

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ

Получено: 01.10.2018; одобрено: 12.10.2018; опубликовано: 26.11.2018

УДК 519.866 JEL C65 DOI 10.26425/2658-3445-2018-1-52-59

Костикова Анастасия Владимировна

Канд. экон. наук, доцент кафедры информационных систем в экономике, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия

e-mail: Anastasia.ise@yandex.ru

Скитер Наталья Николаевна

Д-р экон. наук, заведующий кафедрой информационных систем в экономике, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия

e-mail: skuter@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Статья является продолжением цикла работ авторов по теме динамических нечетких множеств, основное назначение которых состоит в обработке разнородной информации об объектах сложных систем, представляемых динамическими нечеткими описаниями. Выделены факторы, влияющие на изменение нечеткого множества во времени и представляющей его функции принадлежности, среди которых изменение диапазона включаемых значений переменных в нечеткое множество, в результате чего «старому» значению переменной присваивается «новое» значение степени принадлежности; трансформация типа функции принадлежности. Рассмотрен алгоритм принятия решений на основе метода нечеткого логического вывода для оценки объектов, изменяющихся во времени. Определены понятия динамической принадлежности, динамических правил, динамической базы правил. Предлагается дополнить процесс нечеткого вывода этапом формирования динамической базы правил, которая способна обновляться при изменении поведения исследуемого динамического объекта, при этом допускается как добавление и удаление правил целиком, так и изменение какой-либо части правила. Определены условия, на основании которых наблюдается изменение нечетких правил. Описывается процесс формирования лингвистической переменной при построении интервальных оценок динамических объектов, который состоит из шести этапов и включает представление и упорядочивание известных эксперту опорных точек; поиск недостающих значений методами интерполяции и аппроксимации; определение количества термов лингвистической переменной и их границ и формирование динамического терм-множества значений показателей. Аналогично тому, как динамическая функция принадлежности представляет собой нечеткую поверхность в пространстве «степень принадлежности – параметр – время», лингвистическая переменная, составленная из динамических термов, графически ломанную поверхность с n вершинами, исходя из числа термов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Динамические нечеткие множества, лингвистическая переменная, сложная система, экспертные оценки, динамическая база правил, нечеткий логический вывод.



INSTRUMENTAL AND MATHEMATICAL METHODS IN MANAGEMENT PROCESSES

FORMATION OF A DYNAMIC KNOWLEDGE BASE OF FUZZY INFERENCE SYSTEMS FOR ESTIMATING CHANGING IN TIME OBJECTS

received: 01.10.2018; approved: 12.10.2018; published: 26.11.2018

JEL CLASSIFICATION C65 DOI 10.26425/2658-3445-2018-1-52-59

Kostikova Anastasiya

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department Information Systems in Economics, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

e-mail: Anastasia.ise@yandex.ru

Skiter Nataliya

Doctor of Economic Sciences, Head of the Department Information Systems in Economics, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

e-mail: ckumep@mail.ru

ABSTRACT

The article is a continuation of a series of author's papers of dynamic fuzzy sets, which the main purpose is to process various information about the objects of complex systems represented by dynamic fuzzy descriptions. The factors that influence the change of fuzzy set in time and its membership function, for example, the change of the range of included values of variables in the fuzzy set leads to set for the "old" value of the variable a "new" value of the membership function; transformation of the type of membership function are allocated. The decision-making algorithm based on the fuzzy inference method for estimating objects changing in time is considered. The concept of dynamic membership, dynamic rules and dynamic rule base are determined. We propose to add the process of fuzzy inference with the stage of forming a dynamic rule base, which is able to be updated when the behavior of the dynamic object under study changes, meanwhile, to add and remove rules as a whole, and to change any part of the rule is allowed. The conditions, on the basis of which, occurs a change in fuzzy rules are determined. The process of formation of a linguistic variable in the construction of interval estimates of dynamic objects, which consists of six stages and includes the representation and ordering of known expert control points; search for missing values by interpolation and approximation; determining the number of terms of the linguistic variable and their boundaries and the formation of dynamic term-set of values of indicators is considered. In the same way as the dynamic membership function constitutes a fuzzy surface in "the degree of membership-parameter-time space", a linguistic variable composed of dynamic terms, represents a graphically broken surface with n – vertices according to the number of terms.

KEYWORDS

Dynamic fuzzy sets, linguistic variable, complex system, expert assessment, dynamic rule base, fuzzy logical inference.

CITATION

Kostikova A.V., Skiter N.N. (2018). Formation of a dynamic knowledge base of fuzzy inference systems for estimating changing in time objects. *E-Management*, vol. 1, № 1, pp. 52–59. DOI: 10.26425/2658-3445-2018-1-52-59



Целью статьи является решение проблемы поиска оптимального математического инструмента интеграции разнородных характеристик, описывающих поведение сложных динамических систем. При этом, под разнородными характеристиками понимается множество статистических показателей, поддающихся неизощренным числовым расчетам и совокупность субъективных показателей, задаваемых на естественном языке, измеряемых с помощью экспертных методов. Кроме того, если речь идет о динамической среде, исследуемые показатели из обеих групп изменяются во времени.

В своих более ранних работах авторы [Костикова, 2014; Костикова и др., 2016] предложили и апробировали на практических примерах концепцию динамических нечетких множеств, значения которых изменяются под воздействием субъективных и объективных факторов во времени.

Понятие динамического нечеткого множества $\tilde{A}_t$ не противоречит исходному определению нечеткого множества, данного Л. Заде [1976], а напротив, дополняет его путем добавления параметра времени:

$$\tilde{A}_t = \{x_t, \mu_{\tilde{A}}(x, t)\}, x \in X, t \in T, \quad (1)$$

где x – элемент множества X ; $\mu_{\tilde{A}}(x, t)$ – степень принадлежности элемента x множеству X ; X – базовое множество; t – точка времени; T – временной отрезок.

Среди основных факторов, влияющих на изменение поведение динамического объекта, и, следовательно, изменение нечеткого множества и представляющей его функции принадлежности выделены следующие.

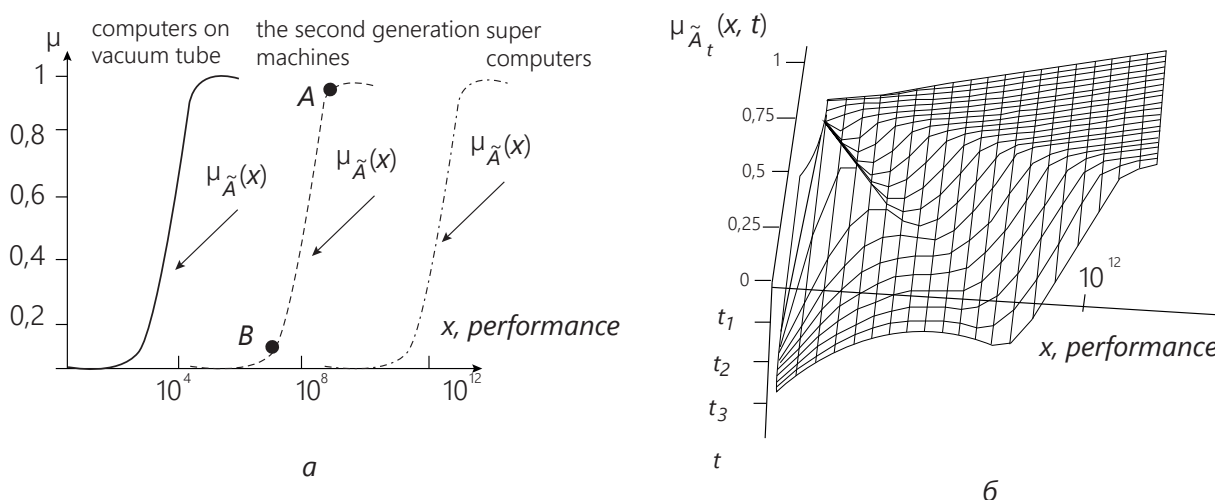
1. На некотором периоде времени изменяется диапазон включаемых в нечеткое множество значений исследуемого параметра экономической системы. Авторы не дают указания на отмеренный интервал времени, так как он может быть различным: краткосрочным, среднесрочным или долгосрочным. Кроме того, изменения нечеткого множества могут и не происходить вовсе. Все зависит от особенностей поведения конкретного объекта во внешней среде.

2. Второй фактор напрямую связан с понятием «динамическая принадлежность», суть которого заключается в невозможности сохранить исходное значение степени принадлежности нечеткому множеству при изменении самого нечеткого множества (см. п. 1). На плоскости данный факт может быть представлен движением функции принадлежности по оси абсцисс, что сопровождается смещением ядра нечеткого множества. Естественно, что предыдущему значению центра ядра будет соответствовать новое значение степени принадлежности нечеткому множеству.

3. В динамической среде может происходить изменение вида функции принадлежности. Элементы нечеткого множества, изменяясь во времени, приводят к трансформации исходного нечеткого множества. Под воздействием внешних факторов динамические нечеткие множества могут, как вбирать в себя новые элементы, так и исключать прежние; подвергаться новым законам поведения, что отразится на форме графика функции принадлежности. Подробно типология динамических функций принадлежности рассмотрена в [Костикова, Терелянский, 2014].

На рисунке 1 приведен пример, наглядно поясняющий суть понятия динамического нечеткого множества. Представлена функция принадлежности нечеткому множеству «Высокая скорость обработки данных» за три периода времени. В зависимости от развития технического прогресса и быстрогодействия компьютеров изменялись оценки экспертов относительно удовлетворенности скоростью обработки данных (рис. 1 а). Динамическая функция принадлежности представляет собой нечеткую поверхность в пространстве «степень принадлежности-параметр-время» (рис. 1 б).

Системы нечеткого логического вывода зарекомендовали себя как отличный инструмент преобразования значений совокупности качественных и количественных показателей, характеризующих состояние системы в каждый момент времени в единую интегральную оценку посредством нечетких правил продукций. Реализация процесса нечеткого вывода осуществляется посредством формирования нечеткого заключения на базе посылок и условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний [Skiter et al, 2017].



а – функция принадлежности нечеткому множеству «Высокая скорость обработки данных» за три периода времени; б – динамическая функция принадлежности нечеткому множеству «Высокая скорость обработки данных», объединившая три периода времени; по оси x (performance) – параметр быстродействия компьютеров, их производительность; по оси t – параметр времени; computers on vacuum tube – первое поколение компьютеров, работающих на электронных лампах (1940–1958 гг.); the second generation machines – второе поколение компьютеров (транзисторные компьютеры, 1954–1962 гг.); super computers – суперкомпьютеры (с сер. 1960-х гг.)

Источник: [Kostikova et al, 2016]

Рис. 1. Визуализация трансформации функции принадлежности во времени

Пусть для оценки поведения системы имеется набор критериев $F_1, F_2, \dots, F_n$, заданных лингвистическими переменными на базовых множествах $X_1, X_2, \dots, X_n$ соответственно. Лицо, принимающее решение (далее – ЛПР) формулирует свои представления об оптимальном поведении системы в виде правил, antecedentes которых содержат комбинации критериев с соответствующими лингвистическими значениями, соединенные связками «И». Заключение правил отражают представления ЛПР о степени удовлетворительности решения, для чего используется лингвистическая переменная S «Удовлетворительность» на единичном интервале $[0, 1]$. Например, при оценке автомобиля может быть использовано правило: «ЕСЛИ «Стоимость=Приемлемая» И «Коробка передач=Удобная» И «Автомобиль=Надежный», ТО « S =Высокая»

В общем случае правило d_i имеет вид: d_i : «ЕСЛИ $F_1=T_{1i}$ И $F_2=T_{2i}$ И ... $F_n=T_{ni}$, ТО $S=B_i$ ».

В общем случае процесс нечеткого вывода реализуется в виде нескольких последовательно выполняющихся шагов. В качестве входных параметров в каждом последующем блоке используются значения, полученные на предыдущем этапе.

1. Создание базы правил системы нечеткого вывода. Нечеткие продукционные правила представляются в виде словосочетания: ЕСЛИ «Антецедент», ТО «Консеквент». Обязательным условием является согласованность мнений экспертов при формировании правил и их упорядоченность.

2. Фаззификация входных переменных. На этом этапе для каждой входной переменной вводится соответствующая нечеткая переменная, описываемая посредством функции принадлежности. Исходным числовым значениям показателей ставится в соответствие значение характеристической функции. На этом же этапе формируются термы лингвистических переменных.

3. Агрегирование подусловий конечного множества правил нечеткой продукции.

Процедура, в результате которой устанавливается степень истинности каждого правила из всего конечного множества базы правил. Входными переменными для этого этапа служат значения функций принадлежности термов лингвистических переменных, полученные в п. 2.

При этом, каждое из условий правил системы нечеткого вывода рассматривается отдельно. Нечеткое высказывание может содержать в себе единственное условие: ЕСЛИ «Условие 1», ТО «Заключение 1» и степень его истинности равна соответствующему значению t_i из множества значений истинности всех подусловий нечетких высказываний T_n .

Если в условии содержится несколько компонентов, и они связаны логическими «И», «ИЛИ», необходимо применить формулу логической конъюнкции или дизъюнкции, соответственно.

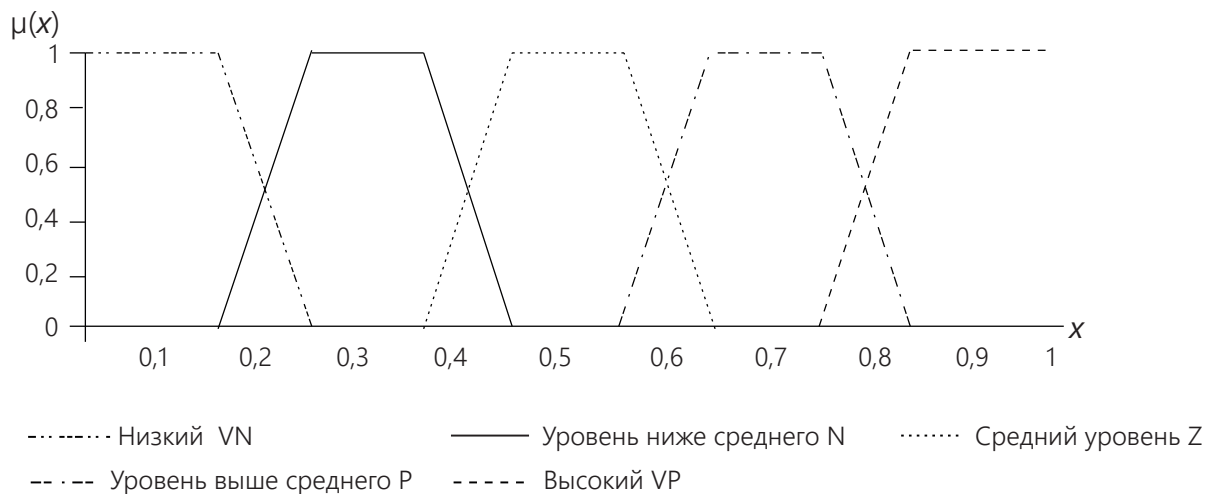
4. Активизация. Представляет собой процедуру определения степени истинности каждого из подзаключений нечетких продукционных правил. Далее, полученным степеням истинности присваивается соответствующая функция принадлежности.

5. Аккумуляция – процесс нахождения функции принадлежности для выходной лингвистической переменной S . Так как для одной и той же выходной переменной могут быть сформулированы различные правила и, соответственно, получены различные заключения со своими степенями истинности, то их необходимо сопоставить и объединить.

6. Дефаззификация – процедура, обратная фаззификации, осуществляет приведение полученных результатов аккумуляции выходной лингвистической переменной к ее нечеткому (числовому) значению.

Понятие лингвистической переменной используют в математическом моделировании в большинстве случаев при необходимости построения интервальных характеристик объекта. Например, при оценке скорости обработки данных вычислительными машинами за несколько лет используют лингвистическую переменную T «Уровень показателя F_{ii} », терм-множество которой объединено пятью термами: {«Низкий N »; «Ниже среднего IN »; «Средний Z »; «Выше среднего P »; «Высокий VP »}.

Графическое отображение термов лингвистической переменной представлено на рисунке 2, форма функций принадлежности термов близка к трапецеидальной.



Источник: [Костикова, Терелянский, 2014]

Рис. 2. Графическое представление трапецевидных функций принадлежности

Точно так, как была доказана трансформация классического нечеткого множества в динамическое при включении в модель фактора времени, можно говорить о том, что лингвистическая переменная, множество значений которой составляют динамические нечеткие множества, также приобретает свойство изменчивости во времени. Во времени может изменяться степень соответствия свойств наблюдаемого объекта выбранному качественному или количественному параметру, определенному на лингвистическом языке. Это, в свою очередь, приведет к изменению всего терм-множества значений лингвистической переменной.

Если предположение о динамичности лингвистической переменной справедливо, то на протяжении определенного отрезка времени могут измениться значения лингвистической переменной S «Удовлетворительность» при неизменном количестве и значениях критериев.

В таком случае процесс нечеткого вывода с учетом фактора времени предполагает усложнение структуры базы правил и алгоритма проведения фаззификации.

Например, при оценке автомобиля предпочтения эксперта N в период времени t_0 описывались следующим правилом:

«ЕСЛИ «Стоимость=Приемлемая» И «Коробка передач=Удобная» И «Автомобиль=Надежный», И «Тип кузова=Седан» ТО « S =Высокая».

В момент времени t_1 определяющим фактором при выборе транспортного средства для того же эксперта N стал «тип кузова=универсал», по причине производственной необходимости. Тогда, исходное правило приняло вид:

«ЕСЛИ «Стоимость=Приемлемая» И «Коробка передач=Удобная» И «Автомобиль=Надежный», И «Тип кузова=Седан» ТО « S =Низкая».

Кроме того, в базу правил необходимо добавить следующее правило:

«ЕСЛИ «Стоимость=Приемлемая» И «Коробка передач=Удобная» И «Автомобиль=Надежный», И «Тип кузова=Универсал» ТО « S =Высокая».

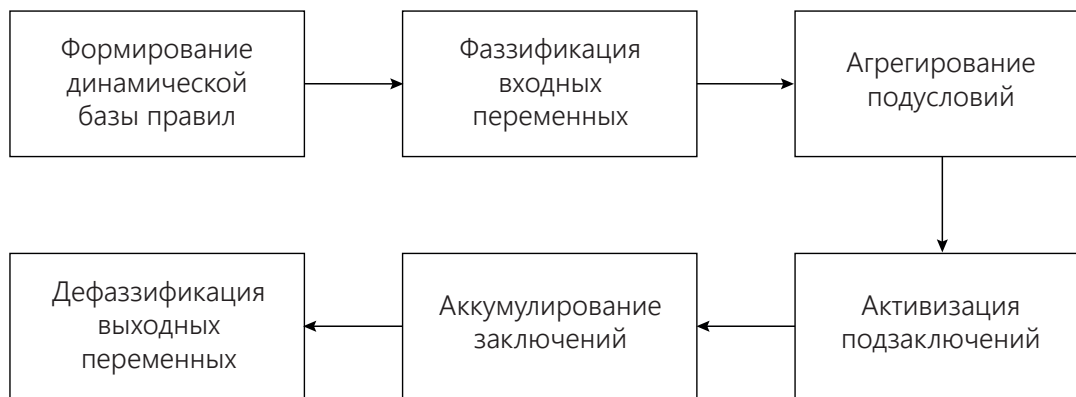
В процесс нечеткого вывода включается динамическая база правил, способная обновляться при изменении поведения исследуемого динамического объекта, при этом допускается как добавление и удаление правил целиком, так и изменение какой-либо части правила.

Возникновение динамических правил происходит при наступлении следующих условий:

- 1) при неизменном количестве и значениях критериев оценки F_n изменяется значение результирующей лингвистической переменной S ;
- 2) значение результирующей лингвистической переменной $S = \text{const}$ при корректировке значения одного из критериев оценки F_n .

Стоит отметить, что во втором пункте подчеркивается и допускается изменение значения лишь одного из критериев. Авторы полагают, что при изменении значений нескольких критериев произойдет кардинальная перестройка правил, что, в свою очередь, приведет к заикливанию базы правил на обновление и принятие решений станет невозможным. В случае возникновения подобной ситуации требуется пересмотреть набор самих критериев с целью включения дополнительных или исключения спорных, а также привлечения новых экспертов.

Процесс нечеткого вывода с учетом формирования динамической базы правил приведен на рисунке 3.



Источник: составлено авторами по материалам исследования [Zadeh, 1973]

Рис. 3. Процесс нечеткого вывода с учетом формирования динамической базы правил

Формализованный алгоритм моделирования лингвистической переменной, описывающий динамический объект представляется последовательностью этапов:

- 1) представление экспертом известных опорных точек на всем горизонте построения модели;
- 2) упорядочивание известных эксперту опорных точек и формирование массивов экспериментальных данных;
- 3) недостающие значения определяются при помощи методов интерполяции и аппроксимации;
- 4) определение количества термов лингвистической переменной и их границ;
- 5) синтез экспертных знаний (п. 2, п. 4) и определенных на этапе 3 полученных данных для представления графического отображения отдельных термов значений нечеткого множества;
- 6) формирование динамического терм-множества значений показателей.

Следует отметить, что в силу высокой неопределенности поведения системы, при поиске неизвестных значений нет необходимости дополнительно усложнять модель, а целесообразно использовать самые простые методы интерполяции и аппроксимации, например, кусочно-линейную интерполяцию или интерполяцию сплайнами.

Если представить графически динамическую лингвистическую переменную, то мы получим ломанную поверхность с пятью вершинами. Преобразование графика из плоского рисунка в поверхность достигается за счет интеграции множества последовательных перемещений единичных функций принадлежности во времени.

Для упрощения процесса экспертного оценивания динамических объектов и принятия решений параллельно с формулированием математического инструментария динамического нечеткого моделирования, разработаны программные средства, зарегистрированные в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин.

При визуальном анализе полученной динамической модели терм-множества лингвистической переменной могут возникнуть трудности восприятия в силу достаточно объемной картинке. Поэтому предлагается дополнительно представлять каждую входную переменную и ее динамическое лингвистическое описание в табличной форме (см. табл.). Процесс разбиения значений входных переменных по термам аналогичен выделению кластеров [Skiter et al, 2017].

Таблица. Классификация значений показателей по термам

Период времени	Критерий разбиения по термам лингвистической переменной значений входной переменной « i »				
	N	VN	Z	P	VP
t_1	$x_1 < b_{11}$	$b_{11} < x_1 < b_{12}$	$b_{12} < x_1 < b_{13}$	$b_{13} < x_1 < b_{14}$	$b_{14} < x_1$
t_2	$x_2 < b_{21}$	$b_{21} < x_i < b_{22}$	$b_{22} < x_i < b_{23}$	$b_{23} < x_i < b_{24}$	$b_{24} < x_i$
...	...	...	...	...	...
t_N	$x_N < b_{N1}$	$b_{N1} < x_N < b_{N2}$	$b_{N2} < x_N < b_{N3}$	$b_{N3} < x_N < b_{N4}$	$b_{N4} < x_N$

Источник: составлено авторами, по материалам исследования: [Костикова, Терелянский, 2014]

Таким образом, в процессе проведенного исследования обогащен теоретический аппарат концепции динамических нечетких множеств, а также расширены границы применения систем нечеткого логического вывода для исследования динамических объектов. Результаты экспериментальных вычислений найдут свое отражение в последующих работах авторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Заде Л.А. (1976). Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир.
- Костикова А.В., Терелянский П.В. (2014). Динамическое нечеткое моделирование социально-экономических процессов общественной жизни: на примере качества жизни населения: монография / ВолгГТУ, Волгоград.
- Терелянский П.В. (2009). Непараметрическая экспертиза объектов сложной структуры: Монография / Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко».
- Kostikova A.V. [и др]. (2016). Expert fuzzy modeling of dynamic properties of complex systems / A.V. Kostikova, P.V. Tereliensky, A.V. Shuvaev and P.N. Timoshenko // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 11. No. 17. P. 10 222–10 230.
- Skiter N.N. [и др]. (2017). Modeling of cluster processes in the sphere of manufacture of eco-products: issues of ecological and food security of Russia / N.N. Skiter, G.I. Sidunova, Y.A. Kozenko // Contributions to Economics. No. 9783319454610. P. 469–479.

REFERENCES

Kostikova A.V. & Tereliansky P.V. (2014), *Dynamic fuzzy modeling socio-economic processes of social life: the example of the quality of life* [Dinamicheskoye nechetkoye modelirovaniye sotsialno-ekonomicheskikh protsessov obshchestvennoy zhizni: na primere kachestva zhizni naseleniya], Volgograd:VSTU.

Kostikova A.V. Tereliansky P.V., Shuvaev A.V. and Timoshenko P.N. (2016), “Expert fuzzy modeling of dynamic properties of complex systems”, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 17, pp. 10 222–10 230.

Skiter N.N., Sidunova G.I. and Kozenko Y.A. (2017), Modeling of cluster processes in the sphere of manufacture of eco-products: issues of ecological and food security of Russia, *Contributions to Economics*, no. 9783319454610, pp. 469–479.

Tereliansky P.V. (2009), *Non-parametric examination of objects with a complex structure* [Neparametricheskaya ehkspertiza ob"ektov slozhnoj struktury: monografiya], Izdatel'sko-torgovaya korporaciya “Dashkov i Ko”, Moscow.

Zadeh L.A. (1976), *The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning* [Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy], M.: Mir.