

УДК 338.516:004.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЦЕНЫ НА ТОВАР С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Н.Ю. Мутовкина, А.Н. Бородулин

Тверской государственной технической университет, г. Тверь

© Мутовкина Н.Ю., Бородулин А.Н., 2023

DOI: 10.46573/2409-1391-2023-3-91-99

Аннотация. Рассмотрена адаптивная система нейро-нечеткого вывода, позволяющая определить справедливую цену на товар с улучшенными потребительскими свойствами в условиях монополистической конкуренции. Указаны входные переменные системы (ключевые потребительские характеристики продукции, от которых зависит цена реализации – выходная переменная). В качестве исходной статистической выборки приняты данные о свойствах подобной продукции и ценах, установленных на нее производителями. В качестве инструментального средства для создания соответствующей модели такой нейро-нечеткой системы рассмотрена и использована подсистема ANFIS среды моделирования MATLAB. В процессе моделирования определены основные характеристики, влияющие на отпускную цену товара, приведена формализованная постановка задачи. Разработана и описана архитектура соответствующей системы нечеткого вывода в виде нейро-нечеткой сети ANFIS, которая реализует систему нечеткого вывода типа Sugeno. Подробно представлена последовательность разработки и компьютерной реализации модели. Приведен пример практических вычислений по разработанной модели, проанализированы основные результаты.

Ключевые слова: ценообразование, гибридные нейронные сети, экспертные оценки, функции принадлежности, редактор ANFIS, нечеткий вывод.

ВВЕДЕНИЕ

Правильное определение цены реализации готовой продукции есть один из важнейших факторов получения хозяйствующим субъектом запланированной прибыли. Задача менеджмента компании в этом случае состоит в установлении цены, одинаково приемлемой как для нее самой, так и для потенциального потребителя. При этом нередко возникают трудности с так называемым ценовым коридором, а именно с установлением его нижней и верхней границ [1]. При низкой цене продукции условия рентабельности могут не выполняться в силу малого дохода из-за низкой стоимости, а при высокой – из-за малого объема реализации. Ценовой коридор обычно определяется по параметрам цен однотипной продукции ближайших компаний-конкурентов (в зависимости от этих параметров), что диктуется стратегией ценовой политики компании на рынке в условиях конкуренции. В то же время должно выполняться условие безубыточности производства: цена реализации готовой продукции должна

покрывать затраты на ее изготовление, продвижение на рынок и доведение до конечного потребителя. Все это обуславливает актуальность разработки системы, позволяющей быстро и с достаточной точностью установить цену на продукцию, выпускаемую компаниями-конкурентами, но имеющую некоторые отличия. Ценовое значение, выдаваемое системой, подвергается экспертной оценке. Эксперт или экспертная группа выясняют, насколько предложенная цена соответствует реалиям рынка и на какую величину ее можно изменить с учетом новых свойств товара. При этом лучше рассматривать вариант, что компания может получить большую прибыль с товарооборота, а не благодаря завышению цен. Отметим, что выбор ценовой стратегии также во многом зависит от особенностей продукции, ее качества, фактической ценности и т. п.

Вопросы ценообразования затронуты в работах многих экономистов и достаточно хорошо разобраны. Известны две группы методов ценообразования: затратные и параметрические. Первые основаны преимущественно на учете издержек производства и реализации продукции, вторые предполагают учет технико-экономических параметров товаров [2]. При этом главной задачей аналитического инструментария, используемого для установления цен на товар, который обладает инновационными свойствами, является увязка в одной модели количественных (ценовых) и качественных (функциональных) показателей. В некотором смысле подобные механизмы реализуются инструментами функционально-стоимостного анализа [3]. Но этот анализ можно осуществлять лишь при наличии полной и достоверной информации, содержащейся внутри фирмы (в частности, данных о затратах, спросе на товар, интенсивности его потребления и т. д.). Когда же разрабатывается инновационный товар или производится модификация уже известного продукта, такую точную информацию получить, как правило, не удастся. Описываемая в настоящей статье система призвана решить эту проблему.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика расчета окончательной цены в общем виде представлена на рис. 1.

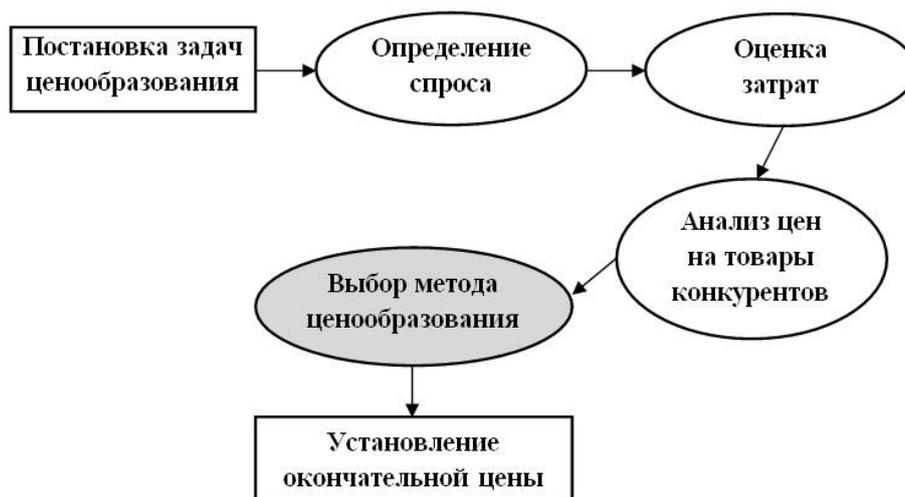


Рис. 1. Методика определения цены реализации товара

Предпоследний этап методики есть предмет настоящего исследования.

В классической теории ценообразования [4, с. 371] приняты три основных принципа установления цены реализации товара. Минимальная цена (нижняя граница

ценового коридора) принимается равной себестоимости товара, максимальная цена (верхняя граница этого коридора) определяется наличием в товаре каких-либо уникальных качеств и свойств; на основании выборки цен товаров компаний-конкурентов и товаров-заменителей может быть найдена средняя цена. Базовое качество самой рыночной цены – ее способность постоянно меняться, поскольку цена собирает воедино спрос и предложение, которые постоянно колеблются. Именно в силу этого многие современные организации при формировании ценовой политики придерживаются стратегии гибких цен.

Цена никогда не изменяется необоснованно. Так, например, устаревшие товары или товары с дефектами реализуются по сниженным ценам. Как правило, большая цена соответствует высокому качеству товаров, наделенных новыми потребительскими свойствами. При определении цены товара или услуги учитываются следующие факторы: получаемая благодаря цене прибыль, производственные затраты предприятия, соотношение спроса и предложения. Одновременно эти же факторы оказывают регулирующее воздействие и на ценообразование, действуя по объективно существующим законам стоимости, спроса и предложения, выравнивания прибыли [5].

В нашей статье рассматривается случай, когда информации о влиянии перечисленных факторов нет, есть только данные о производственных затратах. Соответственно, предлагается подход к установлению розничной цены на основе изучения выборки цен на похожие товары и основных свойств этих товаров. Поскольку зависимости изменения цены товара от его свойств неизвестны, для построения модели ценообразования используется гибридная сеть.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме адаптивной системы нейро-нечеткого вывода ANFIS [6]. С одной стороны, гибридная сеть ANFIS представляет собой нейронную сеть с единственным выходом и несколькими входами. Термы лингвистических переменных описываются стандартными для MATLAB функциями принадлежности. С другой стороны, ANFIS является системой нечеткого вывода FIS типа Sugeno нулевого или первого порядка [7]. Каждое из правил нечеткой продукции в этой системе имеет постоянный вес, равный единице [8].

Программное обеспечение Fuzzy Logic Toolbox обеспечивает функцию командной строки `anfisedit` и интерактивное приложение `Neuro-Fuzzy Designer` для обучения ANFIS. Создание сети может быть осуществлено или с помощью разделения сетки (Grid partition) или отнимающей кластеризации (Sub-clustering). Однако разделение сетки может произвести множество правил, если количество входных переменных достигает четырех и больше. Чтобы уменьшить число правил, целесообразно использовать метод субкластеризации [9].

Для обучения системы ANFIS в программном обеспечении Fuzzy Logic Toolbox применяются два метода: алгоритм обратного распространения и гибридный метод. Первый обеспечивает обратную связь для всех параметров. Его основная идея заключается в том, что изменение весов синапсов происходит с учетом локального градиента функции ошибки. Он применяется, когда известны правильные ответы к каждому входному примеру, а веса подстраиваются для минимизации ошибки. Разница между реальными и правильными ответами нейронной сети, определяемыми на выходном слое, распространяется в обратном направлении, т. е. навстречу потоку сигналов. В итоге каждый нейрон способен установить вклад каждого своего веса в суммарную ошибку сети [10]. Гибридный метод состоит из обратной связи для параметров, сопоставленных с входными функциями принадлежности, и включает

оценку с помощью метода наименьших квадратов параметров, сопоставленных с выходными функциями принадлежности [11].

Во время обучения приложение Neuro-Fuzzy Designer определяет ошибку обучения в течение каждой эпохи. Для тестирования обученной нечеткой системы можно использовать дополнительный набор тестовых данных, которые еще не применялись для обучения или валидации. Чтобы оценить обученную систему для любого загруженного набора данных, в разделе TestFIS выбирается набор данных и нажимается кнопка Test Now. Нулевое значение в поле Error Tolerance указывает, что обучение остановится, когда будет достигнуто количество циклов обучения. Приложение обучает FIS и строит график учебных ошибок (как *) и ошибок проверки в течение каждой учебной эпохи. До определенного момента наблюдается уменьшение ошибки обучения, затем она начинает увеличиваться. Это происходит в точке, в которой обучение начинает «сверхсоответствовать» обучающим данным. В этой точке обучение заканчивается [12].

Таким образом, в системе MATLAB имеются широкие возможности для редактирования и настройки гибридных сетей ANFIS аналогично системам нечеткого вывода. Редактор ANFIS позволяет создавать или загружать конкретную модель, выполнять ее обучение, визуализировать ее структуру, изменять и настраивать ее параметры, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода [13].

Для исследования построенной модели гибридной сети можно воспользоваться программой просмотра правил. Для получения интересующего значения выходной переменной необходимо задать конкретные значения входных переменных аналогично общим рекомендациям систем нечеткого вывода. Незначительное время, необходимое для создания гибридной сети, доступность, возможности модификации сети – главные факторы, определившие выбор среды для моделирования.

Исходные данные, составившие обучающую выборку, представляют собой экспертные оценки степеней влияния четырех основных характеристик некоторого товара на его цену. Например, в работе [14] к таким характеристикам относятся экран, размер, звук и батарея, что важно при выборе планшета или любого другого видеоустройства. В выборку вошли 400 наблюдений за ценами на товары с похожими характеристиками на рынке розничной торговли. Цены фиксировались в различных точках продаж в пределах одного территориального образования. Фрагмент обучающей выборки показан ниже:

x_1	x_2	x_3	x_4	P
0.58	0.44	0.05	0.25	9 697
0.85	0.08	0.86	0.28	10 967
0.69	0.74	0.87	0.04	11 885
0.58	0.93	0.94	0.64	13 024
0.07	0.08	1	0.48	11 836
0.55	0.13	0.73	0.98	11 865
0.02	0.48	0.81	0.97	11 777
0.17	0.06	0.59	0.42	8 800

Файл V_1.dat, содержащий исходные данные, был загружен в Neuro-Fuzzy Designer. Для генерации гибридной сети использовалась субкластеризация с параметрами, установленными по умолчанию. Структура полученной системы нечеткого вывода FIS отображается в отдельном окне (рис. 2).

Под обучением нейронной сети понимается процесс настройки ее архитектуры (структуры связей между нейронами) и весов синаптических связей (влияющих на сигналы коэффициентов) для эффективного решения поставленной задачи [10; 15]. Перед обучением гибридной сети необходимо задать параметры обучения:

- 1) выбрать метод обучения;
- 2) установить уровень ошибки обучения (Error Tolerance). По умолчанию это значение равно нулю и менять его не рекомендуется;
- 3) задать количество циклов обучения (Epochs). По умолчанию это значение равно трем [16].

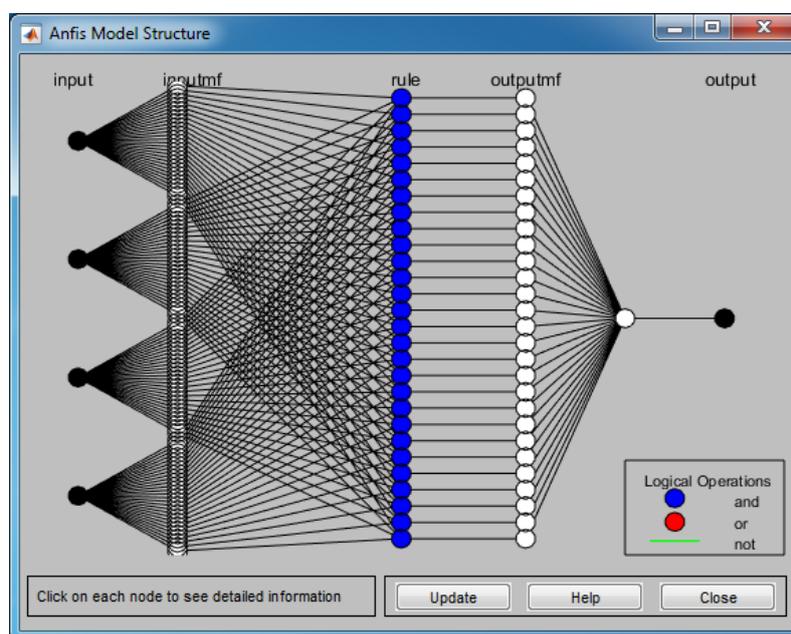


Рис. 2. Структура гибридной сети

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве метода обучения был выбран гибридный метод, поскольку при его применении возникает меньшая ошибка. Установлено 40 эпох. По окончании обучения ошибка была равна 388.84. Для сравнения: при использовании алгоритма обратного распространения ошибка составила 532.72.

Дальнейшая настройка параметров построенной и обученной гибридной сети может быть выполнена с помощью стандартных графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox. Для этого необходимо сохранить созданную систему нечеткого вывода во внешнем файле с расширением .fis, после чего следует загрузить этот файл в редактор систем нечеткого вывода FIS.

Тестирование построенной гибридной сети показало практически полное совпадение фактических и расчетных значений, имеют место лишь незначительные отклонения (рис. 3).

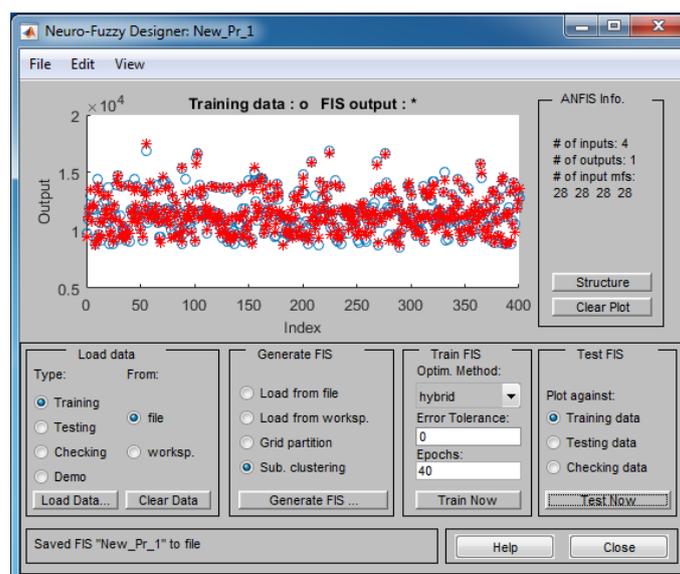


Рис. 3. Тестирование гибридной сети

Для исследования построенной модели гибридной сети можно воспользоваться программой просмотра правил. Для получения интересующего значения выходной переменной необходимо задать конкретные значения входных переменных аналогично общим рекомендациям систем нечеткого вывода. Например, при равенстве нулю всех входных переменных значение выходной переменной равно 7 170 ден. ед., что ниже себестоимости единицы данного вида товара на 830 ден. ед. (рис. 4).

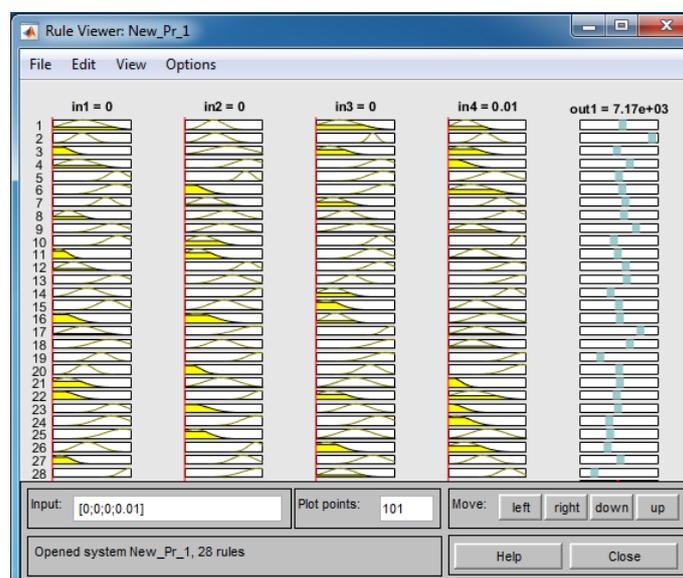


Рис. 4. Программа просмотра правил нечеткого вывода

При установлении для каждой входной переменной значения 0.5 цена товара составила 12 400 ден. ед., а при равенстве каждой переменной единице цена товара возросла до 18 500 ден. ед., что соответствует максимально возможной розничной цене данного товара. Дальнейшие эксперименты с моделью подтвердили ее состоятельность. Модель адекватно описывает рассматриваемый процесс определения справедливой цены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали результаты исследования, применение нейронных сетей для установления справедливой цены на продукт вполне обосновано, если цена находится в тесной корреляции со свойствами продукта. Была подтверждена гипотеза о том, что если цена на товар достаточно сильно зависит от его свойств, то ее можно определить посредством нейронной сети при наличии репрезентативной выборки действующих цен на товар, схожий с рассматриваемым по ценообразующему фактору.

Характеристики товара могут иметь как количественное, так и качественное выражение, поэтому было предложено выражать их в единой шкале $[0, 1]$ в качестве экспертных оценок уровня выраженности этих свойств в товарах-субститутах, на которые цены известны.

В процессе исследования установлено, что весьма эффективным методом решения поставленной задачи является применение гибридных нейронных сетей. В качестве программной среды для разработки и тестирования сети был выбран пакет MATLAB, а конкретнее, Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав пакета.

С одной стороны, гибридные сети позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил указанных продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким для анализа процессом.

Аппарат гибридных сетей представляется одним из наиболее перспективных для решения структурированных слабо задач прикладного системного анализа.

Тестирование построенной гибридной сети и расчетные эксперименты показали, что с ее помощью действительно можно быстро определить цену реализации товара, обладающего новыми характеристиками.

Продолжением данного исследования может стать проведение опросов среди потенциальных покупателей относительно их готовности приобрести товар по названной цене. При этом, конечно, необходимо ознакомить респондентов с характеристиками товара, его свойствами, формирующими понятия «качество товара» и «функционал товара». Обработка результатов опроса позволит скорректировать и установить окончательную цену товара перед выводом его на рынок.

Библиографический список

1. Учет неопределенности маркетинговых исследований при формировании цены продукции / С.А. Багрецов, Д.М. Петров, А.И. Хорев, А.В. Гаврилов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. № 4 (74). С. 393–402.
2. Скляренко В.К. Формирование цен на товары и услуги // Справочник экономиста. 2005. № 12. URL: https://www.profiz.ru/se/12_2005/formir_cen/ (дата обращения: 21.02.2023).
3. Ковалев А.П. Современные тенденции развития методологии стоимостного анализа // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 4 (35). С. 147–154.
4. Котлер Ф. Основы маркетинга. М.: Прогресс, 1991. 651 с.
5. Тарасевич В.М. Ценовая политика предприятия: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 320 с.
6. MathWorks. MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата обращения: 20.05.2023).
7. Polatgil Mesut. Investigation of the Effect of Normalization Methods on ANFIS Success: Forestfire and Diabets Datasets // International Journal of Information

- Technology and Computer Science (IJITCS). 2022. Vol. 14. No. 1. Pp. 1–8. URL: https://www.researchgate.net/publication/358262669_Investigation_of_the_Effect_of_Normalization_Methods_on_ANFIS_Success_Forestfire_and_Diabets_Datasets (дата обращения: 20.05.2023).
8. Тарасян В.С. Пакет Fuzzy Logic Toolbox for MatLab: учеб. пособие. Екатеринбург: УрГУПС, 2013. 112 с.
 9. Tripathy B.K., Agrawal Anmol, Reddy A. Jayaram. A Comparative Analysis of Firefly and Fuzzy-Firefly based Kernelized Hybrid C-Means Algorithms // International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2019. Vol. 11. No. 6. Pp. 49–68. URL: https://www.researchgate.net/publication/333651171_A_Comparative_Analysis_of_Firefly_and_Fuzzy-Firefly_based_Kernelized_Hybrid_C-Means_Algorithms (дата обращения: 20.05.2023).
 10. Федосин С.А., Ладяев Д.А., Марьина О.А. Анализ и сравнение методов обучения нейронных сетей // Вестник Мордовского университета. 2010. Т. 20. № 4. С. 79–88.
 11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 719 с.
 12. Ханевский А.А. Сравнение результатов моделирования нейро-нечеткой сети в MATLAB // Научный журнал. 2019. № 1 (35). С. 23–34.
 13. Аверкин А.Н. Гибридные модулярные нейронные сети // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2016. № 4. С. 8–11.
 14. Opinion based on Polarity and Clustering for Product Feature Extraction / Das Sanjoy, Singh Bharat, Kushwah Saroj, Johri Prashant // International Journal of Information Engineering and Electronic Business (IJIEEB). 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 36–43. URL: https://www.researchgate.net/publication/307888812_Opinion_based_on_Polarity_and_Clustering_for_Product_Feature_Extraction (дата обращения: 20.05.2023).
 15. Artificial Neural Network Training Criterion Formulation Using Error Continuous Domain / Hu Zhengbing, M. Ivashchenko, L. Lyushenko, D. Klyushnyk // International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS). 2021. Vol. 13. No. 3. Pp. 13–22. URL: <https://sciup.org/artificial-neural-network-training-criterion-formulation-using-error-continuous-15017701> (дата обращения: 20.05.2023).
 16. Arora Nidhi, Saini Jatinderkumar R. Estimation and Approximation Using Neuro-Fuzzy Systems // International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2016. Vol. 8. No. 6. Pp. 9–18.

DETERMINING THE OPTIMAL PRICE FOR A PRODUCT USING A NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM

N.Yu. Mutovkina, A.N. Borodulin
Tver State Technical University, Tver

***Abstract.** An adaptive system of neuro-fuzzy inference is considered, which allows determining a fair price for a product with improved consumer properties in conditions of monopolistic competition. The input variables of the system are indicated (the key consumer characteristics of the products on which the sales price depends – the output variable). As an initial statistical sample, data on the properties of such products and the prices set for them by manufacturers were taken. As a tool for creating an appropriate*

model of such a neuro-fuzzy system, the ANFIS subsystem of the MATLAB modeling environment is considered and used. In the process of modeling, the main characteristics affecting the selling price of the goods are determined, a formalized statement of the problem is given. The architecture of the corresponding fuzzy inference system in the form of the ANFIS neuro-fuzzy network, which implements a Sugeno-type fuzzy inference system, has been developed and described. The sequence of development and computer implementation of the model is presented in detail. An example of practical calculations based on the developed model is given, the main results are analyzed.

Keywords: pricing, hybrid neural networks, expert assessments, membership functions, ANFIS editor, fuzzy inference.

Об авторах:

МУТОВКИНА Наталия Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов, Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия; e-mail: letter-boxNM@yandex.ru

БОРОДУЛИН Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов, Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия; e-mail: bor74@mail.ru

About the authors:

MUTOVKINA Natalia Yurievna – candidate of technical sciences, associate professor of the department of accounting and finance, Tver State Technical University, Tver, Russia; e-mail: letter-boxNM@yandex.ru

BORODULIN Alexey Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor of the department of accounting and finance, Tver State Technical University, Tver, Russia; e-mail: bor74@mail.ru

УДК 336.115

ТЕОРИЯ Р.Н. ЭЛЛИОТТА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА РОССИЙСКОМ ФОНДОВОМ РЫНКЕ

Н.Ю. Мутовкина, М.С. Кольтяков

Тверской государственной технической университет, г. Тверь

© Мутовкина Н.Ю., Кольтяков М.С., 2023
DOI: 10.46573/2409-1391-2023-3-99-106

Аннотация. Рассмотрены актуальные проблемы прогнозирования стоимости ценных бумаг, сырьевых товаров и других биржевых продуктов. Отмечено, что задачам прогнозирования свойственна высокая степень неопределенности, но в арсенале современного экономиста имеется достаточное количество методов прогнозирования и анализа его результатов. Разобран выбор оптимального метода либо их комплексное применение с учетом необходимости получения как можно более точного прогноза. Указано, что требуются не только знания теории и опыта составления прогнозов, но и творческая компонента в характере исследователя, хорошо развитая интуиция. Сделан вывод, что часто выбор метода прогнозирования