

личением коэффициента диффузии, дополнительной циркуляции пробы крови микро- и макропотоками, что приводит к ускоренному распространению в объеме активирующих факторов. При воздействии УЗ время свертывания сокращается также за счет локального повышения температуры, которая является катализатором в системе свертывания крови.

УЗК может применяться в составе автоматизированных комплексов биохимической лабораторной диагностики для измерения протромбинового, тромбинового, активированного парциального тромбластинового времен и определения концентрации фибриногенов в крови.

Результаты моделирования так же могут быть использованы при разработке средств контроля медико-биологических параметров, медицинской техники, в частности, приборов оценки параметров гемостаза, а также при проведении биохимических анализов с применением УЗ. Ультразвуковой контроль параметров гемостаза, не

требующий подготовки препарата крови к исследованию, может использоваться в медицинских тестах.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Попечителей, Е.Ф. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии / Е.Ф. Попечителей. – М.: Высш. шк., 2003. – 279 с.
2. Mann, K.G. Biochemistry and physiology of blood coagulation // Thromb. Haemost. 1999. – V. 82. – No. 2. – P. 165–174.
3. Математическое моделирование пространственно-временной динамики свертывания крови / М.А. Пантелеев [и др.] // РАСО'2001. Труды Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления». – М., 2001. – С. 54–78.
4. Physical Principles of Medical Ultrasonics. 2nd Edition / Edit. by C.H. Hill, J.C. Bamber, C.R. ter Haar. – New York: Wiley, 2004.

Материал поступил в редакцию 01.03.12

#### KAMLACH P.V. Application of ultrasound for the laboratory diagnostics of parameters of hemostasis

The mathematical model of the influence of ultrasound on the parameters of hemostasis. Calculated parameters of blood in time, evaluated the influence of ultrasound on the parameters of hemostasis. Developed original experimental equipment for carrying out research, including the generator, oscilloscope, input and output acoustoelectronic converters, термостатируемое cuvette section, mechanical agitator. Developed methodology of evaluation of prothrombin time, activated partial тромбластинового time with the help of ultrasonic oscillations, based on standard methodologies. On the methods elaborated studies and comparative analysis with simulation results.

УДК: 004.032.26

Хуань Лю

### КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА КОММЕРЧЕСКИХ САЙТОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ СИСТЕМЫ С НЕЧЕТКИМ ВЫВОДОМ

**Введение.** В условиях бурного развития глобальных сетей широкую популярность получили коммерческие предприятия с электронным ведением бизнеса (так называемая "электронная коммерция", или Е-коммерция). Этот термин объединяет широкий спектр деятельности современных предприятий. Он включает в себя весь Интернет-процесс по разработке, маркетингу, продаже, доставке, обслуживанию, оплате товаров и услуг.

Ключевыми для компаний электронной коммерции являются проблемы понимания запросов покупателей и разработки инструментария по реализации обратной связи. Компании, сайты которых являются сложными для взаимодействия, как правило, плохо представлены в Интернете. Это существенно ослабляет позиции самой компании в целом. Поэтому очень важно, чтобы предприятия имели возможность оценивать качество своих коммерческих предложений и понимать, как воспринимают их клиенты в контексте данной отрасли [1].

Таким образом, важную роль для успешного функционирования компаний электронной коммерции играет проблема оценки их сайтов. Оценки являются своеобразным механизмом обратной связи, который позволяет совершенствовать стратегию и способы управления. Однако получение самих оценок является далеко не тривиальной задачей. Сайт является программным продуктом, который можно рассматривать как систему с достаточно сложной структурой и функциональностью. Его значимость как базового элемента электронной коммерции невозможно оценить с позиции лишь одного критерия. Поэтому проблема оценки сайтов относится к классу задач многокритериальной (векторной) оптимизации, в которой в качестве исходных данных, как правило, используется субъективная экспертная информация [2, 3].

В настоящее время известны два основных подхода для решения задачи оценки сайтов электронной коммерции: количественный, когда строится некоторая числовая оценка, и качественный, когда получаемая оценка описывается некоторым лингвистическим выра-

жением вида "насколько это хорошо (или плохо)". В силу слабой формализуемости задачи все алгоритмы, разработанные в рамках данных подходов, являются эвристическими. Они базируются на знаниях и опыте исследователя и представляют собой набор некоторым образом систематизированных шагов без учета взаимоотношения факторов, влияющих на окончательное решение [4, 5].

В работе предлагается комбинированный подход к решению проблемы оценивания качества сайтов электронной коммерции, в рамках которого эффективно используются экспертная информация и строгие математические методы. В качестве базового инструмента предлагается использовать возможности адаптивной нейронной системы с нечетким выводом, которая принадлежит к классу гибридных интеллектуальных систем. Построена модель адаптивной нейронной сети и на ее основе в программной среде Matlab реализована интеллектуальная система с нечетким выводом. Показано, что система является удобным средством и мощным инструментом для моделирования процессов по оценке сайтов, а используемые для вывода правила типа **Если-То** легко поддаются пониманию и интерпретации.

#### 1. Метод классификации на основе адаптивной нейронной сети с нечетким выводом.

Анализ существующей литературы [6–9] показывает, что адаптивные нейронные сети с нечетким выводом (АНЧНВ) обладают хорошими возможностями для обучения, прогнозирования и классификации. Архитектура таких сетей позволяет адаптивно, на основе числовых данных или экспертных знаний, создать базу знаний (в виде совокупности нечетких правил) для системы вывода.

АНЧНВ представляет собой многослойную однонаправленную нейронную сеть, для обучения которой используются нечеткие рассуждения. На рисунке 1 представлена типовая архитектура АНЧНВ с двумя входами, четырьмя правилами и одним выходом. Каждому входу сети поставлены в соответствие две функции принадлежности.

Хуань Лю, аспирант Белорусского государственного университета. Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 4.

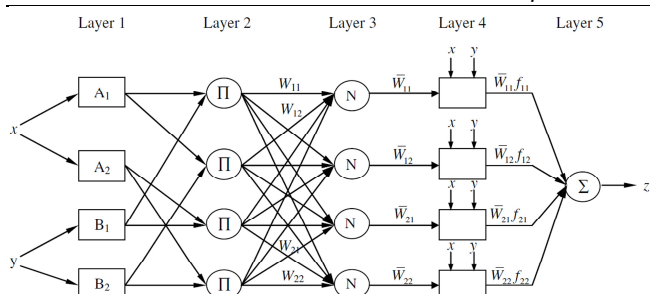


Рис. 1. Архитектура АННСВ с двумя входами и с четырьмя правилами

В данной модели первого порядка используются правила типа Если-То, которые могут, например, задаваться следующими выражениями:

Rule 1: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$  then  $f_{11} = p_{11}x + q_{11}y + r_{11}$

Rule 2: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_2$  then  $f_{12} = p_{12}x + q_{12}y + r_{12}$

Rule 3: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_1$  then  $f_{21} = p_{21}x + q_{21}y + r_{21}$

Rule 4: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$  then  $f_{22} = p_{22}x + q_{22}y + r_{22}$

здесь  $A_1, A_2, B_1$  и  $B_2$  – функции принадлежности входов  $x$  и  $y$ , соответственно,  $p_{ij}, q_{ij}$  и  $r_{ij}$  ( $i, j = 1, 2$ ) – выходные параметры.

Приведенная архитектура сети состоит из пяти слоев. Для того, чтобы в дальнейшем использовать данный тип архитектуры, опишем каждый слой более подробно.

**Слой 1: входные узлы.** Все узлы слоя являются адаптивными. Они генерируют классы принадлежности входов, которые задаются следующими формулами:

$$\mu_{A_i}^1 = \mu_{A_i}(x) \quad i = 1, 2,$$

$$\mu_{B_j}^1 = \mu_{B_j}(y) \quad j = 1, 2,$$

где  $X$  и  $Y$  четкие входы,  $A_i$  и  $B_j$  – нечеткие множества, которые определяют соответствующие функции принадлежности. Функции могут быть различными. В данном случае будем использовать обобщенные колоколообразные функции принадлежности, представленные в виде:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^{2b_i}}, \quad i = 1, 2,$$

$$\mu_{B_j}(y) = \frac{1}{1 + \left(\frac{y - c_j}{a_j}\right)^{2b_j}}, \quad j = 1, 2,$$

здесь  $\{a_i, b_i, c_i\}$  и  $\{a_j, b_j, c_j\}$  – параметры, регулирующие вид функций. Параметры этого уровня называются предполагаемыми или исходными.

**Слой 2: узлы правил.** Элементы этого слоя являются фиксированными узлами. Маркировка буквой  $\Pi$  указывает на то, что данные узлы выступают в качестве простого множителя. Выходы задаются выражениями

$$O_{ij}^2 = W_{ij} = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_j}(y), \quad i, j = 1, 2,$$

которые определяют уровень мощности каждого правила.

**Слой 3: средние узлы.** Элементы слоя также являются фиксированными узлами. Маркировка  $N$  означает, что узлы выполняют функцию нормализации сети. Выходы слоя задаются выражениями

$$O_{ij}^3 = \bar{W}_{ij} = \frac{W_{ij}}{W_{11} + W_{12} + W_{21} + W_{22}}, \quad i, j = 1, 2,$$

которые называют нормализованным уровнем мощности правила.

**Слой 4: последующие узлы.** Каждый элемент слоя является адаптивным узлом. Выходами узлов является простое произведение значений нормализованных уровней мощности правил и коэффициентов полинома первого порядка. Таким образом, выходы задаются выражением:

$$O_{ij}^4 = \bar{W}_{ij} f_{ij} = \bar{W}_{ij} (p_{ij}x + q_{ij}y + r_{ij}), \quad i, j = 1, 2,$$

Параметры этого уровня называют результирующими.

**Слой 5: выходные узлы.** Данный слой содержит единственный фиксированный узел. Маркировка узла указывает на то, что в нем производится суммирование всех входных сигналов. Выражение

$$z = O_1^5 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \bar{W}_{ij} f_{ij} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \bar{W}_{ij} (p_{ij}x + q_{ij}y + r_{ij}) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [(\bar{W}_{ij} x)p_{ij} + (\bar{W}_{ij} y)q_{ij} + (\bar{W}_{ij} r_{ij})]$$

представляет собой линейную комбинацию результирующих параметров при фиксированном значении исходных параметров.

Таким образом, описанная архитектура АННСВ имеет два адаптивных слоя. Слой 1 содержит переменные (относительно входных функций принадлежности) параметры  $\{a_i, b_i, c_i\}$  и  $\{a_j, b_j, c_j\}$ . Слой 4 – переменные параметры  $\{p_{ij}, q_{ij}, r_{ij}\}$ , которые относятся к полиному первого порядка. Процесс обучения модели АННСВ заключается в определении таких значений переменных параметров, при которых выход сети в наибольшей степени соответствовал бы данным обучения. Процедура вычисления параметров является двух-этапным процессом, который известен как гибридный алгоритм обучения. В результате первого (прямого) этапа, проводят изменение исходных параметров. Вычисление параметров производится по методу наименьших квадратов. Новые значения в виде выходов узлов слоя передаются в направлении 4-го слоя. На втором (обратном) этапе результирующие параметры фиксируются, ошибочные сигналы распространяются в обратном направлении, и исходные параметры обновляются методом градиентного спуска [9].

**2. Оценка коммерческих сайтов с использованием АННСВ.** В данном разделе исследуется возможность применения АННСВ к задаче оценки сайтов электронной коммерции.

**2.1. Описание исходных данных.** Для построения АННСВ использовалась информация, полученная из базы данных Хэйлунцзянского института информатики. В качестве исходных данных были отобраны 507 вариантов оценки сайтов электронной коммерции, которые достаточно равномерно покрывали все уровни качества. Все данные выборки случайным образом были разделены на два подмножества: обучающая выборка содержала 390 объектов и контрольная выборка – 117.

Входами в АННСВ (на первом слое) были выбраны переменные, которые соответствовали данным, получаемым от экспертов при их оценке сайтов по трем заданным критериям: удобство (U), надежность (R) и дизайн (D). В качестве значений переменных использовались баллы в диапазоне от 0 до 4. При этом 0 соответствовал значению оценки "очень плохо", 1 – "плохо", 2 – "нормально", 3 – "хорошо" и 4 – "очень хорошо". На выходе АННСВ вычислялись комплексные значения оценок сайтов в диапазоне от 0 до 100. Полученные на выходе сети значения можно интерпретировать как уровень оценки качества сайта в процентах.

На рисунке 2 приведены данные, полученные при оценке объектов заданной выборки, значения которых варьируют в диапазоне от 5 до 99.

**2.2. Построение модели АННСВ.** Для каждого из трех входов сети были выбраны по две обобщенные колоколообразные функции принадлежности. С использованием обучающей выборки были построены 27 правил вида Если-То, содержащие 104 параметра, значения которых требовалось уточнить в процессе обучения. Выбор числа функций принадлежности (по две на каждый вход) обусловлен объемом обучающей выборки. Увеличение их числа привело бы к изменению количества параметров, которое превысило бы в этом случае число объектов обучения [10].

На рисунке 3 приведен общий вид архитектуры АННСВ, которая была построена для решения задачи по оценке сайтов электронной коммерции. Модель сети (с использованием инструмента нечеткой логики) была реализована в среде программного пакета MATLAB.

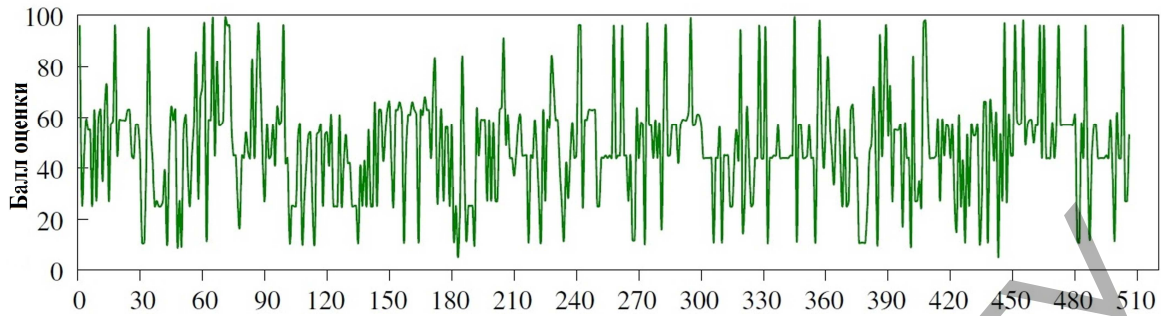


Рис. 2. Баллы веб-сайтов электронных коммерческих 506 проектов по оценке

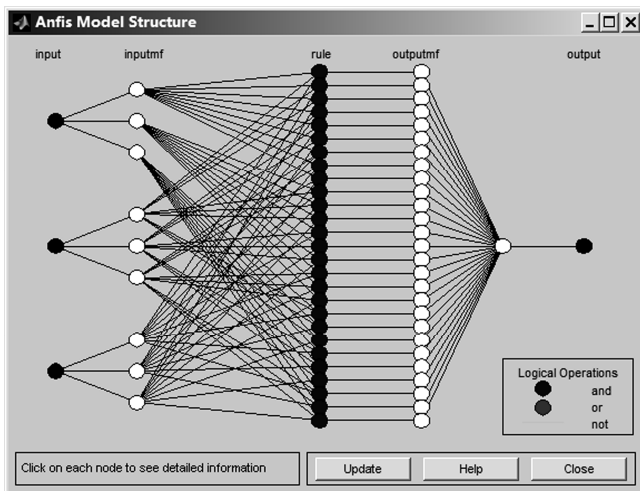


Рис. 3. Структура модели АНСНВ для оценки электронных коммерческих сайтов

2.3. Анализ АНСНВ модели при оценке качества коммерческих сайтов. Эксперименты производились на стандартном ПК с операционной системой Windows 7 в программной среде Matlab 7. Процесс обучения АНСНВ на 390 объектах занял около трех минут, и для проверки системы на 117 объектах контрольной выборки потребовалось еще около двух минут.

На рисунке 4 и 5 приведены соответственно начальный и конечный вид функций принадлежности, полученный в процессе обучения. (В данном случае процесс обучения состоял из 500 шагов). Из рисунков видно, что в результате обучения произошло значительное изменение начального вида функции принадлежности.

Точность работы АНСНВ, построенной в результате обучения, проверялась на объектах контрольной выборки.

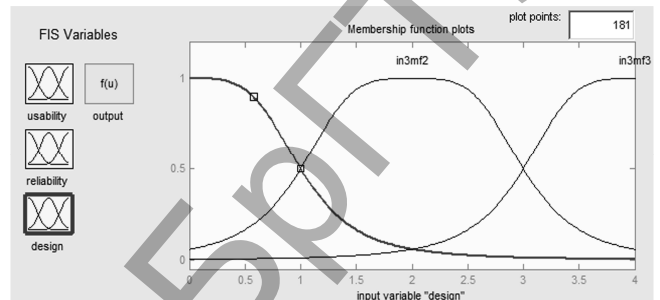
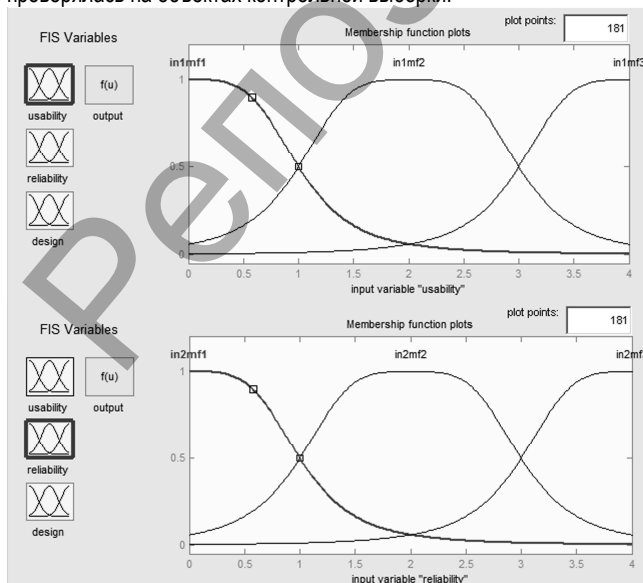


Рис. 4. Функции принадлежности до обучения

На рисунке 6 показаны ошибки, полученные на объектах обучающей выборки (объекты с номерами 1-390). Для удобства, здесь также приведены ошибки на объектах контрольной выборки (последние 117 объектов). Можно заметить, что за исключением трех сайтов, все остальные 504 объекта классифицировались точно. Для сайтов с номерами 178, 407 и 446, которые в качестве исходных оценок имели 56, 77 и 77 баллов соответственно, в результате испытаний были получены значения 44, 83 и 83. Относительная погрешность для этих объектов получилась 21,43 %, 7,79 % и 7,79 % соответственно.

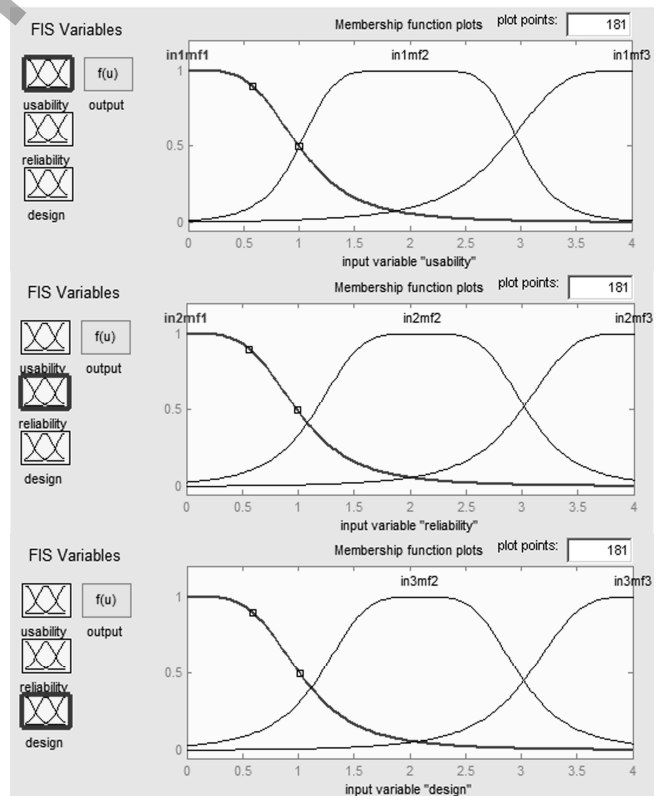


Рис. 5. Функции принадлежности после обучения

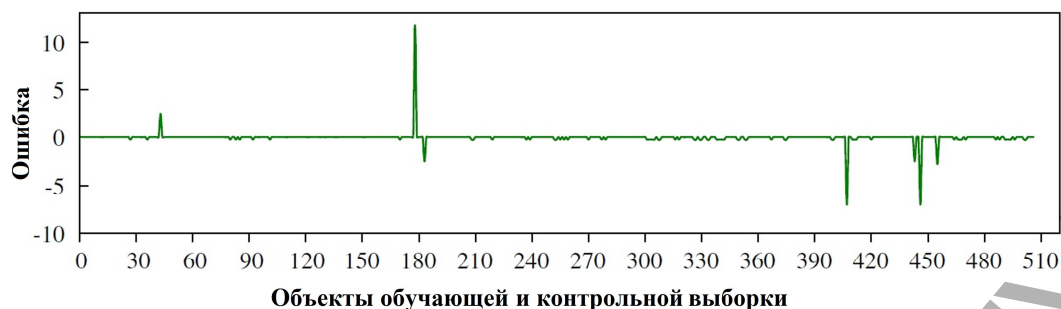


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований ANSHV

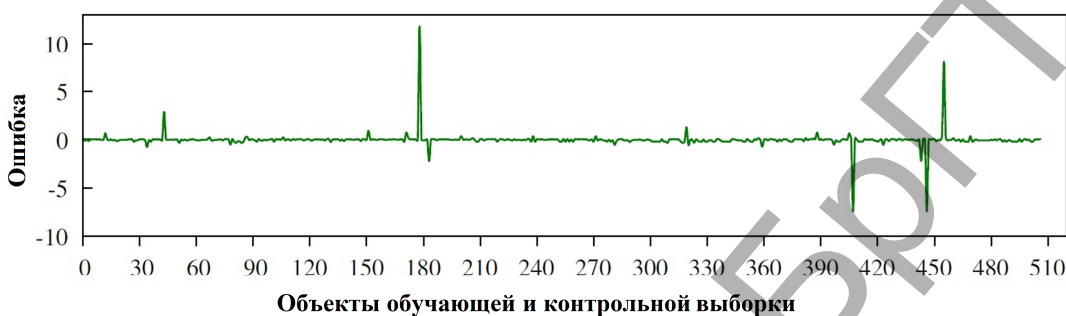


Рис. 7. Результаты экспериментальных исследований моделей с треугольными функциями принадлежности

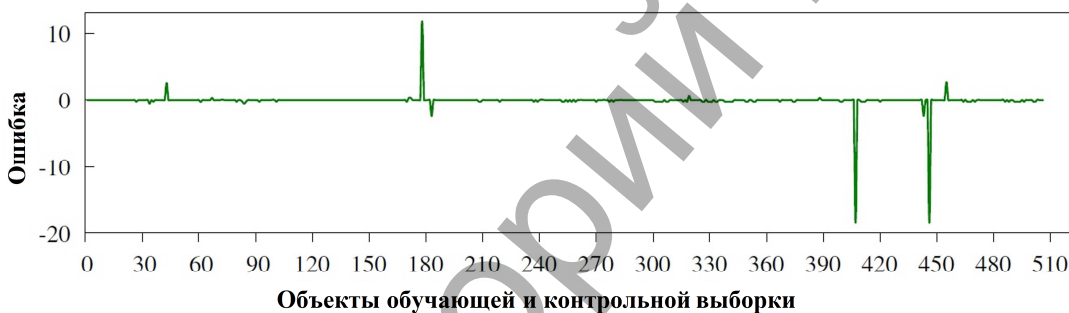


Рис. 8. Результаты экспериментальных исследований моделей с трапецевидными функциями принадлежности

Трудно ожидать, что ANSHV абсолютно точно работает на всех объектах обучающей и контрольной выборки. Очевидно, что в выборках могут встречаться и противоречивые данные. Например, объекты с номерами 170 и 178 имеют одинаковые экспертные оценки: 2, 2, 3 для выбранных критериев U, R, D, соответственно, но получили различные баллы 44 и 56. Эти два объекта, очевидно, находясь в конфликте друг с другом. Кроме того, было также обнаружено, что объекты с номерами 177 и 178 имеют различные экспертные оценки: (2, 3, 1) и (2, 1, 1), но имеют одинаковый балл – 56. Эти два объекта также конфликтуют друг с другом. Можно предположить, что балльная оценка объекта с номером 178 вероятней всего является своеобразным “выбросом”. Удаление объекта из рассмотрения улучшает результат. Это хорошо видно на рисунке 6.

**2.4. Выбор функции принадлежности.** Рассмотренная выше ANSHV была построена с использованием обобщенных колоколообразных функций принадлежности. Результаты проведенных экспериментов подтвердили эффективность данной модели. Однако возникает естественный вопрос о роли функции принадлежности в нейронной сети в целом. В этом разделе исследуются модели ANSHV с другими типами функций принадлежности (треугольными, трапецевидными и Гауссовыми) и проводится их сравнение с результатами, полученными на моделях с обобщенными колоколообразными функциями.

Указанные функции в порядке их перечисления определяются следующим формулами [11]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + ((x-c)/a)^2}$$

На рисунке 7–9 приведены результаты экспериментов моделей нейронных сетей с указанными типами функций принадлежности. Все эксперименты проводились в равных условиях на той же обучающей и контрольной выборках.

Сравнивая результаты экспериментальных исследований, трудно заметить, что модели с обобщенными колоколообразными функциями принадлежности показали и лучшие результаты по сравнению с моделями, в которых использовались другие типы функций принадлежности.

**Заключение.** Оценка коммерческих сайтов является актуальной проблемой для большинства предприятий электронного бизнеса. Описанная в работе адаптивная нейронная система с нечетким выводом принадлежит к классу гибридных интеллектуальных систем. Показано, что она является удобным средством и мощным инструментом для

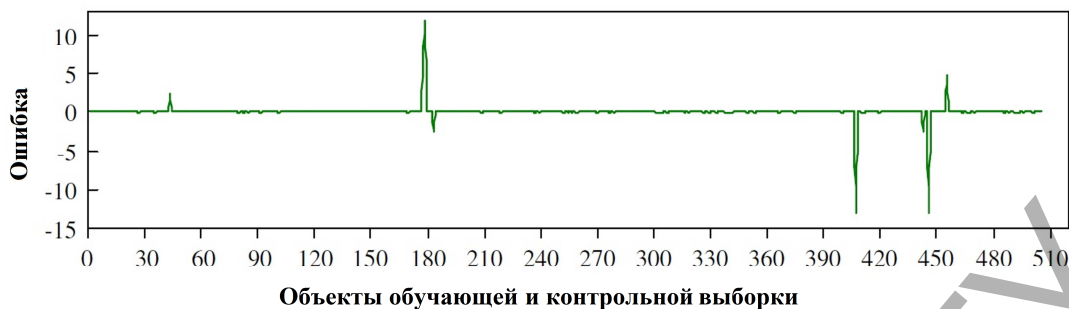


Рис. 9. Результаты экспериментальных исследований моделей с функциями принадлежности Гаусса

моделирования процессов по оценке сайтов. В рамках системы эффективно используются экспертная информация и строгие математические методы, правила типа Если-То легко поддаются пониманию и интерпретации.

Таким образом, использование математических моделей и методов в значительной степени сокращает количество средств и времени, необходимых для получения результатов при решении нетривиальной задачи по оценке сайтов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lee, S. The effects of usability and web design attributes on user preference for e-commerce web sites / S. Lee, R.J. Koubek //Computers in Industry. – 2010. –Vol. 61(4). – P. 329–341.
2. Liu Huan. Fuzzy analytic hierarchy process approach for E-Commerce websites evaluation / Huan Liu, V. Krasnoproshin, Shuang Zhang //World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science. – Spain: World Scientific, 2012. – Vol. 6. – P. 276–285.
3. Liu Huan. Algorithms for Evaluation and Selection E-Commerce Web-sites / Huan Liu, V. Krasnoproshin, Shuang Zhang //Journal of Computational Optimization in Economics and Finance. – New York: USA, 2012. – Vol. 4. – № 2–3. – P. 135–148.
4. Liu Huan. Combined Method for E-Commerce Website Evaluation Based on Fuzzy Neural Network / Huan Liu, V. Krasnoproshin, Shuang Zhang //Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 380. – P. 2135–2138.
5. Law R. Progress in tourism management: A review of website evaluation in tourism research / R. Law, S. Qi, D. Buhalis //Tourism Management. – 2010 – Vol. 31(3) – P. 297–313.
6. Hung W. Developing an evaluation instrument for e-commerce web sites from the first-time buyer's viewpoint / W. Hung, R. J. McQueen //Electron. J. Inform. Syst. Eval. – 2004. –Vol. 7(1) – P. 31–42.
7. Azamathulla H. M. ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer / H. M. Azamathulla, A. Ab Ghani, S. Y. Fei //Applied Soft Computing. – 2012. –Vol. 12(3) – P. 1227–1230.
8. Dwivedi A.A Business Intelligence Technique for Forecasting the Automobile Sales using Adaptive Intelligent Systems (ANFIS and ANN) / A. Dwivedi, M. Niranjan, K. Sahu //International Journal of Computer Applications. – 2013. – Vol. 74(9) – P. 7–13.
9. Jang J. S. R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems / J. S. R. Jang //IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665–685.
10. Petković D. Adaptive neuro-fuzzy estimation of conductive silicone rubber mechanical properties / D. Petković, M. Issa, N.D. Pavlović, et al. //Expert Systems with Applications. – 2012. –Vol. 39(10) – P. 9477–9482.
11. Singh R. Estimation of elastic constant of rocks using an ANFIS approach / R. Singh, A. Kainthola, T.N. Singh //Applied Soft Computing. – 2012. – Vol. 12(1) – P. 40–45.

Материал поступил в редакцию 19.11.13

#### LIU HUAN Quality classification of commercial sites based on adaptive neural fuzzy inference system

This paper describes a combined approach to the quality classification problem of E-commerce sites, based on the use of the methodology of adaptive neural networks with fuzzy inference. A model of a neural network was proposed, in the frame of which expert fuzzy reasoning and rigorous mathematical methods were jointly used. The intelligent system with fuzzy inference was realized based on the model in Matlab software environment. It shows that the system is an effective tool for the quality analysis process modelling of the given type of sites.