

УДК 338.27

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТА КЛАСТЕРА

© 2019 г.

Д.Б. Соловьев, С.С. Кузора

Соловьев Денис Борисович, к.т.н.; доц.; доцент кафедры инноватики, качества, стандартизации и сертификации Дальневосточного федерального университета, Владивосток;
доцент кафедры таможенного дела Владивостокского филиала Российской таможенной академии
solovev.db@dvfu.ru

Кузора Станислав Сергеевич, аспирант кафедры инноватики, качества, стандартизации и сертификации Дальневосточного федерального университета, Владивосток
webkuzora@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.04.2019

Статья принята к публикации 30.04.2019

Статья посвящена исследованию нечеткого моделирования экономических процессов. Отмечается роль теории нечетких множеств в теоретической и практической применимости к широкому кругу задач, где действенным инструментом выступает использование прикладных программ. На примере экономического субъекта, кластера, рассматривается способ оценки средствами нечеткого моделирования одного из входящих в него элементов. Практическая часть работы направлена на преобразование алгоритмов нечеткого логического вывода средствами MATLAB с целью наиболее точной оценки участников инновационной инфраструктуры. Полученный результат позволил преодолеть некоторую неточность предыдущих исследований авторов данной статьи, что привело к итоговой оценке элемента кластера. По итогу проделанной работы обращается внимание на то, что нечеткое моделирование, основанное на теории нечетких множеств, может оказаться весьма эффективным средством в контексте экономической деятельности.

Ключевые слова: математическое моделирование, нечеткое моделирование, теория нечетких множеств, нечеткая логика, оценка экономической деятельности.

Введение

Актуальность математического моделирования в научных исследованиях подтверждается большим количеством опубликованных работ. В широком смысле под моделированием понимается абстракция реального явления с целью исследования определенного объекта средствами математики. Многие авторы отмечают, что на протяжении последних десятилетий математическое моделирование выходит за рамки изучения одной области знаний, формируя междисциплинарный подход [1–4].

В связи с компьютеризацией появились новые условия для реализации систем математического моделирования, где используются специальные языки программирования и/или подготовленные автоматизированные шаблоны для создания моделей. Важным этапом развития стало направление по разработке специальных прикладных программ, к которым можно отнести Maple, Mathcad, Mathematica, MATLAB и др. Возможности применения таких программ позволят ускорить процесс переработки, передачи и хранения информации, связанной с различными сферами моделирования. Также к преимуществам следует отнести гибкость построения, визуализацию данных, вариативность предлагаемых методов.

Параллельно с развитием математического моделирования появилась теория нечетких множеств, которая отличается от традиционных методов построения моделей способностью учитывать неполноту и неточность исходных данных [5]. В информационную эпоху данная теория нашла свое применение в некоторых прикладных программах математического моделирования. Вследствие этого методы рассматриваемой теории образуют самостоятельное течение научно-прикладных исследований, название которого – нечеткое моделирование [6].

Автором теории нечетких множеств является профессор Лотфи Заде, который впервые опубликовал работу по данной теме в 1965 г. [5]. Появление теории вызвало неоднозначную реакцию в научных кругах. Ученые разделились на тех, кто осознал потенциальные возможности предлагаемой теории и кто выступал против подхода по причине отсутствия прикладных результатов [7]. Такие исследователи, как Мамдани, Такаги, Сугено, Цукамото, продолжили развитие теории нечетких множеств, предложив алгоритмы нечеткого логического вывода в качестве методов моделирования [8–10].

Спустя некоторое время на рынке появились различные устройства, для разработки которых применялась нечеткая логика, способная более



Рис. 1. Элементы и участники кластера

точно описать качественные, неточные понятия, суждения математическим путем [7].

К следующему этапу развития теории нечетких множеств можно отнести использование прикладных программ для моделирования систем широкого класса объектов. Примером программы нечеткого моделирования является MATLAB – интерактивная компьютерная система для решения инженерных и научных задач. В среде MATLAB нечеткое моделирование осуществляется посредством пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, в состав которого включены алгоритмы нечеткого вывода Мамдани, Сугено [11].

Существующая разница между двумя алгоритмами в рамках используемой программы состоит в этапах нечеткого вывода, к которым относятся: формирование баз правил; фаззификация; процесс активизации; аккумуляция; дефаззификация. Выбор алгоритма зависит от исходных данных, которые должны удовлетворять условиям перечисленных этапов.

Отметим, что в состав средств Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB кроме редактора для построения систем нечеткого вывода FIS Editor входит редактор нечетких нейронных систем ANFIS Editor, который предназначен для создания, проектирования и настраивания нейронных сетей на основе доступной информации [6, 11, 12]. ANFIS-редактор имеет пункты меню, где работа может происходить только с алгоритмом нечеткого вывода Сугено.

Таким образом, вариантность формализации данных позволяет расширить область применения теории нечетких множеств, не ограничиваясь техническими задачами.

В условиях динамично развивающейся экономики общепринятое математическое моделирование рассматривается как инструмент, используемый для оценки эффективности объекта, количественного обоснования надежности принимаемых

решений, научно-практического прогнозирования, где полученные показатели определяют конкурентоспособность изучаемого объекта на площадках взаимодействий экономических агентов.

Экономико-математическое моделирование представлено комплексом таких предметных областей, как математическая статистика, теория игр, системный анализ, теория вероятностей, задействованных для исследования процессов, объектов и явлений реального мира, в которых присутствует неопределенность. Экономическая деятельность всегда сопровождается неопределенностью, ввиду чего могут возникнуть некоторые трудности при моделировании. В таком случае результаты моделирования оказываются плохо формализуемыми, нестандартными, противоречивыми, учитывая использование перечисленных предметных областей [13].

Ввиду упомянутых характеристик нечеткого моделирования и некоторой неопределенности экономической деятельности практическая часть исследования посвящена использованию алгоритмов нечеткого логического вывода для оценки экономического субъекта.

Анализ результатов нечеткого моделирования оценки элемента кластера с применением системы MATLAB

Обратимся к примеру использования алгоритма Мамдани для оценки бизнес-инкубатора (рис. 1), одного из участников инновационной инфраструктуры кластера, где кластер рассматривался как эффективный инструмент взаимодействия субъектов инновационной деятельности [14].

Из рис. 1 видно, что инновационная инфраструктура (бизнес-инкубаторы, технопарки, малые инновационные предприятия, центры трансфера технологий) является элементом кластера.

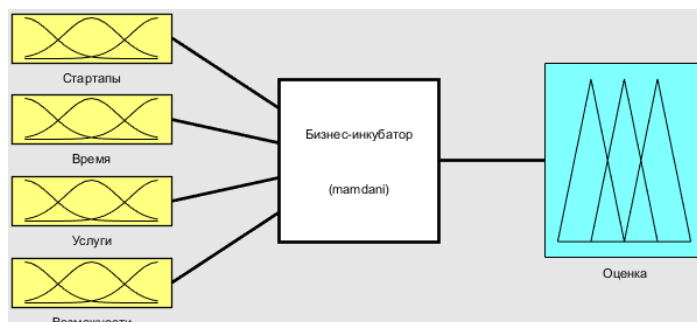


Рис. 2. Структура модели «оценка БИ»

В качестве примера оценки участника инновационной инфраструктуры выберем бизнес-инкубатор (БИ) с универсальными множествами:

- количество реализованных стартапов, проектов (стартапы), единица измерения – шт.;
- время инкубирования стартапов, проектов (время), единица измерения – месяц;
- количество оказываемых услуг (услуги), единица измерения – шт.;
- предоставление производственных площадей и оборудования (возможности), единица измерения – наличие.

На рис. 2 представлена структура модели оценки с соответствующими лингвистическими переменными.

Авторы работы [14] отметили основной недостаток построенной модели посредством алгоритма Мамдани, где при входе четырех переменных трехмерный график визуализировал сгенерированный результат только двух переменных. Вследствие этого было предложено поэтапно выстроить иерархию лингвистических переменных, соблюдая последовательность операций, с целью определения интегральной оценки рассматриваемого элемента [14].

Несмотря на адекватность полученных результатов, в предыдущем исследовании не было учтено, что иерархическая структура может состоять из нечетного количества лингвистических переменных, тогда дать интегральную оценку элемента, используя нечеткий вывод Мамдани, можно путем преобразования системы Мамдани в систему Сугено. Ввиду этого продемонстрируем некоторые возможности алгоритмов нечеткого вывода средствами MATLAB.

Шаг 1. С помощью среды MATLAB – пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox – необходимо создать модель, представленную на рис. 2.

Шаг 2. В командной строке MATLAB преобразуем систему типа Мамдани в систему типа Сугено, применяя функцию `mam2sug()`, следующим образом:

```
>> mamfis = BusInc;
sugfis = mam2sug (mamfis),
```

где `BusInc` является моделью, представленной на рис. 2, остальные данные являются неотъемлемой частью преобразования.

Шаг 3. Открываем преобразованную систему Сугено, запускаем ANFIS-редактор.

Шаг 4. Создаем исходные данные ANFIS для обучения системы Сугено. Исходные данные имеют вид числовой матрицы $m \times (n+1)$, где m – количество строк выборки, n – количество столбцов входных переменных, 1 – значение выходной переменной. Данные могут быть загружены двумя способами: из внешней среды (`file`), из рабочего пространства (`workspace`).

Шаг 5. В нашем случае из внешней среды загружаем исходные данные, которые имеют следующий вид:

```
0 0 0 0 0
1 1 1 1 1
2 2 2 2 2
3 3 3 3 3
4 4 4 4 4
5 5 5 5 5,
```

где число от 0 до 5 – оценка, которая соответствует переменным рис.1.

Шаг 6. После обучения систему экспортируем в рабочее пространство (`workspace`) под названием `BusIncSug`.

Шаг 7. Заключительным этапом является ввод конкретной комбинации, которая в конечном итоге выдаст результат в виде числа с точностью до долей. В режиме командной строки введем следующую комбинацию:

```
X = mean ([BusIncSug.trndata(2),
BusIncSug.trndata(4), BusIncSug.trndata(4),
BusIncSug.trndata(3)]);
```

$X = 2.25$ (результат оценки),

где X – название переменной выражения, `BusIncSug` – название преобразованной системы Сугено, `trndata` – данные обучения (допустимое число от 0 до 5) – экспертная оценка, которая соответствует входным переменным.

В результате преобразования алгоритма Мамдани в алгоритм Сугено, независимо от количества входных переменных (четное/нечетное), получена конкретизированная оценка участника инновационной инфраструктуры.

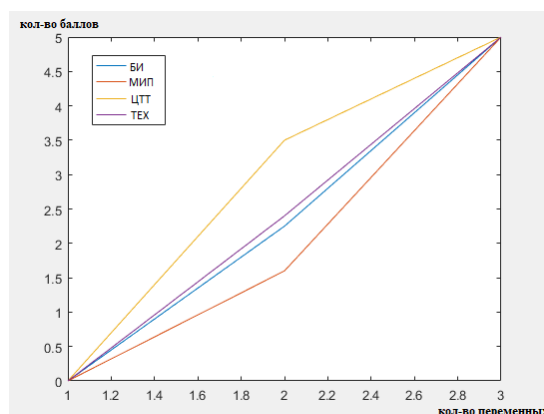


Рис. 3. Результаты оценки участников инновационной инфраструктуры

Оценив бизнес-инкубатор и аналогично оценивая остальных участников инновационной инфраструктуры с использованием алгоритма нечеткого вывода Сугено, получаем следующие оценки:

- бизнес-инкубатора (БИ) – 2.25;
- малого инновационного предприятия (МИП) – 1.6;
- центра трансфера технологий (ЦТТ) – 3.5;
- технопарка (ТЕХ) – 2.4.

Наглядное представление полученных результатов приведено на рис. 3.

Можно заметить, что при работе с алгоритмами нечеткого вывода, представленными в среде MATLAB, в контексте решения поставленной задачи основным является наличие функции редактирования ANFIS. Отсюда следует, что выбор алгоритма нечеткого логического вывода Сугено для оценки элемента кластера целесообразнее алгоритма Мамдани, однако пример с преобразованием алгоритмов, рассмотренный в данной работе, не исключает возможности использования алгоритма нечеткого логического вывода Мамдани.

После оценки каждого участника необходимо дать итоговую оценку инновационной инфраструктуры с помощью формулы усредненного значения:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n j \cdot x_i,$$

где x_i – результат оценки участника, n – количество участников, j – весовой коэффициент.

Пусть весовой коэффициент j , основанный на анализе кластеров [15; 16], принимает числовые значения: 0.3; 0.6; 0.9 (табл.).

Допустим, бизнес-инкубатор принял значение $j=0.3$, МИП $j=0.3$, ЦТТ $j=0.6$, ТЕХ $j=0.9$, где каждое числовое значение соответствует показателю «масштабность участника».

Таким образом, итоговая оценка имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n j \cdot x_i &= \frac{(0.3 \cdot 2.25) + (0.3 \cdot 1.6) + (0.6 \cdot 3.5) + (0.9 \cdot 2.4)}{4} = \\ &= \frac{0.675 + 0.48 + 2.1 + 2.16}{4} = 1.354. \end{aligned}$$

Возвращаясь к элементам кластера – на рис. 4 отображен результат оценки инновационной инфраструктуры со всеми задействованными участниками. Предполагается, что для общей оценки кластера необходимо оценить каждый элемент. Дальнейшее исследование будет сфокусировано на разработке методики, которая позволит учесть специфику существующих элементов кластера перед использованием определенных инструментов либо выбором того или иного подхода для итоговой оценки.

Заключение

В статье отмечается роль математического моделирования в науке, технике, процессах управления. Применение математического аппарата позволяет успешно решать многие практические задачи. Однако общепринятые подходы не всегда эффективны.

Данная работа является продолжением исследования нечеткого моделирования с точки зрения решения экономических задач [14]. На примере субъекта экономической деятельности продемонстрированы возможности нечеткого моделирования.

Практическая часть исследования сводилась к преобразованию задействованных алгоритмов нечеткого логического вывода средствами MATLAB с целью наиболее точной оценки участников инновационной инфраструктуры, входящих в один из элементов кластера. Выявлено, что для рассматриваемой оценки целесообразнее использовать алгоритм Сугено с функцией редактирования ANFIS.

Таблица

Числовые значения для показателя «масштабность участника»			
Масштабность участника			
	Малая	Средняя	Большая
Бизнес-инкубатор			
Стартапы	1–5 шт.	6–10 шт.	11–...шт.
Время	8–12 мес.	4–8 мес.	1–4 мес.
Услуги	1–2 шт.	3–5 шт.	7–... шт.
Возможности	–	+–	+
Технопарк			
Партнеры	1–3 шт.	4–7 шт.	8–... шт.
Инновационно-технологический центр	1 шт.	2–3 шт.	4–... шт.
Услуги	1–5 шт.	6–10 шт.	11–...шт.
Пространство	–	+–	+
Прибыль	до 0.5 млн руб.	до 2 млн руб.	от 2 млн руб.
МИП			
Стоимость	до 100 тыс. руб.	до 500 тыс. руб.	от 500 тыс. руб.
Интеллектуальная собственность	1–3 шт.	4–7 шт.	8–...шт.
Рабочие места	1–7 шт.	8–15 шт.	16–... шт.
ЦТТ			
Фонды	1–2 шт.	3–5 шт.	6–...шт.
Бизнес	1–3 шт.	4–7 шт.	8–...шт.
Вузы	1 шт.	2–3 шт.	4–...шт.
Технологии	1 шт.	2 шт.	3–...шт.
Числовые значения	0.3	0.6	0.9



Рис. 4. Оценка элемента «Инновационная инфраструктура»

Учитывая гибкость прикладной программы MATLAB, проведена оценка участников инновационной инфраструктуры, результаты которой легли в основу итоговой оценки одного из элементов кластера.

Результат проведенного исследования может быть не только использован с точки зрения оценки, но также применим с целью минимизации неопределенности и обеспечения научно-практического подхода к прогнозированию.

Список литературы

1. Ашихмин В.Н., Гитман М.Б., Келлер И.Э. и др. Введение в математическое моделирование. М.: Логос, 2015. 440 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. 320 с.
3. Hritonenko N., Yatsenko Y. Mathematical modeling in economics, ecology and the environment. Springer, 2014. 305 p.
4. Поляков С.В., Кисляков А.Н. Основы математического моделирования социально-экономических процессов. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 269 с.
5. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. № 8. P. 338–353.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

7. Перат А. Нечеткое моделирование и управление: Пер. с англ. 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория-знаний, 2013. 798 с.
8. Mamdani E., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // *Int. J. Man Mach. Stud.* 1975. 7. P. 1–13.
9. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* 1985. Vol. 15. P. 116–132.
10. Tsukamoto Y. An approach to fuzzy reasoning method // In: *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications.* Elsevier, 1979. P. 137–149.
11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. 288 с.
12. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // *IEEE Trans. Systems & Cybernetics.* 1993. Vol. 23. P. 655–658.
13. Аксянова А.В., Валеева А.Н., Валеева Д.Н., Гумеров А.М. Математическое моделирование экономических процессов. Казань: КНИТУ, 2016. 92 с.
14. Соловьев Д.Б., Кузора С.С., Меркушева А.Е. Использование алгоритмов нечеткого вывода для предварительной оценки участников при кластерном подходе // *Инновации.* 2018. № 5. С. 77–81.
15. Российская кластерная обсерватория. URL: <http://cluster.hse.ru> (дата обращения: 22.08.2018).
16. Геоинформационная система (индустриальные парки, технопарки, кластеры). URL: <https://www.gisip.ru> (дата обращения: 22.08.2018).

FUZZY MODELING OF CLUSTER ELEMENT ASSESSMENT

D.B. Solovyev^{1,2}, S.S. Kuzora²

¹Far Eastern Federal University,

²Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy

The article continues the study of fuzzy modeling of economic processes. The authors note the role of the theory of fuzzy sets in theoretical and practical application to a wide range of tasks, where the use of applied programs is an effective tool. Using the example of an economic entity, a cluster, we consider a method for evaluating one of the cluster elements using fuzzy modeling. The practical part of the work is aimed at producing fuzzy logic inference algorithms using MATLAB. Such algorithms make it possible to approach the most accurate result in evaluating the participants of the innovation structure. The obtained result allowed us to overcome some inaccuracy of previous studies and to give the final assessment of the cluster element. It is concluded that fuzzy modeling, based on the theory of fuzzy sets, can be a very effective tool in the context of economic activity.

Keywords: mathematical modeling, fuzzy modeling, theory of fuzzy sets, fuzzy logic, assessment of economic activity.