Engineering sciences*, 2014, no. 1 (150), pp. 111–119.
20. Shtovba S.D. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to fuzzy set theory and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/0.php> (accessed 25.02.2019).
21. Axelrod R. *The structure of decision: cognitive maps of political elites*. Princeton, NJ, Princeton University Press, 1976. 404 p.
22. Black M. Vagueness. *Philosophy of science*, 1937, vol. 4, pp. 427–455.
23. Buzan T., Buzan B. *The mind map book: how to use radiant thinking to maximize your brain's untapped potential*. New York, E.P. Dutton, 1996. 320 p.
24. Carvalho J.P., Tome J.A.B. Rule based fuzzy cognitive maps in socio-economic systems. *IFSA-EUSFLAT 2009 Proceedings*, Lisbon, 2009, pp. 1821–1826.

25. Cummins J.D., Derring R.A. Fuzzy trends in property-liability insurance claim costs. *The Journal of Risk and Insurance*, 1993, vol. 60, no. 3, pp. 429–465.
26. Efe A.O. Fuzzy measurement of income inequality: some possibility results on the fuzzification of the Lorenz ordering. *Economic Theory*, 1996, vol. 7, no. 3, pp. 513–530.
27. Jasinevičius R., Petrauskas V. Dynamic SWOT analysis as a tool for system experts. *Engineering Economics*, 2006, no. 5 (50), pp. 33–35.
28. Kosko B. *Neural networks and fuzzy systems*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1991. 449 p.
29. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, no. 24, pp. 65–75.
30. Lukasiewicz J. On determinism. *Selected works*. Ed. by L. Borkowski. Amsterdam, Warszawa, 1970, pp. 110–128.
31. Madhubalan V., Childers T.L. Understanding how product attributes influence product categorization: development and validation of fuzzy set-based measures of gradedness in product categories. *Journal of Marketing Research*, 1999, vol. 36, no. 1, pp. 75–94.
32. Neocleous C., Schizas C., Papaioannou M. Fuzzy cognitive maps in estimating the repercussions of oil/gas exploration on politico-economic issues in Cyprus. *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Taipei, Taiwan, 2011, pp. 1119–1126.
33. Novak J.D. Concept mapping: a useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, vol. 27, no. 9, pp. 937–949.
34. Ross T.J. *Fuzzy logic with engineering applications*. 3rd ed. Chichester, UK, Wiley, 2010. 606 p.
35. Shipley M.F., Johnson M., Pointer L., Yankov N. A fuzzy attractiveness of market entry (FAME) model for market selection decisions. *The Journal of the Operational Research Society*, 2013, vol. 64, no. 4, pp. 597–610.
36. Tolman E. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 1948, vol. 55, no. 4, pp. 189–208.
37. Zadeh L.A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, vol. 90, pp. 111–127.
38. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8, pp. 338–353.

The article was received on 30.08.2018.

The article was reviewed on 27.09.2018.