МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Том 8
№ 1 (26)

Курск 2018

2018. Т. 8, № 1 (26)
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2011 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-44620 от 15.04.11).

Журнал «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» включен в перечень ведущих научных журналов ВАК Минобрнауки России 01.12.2015 по группам научных специальностей:

03.01.00 – физико-химическая биология,
05.11.00 – приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы,
05.12.00 – радиотехника и связь,
05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление,
05.14.00 – энергетика

Редакционная коллегия

С. Г. Емельянов (главный редактор), д-р техн. наук, профессор, ректор ЮЗГУ;
М. В. Бобырь (заместитель главного редактора), д-р техн. наук, доцент, ЮЗГУ;
Р. М. Алгулиев, д-р техн. наук, профессор;
Ю. С. Бехтин, д-р техн. наук, профессор;
А. А. Бурмака, д-р техн. наук, профессор;

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 6

Плотников П. В.
Подход к решению задачи размещения в трехмерном пространстве методами тропической оптимизации 6

Бобырь М. В., Милостная Н. А., Дородных А. А.
Исследование свойств метода разности площадей..... 14

Жизняков А. Л., Привезенцев Д. Г., Чернецкая И. Е., Пугин Е. В.
Разработка нечетких признаков для обработки цифровых изображений 26

Пыхтин А. И., Овчинкин О. В.
Модификация федеральной информационной системы для организации централизованного приема в вузы России 33

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 41

Зуев А. Л., Мишланов Я. В., Поляков В. Б.
Экспериментальное изучение изменений электрического импеданса воздушных каналов, насыщенных аэрозолем раствора электролита..... 41

Тарантова Е. С., Макаров К. В.
Выбор признаков и метода классификации видов физической активности в задаче построения телереабилитационной системы..... 54

Доан Д. Х., Крошилин А. В., Крошилина С. В.
Применение метода нечеткой кластеризации в системах поддержки принятия медицинских решений для решения задачи выбора варианта лечения заболевания..... 63

В. Н. Гридин, д-р техн. наук, профессор;
А. Л. Жизняков, д-р техн. наук, профессор;
Ж. Т. Жусубалиев, д-р техн. наук, профессор;
С. А. Зинкин, д-р техн. наук, доцент;
И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор;
Н. А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор;
Е. Н. Коровин, д-р техн. наук, профессор;
А. Н. Пылькин, д-р техн. наук, профессор;
В. Г. Рубанов, д-р техн. наук, профессор;
С. П. Серегин, д-р мед. наук, профессор;
А. С. Сизов, д-р техн. наук, профессор;
В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор;
С. А. Филист, д-р техн. наук, профессор;
А. В. Филонович, д-р техн. наук, профессор;
А. А. Ханова, д-р техн. наук, доцент

Быков А. В., Кореневская С. Н., Комлев И. А., Родионов Д. С.
Прогнозирование развития критического состояния кровообращения сердца на основе гибридных нечетких моделей 74

Мишустин В. Н., Моновцов И. А., Григорьев Н. Н., Филатова О. И.
Выбор метода лечения глубоких ран на основе автоматического прогнозирования 88

Быков А. В.
Формирование пространства информативных признаков для оценки состояния пациентов с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей 97

К сведению авторов 109

Адрес редакции:
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.
Телефоны: (4712) 22-25-26
Факс: (4712) 50-48-00.
E-mail: rio_kursk@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен О. А. Леоновой

Подписано в печать 20.02.18. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13,9.
Тираж 1000 экз. Заказ 15. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Подписной индекс журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» 44288 в объединенном каталоге «Пресса России»

© Юго-Западный государственный университет, 2018

2018. Volume 8, no 1 (26)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGSS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY
Control, Computer engineering, Information Science.
Medical instruments engineering

Foundel in 2011.
Publication fregnency: four times a year

Founder: Southwest State University

Registered in the Registar of the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media (Roskomnadzor) (Certificate of mass media registration № FS77-44620 of April 15, 2011).

Included in the official list of top scientific journals of the Higher Attestation Commission of the RF Ministry of Science and Education of 01.12.2015. Scientific Specialities Groups:
03.01.00 Physical and Chemical Biology;
05.11.00 Instrument Engineering, Metrology and Information and Measuring Devices and Systems;
05.12.00 Radio Engineering and Communications;
05.13.00 Informatics, Computer Engineering, & Control
05.14.00 Energetics Pover Engeneering

Editors

S. G. Yemelianov (Editor-in-Chief), Doctor of Engineering, Professor, Rector of Southwest State University;
M. V. Bobyr (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Engineering, Associate Professor;
R. M. Alguliyev, Doctor of Engineering, Professor;

CONTENT

CONTROL, COMPUTER ENGINEERING, INFORMATION SCIENCE 6

Plotnikov P.V.
Approach to solution of the problem of placing in the three-dimensional space by methods of tropical optimization 6

Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Dorodnykh A. A.
The Characteristic Research of an Area Difference Method..... 14

Zhiznyakov A. L., Privezencev D. G., Cherneckaya I. E., Pugin E. V.
Using Fuzzy Fractal Features of Digital Images for the Material Surface Analysis..... 26

Pykhtin A. I., Ovchinkin O. V.
Modification of the Federal Information System for the Centralized Admission in Universities of Russia 33

MEDICAL INSTRUMENT ENGINEERING..... 41

Zuev A. L., Mishlanov I. V., Polyakov V. B.
Experimental Study of Electrical Impedance Changes in Air Channels Filled With Electrolyte Solution Aerosol 41

Tarantova E. S., Makarov K. V.
Feature Selection and Choosing the Method for Physical Activity Classification in the Task of Building the Telerehabilitation System..... 54

Doan D. H., Kroshilin A. V., Kroshilina S. V.
Application of Method of Fuzzy Clustering in the Medical Decision-Making Support Systems for Solving the Task of Selection of the Variants of the Course of the Disease 63

Y. S. Bekhtin, Doctor of Engineering, Professor;
A. A. Burmaka, Doctor of Engineering, Professor;
V. N. Gridin, Doctor of Engineering, Professor;
A. L. Zhiznyakov, Doctor of Engineering, Professor;
Zh. T. Zhusubaliyev, Doctor of Engineering, Professor;
S. A. Zinkin, Doctor of Engineering, Associate Professor;
I. V. Zotov, Doctor of Engineering, Professor;
N.A. Korenevsky, Doctor of Engineering, Professor;
E. N. Korovin, Doctor of Engineering, Professor;
A. N. Pylkin, Doctor of Engineering, Professor;
V.G. Rubanov, Doctor of Engineering, Professor;
S. P. Seryogin, Doctor of Medical, Professor;
A. S. Sizov, Doctor of Engineering, Professor;
V. S. Titov, Doctor of Engineering, Professor;
S. A. Filist, Doctor of Engineering, Professor;
A. V. Filonovich, Doctor of Engineering, Professor;
A. A. Khanova, Doctor of Engineering, Associate Professor

Bikov A.V., Korenevskaya S. N., Komlev I. A., Rodionov D. S.
Forecasting the Critical State of Heart Bloodstream Based on Hybrid Fuzzy Models 74

Mishustin V. N., Monovtsov I. A., Grigoriev N. N., Filatova O. I.
Choosing the Method of Treatment of Deep Ras on the Basis of Automatic Forecasting 88

Bykov A. V.

Shaping the Space of Informative Features for the Assessment of Patients with Chronic Obliterating Diseases of Lower Limb Arteries 97

Information for Authors 109

© Southwest State University, 2018

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 004.94

П. В. Плотников, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия) (e-mail: pavplot@gmail.com)

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ МЕТОДАМИ ТРОПИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Бурная цифровизация всех сфер жизнедеятельности современного общества предъявляет повышенные требования к использованию ресурсов, выделяемых на решение задач автоматизации и информатизации различных процессов, как социальных, так и хозяйственных. В этой связи при проектировании и развитии информационных и телекоммуникационных систем возникает необходимость решения задач оптимизации размещения в них специальных объектов (серверов, узлов обработки данных, хранилищ информации и др.). Решение этой задачи традиционными методами весьма трудоемко и не гарантирует получения наилучшего результата. Автором предложено использовать для решения задачи оптимального размещения в трехмерном пространстве инструменты тропической математики и такого ее раздела, как идемпотентная алгебра. В статье выполнена формализация исходной задачи размещения и описан способ ее аналитического решения. Полученные результаты имеют несомненное практическое значение и могут применяться в решении широкого класса оптимизационных задач размещения, связанных не только с информатизацией, но также с обеспечением пожарной безопасности, организацией видеонаблюдения за охраняемыми помещениями и др.

Ключевые слова: *тропическая математика, идемпотентная алгебра, проектирование информационных систем, оптимальное размещение оборудования.*

***

Введение

Бурное развитие в последние десятилетия математики и информационных технологий, которое часто именуют «цифровой революцией» [1, 2 и др.], способствует ускорению научно-технического прогресса и изменениям во всех сферах человеческой деятельности. Это получило отражение не только в многочисленных теоретических разработках, но и в практике государственного управления. Для обеспечения опережающего развития в рассматриваемой сфере Правительство РФ распоряжением от 28 июля 2017 г. № 1632 утвердило национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации».

Важное место в этой Программе уделяется созданию основных инфраструктурных элементов цифровой экономики, в том числе поставлена цель (разд. VI Программы) довести долю домашних хозяйств, имеющих широкополосный доступ к сети «Интернет» (100 мбит/с), до 97% к 2024 году. Для этого необходима прокладка в населенных пунктах и находящихся в них зданиях и сооружениях многоуровневых сетей проводных и оптоволоконных линий связи. В силу масштабности и высокой ресурсоемкости этой задачи принципиальное значение приобретает поиск оптимальных (по критерию минимизации затрат) способов ее решения, что позволит обеспечить помехоустойчивость информационных коммуникаций, безопасность использования информационных технологий, осуществить научно обоснованную организацию информационного обслуживания населения и бизнеса, обеспечить про-

дуктивное взаимодействие их с государством в режиме «электронного правительства» [3, 4 и др.].

Здесь мы сталкиваемся с классом задач оптимизации, которые возникают при проектировании информационных систем и процессов, в которых требуется найти наилучший способ разместить объект без ограничений или с дополнительными ограничениями на допустимую область размещения. Такую задачу часто называют задачей 1-центра (1-center problem), которая представляет важный класс задач комбинаторной оптимизации и находит широкое применение в Data Mining.

Постановка задачи и выбор подхода к её решению

Условия рассматриваемой задачи в самом общем случае можно сформулировать так: задано множество объектов информационной системы, в которых может осуществляться создание, обработка или потребление информации, допустимая область размещения целевого объекта и функция для расчета характеристик взаимосвязи целевого объекта и заданных объектов (целевая функция). Необходимо найти оптимальное положение объекта с целью оптимизации значения характеристики, описывающей его взаимосвязи с заданными объектами.

Возвращаясь к рассмотренной ситуации, связанной с проектированием на территории поселения оптимальной конфигурации сети передачи данных и ее узлов, заметим, что в современных городах есть большое количество районов, дорожная сеть которых представляет из себя систему параллельных и перпендикулярных между собой улиц. Прокладка оптоволоконных и проводных сетей осуществляется вдоль уличной сети. Поэтому для описания и решения задач оптимального размещения аппаратных комплексов обработки интернет-трафика может быть использована прямоугольная метрика (т. н. «манхэттенская планировка»). При этом по различным причинам (градостроительные регламенты, социальные ограничения, требования радиоэлектронной совместимости, соображения информационной безопасности и др.) могут возникать ограничения на допустимую область размещения объектов.

Как показали ранее проведенные исследования, выполненные автором совместно с Н. К. Кривулиным, продуктивным подходом является применение методов тропической оптимизации на плоскости для решения задач 1-центра с прямоугольной метрикой с разного рода ограничениями на допустимую область размещения. Полученные способы решения этой задачи изложены в [5; 6].

Здесь следует сделать некоторое отступление, касающееся предложенных к использованию для решения рассматриваемой задачи методов исследования. Одной из перспективных и быстро развивающихся областей прикладной математики и алгебраической информатики является тропическая математика, которая связана с изучением теории и приложений полуколец с идемпотентным сложением [7; 8 и др.]. Ее важным разделом является идемпотентная алгебра, существенный вклад в развитие методов которой внесли такие ученые, как Ф. Бачелли, С. Л. Блюмин, Н. Н. Воробьев, Д. С. Голан, В. Н. Колокольцов, Р. А. Кунингхайм-Грин, Г. Л. Литвинов, В. П. Маслов, В. Д. Матвеенко, И. В. Романовский, У. Циммерманн и др.

Использование методического аппарата идемпотентной алгебры для решения задач размещения обладает рядом преимуществ по сравнению с применением других известных методов. Рассмотрим их.

1. Если традиционно использование операций max и min при формулировке математических постановок прикладных задач часто усложняет их решение, то на языке идемпотентной алгебры работа с такими операциями существенно упрощается в силу того, что в качестве идемпотентной операции сложения можно взять одну из операций max или min. Вследствие этого методы данного раздела математики могут оказаться удобными и эффективными при решении минимаксных задач.

2. Тропический подход, заключающийся в замене обычных арифметических операций (+, ·) на пару операций (⊕, ⊗) с идемпотентным сложением, позволяет решать задачи в общем виде, не выбирая заранее полукольцо, в котором рассматривается задача. Так, одновременно с решением в смысле (max, +)-алгебры получают решение и для других постановок ((min, +)-алгебры, (max, x)-алгебры и т.д.). Это существенно расширяет область применения данного подхода.

3. Важная особенность заключается в возможности преобразовывать нелинейные задачи в линейные в терминах идемпотентной алгебры. Это позволяет использовать общие методы и результаты линейной алгебры, часто упрощая решение и интерпретацию полученных результатов, что свидетельствует об актуальности и необходимости разработки соответствующих методов.

4. Важным преимуществом идемпотентной алгебры является то, что в отличие от итерационных решений задач оптимизации, время сходимости которых можно только оценивать, идемпотентный подход позволяет получать решения в виде точных формул, время расчета по которым можно определить напрямую. Получение явных аналитических зависимостей для вычисления оптимального значения целевой функции позволяет решить проблему надежности и безопасности использования информационных технологий, что важно не только с позиций теоретических, но и сугубо прикладных.

С учетом высказанных допущений и сформулированных условий решения задачи, а также ранее полученных результатов решения задачи 1-центра для плоскости [5; 6], рассмотрим авторский подход к решению задачи размещения в трехмерном пространстве с применением методов тропической оптимизации.

Итак, рассмотрим минимаксную задачу размещения точечного объекта в трехмерном пространстве с прямоугольной метрикой, которая заключается в поиске на основе уже имеющегося набора объектов новой точки из $S \subset \mathbb{R}^3$, расстояние от которой до самого дальнего объекта из набора с учетом некоторого дополнительного слагаемого было бы минимальным.

Метод решения оптимизационной задачи размещения в трехмерном пространстве

Расстояние в прямоугольной метрике между двумя точками: $x = (x_1, x_2, x_3)^{\mathrm{T}}$ и $y = (y_1, y_2, y_3)^{\mathrm{T}}$в пространстве $\mathbb{R}^3$ может быть вычислено по следующей формуле:

$$p(x,y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + |x_3 - y_3|. \quad (1)$$

Пусть задан набор точек $r_i = (r_{1i}, r_{2i}, r_{3i})^{\mathrm{T}} \in \mathbb{R}^3$ и чисел $l_i \in \mathbb{R}$, для $\forall i = \overline{1,m}$. Числа l_i могут отражать дополнительные затраты, связанные с перемещением между объектами.

Введем функцию $\varphi(x)$, которая определяет максимальное расстояние от точки $x = (x_1,x_2,x_3)^{\mathrm{T}}$ до набора точек r_i следующим образом:

$$\varphi(x) = \max_{1\le i\le m}(p(r_i,x) + l_i) = \\ = \max_{1\le i\le m}\left(|r_{1i} - x_1| + |r_{2i} - x_2| + |r_{3i} - x_3| + l_i\right) = \varphi(x_1,x_2,x_3). \quad (2)$$

Рассматриваемая минимаксная задача размещения точечного объекта формулируется так:

$$\mu = \min_{x\in\mathbb{R}^3} \varphi(x). \qquad (3)$$

Рассмотрим задачу размещения (3) и представим ее в терминах тропической математики.

Расстояние между двумя векторами в прямоугольной метрике (1) с использованием операций идемпотентного полуполя $\mathbb{R}_{\max,+}$ записывается так:

$$\mathrm{p}(x, y) = (x_1^{-1}y_1 \oplus y_1^{-1}x_1) \times$$
$$\times (x_2^{-1}y_2 \oplus y_2^{-1}x_2)(x_3^{-1}y_3 \oplus y_3^{-1}x_3).$$

Для заданного набора точек $r_i=(r_{1i}, r_{2i}, r_{3i})^T \in \mathbb{R}^3$ и чисел $l_i \in \mathbb{R}$, где $i = \overline{1,m}$, целевая функция (2) принимает вид

$$\varphi(x1, x2, x3) =$$
$$= \bigoplus_{i=1}^{m} li(x_1^{-1}y_1 \oplus y_1^{-1}x_1)(x_2^{-1}y_2 \oplus y_2^{-1}x_2) \times$$
$$\times (x_3^{-1}y_3 \oplus y_3^{-1}x_3).$$

Чтобы упростить выражение, введем дополнительные обозначения:

$$a = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i} r_{2i} r_{3i};$$
$$b = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i} r_{2i} r_{3i}^{-1};$$
$$c = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i} r_{2i}^{-1} r_{3i};$$
$$d = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i} r_{2i}^{-1} r_{3i}^{-1};$$
$$e = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i}^{-1} r_{2i} r_{3i};$$
$$f = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i}^{-1} r_{2i} r_{3i}^{-1};$$
$$g = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i}^{-1} r_{2i}^{-1} r_{3i};$$
$$\hbar = \bigoplus_{i=1}^{m} l_i r_{1i}^{-1} r_{2i}^{-1} r_{3i}^{-1}.$$

Раскрыв скобки и перегруппировав слагаемые, запишем целевую функцию в следующем виде:

$$\varphi(x1,x2,x3) = a x_1^{-1} x_2^{-1} x_3^{-1} \oplus b\, x_1^{-1} x_2^{-1} x_3 \oplus$$
$$\oplus c\, x_1^{-1} x_2 x_3^{-1} \oplus d\, x_1^{-1} x_2 x_3 \oplus e x_1 x_2^{-1} x_3^{-1} \oplus$$
$$\oplus f x_1 x_2^{-1} x_3 \oplus g x_1 x_2 x_3^{-1} \oplus \hbar x_1 x_2 x_3.$$

Путем проведения серии аналогичных промежуточных преобразований, которые из-за ограниченного объема статьи мы не будем здесь приводить, автором было доказано, что минимум в задаче (3) может быть найден по формуле

$$\mu = a_2^{1/2} b_2^{1/2} \oplus a_2^{2/3} d_2^{1/3} \oplus$$
$$\oplus b_2^{2/3} c_2^{1/3} \oplus c_2^{1/2} d_2^{1/2} \oplus e_2, \qquad (4)$$

где использованы следующие обозначения:

$$a_1 = a^{1/2} d^{1/2} \oplus b^{1/2} c^{1/2};$$
$$b_1 = a^{1/2} f^{1/2} \oplus b^{1/2} e^{1/2};$$
$$c_1 = e^{1/2} \hbar^{1/2} \oplus f^{1/2} g^{1/2};$$
$$d_1 = c^{1/2} \hbar^{1/2} \oplus d^{1/2} g^{1/2};$$
$$e_1 = a^{1/2} b^{1/2};$$
$$f_1 = c^{1/2} d^{1/2};$$
$$g_1 = e^{1/2} f^{1/2};$$
$$\hbar_1 = g^{1/2} \hbar^{1/2};$$
$$k_1 = a^{1/2} \hbar^{1/2} \oplus b^{1/2} g^{1/2} \oplus c^{1/2} f^{1/2} \oplus d^{1/2} e^{1/2};$$
$$a_2 = b_1^{1/2} f_1^{1/2} \oplus d_1^{1/2} e_1^{1/2};$$
$$b_2 = b_1^{1/2} \hbar_1^{1/2} \oplus d_1^{1/2} g_1^{1/2};$$
$$c_2 = e_1^{1/2} f_1^{1/2} \oplus a_1;$$
$$d_2 = g_1^{1/2} \hbar_1^{1/2} \oplus c_1;$$
$$e_2 = b_1^{1/2} d_1^{1/2} \oplus f_1^{1/2} g_1^{1/2} \oplus e_1^{1/2} \hbar_1^{1/2} \oplus k_1.$$

С использованием формулы (4) для каждого из возможных вариантов параметра μ автором получены аналитические оптимальные значения набора координат ($x1$,$x2$,$x3$). Например, если $\mu = a_2^{1/2} b_2^{1/2}$, то:

$$x_1 = a_2 b_2^{-1};$$
$$x_2 = b_1^{3/4} f_1^{-1/4} b_2^{-1/2}, \text{ если } a_2 = b_1^{1/2} f_1^{1/2},$$

или

$$x_2 = d_1^{-3/4} e_1^{1/4} b_2^{1/2}, \text{ если } a_2 = d_1^{1/2} e_1^{1/2};$$
$$x_3 = (\mu^{-1} a x_1^{-1} x_2^{-1} \oplus \mu^{-1} c x_1^{-1} x_2 \oplus$$
$$\oplus \mu^{-1} e x_1 x_2^{-1} \oplus \mu^{-1} g x_1 x_2)^{1-\alpha} \otimes$$
$$\otimes (\mu^{-1} b x_1^{-1} x_2^{-1} \oplus \mu^{-1} d x_1^{-1} x_2 \oplus$$
$$\mu^{-1} f x_1 x_2^{-1} \oplus \mu^{-1} \hbar x_1 x_2)^{-\alpha},$$

где α – вещественное число, удовлетворяющее условию: $\alpha \in [0; 1]$.

Сравнение разработанного метода с известными подходами

Задача размещения 1-центра в прямоугольной метрике на плоскости имеет геометрическое решение [9]. Его идея заключается в следующем. Пусть задан набор исходных точек на плоскости, вокруг каждой точки строится квадрат со сторонами, наклоненными под углом 45° к осям координат. Изначально эти квадраты имеют минимальные размеры. Затем размеры этих квадратов итерационно изменяются на каждом шаге алгоритма. Оптимальное решение считается найденным на шаге, после отработки которого у квадратов возникает точка (линия) касания. Аналогичным подходом можно воспользоваться и в рассмотренном в статье случае трехмерного пространства. Это решение очень трудоемко, определить его сложность в общем случае аналитически невозможно. Скорость сходимости такого алгоритма во многом определяется не формальными причинами, а искусством, опытом и удачей экспериментатора.

Итерационный алгоритм негеометрического типа предложен в работе [10]. Он позволяет найти место размещения точечного объекта на плоскости. При этом, по нашему мнению, предложенный алгоритм может быть применен и для решения задачи в трехмерном пространстве. Этот алгоритм имеет сложность $O(m^2)$, где m – количество точек, для которых решается задача 1-центра. При переходе к решению задач с б*о*льшими размерностям (как в нашем случае, когда рассматривается трехмерное пространство) алгоритмическая сложность не уменьшается.

Следует подчеркнуть, что оптимизационная задача в известном способе решается в два этапа. На первом этапе вычисляется минимум целевой функции, а на втором – координаты оптимального расположения искомого объекта. Вычисления на обоих этих этапах имеют сложность $O(m^2)$. При этом оптимальное решение получается в виде единственной (оптимальной) точки.

Предложенный в данной статье авторский подход также подразумевает выполнение вычислений в два аналогичных этапа. При этом, если алгоритмическая сложность первого этапа также составляет $O(m^2)$, то предложенные автором формульные зависимости позволяют понизить алгоритмическую сложность второго этапа решения задачи до O(1). Таким образом, даже не прибегая к численным примерам, легко понять, что преимущество разработанного метода решения минимаксной задачи является весьма существенным.

Для подтверждения этого вывода рассмотрим численный пример. В качестве основы (для обеспечения сопоставимости результатов расчетов) используем исходные данные, приведенные в таблице 1 статьи [10]. При этом, так как мы рассматриваем не двухмерный, а трехмерный случай, эти данные будут скорректированы. Они приведены в таблице.

Таблица

Исходные данные
для проведения расчетов

Номер объекта	Координаты		
	X1	X2	X3
1	3	3	2
2	9	9	2
3	4	8	0
4	9	5	6
5	7	1	3
6	7	11	2
7	1	5	2
8	11	3	2
9	4	5	4
10	12	7	1

На основании авторских формульных зависимостей минимальное значение целевой функции для заданного в таблице набора исходных точек $\mu = 7$. Это значение достигается не в точке, как в [10], а на множестве, представляющем собой прямоугольник, вершины которого задаются параметрически.

Множество решений описывается следующим образом:

$$x_1 = 7;\ x_2 = \alpha + 5;\ x_3 = \alpha + 1,$$

где α – вещественное число, удовлетворяющее условию: $\alpha \in [0; 1]$.

Для получения этого решения было проведено на первом этапе 162 расчетных операции, а на втором – 38 (для расчетов использовалась специально разработанная компьютерная программа на языке программирования R). В способе, принятом в качестве аналога, где алгоритмическая сложность на обоих этапах вычислений одинакова и составляет $O(m^2)$, на втором этапе потребуется порядка 400 расчетных операций, а на первом этапе количество расчетов сопоставимо с авторским алгоритмом, описанным в статье.

Таким образом, в приведенном численном примере достигается существенная экономия ресурсов от применения авторского подхода к решению задачи. На втором этапе поиска оптимальной области размещения ускорение может составить до 10 раз.

Заключение

Таким образом, автором получены аналитические формулы для нахождения целевых координат в трехмерном пространстве для объекта (например, сервера или узла маршрутизации интернет-трафика), осуществляющего взаимодействие с набором других, обслуживаемых, объектов (например, персональных компьютеров пользователей или абонентских устройств обмена данными).

Решение такого рода оптимизационной задачи может использоваться, например, при поиске наиболее рациональной точки (зоны) размещения соответствующего оборудования в крупном здании, где кабельные линии, как правило, прокладываются в «манхэттенской метрике», но в трехмерном пространстве – вдоль линий соединения пола, потолка и стен. Оптимальное решение, полученное в аналитическом виде, позволит сократить время на проектирование рассматриваемой системы, а также издержки на ее создание и эксплуатационные расходы, повысить качество передаваемых сигналов (за счет выбора оптимальных маршрутов их передачи).

Дальнейшим направлением исследований в рассматриваемой области, расширяющим полученные результаты, по нашему мнению, является поиск оптимальных решений для трехмерного пространства с учетом типовых ограничений [5; 6], как это было сделано ранее для плоского случая.

Список литературы

1. Трансформация управленческих систем под воздействием цифровизации экономики: монография / Ю. В. Вертакова, Т. О. Толстых, Е. В. Шкарупета, В. В. Дмитриева; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2017. 156 с.

2. Плотников В. А. Экономические механизмы информационного общества // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2012. Т. 24, № 19-1. С. 85–92.

3. Койда С. П. Тенденции развития информационной инфраструктуры обеспечения предпринимательской деятельности // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2012. № 5. С. 75–78.

4. Гретчин В. В., Полянин А. В. Основные аспекты электронного администрирования в менеджменте центров социального обслуживания населения // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2016. № 1 (18). С. 65–70.

5. Кривулин Н. К., Плотников П. В. Использование тропической оптимизации для решения минимаксных задач размещения с прямоугольной метрикой на прямой // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2016. Т. 3(61), № 4. С. 602–614.

6. Кривулин Н. К., Плотников П. В. Об алгебраическом решении задачи Ролса о размещении на плоскости с прямоугольной метрикой // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2015. Т. 2, № 2. С. 194–202.

7. Маслов В. П., Колокольцов В. Н. Идемпотентный анализ и его применение в оптимальном управлении. М.: Физматлит, 1994. 144 с.

8. Golan J. S. Semirings and affine equations over them: theory and applications. Springer Science & Business Media, 2013. 556 p.

9. Morris J. G. A Linear Programming Approach to the Solution of Constrained Multi-Facility Minimax Location Problems Where Distances are Rectangular // Oper. Res. Quar. 1973. Vol. 24. P. 419–435.

10. Забудский Г. Г. Алгоритм решения минимаксной задачи размещения объекта на плоскости с запрещенными зонами // Автоматика и телемеханика. 2004. № 2. С. 93–100.

Поступила в редакцию 27.12.17

UDC 004.94

P.V. Plotnikov, Post-Graduate Student, St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russia) (e-mail: pavplot@gmail.com)

APPROACH TO SOLUTION OF THE PROBLEM OF PLACING IN THE THREE-DIMENSIONAL SPACE BY METHODS OF TROPICAL OPTIMIZATION

The rapid digitalization of all spheres of vital activity of modern society places high demands on the use of resources allocated to the automation and informatization of various processes. This applies to both social and economic processes. In this connection, when designing and developing information and telecommunication systems, it becomes necessary to solve the problems of optimizing the placement of special objects (servers, data processing units, information stores, etc.) in them. Solving this problem by traditional methods is very laborious and does not guarantee obtaining the best result. The author proposed to use the instruments of tropical mathematics and such a section as idempotent algebra for solving the problem of optimal placement in three-dimensional space. The formalization of the initial allocation problem is carried out in the paper and a method for its analytical solution is described. The obtained results have undoubted practical value and can be used in solving a wide class of optimization placement problems, connected not only with informatization, but also with ensuring fire safety, the organization of video surveillance of protected premises, and etc.

Key words: *tropical mathematics, idempotent algebra, information systems design, optimal equipment location.*

References

1. Vertakova Yu. V., Tolstyh T. O., Shkarupeta E. V., Dmitrieva V. V. Transformaciya upravlencheskih sistem pod vozdejstviem cifrovizacii ehkonomiki. Kursk, Jugo-Zap. gos. un-t Publ., 2017. 156 p.

2. Plotnikov V. A. Ehkonomicheskie mekhanizmy informacionnogo obshchestva. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo

gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ehkonomika. Informatika, 2012, vol. 24, no. 19-1, pp. 85–92.

3. Kojda S. P. Tendencii razvitiya informacionnoj infrastruktury obespecheniya predprinimatel'skoj deyatel'nosti. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo universiteta ehkonomiki i finansov, 2012, no. 5, pp. 75–78.

4. Gretchin V. V., Polyanin A. V. Osnovnye aspekty ehlektronnogo administrirovaniya v menedzhmente centrov social'nogo obsluzhivaniya naseleniya. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Ehkonomika. Sociologiya. Menedzhment, 2016, no. 1 (18), pp. 65–70.

5. Krivulin N. K., Plotnikov P. V. Ispol'zovanie tropicheskoj optimizacii dlya resheniya minimaksnyh zadach razmeshcheniya s pryamougol'noj metrikoj na pryamoj. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Astronomiya, 2016, vol. 3(61), no. 4, pp. 602–614.

6. Krivulin N. K., Plotnikov P. V. Ob algebraicheskom reshenii zadachi Rolsa o razmeshchenii na ploskosti s pryamougol'noj metrikoj. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Astronomiya, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 194–202.

7. Maslov V. P., Kolokol'cov V. N. Idempotentnyj analiz i ego primenenie v optimal'nom upravlenii. Moscow, Fizmatlit, 1994. 144 p.

8. Golan J. S. Semirings and affine equations over them: theory and applications. Springer Science & Business Media, 2013. 556 p.

9. Morris J. G. A Linear Programming Approach to the Solution of Constrained Multi-Facility Minimax Location Problems Where Distances are Rectangular. Oper. Res. Quar, 1973, vol. 24, pp. 419–435.

10. Zabudskij G. G. Algoritm resheniya minimaksnoj zadachi razmeshcheniya ob"ekta na ploskosti s zapreshchennymi zonami. Avtomatika i telemekhanika, 2004, no. 2, pp. 93–100.

УДК 004.896

М. В. Бобырь, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

Н. А. Милостная, канд. техн. наук**,** ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: nat_mil@mail.ru)

А. А. Дородных, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alex.dorodnych@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТОДА РАЗНОСТИ ПЛОЩАДЕЙ

В статье представлен анализ метода дефазификации на основе подхода разности площадей для получения результирующего четкого множества линейной функции. В статье представлен алгоритм и последовательность операций, состоящая из математических формул и позволяющая реализовать метод разности площадей. Особенностью данного метода является применение на этапе агрегации жестких и мягких арифметических операций. Сочетание предложенных решений позволяет повысить точность нечеткой системы вывода. Оценка точности, функционирования нечеткой системы осуществлялась на основе оценки показателя RMSE. Минимальное значение RMSE соответствует оптимальному состоянию нечеткой системы. Для повышения эффективности предложенного метода на этапе фазификации используются параметризированные функции принадлежности. При использовании параметризированных функций принадлежности точка пересечения смежных термов всегда остается на уровне 0.5. Это обеспечивает соблюдение условия разбиения единицы. В статье рассмотрен алгоритм, описывающий последовательность операций в методе разности площадей. В статье представлено численное моделирование и сравнительный анализ предложенного подхода дефазификации с традиционными моделями дефазификации, к которым относятся модели центра тяжести, центра сумм, модели высот, первого, последнего и среднего максимумов. При моделировании использовались как мягкие, так и жесткие арифметические операторы. С целью повышения достоверности полученных результатов для имитационного моделирования были использованы десять дополнительных выборок. Результаты моделирования показывают превосходство предложенной модели по сравнению с другими методами дефазификации. Также в статье показаны способы, позволяющие за счет изменения меток функций принадлежности минимизировать значение параметра RMSE.

Ключевые слова: *дефазификация, метод разности площадей, мягкие вычисления, среднеквадратическая ошибка, система нечеткого вывода.*

***

Введение

Интеллектуализация технологических процессов и инженерных систем является на сегодняшний день важной задачей. Подобные системы используются в таких областях, как автоматизация производства, техническая диагностика, медицина, прогнозирование и распознавание образов [1–6]. Сложность управления динамическими объектами, необходимость всестороннего учета влияния факторов внешней среды, нечеткость и неопределенность информации обусловливает внедрение новых технологий управления. Решение данных задач с точки зрения управления трудно представить без модификации существующих математических моделей и методов их решения [6].

Центральное место в таких системах занимает нечеткий вывод, позволяющий преобразовывать значения входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе нечеткой базы знаний. Структура нечеткого вывода для систем с множеством входов и одним выходом (MISO) базируется на трёх основных блоках: фазификация, нечеткий вывод и дефазификация. Результаты аккумуляции и агрегации выходных переменных используются для получения количественных значений. Совокупность жестких и мягких

арифметических операций в структуре нечеткого вывода, а также применение метода разности площадей на этапе дефазификации влияет на повышение точности управления [7; 8]. Количественной характеристикой функционирования нечетко логической системы свидетельствует минимизация коэффициента среднеквадратической ошибки (RMSE – root mean square error) [9].

Завершающим этапом нечеткого вывода является дефазификация. К традиционным моделям дефазификации относятся следующие модели: центра тяжести (МЦТ), центра сумм (МЦС), модель высот (МВ), первого (МПМ), среднего (МСМ) и последнего (МПоМ) максимумов. Следует отметить, что традиционные модели дефазификации являются частным случаем модели центра тяжести. В свою очередь, МЦТ имеет ряд ограничений. Одним из самых значительных является отсутствие свойства аддитивности [10]. Оно появляется вследствие того, что при реализации композиционного правила из структуры нечеткого вывода исключаются активированные нечеткие правила [8].

Для устранения недостатков, свойственных традиционным моделям дефазификации, используются нетрадиционные модели. К ним относятся модели: Basic Defuzzification Distributions (BADD) [11]; Fuzzy Mean (FM) [11]; Quality Method (QM) [12]; Root Mean Square 2 (RMS2) [13]; New Weighted Trapezoid Median Average (NWTMA) [14]. Однако, как показал анализ, приведенный в работе [8], подход, основанный на разности площадей, имеет преимущество по сравнению с нетрадиционными моделями дефазификации.

1. Постановка задачи

Пусть нечеткая система имеет две входные $A = \{a_1\} + \{a_2\} + \{a_3\}$ $B = \{b_1\} + \{b_2\} + \{b_3\}$ и одну выходную переменную $y \in Y = \{y_1\} + \{y_2\} + \{y_3\} + \{y_4\} + \{y_5\}$, заданную параметрическими функциями принадлежности [10].

Нечеткая база знаний содержит девять fuzzy rules (FR) (табл. 1).

Для реализации композиционного правила используются как мягкие, так и жесткие арифметические операторы:

$$\max_{\delta}(a,b) = \\ = \left|\gamma \cdot \max(a,b) + 0,5(1-\gamma)(a+b)\right|, \quad (1)$$

где a, b – операнды, из которых определяется максимальное значение; γ – оператор параметризации.

При $\gamma = 1$ формула сводится к операции жесткого максимума, при $\gamma = 0$ формула сводится к операции среднего арифметического.

Таблица 1

Нечеткая база знаний

FR	If		Then	FR	If		Then	FR	If		Then
FR_1	a_1	b_1	y_5	FR_4	a_2	b_1	y_4	FR_7	a_3	b_1	y_3
FR_2	a_1	b_2	y_4	FR_5	a_2	b_2	y_3	FR_8	a_3	b_2	y_2
FR_3	a_1	b_3	y_3	FR_6	a_2	b_3	y_2	FR_9	a_3	b_3	y_1

$$\min_{\delta}(a,b)=\frac{a+b+\delta^2-\sqrt{(a-b)^2+\delta^2}}{2} \quad (2)$$

при $\delta = 0{,}05$,

где a, b – операнды, из которых определяется минимальное значение.

МЦТ определяется с помощью следующего выражения:

$$y_{defuz}=\frac{\int_{\min}^{\max} y\cdot\mu'(y)\,dy}{\int_{\min}^{\max}\mu'(y)\,dy}, \quad (3)$$

где min, max – пределы интегрирования нечеткого множества.

При использовании жестких и мягких арифметических операций в структуре нечеткого вывода и МЦТ получена поверхность отклика результирующей переменной (рис. 1).

К положительным свойствам МЦТ относится то, что в заключениях нечеткого вывода активизируются больше заключений, чем в моделях МПМ, МПоМ и МСМ, что повышает чувствительность данной модели. К недостаткам МЦТ относится высокая сложность вычислений, связанная с интегрированием поверхностей нерегулярной формы, например гауссовых функций принадлежности.

Постановка задачи заключается в следующем. Необходимо предложить такую модель дефазификации, позволяющую минимизировать недостатки, свойственные традиционным и нетрадиционным моделям дефазификации.

Оценка точности для различных нечетких моделей [15; 16] должна осуществляться на основе анализа коэффициента RMSE (root mean square error) [17]:

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n}\left(y_{\exp}-y_{defuz}\right)^2}\to\min, \quad (4)$$

где $y_{\exp}$ – множество обучаемых данных;

M – количество точек в обучаемой выборке.

2. Модель и алгоритм дефазификации на основе подхода разности площадей

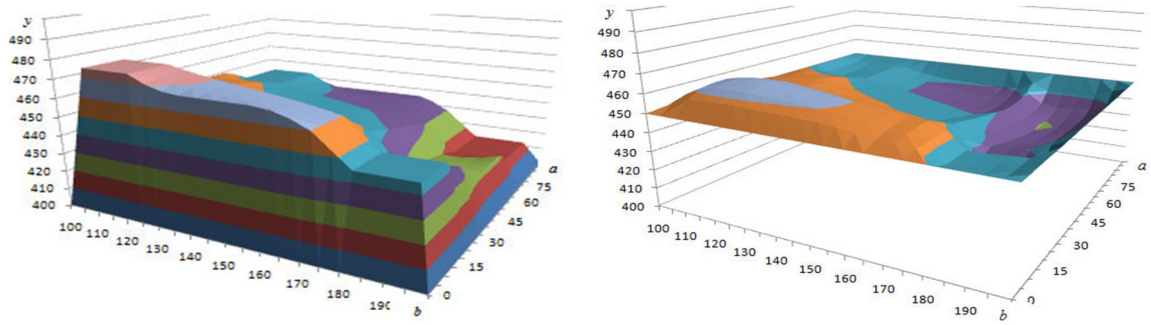
Для реализации метод разности площадей необходимо выполнить следующую последовательность вычислений.

1. Рассчитать общую площадь результирующей поверхности:

$$S_{11}=n\cdot\frac{b_1}{2}, \quad (5)$$

где n – количество термов выходной лингвистической переменной ($n = 5$);

b_1 – длина основания первой функции принадлежности (ФП) выходной переменной.



а) б)

Рис. 1. Модель центра тяжести при использовании в нечетком выводе: *а* – жестких арифметических операций; *б* – мягких арифметических операций

2. Найти высоту усеченных термов выходной переменной.

Например, $a = 30$ и $b = 130$.

Тогда $a_1 = 0.33$; $a_2 = 0.67$; $a_3 = 0$; $b_1 = 0.8$; $b_2 = 0.2$; $b_3 = 0$.

Следовательно,

$$h_3 = \min(a_2, b_2) = \min(0.67, 0.2) = 0.2;$$

$$h_{41} = \min(a_1, b_2) = \min(0.33, 0.2) = 0.2;$$

$$h_{42} = \min(a_2, b_1) = \min(0.67, 0.8) = 0.67;$$

$$h_4 = \max(y_{41}, y_{42}) = 0.67;$$

$$h_5 = \min(a_1, b_1) = \min(0.33, 0.8) = 0.33;$$

$$h_1 = h_2 = 0.$$

3. Рассчитать площадь усеченных термов выходной функции принадлежности:

$$S_n = \begin{cases} 0, \text{ если } h_{yn} = 0; \\ b_1/2, \text{ если } h_{yn} = 1; \\ h_{yn}/2(b_1 + b_3), \text{ если } h_{yn} \in (0,1). \end{cases} \quad (6)$$

4. Определить общую площадь фигуры с усеченными термами:

$$S_{12} = \sum_{i=1}^{n} S_n. \quad (7)$$

5. Вычислить отношение общей площади фигуры к площади с усеченными термами:

$$D = \frac{S_{12}}{S_{11}}. \quad (8)$$

6. Найти пропорциональное отношение, используя линейную функцию:

$$y_{defuz} = \left[D\left(y_f - y_s\right)\right] + y_s, \quad (9)$$

где y_f, y_s – конечное и начальное значение диапазона величин выходной переменной.

Алгоритм для модели дефазификации, основанной на подходе разности площадей, представлен на рисунке 2.

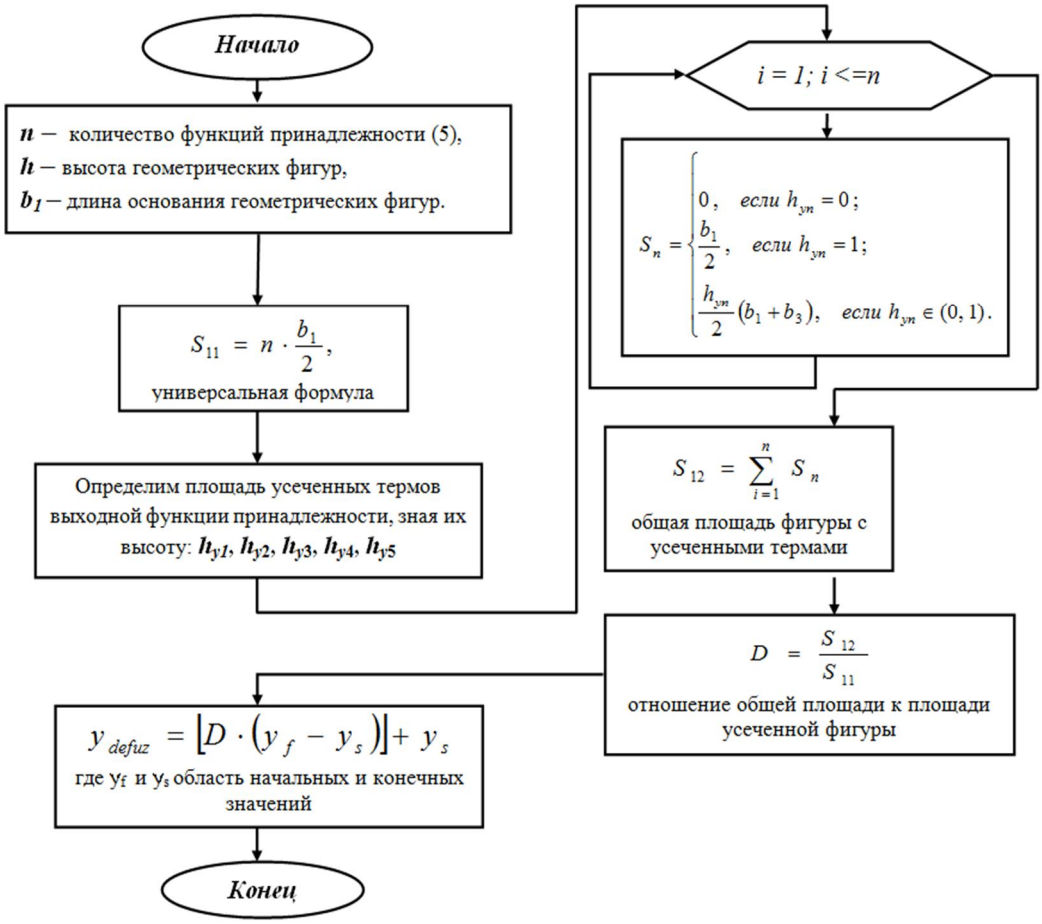


Рис. 2. Алгоритм для модели дефазификации, основанный на подходе разности площадей

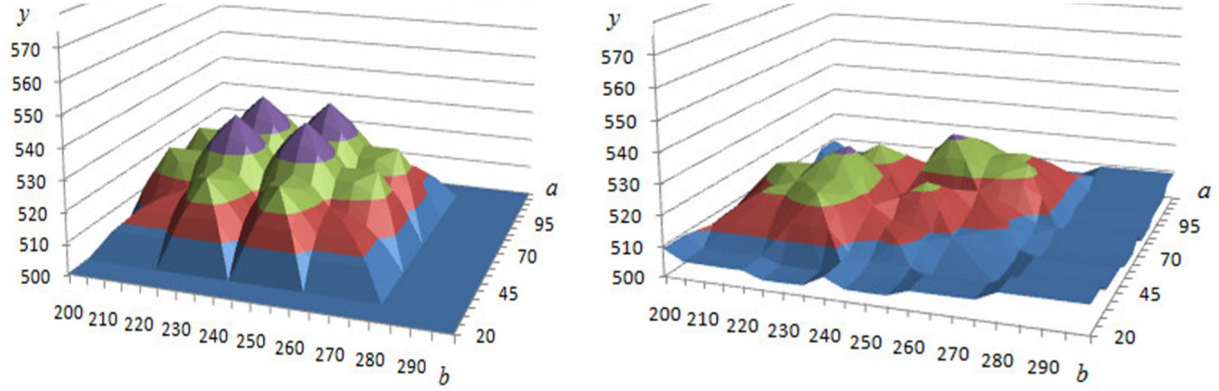
В методе разности площадей, основанном на формулах (6)÷(10), с целью расширения области определения результирующей переменной целесообразно изменять параметры y_f и y_s. Это позволит снизить возможность появления «проклятия» размерности при обучении нечетких систем, использующих данный метод.

3. Численное моделирование

Проведем на основе нового метода разности площадей дефазификацию для нечеткой MISO-системы во всем диапазоне входных значений. В процессе дефазификации в структуре нечеткого вывода использовались как жесткие, так и мягкие арифметические операции (рис. 3).

Для оценки точности предложенного метода разности площадей проведем сравнительный анализ его с традиционными методами дефазификации. Оценка точности предложенного метода сводится к определению, в каком из методов дефазификации показатель RMSE имеет минимальное значение

В качестве тестовых функций использовалась таблица наблюдений, состоящая из 441 точки (рис. 4), полученных случайным образом в диапазоне значений [405, 445], соответствующих распределению выходной ФП. Критерием качества аппроксимации является ошибка вывода, определяемая с помощью RMSE.



а) *б*)

Рис. 3. Дефазификация на основе модели разности площадей: *а* – с использованием жестких арифметических операций; *б* – с использованием мягких арифметических операций

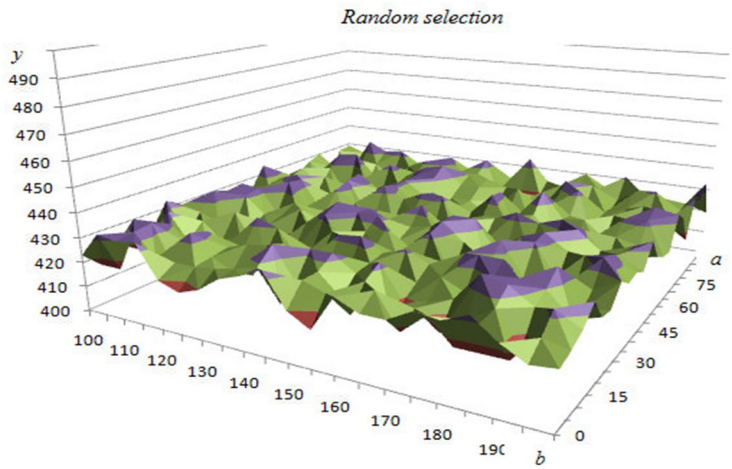


Рис. 4. Графическое представление 441 точки из таблицы наблюдений

Результаты моделирования нечетко логической системы на основе мягких и жестких арифметических операций сведены в таблицу 2.

Анализ данных (см. табл. 2) показывает, что точность предложенного метода выше по сравнению со всеми остальными моделями дефазификации.

С целью более глубоко исследования предложенного метода разности площадей проведем дополнительное исследование. Будем случайно 10 раз изменять значения экспериментальной выборки и после этого рассчитывать коэффициент RMSE (табл. 3).

Таблица 2

Расчет RMSE для моделей дефазификации

Модель	**Разности площадей**	Центра тяжести	Центра сумм	Модель высот	Первого максимума	Последнего максимума	Среднего максимума
	RMSE						
Жесткий вывод	2,62	7,78	7,78	7,78	6,65	6,05	3,65
Мягкий вывод	1,19	4,69	4,69	4,11	6,6	5,98	3,81

Таблица 3

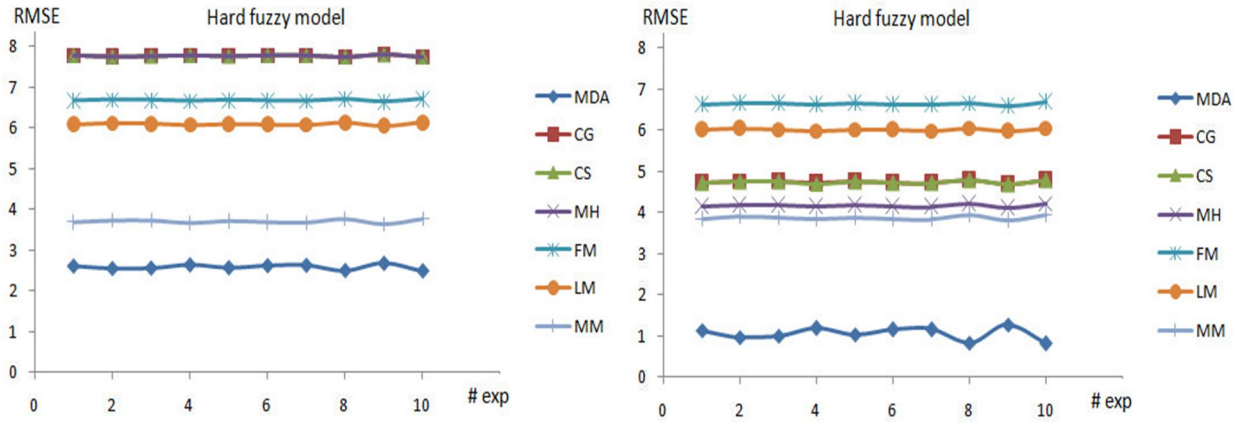
Дополнительное моделирование и расчет RMSE

№		**Разности площадей**	Центра тяжести	Центра сумм	Модель высот	Первого максимума	Последнего максимума	Среднего максимума
		RMSE						
1	Жесткий вывод	2,59	7,78	7,78	7,78	6,66	6,07	3,67
	Мягкий вывод	1,12	4,71	4,71	4,13	6,61	5,99	3,83
2	Жесткий вывод	2,53	7,75	7,75	7,75	6,69	6,1	3,71
	Мягкий вывод	0,95	4,75	4,74	4,17	6,64	6,02	3,88
3	Жесткий вывод	2,54	7,76	7,76	7,76	6,68	6,09	3,71
	Мягкий вывод	0,99	4,74	4,74	4,17	6,63	6,01	3,87
4	Жесткий вывод	2,62	7,78	7,78	7,78	6,65	6,06	3,65
	Мягкий вывод	1,18	4,7	4,69	4,12	6,6	5,98	3,81
5	Жесткий вывод	2,55	7,76	7,76	7,76	6,68	6,08	3,7
	Мягкий вывод	1,02	4,73	4,73	4,16	6,63	6,01	3,86
6	Жесткий вывод	2,6	7,78	7,78	7,78	6,66	6,07	3,67

Окончание табл. 3

№		**Разности площадей**	Центра тяжести	Центра сумм	Модель высот	Первого максимума	Последнего максимума	Среднего максимума
6	Мягкий вывод	1,13	4,71	4,71	4,13	6,61	5,99	3,83
7	Жесткий вывод	2,61	7,78	7,78	7,78	6,65	6,06	3,66
	Мягкий вывод	1,15	4,7	4,7	4,12	6,6	5,98	3,82
8	Жесткий вывод	2,48	7,74	7,74	7,74	6,7	6,11	3,75
	Мягкий вывод	0,82	4,77	4,77	4,2	6,65	6,04	3,91
9	Жесткий вывод	2,66	7,8	7,8	7,8	6,63	6,04	3,62
	Мягкий вывод	1,26	4,67	4,67	4,09	6,58	5,96	3,79
10	Жесткий вывод	2,47	7,74	7,74	7,74	6,71	6,12	3,75
	Мягкий вывод	0,8	4,78	4,77	4,21	6,66	6,04	3,91
Average	Жесткий вывод	2,565	7,767	7,767	7,767	6,671	6,08	3,689
	Мягкий вывод	1,042	4,726	4,723	4,15	6,621	6,002	3,851

Используя данные таблицы 3, построим графики распределения численного значения коэффициента RMSE по экспериментам. Расчет RMSE проводился для мягких и жестких моделей дефазификации (рис. 5).



а) *б*)

Рис. 5. Сравнение моделей дефазификации: *а* – модели с жесткими арифметическими операциями; *б* – модели с мягкими арифметическими операциями

Анализ рисунка 5 показал, что предложенная модель разности площадей для нечеткого вывода, использующего как жесткие, так и мягкие арифметические операции, имеет минимальное значение коэффициента RMSE. Это свидетельствует о ее превосходстве над остальными моделями дефазификации. Другим положительным эффектом модели разности площадей является возможность минимизации RMSE в нечеткой системе без использования ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems – адаптивные нейро-нечеткие системы вывода), основанных на моделях Мамдани и Такаги-Сугэно.

При изменении параметров параметризированной выходной функции принадлежности (рис. 6) наблюдается уменьшение RMSE. Так как выходная функция принадлежности строится на основе параметризированной формулы синтеза функций принадлежности, то при изменении одного из ее параметров автоматически меняются и остальные термы. И всегда будет выполнять условие разбиения единицы.

Динамика изменения коэффициента RMSE при изменении параметров выходной функции принадлежности на 8 итерациях сведена в таблицу 4.

Анализ таблицы 4 свидетельствует о том, что за 8 итераций возможность минимизировать RMSE в 1.19/0.13 = 9,2 раза. Полученные результаты при дефазификации на основе метода разности площадей с оптимизированными функциями принадлежности и использованием в структуре нечеткого вывода жестких и мягких арифметических операций представлены на рисунке 7.

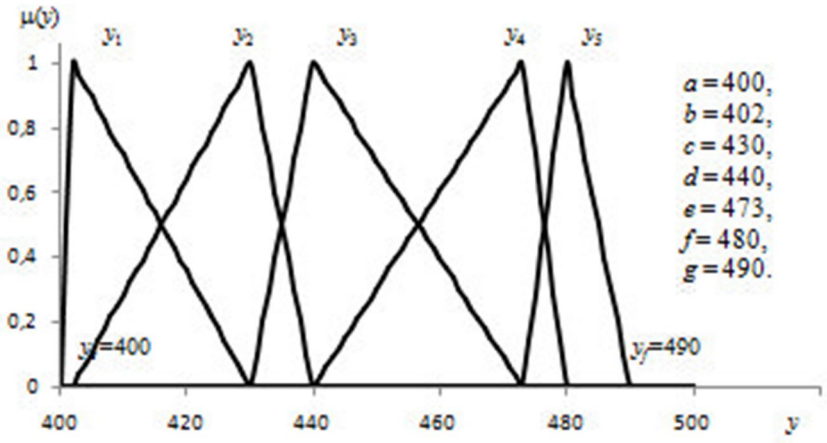
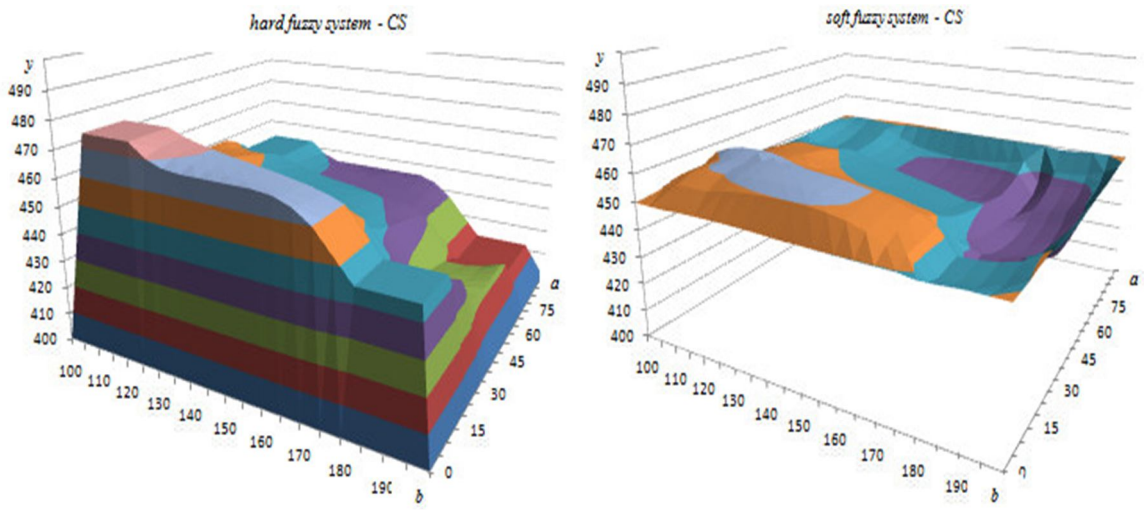


Рис. 6. Модифицированные термы выходной функции принадлежности

Таблица 4

Динамика изменения RMSE

Iteration	parameter MF	RMSE	Iteration	parameter MF	RMSE
1	$b = 410$	1,09	5	$e = 465$	0,75
2	$b = 405$	1,97	6	$e = 470$	0,59
3	$b = 402$	0,89	7	$e = 473$	0,47
4	$d = 440$	0,88	8	$f = 480$	0,13



а) *б*)

Рис. 7. Модель разности площадей с оптимизированными функциями принадлежности: *а* – жесткие арифметические операции; *б* – мягкие арифметические операции

Обсуждение результатов и заключение

Приведенные в статье экспериментальные исследования показывают, что численное значение параметра RMSE при использовании предложенного метода разности площадей меньше по отношению к традиционным моделям дефаззификации. Так, при использовании в структуре нечеткого вывода жестких арифметических операции и модели разности площадей точность нечеткой системы в среднем выше в 2,6 раза. При использовании в структуре нечеткого вывода мягких арифметических операции и модели разности площадей точность нечеткой системы в среднем выше в 4,8 раза.

При оптимизации модели разности площадей, то есть после настройки параметров выходной функции принадлежности, величина коэффициента RMSE минимальна. Так, при использовании в структуре нечеткого вывода мягких арифметических операции и модели разности площадей с оптимизированной выходной функцией принадлежности точность нечеткой системы по отношению к традиционным моделям дефазификации в среднем выше в 38,6 раза.

Также следует отметить, что при использовании в структуре нечеткого вывода мягких арифметических операций точность нечетких систем выше, чем при использовании в его структуре жестких операций нахождения минимума и максимума.

Таким образом, предложенная модель разности площадей способствует минимизации RMSE. Для повышения достоверности полученных результатов при моделировании нечеткой системы на основе метода разности площадей были выполнены экспериментальные исследования. Целью данных экспериментов была оценка точности нечеткой системы на основе расчета RMSE. Испытания показали, что при использовании жестких формул в структуре нечетко логического вывода возможны случаи, при которых система не реагирует на изменение входных параметров. При использовании мягких арифметических операций в структуре нечеткого вывода подобных случаев не наблюдалось.

Следовательно, можно сделать вывод, что мягкие арифметические операции при использовании их в структуре

нечетко логического вывода повышают стабильность нечеткой системы.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение 2.3440.2017 4.6.

Список литературы

1. Титов В. С., Бобырь М. В. Модернизация АСУ оборудованием с ЧПУ на основе аппарата нечеткой логики // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2010. № 2. С. 40–43.

2. Пат. 2379169 Рос. Федерация. Способ и устройство управления точностью обработки деталей / Титов В. С., Бобырь М. В., Яхонтова Е. С. Опубл. 2008, Бюл. № 2.

3. Титов В. С., Бобырь М. В., Милостная Н. А. Система лазерного контроля обработки деталей в реальном времени // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 11. С. 21–24.

4. Виноградова Л. Н., Бажинов А. Н., Ершов Е. В. Метод прогнозирования качества агломерата на основе нейронных сетей и нечетких множеств // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2011. № 1. С. 21–29.

5. Сизов А. С., Чеглов А. В. Выбор и сравнение показателей достоверности распознавания изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 1. С. 15–19.

6. Бобырь М. В., Милостная Н. А. Нечеткая модель интеллектуальной системы управления мобильным роботом // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 3. С. 57–67.

7. Бобырь М. В., Кулабухов С. А. Дефазификация вывода из базы нечетких правил на основе метода разности площадей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 9 (135). С. 32–41.

8. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Kulabuhov S. A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio // Applied Soft Computing. 2017. Vol. 59. P. 19–32.

9. Prediction of retinopathy in diabetic patients using type-2 fuzzy regression model / N. S. Bajestani, A. V. Kamyad, E. N. Esfahani, A. Zare // European Journal of Operational Research. 2018. Vol. 264, is. 3. P. 859–869.

10. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: [пер. с англ.]. 2-е изд. М.: Бином; Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

11. Leekwijck W. V., Kerre E. E. Continuity focused choice of maxima: Yet another defuzzification method // Fuzzy Sets and Systems. 2001. Vol. 122. P. 303–314.

12. Liu X. Parameterized defuzification with maximum entropy weighting function – Another view of the weighting function expectation method // Mathematical and Computer Modelling. 2007. Vol. 45. P. 177–188.

13. Chandramohan A., Rao M. V. C., Arumugam M. S. Two new and useful defuzzification methods based on root mean square value // Soft Computing. 2006. Vol. 10. P. 1047–1059.

14. Defuzzification block: New algorithms, and efficient hardware and software implementation issues / H. R. Mahdiani, A. Banaiyan, M. H. S. Javadi, S. M. Fakhraie, C. Lucas // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2013. Vol. 26. P. 162–172.

15. Forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models / I. V. Chernova, S. A. Sumin, M. V. Bobyr, S. P. Seregin // Biomedical Engineering. 2016. Vol. 49, N 5. P. 263–267.

16. Бобырь М. В., Титов В. С., Нассер А. А. Оценка числа итераций при обучении мягких нечётких систем // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 3 (54). С. 30–37.

17. Бобырь М. В. Адаптация системы управления мобильным роботом на основе нечеткой логики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16, № 7. С. 449–455.

Поступила в редакцию 22.01.18

UDC 004.896

M. V. Bobyr, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: fregat_mn@rambler.ru)

N. A. Milostnaya, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: nat_mil@mail.ru)

A. A. Dorodnykh, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alex.dorodnych@mail.ru)

THE CHARACTERISTIC RESEARCH OF AN AREA DIFFERENCE METHOD

The paper considers an analysis of the defuzzification method based on the area difference approach which is used to obtain the resultant clear set of a liner function. The paper discusses the algorithm and the sequence of operations consisting of mathematic formulae so that it is possible to realize the area difference method. A specific feature of this method is using hard and soft arithmetic operations at the stage of aggregation. Combination of the proposed solutions makes it possible to improve the accuracy of the fuzzy inference system. RMSE index is the base to evaluate the accuracy of the fuzzy system functioning. The optimal state of a fuzzy system corresponds to the minimum RMSE value. To increase the efficiency of the proposed method, the parameterized membership functions are used in the phase of fuzzification. Priority functions: the presence of intersections of the adjacent terms always remains at the level of 0.5. This ensures that the partition of unity condition is satisfied. The paper describes a numerical modeling of the proposed method. The modeling results have shown superiority of the proposed model over the traditional methods of defuzzification which include models of the center of gravity, the center of the sums, the model of heights, the first, last and average highs. In the simulation, both soft and rigid arithmetic operators were used. To improve the reliability of the results obtained, ten additional samples were used for simulation modeling. Based on the results obtained, it can be said with certainty that the proposed model is superior to other methods of defuzzification. The paper also presents the methods which allow minimizing the RMSE value by changing the labels of the membership function.

Key words: *defuzzyfication, area difference method, soft computing, root mean square error, fuzzy inference system.*

Reference

1. Titov V. S., Bobyr' M. V. Modernizacija ASU oborudovaniem s ChPU na osnove apparata nechetkoj logiki. Problemy mashinostroenija i avtomatizacii, 2010, no. 2, pp. 40–43.

2. Titov V. S., Bobyr' M. V., Jahontova E. S. Sposob i ustrojstvo upravlenija tochnost'ju obrabotki detalej. Patent Rossii na izobretenie, no. 2379169, 2008.

3. Titov V. S., Bobyr' M. V., Milostnaja N. A. Sistema lazernogo kontrolja obrabotki detalej v real'nom vremeni. Promyshlennye ASU i kontrollery, 2005, no. 11, pp. 21–24.

4. Vinogradova L. N., Bazhinov A. N., Ershov E. V. Metod prognozirovanija kachestva aglomerata na osnove nejronnyh setej i nechetkih mnozhestv. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2011, no. 1, pp. 21–29.

5. Sizov A. S., Cheglov A. V. Vybor i sravnenie pokazatelej dostovernosti raspoznavanija izobrazhenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 1, pp. 15–19.

6. Bobyr' M. V., Milostnaja N. A. Nechetkaja model' intellektual'noj sistemy upravlenija mobil'nym robotom. Problemy mashinostroenija i avtomatizacii, 2015, no. 3, pp. 57–67.

7. Bobyr' M. V., Kulabuhov S. A. Defazzifikacija vyvoda iz bazy nechetkih pravil na osnove metoda raznosti ploshhadej. Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij, 2015, no. 9(135), pp. 32–41.

8. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Kulabuhov S. A. A method of defuzzi-fication based on the approach of areas' ratio. Applied Soft Computing, 2017, vol. 59, pp. 19–32.

9. Bajestani N. S., Kamyad A. V., Esfahani E. N., Zare A. Prediction of retinopathy in diabetic patients using type-2 fuzzy regression model. European Journal of Operational Research, 2018, vol. 264, is. 3, pp. 859–869.

10. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie: per. s angl. 2th ed. Moscow: Binom; Laboratorija znanij Publ., 2013. 798 p.

11. Leekwijck W. V., Kerre E. E. Continuity focused choice of maxima: Yet another defuzzification method, Fuzzy Sets and Systems, 2001, vol. 122, pp. 303–314.

12. Liu X. Parameterized defuzzification with maximum entropy weighting function – Another view of the weighting function expectation method. Mathematical and Computer Modelling, 2007, vol. 45, pp. 177–188.

13. Chandramohan A., Rao M. V. C., Arumugam M. S. Two new and useful defuzzification methods based on root mean square value. Soft Computing, 2006, vol. 10, pp. 1047–1059.

14. Mahdiani H. R., Banaiyan A., Javadi M. H. S., Fakhraie S. M., Lucas C. Defuzzification block: New algorithms, and efficient hardware and software implementation issues. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2013, vol. 26, pp. 162–172.

15. Chernova I. V., Sumin S. A., Bobyr M. V., Seregin S. P. Forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models. Biomedical Engineering, 2016, vol. 49, no. 5, pp. 263–267.

16. Bobyr' M. V., Titov V. S., Nasser A. A. Ocenka chisla iteracij pri obuchenii mjagkih nechjotkih system. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2014, no. 3 (54), pp. 30–37.

17. Bobyr' M. V. Adaptacija sistemy upravlenija mobil'nym robotom na osnove nechetkoj logiki. Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie, 2015, vol. 16. no. 7, pp. 449–455.

УДК 004.932

А. Л. Жизняков, д-р техн. наук, профессор, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (Муром, Россия) (email: lvovich@newmail.ru)

Д. Г. Привезенцев, канд. техн. наук, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (Муром, Россия) (e-mail: dgprivezencev@mail.ru)

И. Е. Чернецкая, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия)

Е. В. Пугин, аспирант, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (Муром, Россия) (e-mail: egor.pugin@gmail.com)

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Одним из развивающихся и перспективных направлений в цифровой обработке изображений является применение фрактального анализа. Фракталы обладают свойствами самоподобия, что означает точное или вероятностное повторение свойств объекта при рассмотрении его в разных масштабах. Свойство самоподобия приводит к определенным закономерностям в статистическом поведении признаков изображений, в результате чего изображения можно с определенной точностью описать фрактальными признаками.

Кроме того, системы технического зрения активно используются во многих областях науки и техники. Важнейшей частью любой такой системы является программное обеспечение, задачей которого является обработка получаемой информации.

Однако подавляющее большинство алгоритмов цифровой обработки изображений основаны на четком алгоритме извлечения полезной информации, что часто не позволяет системам технического зрения решать нетривиальные задачи.

В связи с этим предлагается объединить математическую теорию нечетких множеств и нечеткую логику с зарекомендовавшими себя фрактальными методами цифровой обработки изображений.

Разработанную руководителем проекта систему фрактальных признаков предлагается модифицировать путем использования функции принадлежности в качестве основной метрики, что позволит использовать нечеткую логику в формировании значений признаков.

Предлагаемые новая модель и новая система признаков, основанные на использовании нечетких мер и функций принадлежности, позволят разработать новые алгоритмы обработки изображений, отличающиеся от существующих возможностью использования нечетких выводов и результатов.

Результаты работы могут послужить основой для разработки новых систем компьютерного анализа и классификации дефектов изделий и материалов, используемых в производстве, строительстве и других сферах.

Ключевые слова: *обработка изображений, фрактальная обработка изображений, фрактальные признаки изображений.*

***

Введение

Современное состояние теории обработки многомерных сигналов характеризуется дальнейшим развитием и совершенствованием статистических методов, а также бурным проникновение в нее новых физических идей и широким использованием классических и нестандартных разделов математики. В настоящее время становится ясным, что применение в современных информационных технологиях идей масштабной инвариантности и разделов современного функционального анализа, которые связаны с теорией нечетких множеств, теорией фракталов, нечеткой логикой, открывает большие потенциальные возможности

и новые перспективы в обработке многомерных сигналов [8–10].

С возрастающей сложностью решаемых задач целесообразно воспользоваться методами, которые специально ориентированы на построение моделей, методов и алгоритмов, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких ситуациях теория нечетких множеств и нечеткой логики оказывается наиболее конструктивной. Уже достигнутые теоретические результаты позволяют рассматривать нечеткую логику как перспективный инструмент для анализа гетерогенной информации в виде сложных качественных лингвистических описаний и количественных данных. В современных работах рассматриваются методы и алгоритмы использования механизмов нечеткой логики и теории нечетких множеств, направленные на решение задач цифровой обработки изображений.

Анализ используемых схем нечеткой обработки изображений [1] показывает, что используемые нечеткие представления изображений, а также функции принадлежности, используемые для перевода изображений в нечеткую форму, не имеют единой математической основы. Используемые нечеткие признаки и свойства изображений построены на представлении изображений в виде множеств. В таком случае отсутствует возможность совместного использования нечетких технологий с классическими алгоритмами цифровой обработки изображений. В ряде работ описываются нечеткие меры, нечеткие интегралы, которые используются в задачах сегментации, кластеризации в качестве локальных статистических признаков, которые определены на множестве, которым представлено изображение [2]. Из этого следует, что для совместного использования классических признаков, мер и алгоритмов совместно с нечеткими технологиями представления изображений необходима система нечетких признаков, мер и расстояний, которая позволит разработать новые алгоритмы цифровой обработки изображений.

В связи с вышесказанным предлагается разработать нечеткую математическую модель цифрового изображения, основанную на его описании терминами нечетких множеств с использованием нечеткой логики, являющуюся основой для построения новых алгоритмов извлечения информации о признаках и алгоритмов обработки изображений.

Разрабатываемая модель должна позволять описать изображение в контексте решаемой задачи. Другими словами, предлагается унифицировать процесс формирования нечеткого представления за счет разработки и описания математического аппарата преобразования изображения в нечеткое множество. В дополнение предлагается использовать функции принадлежности, специально спроектированные для решения конкретных задач цифровой обработки изображений, описывающие логику формирования нечеткого представления.

Используя описанные выше подходы, предлагается разработать алгоритмы обработки нечетких представлений, позволяющие извлекать полезную информацию о признаках и свойствах исходного изображения.

Фрактальная модель цифрового изображения

Большинство алгоритмов цифровой обработки изображений с использованием нечетких систем осуществляется в три этапа: формирование нечеткого представления (image fuzzification), непосредственная обработка и при необходимости восстановление изображения из нечеткого представления (image defuzzification). При этом каче-

ство обработки изображений такими алгоритмами в большей степени зависит от правильного выбора используемого нечеткого представления [3]. Используемые в настоящее время алгоритмы нечеткого представления изображений сильно фрагментированы, т. е. нет единого математического аппарата построения нечетких моделей цифровых изображений, который позволил бы использовать математическую теорию нечетких множеств и нечеткой логики совместно с методами цифровой обработки изображений [4].

Разработанная и описанная в [5–7] фрактальная модель цифрового изображения реализует систему итерируемых функций и может быть представлена следующим выражением:

$$f' = \sum_{i=1}^{M} \left(B_{n_i,m_i}^{r_i} \right)^* \left[s_i \left(\tilde{w} \left(B_{k_i,l_i}^{d_i} \right) [f] \right) + o_i \right] \quad (1)$$

где

$$D = \left(B_{k_i,l_i}^{d_i} \right) [f] \quad (2)$$

это оператор извлечения доменного блока с индексом d_i из исходного изображения f. Преобразование, которое выполняет изменение цветовых характеристик доменного блока и геометрическое преобразование, имеет следующий вид:

$$D' = s_i \left(\tilde{w} [D] \right) + o_i . \quad (3)$$

После выполнения всех преобразований над исходным доменным блоком результат вставляется в изображение:

$$f' = \sum_{i=1}^{M} \left(B_{n_i,m_i}^{r_i} \right)^* [D'] . \quad (4)$$

Используя (1), (2) и (3), можно составить выражение рангового блока изображения через доменный блок:

$$R_i = D' = s_i \left(\tilde{w} [D] \right) + o_i . \quad (5)$$

Для сравнения двух изображений f, h используется среднеквадратическая метрика:

$$g(f,h) = \sum_{i,j} \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \left[f(i,j) - h(i,j) \right]^2} , \quad (6)$$

где m, n – размеры изображений.

То есть для каждого рангового блока изображения R_i подбирается доменный блок D_i, который наилучшим образом аппроксимирует ранговый блок. Другими словами, находится такая пара (R_i, D_j), для которой метрика (6) будет минимальна:

$$d(R_i, D') \to \min .$$

Для формирования фрактального кода изображения используется квадродерево ранговых блоков. Корнем дерева выступает само изображение.

С учетом вышесказанного выражение (5) можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} R_i &= D' + \xi_i , \\ \xi_i &= g(R_i, D') , \\ \Phi &= \{R, D\} . \end{aligned} \quad (7)$$

Другими словами, фрактальная модель описывает исходное изображение с помощью квадродерева. Каждый лист дерева представляет собой ранговый блок изображения, которому ставится в соответствие доменный блок так, чтобы ошибка аппроксимации была минимальна.

Описание нечетких множеств

Нечеткое множество A на множестве $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ представляет собой множество, которое может быть представлено следующим образом:

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) | x \in X \} , \quad (8)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности элемента x к множеству A:

$$\mu_A(x) : X \to [0,1] .$$

Также существует обратная функция функции принадлежности $\upsilon_A(x)$:

$$\upsilon_A(x) : X \to [0,1] ,$$

причем

$$0 \le \mu_A(x) + \upsilon_A(x) \le 1 .$$

Разработка нечеткой фрактальной модели

Для использования всех возможностей нечетких множеств необходимо модифицировать модель (5) и привести ее к нечеткому виду.

Во время построения фрактального кода изображения формируется множество ранговых блоков, доменных блоков и величин ошибок аппроксимации:

$$R = \{R_i\},\ R_i = \{D_j,\ \xi_{i,j}\}. \qquad (9)$$

Тогда, используя (8), выражение (9) можно выразить с использованием нечеткого множества

$$R = \{D_j, \mu_R(D_j), 1-\mu_R(D_j) \mid D_j \in D\} \qquad (10)$$

Тогда функция принадлежности $\mu_R(D_j)$ будет иметь вид

$$\mu_R(D_j) = \frac{\xi_j}{\xi_{\max}},$$

где $\xi_{\max}$ – максимальная ошибка аппроксимации, которая определяется как разница между абсолютно черным и абсолютно белым изображениями:

$$\xi_{\max} = \frac{255}{\sqrt{m \cdot n}},$$

где m, n – размеры изображений.

Представим изображение f в виде графа $G = (V, \bar{U})$, где V – список ранговых блоков изображения, $\bar{U}$ – связи между ранговыми блоками. Тогда процесс формирования дерева ранговых блоков изображения можно расписать следующим образом. Имеется ранговый блок нулевого уровня R^0, которому соответствует все изображение, т. е. $v_1 = R^0$. Он содержит ранговые блоки первого уровня $\{R_1^1, R_2^1, R_3^1, R_4^1\} \in R^0$, т. е.

$$v_2 = R_1^1, v_3 = R_2^1,\ v_4 = R_3^1,\ v_5 = R_4^1,$$
$$\{\bar{u}_1 = (v_1, v_2),\ \bar{u}_2 = (v_1, v_3), \bar{u}_3 =$$
$$= (v_1 . v_4), \bar{u}_4 = (v_1, v_5)\} \in \bar{U}.$$

Продолжив далее формирование фрактального кода, получается законченное дерево ранговых блоков, из которого строится изображение. Фрагмент дерева ранговых блоков приведен на рисунке 2.

Оператор формирования фрактального кода, в частности фрактального дерева, назовем прямым фрактальным преобразование:

$$F(f, D) = \Phi, \qquad (11)$$

где Ф – получаемый фрактальный код изображения f с помощью оператора F.

Кроме того, дополнительным параметром оператора является список доменных блоков D изображения, участвующих в формировании кода.

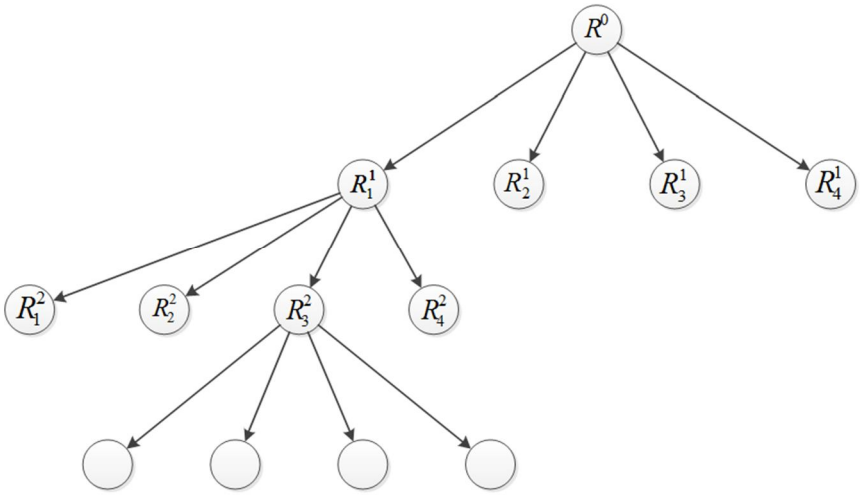


Рис. 1. Фрагмент дерева ранговых блоков

Кроме прямого преобразования существует обратное фрактальное преобразование, которое формирует изображение по фрактальному коду:

$$f' = F^*(\Phi, D) = F^*(F(f, D)). \quad (12)$$

Для правильного восстановления изображения по его фрактальному коду важно, чтобы в преобразованиях использовался одинаковый список доменных блоков D.

В изначальном варианте формируемый фрактальный код является полным. Это означает, что каждая вершина графа имеет одного родителя и четырех потомков, но длина нисходящей цепочки не превышает глубины квадродерева, которая задается на начальном этапе построения кода.

Если для восстановления изображения оператором (12) в качестве параметра Ф использовать полное дерево, тогда изображение f' будет максимально похоже на исходное изображение.

Для целей получения видоизмененных изображений используются неполные деревья ранговых блоков. Для формирования неполного дерева используется оператор вида

$$\Phi^* = \Gamma(\Phi). \quad (13)$$

Вид оператора Г зависит от требуемого результата. Так, например, убрав некоторые ветки фрактального дерева, можно добиться получения изображения, на котором участки, за которые отвечали удаленные ветки, будут сглаженными, а остальные участки четкими.

Учитывая (10), пороговый оператор Г может выглядеть следующим образом:

$$\Gamma(\Phi) = \{R', D\}, R' = \left\{R_i \middle| \mu_R(D_j) \rangle \varepsilon\right\}. \quad (14)$$

Оператор (14) позволяет использовать только ранговые блоки, значение функции принадлежности которых больше заданного порогового значения ε.

Заключение

Таким образом, предлагается новая нечеткая фрактальная модель изображения, являющаяся модификацией ранее разработанной фрактальной модели за счет использования нечетких множеств для формирования фрактального кода. Использование двух перспективных подходов позволит использовать преимущества фрактальных методов обработки изображений совместно с возможностями нечетких множеств и нечеткой логики.

Разработанная модель предоставляет возможности для дальнейшей разработки алгоритмов обработки изображений, основанных на обработке нечеткого фрактального кода методами анализа нечетких множеств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-07-01191.

Список литературы

1. Chacón M M.I. Fuzzy Logic for Image Processing: Definition and Applications of a Fuzzy Image Processing Scheme. In: Bai Y., Zhuang H., Wang D. (eds) Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. Advances in Industrial Control. Springer, London, 2006.

2. Chaira T. Fuzzy Measures in Image Processing. In: Bustince H., Herrera F., Montero J. (eds) Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 220.

3. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: Word Scientific, 1998. 225 p.

4. Bing-Yuan Cao. Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy Recognition // Optimal Models and Methods with Fuzzy Quantities Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2010. Vol. 248. P. 117–137

5. Zhiznyakov A. L., Privezentsev D. G., Zakharov A. A. Using fractal features of digital images for the detection of surface defects // Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2015. Vol. 25, N 1. P. 122–131.

6. Жизняков А. Л., Привезенцев Д. Г. Анализ возможностей применения фрактальных методов в промышленных системах обработки изображений // Надежность и качество: труды международного симпозиума. Муром, 2012. Т. 2. С. 385–386.

7. Привезенцев Д. Г. Использование локальных признаков самоподобия в задачах цифровой обработки изображений // Устойчивость и процессы управления: материалы III международной конференции. Муром, 2015. С. 601–602.

8. Агеева Е. В., Алтухов А. Ю., Новиков Е. П. Микроанализ электроискровых покрытий на основе электроэрозионных порошков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 3(72). URL: iswsu.esrae.ru/ru/29-207 (дата обращения: 01.12.2017).

9. Шуклин И. И., Мосин С. А., Мирошниченко С. Ю. Влияние свойств данных дистанционного зондирования земли и параметров их трансформирования на время построения результирующего изображения местности // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6(69). URL: iswsu.esrae.ru/26-128 (дата обращения: 01.12.2017).

10. Садыков С. С., Савичева С. В. Предварительная обработка изображений плоских объектов в системах технического зрения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 2. С. 19–23.

Поступила в редакцию 22.01.18

UDC 004.932

A. L. Zhiznyakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Murom Institute (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexader Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs" (Murom, Russia)
(email: lvovich@newmail.ru)

D. G. Privezencev, Candidate of Engineering Sciences, Murom Institute (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexader Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs" (Murom, Russia)
(e-mail: dgprivezencev@mail.ru)

I. E. Cherneckaya, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)

E. V. Pugin, Post-Graduate Student, Murom Institute (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexader Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs" (Murom, Russia)
(e-mail: egor.pugin@gmail.com)

USING FUZZY FRACTAL FEATURES OF DIGITAL IMAGES FOR THE MATERIAL SURFACE ANALYSIS

One of the developing and promising directions in digital image processing is the use of fractal analysis. Fractals have the properties of self-similarity, which means an exact or probabilistic repetition of the properties of an object when considering it at different scales. The property of self-similarity leads to certain regularities in the statistical behavior of image attributes, as a result of which images can be described with certain accuracy by fractal traits.

The systems of technical vision are actively used in many fields of science and technology. The most important part of any such system is the software, whose task is to process the information received.

However, the overwhelming majority of digital image processing algorithms are based on a clear algorithm for extracting useful information, which often does not allow the technical vision systems to solve non-trivial problems.

In this regard, it is proposed to combine the mathematical theory of fuzzy sets and fuzzy logic with the proven fractal methods of digital image processing.

The results of the work can serve as a basis for the development of new systems for computer analysis and the classification of defects in products and materials used in production, construction and other areas.

As a result of the research it was determined that the developed algorithm for detecting uncharacteristic areas of digital images on the basis of fuzzy representation can be used to solve flaw detection problems. This is confirmed by high results of work on test images. In addition, the stability of fractal attributes to changes in the histogram of the image makes it possible to use the described algorithm in vision systems established under real conditions.

Key words: *processing of images, fractal processing of images, fractal signs of images.*

References

1. Chacón M M.I. Fuzzy Logic for Image Processing: Definition and Applications of a Fuzzy Image Processing Scheme. In: Bai Y., Zhuang H., Wang D. (eds) Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. Advances in Industrial Control. Springer, London, 2006.

2. Chaira T. Fuzzy Measures in Image Processing. In: Bustince H., Herrera F., Montero J. (eds) Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, vol. 220.

3. Chi Z. Yan H., Pham T. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition. Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: Word Scientific, 1998. 225 p

4. Bing-Yuan Cao. Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy Recognition. Optimal Models and Methods with Fuzzy Quantities Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2010, vol. 248, pp. 117–137

5. Zhiznyakov A. L., Privezentsev D. G., Zakharov A. A. Using fractal features of digital images for the detection of surface defects. Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications), 2015, vol. 25, no. 1, pp. 122–131.

6. Zhiznyakov A. L., Privezentsev D. G. Analysis of the possibilities of using fractal methods in industrial image processing systems. Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality, 2012, vol. 2, pp. 385–386.

7. Privezentsev D. G. Use of local self-similarity signs in problems of digital image processing. Stability and control processes. Materials of the III International Conference. Murom, 2015, pp. 601–602.

8. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Novikov E. P. Microanalysis of Electrospark Coatings Based on Electroerosive Powders. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2017, no. 3(72). URL: iswsu.esrae.ru/ru/29-207.

9. Shuklin I. I., Mosin S. A., Miroshnichenko S. Yu. Influence of properties of remote sensing data and parameters of their transformation on the time of constructing the resulting image of the terrain. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2016, no. 6(69). URL: iswsu.esrae.ru/26-128.

10. Sadykov S. S., Savicheva S. V. Preliminary processing of images of flat objects in vision systems. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Instrument making, 2012, vol. 55, no. 2, pp. 19–23.

УДК 378

А. И. Пыхтин, канд. техн. наук, проректор по международной деятельности и информатизации, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: aipykhtin@swsu.ru)

О. В. Овчинкин, канд. техн. наук, начальник управления приемом на обучение в университет, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ovchinkin_o_v@mail.ru)

МОДИФИКАЦИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРИЕМА В ВУЗЫ РОССИИ

Федеральная информационная система обеспечения государственной итоговой аттестации и приема может быть преобразована из инструмента контроля за соблюдением законодательства в области приема на программы высшего образования в основу автоматизированной информационной системы для организации централизованного конкурсного отбора в вузы России. Это позволит оптимизировать расходы вузов на организацию приемной кампании. Показано, что указанная система нуждается лишь в небольшой доработке с точки зрения расширения перечня хранимой информации, так как в настоящее время федеральная система уже хранит сведения о вузах (перечне направлений подготовки и специальностей, объемах приема, конкурсных группах), абитуриентах, результатах их вступительных испытаний, приказах о зачислении. В то же время технических мощностей федеральной системы достаточно для обеспечения функционирования в новом режиме, так как система оптимизирована для обеспечения одновременного внесения данных о зачислении порядка полумиллиона абитуриентов в более чем 1000 вузов в течение суток. Наиболее сложно реализуемыми из необходимых доработок являются создание открытых интернет-интерфейсов для взаимодействия с поступающими с целью соблюдения требований по открытости информации, интеграция с порталом государственных и муниципальных услуг и единой системой идентификации и аутентификации для обеспечения требований защиты информации, в частности персональных данных, а также реализация печатных форм (заявлений о приеме, приказов о зачислении, договоров об образовании). Показано, как видоизменится схема взаимодействия вузов, абитуриентов и государственной информационной системы в случае централизации приемной кампании.

Ключевые слова: *централизованный приём в вузы, абитуриент, единый государственный экзамен, федеральная информационная система, схема взаимодействия.*

***

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2013 г. № 755 создана федеральная информационная система обеспечения проведения государственной итоговой аттестации обучающихся и приема граждан в образовательные организации для получения среднего профессионального и высшего образования (далее – ФИС ГИА и приема), а также утверждены правила ее формирования и ведения. Эта мера стала очередным этапом в усилении контроля соблюдения законодательства России в области образования в целом и в области приема граждан в вузы в частности.

Все вузы России обязаны ежедневно вносить в течение приемной кампании в ФИС ГИА и приема в ручном или автоматизированном режиме подробные сведения обо всех абитуриентах различных уровней образования (от среднего профессионального до направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре). Для такой интеграции с ФИС ГИА и приема вузы ежегодно тратят значительные средства, так как спецификация взаимодействия с системой периодически меняется, что требует или приобретения и внедрения сторонних программных продуктов, или модификации собственных разработок вузов. Также подключение к системе в связи с наличием в ней огромного массива персональных данных требует обеспечения

защиты информации и аттестации всех рабочих мест пользователей. При этом для вузов польза ФИС ГИА и приема сводится лишь к возможности автоматизированной проверки результатов ЕГЭ поступающих. Во всех остальных случаях ФИС ГИА и приема – инструмент контроля со стороны вышестоящих органов (Минобрнауки России и Рособрнадзора). В настоящее время осуществляются попытки использования ФИС ГИА и приема как основного источника статистической информации о результатах приема в вузы вместо ежегодно предоставляемой высшими учебными заведениями отчетности (например, формы «Мониторинг ПК»), но в связи со сложностью и гибкостью системы процесс все еще находится в стадии отладки.

Существует подход [1], согласно которому ФИС ГИА и приема может стать основной информационной системой для ведения приемной кампании во все вузы России, причем как в случае сохранения действующего порядка приема в вузы (далее – подход А), так и в случае его реформирования для централизации приема в масштабах отдельного региона [2; 3] или России в целом [4; 5] с сохранением процедуры конкурса по направлениям подготовки внутри вуза (далее – подход Б) или с внедрением общероссийского конкурса по направлениям подготовки в целом (подход В).

Рассмотрим, какие модификации должны быть применены к ФИС ГИА и приема для ее адаптации к указанной процедуре.

Во-первых, необходимо оценить, каким объемом данных необходимо дополнить ФИС ГИА и приема. В данной федеральной системе в настоящее время содержится информация обо всех вузах (перечни специальностей и направлений подготовки, количество мест для приема, перечни вступительных испытаний, минимальные пороговые баллы, предоставляемые победителям и призерам олимпиад льготы), абитуриентах (фамилия, имя, отчество, гражданство, данные документов, удостоверяющих личность, результаты ЕГЭ и вступительных испытаний, сведения о выбранных для поступления вузах, направлениях подготовки (специальностях), льготах, индивидуальных достижениях), приказах о зачислении, а также сведения о победителях и призерах олимпиад школьников, которые вносятся в систему организаторами этих интеллектуальных состязаний. По сути, этот объем данных является достаточным для организации централизованного приема. Для использования ФИС ГИА и приема в качестве основной информационной системы вуза для автоматизации приемной кампании необходимо дополнить интерфейсы системы печатными формами (заявления о приеме, расписки о приеме документов, приказы о зачислении и т. д.) и подсистемами для работы с договорами об образовании, включая возможность внесения в ФИС ГИА и приема стоимости обучения, оформления индивидуальных графиков платежей. Также в ФИС ГИА приема отсутствует возможность ранжирования вузов для абитуриента, так как в настоящее время сведения по приемным кампаниями каждого вуза изолированы друг от друга.

Во-вторых, необходимо рассмотреть вопрос об организации web-доступа к части информации ФИС ГИА и приема для абитуриентов. Перечень такой информации в соответствии с действующим порядком приема: количество мест для приема в вузы по различным условиям конкурса, перечень вступительных испытаний для каждой образовательной программы, ранжированные списки абитуриентов с указанием условий поступления (без вступительных испытаний, в пределах особой

квоты или целевой квоты, по общему конкурсу, на места с оплатой обучения), набранных ими баллов по результатам вступительных испытаний и индивидуальных достижений.

Особую важность для абитуриентов представляют именно списки поступающих, так как с их помощью можно оценить шансы на поступление в тот или иной вуз, на то или иное направление подготовки. При этом в списке абитуриентов должно быть отмечено, кто из них сдал в конкретный вуз оригинал документа об образовании, а кто копию, кто дал согласие на зачисление. Для повышения прозрачности в списках абитуриентов рекомендуется указывать факт участия поступающего в конкурсе на другие направления подготовки и специальности в пределах выбранного вуза. Дополнительной полезной информацией, которую в настоящее время точно не может представить ни один вуз, является информация о позиции абитуриента в конкурсе в других образовательных организациях. Использование ФИС ГИА и приема позволяет реализовать эту возможность на практике.

За образец представления информации на сайте можно использовать существующие разработки вузов, например [6–8]. Образец списка, используемого в Юго-Западном государственном университете (ЮЗГУ), приведен на рисунке 1.

Рейтинг	Рег. номер	Ф.И.О.	Баллы по предметам 1.Обществознание + 2.История + 3.Русский язык	Сумма баллов	Баллы за индивидуальные достижения	При прочих равных	Нужно общежитие?	Позиция в заявлении	Согласие на зачисление / Копия или оригинал документов	Список спец.	Рекомендация	Примечание (где находится оригинал)
БЕЗ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ												
1	INET009-17	Хохлова В.Ю.	90(ЕГЭ) 77(ЕГЭ) 100(ЕГЭ)	277	10.000	89769910	Нет	1	Да / **Коп.**	О: ЮР6+	ЮР6-1	МГЮА им. Кутафина НЕ УЧАСТВУЕТ В ПЕРВОЙ ВОЛНЕ
В ПРЕДЕЛАХ КВОТЫ (льготы: дети-сироты, инвалиды и т.д.)												
2	004-217-17	Малыхин Д.В.	65(Э) 90(Э) 69(ЕГЭ)	234	10.000	64896810	Нет	1	Да / Ориг.	О: ЮР6+ ЮР6(П)	ЮР6-1	Зачислен на ЮР6 (Бюджет-квота)
Общий конкурс												
3	004-032-17	Панкова Т.Д.	90(ЕГЭ) 89(ЕГЭ) 96(ЕГЭ)	285	10.000	89889510	Нет	1	Да / Ориг.	О: ЮР6+ ТД1(П) ГО6(П)	ЮР6-1	Зачислен на ЮР6 (Бюджет)
4	004-110-17	Сычкова А.Ю.	100(О) 77(ЕГЭ) 96(ЕГЭ)	283	10.000	99769510	Нет	1	Да / Ориг.	О: ЮР6+	ЮР6-1	Зачислен на ЮР6 (Бюджет)
5	004-221-17	Газизова Д.Э.	94(ЕГЭ) 93(ЕГЭ) 96(ЕГЭ)	283	0.000	93929500	Нет	1	**Нет / Коп.**	О: ЮР6	ЮР6-1	НЕ УЧАСТВУЕТ В КОНКУРСЕ НА ЮРИСПРУДЕНЦИЮ
6	004-191-17	Дурнева А.О.	84(ЕГЭ) 98(ЕГЭ) 88(ЕГЭ)	280	10.000	83978710	Нет	1	**Нет / Коп.**	О: ЮР6 ЭК6 ГУ6	ЮР6-1	МГЮА НЕ УЧАСТВУЕТ В ПЕРВОЙ ВОЛНЕ
7	004-148-17	Тимошкова Е.В.	90(Э) 90(Э) 95(Э)	276	1.000	89899401	Нет	1	Да / Ориг.	О: ЮР6+	ЮР6-1	Зачислен на ЮР6 (Бюджет)

Рис. 1. Фрагмент списка абитуриентов

Важное требование к спискам абитуриентов – их интерактивность. Опыт анкетирования поступающих и анализа их отзывов о работе приемной комиссии в ЮЗГУ в 2007–2017 годах показал, что абитуриенты негативно относятся к информации, представляемой на web-сайтах в виде документов (например, файлов в формате pdf). Более удобным вариантом они считают табличную информацию, причем содержащую гиперссылки для быстрого перехода к связанным блокам сведений. Так, для каждого поступающего на сайте ЮЗГУ выводится в виде совокупности гиперссылок список выбранных для поступления абитуриентом специальностей и направлений подготовки. При щелчке по любой из ссылок в новом окне открывается соответствующая конкурсная информация.

Для соблюдения всех требований законодательства России в области защиты персональных данных возможна организация доступа абитуриентов к обозначенным выше интерфейсам ФИС ГИА и приема через единую систему идентификации и аутентификации (далее – ЕСИА). Отметим, что в случае использования ЕСИА стоит рассмотреть вопрос и об интеграции ФИС ГИА и приема с порталом государственных и муниципальных услуг (далее – госуслуги). В рамках этого взаимодействия необходимо будет реализовать услугу по выбору предметов для сдачи ЕГЭ (для школьников перед государственной итоговой аттестацией, а также для выпускников прошлых лет, иностранных граждан и выпускников образовательных организаций среднего профессионального образования в любое время), по удаленной подаче заявления о приеме в вуз и согласия о зачислении (при условии сдачи в вуз оригинала документа о предыдущем образовании) для подхода А. Для подхода Б к возможности выбора предметов ЕГЭ необходимо будет добавить возможность предварительного выбора направлений подготовки и специальностей, а также вузов, в которые планирует поступать абитуриент. Для подхода В достаточно будет ограничиться выбором конкурсных групп.

При этом изменится схема взаимодействия вузов, абитуриентов и ФИС ГИА и приема. В настоящее время (рис. 2) абитуриенты подают документы в приемные комиссии, где их обрабатывают работники вузов, внося сведения в собственные автоматизированные информационные системы (АИС). После этого данные из АИС вуза публикуются на официальном сайте в сети Интернет и передаются в ФИС ГИА и приема по защищенному каналу связи (VipNet) с защищенной корпоративной сетью передачи данных федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный центр тестирования» (ИСПДн ЦОД ФГБУ ФЦТ). Ряд вузов предоставляет абитуриентам возможность удаленной подачи документов с помощью соответствующего web-сайта [9].

Модифицированная схема взаимодействия с ФИС ГИА и приема (рис. 3) предполагает, что вуз не использует собственную информационную систему, а сразу по защищенному каналу связи вносит информацию в ФИС ГИА и приема. Функционал сайта вуза, связанный с отображением информации о поступающих, замещается web-интерфейсами портала госуслуг. Абитуриенты могут вносить заявления о приеме напрямую в ФИС ГИА и приема через портал госуслуг. При этом приемная комиссия вуза осуществляет проверку корректности заполнения заявления о приеме и сканированных версий поданных документов.

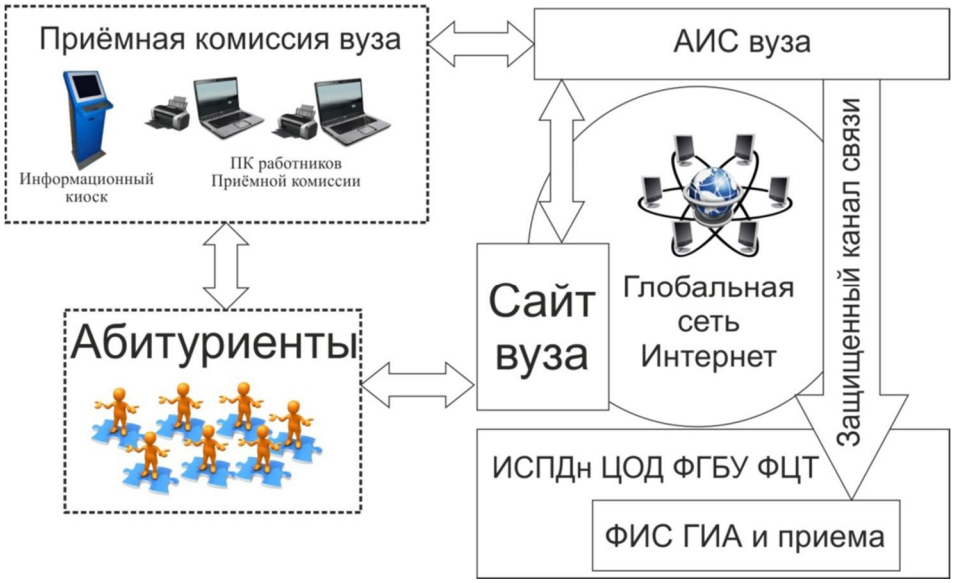


Рис. 2. Схема взаимодействия с ФИС ГИА и приема «как есть»

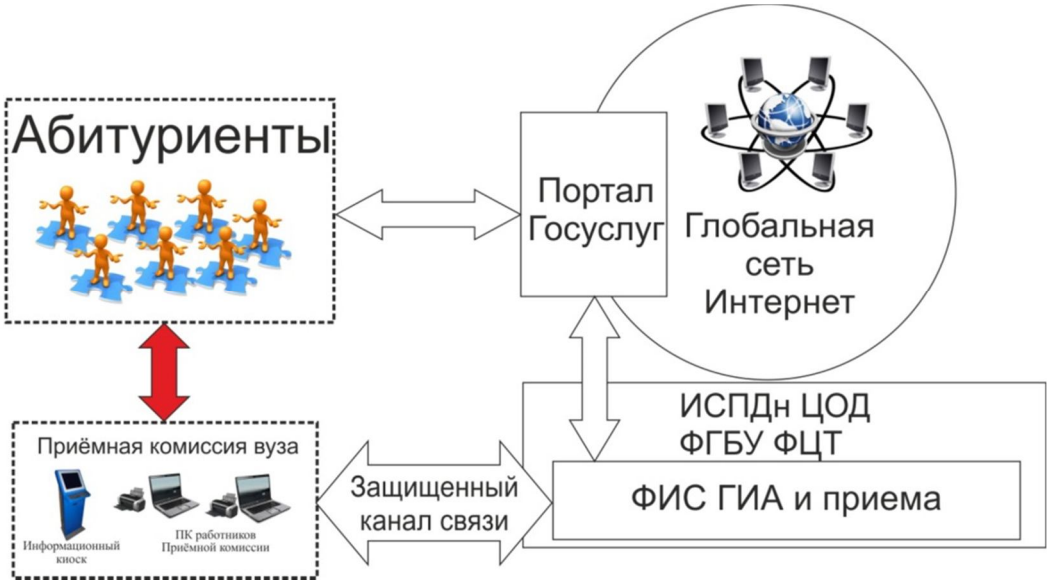


Рис. 3. Модифицированная схема взаимодействия с ФИС ГИА и приема

В-третьих, необходимо оценить, достаточно ли технических мощностей ФИС ГИА и приема для перехода к централизованной кампании в вузы России. Для ответа на данный вопрос не нужно производить специальных измерений и оценок, так как в настоящее время производительность ФИС ГИА и приема оптимизирована для обеспечения одновременного внесения данных о зачислении порядка полумиллиона абитуриентов в более чем 1000 вузов в течение суток. Централизация приемной кампании лишь снизит такую одновременную нагрузку, так как сократится дублирование информации (сейчас абитуриент, подав документы в 5 вузов, по сути, обрабатывается как 5 отдельных абитуриентов с копиями данных).

Таким образом, в работе рассмотрены вопросы модификации ФИС ГИА и приема для ее адаптации к процедуре централизованного приема в вузы России. Показано, что ФИС ГИА и приема

нуждается лишь в небольшой доработке с точки зрения расширения перечня хранимой информации. Технических мощностей ФИС ГИА и приема достаточно для обеспечения функционирования в новом режиме. Наиболее трудозатратной, существенной и необходимой доработкой федеральной системы является создание открытых web-интерфейсов для взаимодействия с абитуриентами и интеграция с порталом государственных и муниципальных услуг. Показано, как видоизменится схема взаимодействия вузов, абитуриентов и ФИС ГИА и приема в случае организации единой приемной кампании.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-226.2017.8.

Список литературы

1. Пыхтин А. И. Перспективы модификации ФИС ГИА и приема для использования в качестве центральной информационной системы при приеме в вузы России // Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2015. С. 131–133.

2. Костюшина Е. А. Организация единого конкурсного пространства региона // Открытое и дистанционное образование. 2003. № 3. С. 35–41.

3. Епанчинцева О. Л., Погромская Т. А. Формирование единого конкурсного пространства Омского региона // Математические структуры и моделирование. 2006. № 16. С. 5–10.

4. Кан М. В. Межвузовское единое информационное пространство конкурсного отбора абитуриентов на примере Киргизии // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2011. № 7. С. 357–368.

5. Пыхтин А. И., Емельянов И. П. Концепция организации приема в вузы на основе проведения единого всероссийского конкурса по направлениям подготовки и специальностям // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 2(47). С. 86–88.

6. Погромская Т. А. Портал приёмной комиссии ОМГУ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2016. № 2. С. 52–58.

7. Погромская Т. А. Опыт создания новой версии портала приемной комиссии высшего учебного заведения (на примере ОМГУ им. Ф.М. Достоевского) // Математическое и компьютерное моделирование: материалы III Международной научной конференции. Омск, 2015. С. 172–173.

8. Шевченко Д. А., Локтюшина Ю. В. Эффективность веб-сайтов высших учебных заведений. Методика оценки конкурентоспособности сайта вуза в Интернет. М.: ННОУ МИПК, 2014. 180 с.

9. Роль удаленной схемы подачи заявления о приеме в вуз в увеличении контингента студентов первого курса обучения / О. В. Овчинкин, А. И. Пыхтин, Д. С. Волкова, В. В. Фурсов, И. В. Щиголева // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15, №5. С. 24–31.

10. Овчинкин О. В., Пыхтин А. И., Емельянов И. П. Алгоритм процесса управления приемом лиц на второй и последующие курсы в вузах // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1(46). С. 64–69.

Поступила в редакцию 28.12.17

UDC 378

A. I. Pykhtin, Candidate of Engineering Sciences, Vise-rector, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: aipykhtin@swsu.ru)

O. V. Ovchinkin, Candidate of Engineering Sciences, head of the department, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ovchinkin_o_v@mail.ru)

MODIFICATION OF THE FEDERAL INFORMATION SYSTEM FOR THE CENTRALIZED ADMISSION IN UNIVERSITIES OF RUSSIA

The Federal information system of providing the state final certification and acceptance can be transformed from the tool of control of observance of the legislation in the field of acceptance on programs of the higher education into the basis of the automated information system for the organization of the centralized competitive selection to higher education institutions of Russia. This will optimize the costs of universities for the organization of the admission campaign. It is shown that this system needs only a little improvement in terms of expanding the list of stored information, as currently the Federal system already stores information about universities (list of areas of training and specialties, volumes of admission, competitive groups), applicants, the results of their entrance examinations, enrollment orders. At the same time, the technical capacity of the Federal system is sufficient to ensure the functioning of the new regime, as the system is optimized to ensure the simultaneous introduction of data on the enrollment of about half a million students in more than 1,000 universities during the day. The most difficult of the necessary improvements are the creation of open Internet interfaces for interaction with applicants in order to comply with the requirements for openness of information, integration with the portal of state and municipal services and a single system of identification and authentication to ensure the requirements of information protection, in particular personal data, as well as the implementation of printed forms (applications for admission, It is shown how the scheme of interaction between universities, students and the state information system will change in the case of centralization of the admission campaign.

Key words: *centralized admission to universities; entrant; unified state exam; Federal information system.*

References

1. Pyhtin A. I. Perspektivy modifikacii FIS GIA i priema dlja ispol'zovanija v kachestve central'noj informacionnoj sistemy pri prieme v vuzy Rossii. Sovremennoe obshhestvo, obrazovanie i nauka: sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Tambov, 2015, pp. 131–133.

2. Kostjushina E. A. Organizacija edinogo konkursnogo prostranstva regiona. Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie, 2003, no. 3, pp. 35–41.

3. Epanchinceva O. L., Pogromskaja T. A. Formirovanie edinogo konkursnogo prostranstva omskogo regiona. Matematicheskie struktury i modelirovanie, 2006, no. 16, pp. 5–10.

4. Kan M. V. Mezhvuzovskoe edinoe informacionnoe prostranstvo konkursnogo otbora abiturientov na primere Kirgizii. Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie, 2011, no. 7, pp. 357–368.

5. Pyhtin A. I., Emel'janov I. P. Koncepcija organizacii priema v vuzy na osnove provedenija edinogo vserossijskogo konkursa po napravlenijam podgotovki i special'nostjam. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no. 2 (47), pp. 86–88.

6. Pogromskaja T. A. Portal prijomnoj komissii OMGU. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii, 2016, no. 2, pp. 52–58.

7. Pogromskaja T. A. Opyt sozdanija novoj versii portala priemnoj komissii vysshego uchebnogo zavedenija (na primere OMGU im. F.M. Dostoevskogo). Matematicheskoe i komp'juternoe modeli-

rovanie: mater. III Mezhdunar. nauchn. konf. Omsk, 2015, pp. 172–173.

8. Shevchenko D. A., Loktjushina Ju. V. Jeffektivnost' veb-sajtov vysshih uchebnyh zavedenij. Metodika ocenki konkurento-sposobnosti sajta vuza v Internet. Moscow, NNOU MIPK, 2014. 180 p.

9. Ovchinkin O. V., Pyhtin A. I., Volkova D. S., Fursov V. V., Shhig-oleva I. V. Rol' udalennoj shemy podachi zajavlenija o prieme v vuz v uvelichenii kontingenta studentov pervogo kursa obuchenija. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy, 2017, vol. 15, no. 5, pp. 24–31.

10. Ovchinkin O. V., Pyhtin A. I., Emel'janov I. P. Algoritm processa upravlenija priemom lic na vtoroj i posledujushhie kursy v vuzah. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no. 1(46), pp. 64–69.

УДК 57.087; 53.08; 537.39

А. Л. Зуев, д-р физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник ИМСС ПФИЦ УрО РАН, профессор кафедры прикладной физики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, Россия) (e-mail: zal@icmm.ru)

Я. В. Мишланов, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, Россия)

В. Б. Поляков, старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, Россия)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА ВОЗДУШНЫХ КАНАЛОВ, НАСЫЩЕННЫХ АЭРОЗОЛЕМ РАСТВОРА ЭЛЕКТРОЛИТА

Исследование выполнено с целью выявления физических механизмов и причин изменения электрического импеданса дыхательных путей пациентов, наблюдавшегося в новом методе электроимпедансной спирометрии, предложенном на кафедре пропедевтики внутренних болезней Пермского государственного медицинского университета. В разработанном методе дыхательные пути пациента предварительно подвергались ингаляции аэрозолем проводящего раствора 0,9% хлорида натрия (NaCl) с помощью ультразвукового небулайзерного ингалятора. Один электрод располагался прямо на коже грудной клетки, а второй устанавливался в мундштуке ингалятора и, таким образом, не имел непосредственного контакта с телом пациента. Результаты предварительных клинических исследований выявили достоверное различие среднего модульного значения электрического импеданса между группами больных с бронхообструктивными нарушениями функции внешнего дыхания и группой практически здоровых лиц. Возможной причиной регистрируемых изменений импеданса авторы метода предполагали снижение скорости выдыхаемого пациентом во время дыхательного цикла воздушного потока, являющегося типичным признаком вентиляционных нарушений при бронхиальной астме и заболеваниях паренхимы легких.

В статье представлены результаты экспериментального определения вариаций электрического импеданса в модельной ячейке, через которую продувался поток воздуха, насыщенный аэрозольными частицами 10%-ного раствора NaCl, создаваемый ультразвуковым небулайзером Amron NE-U17. Измерена активная и емкостная составляющие проводимости при различных значениях частоты переменного тока, скорости потока и интенсивности распыления аэрозоля. Результаты измерений сопоставлены с возможными моделями электрической проводимости. Предложена эквивалентная электрическая цепь замещения в виде параллельной RC-цепи, хорошо соответствующая полученным частотным зависимостям модуля и угла фазового сдвига импеданса. Создана модель линейной регрессии зависимости логарифма модульного значения электрического импеданса от двух параметров потока аэрозольных частиц, описывающая полученные экспериментальные данные на разных частотах переменного электрического тока.

Ключевые слова: *электрический импеданс, биологические ткани, органы дыхания, поток аэрозольных частиц, спирометрия, эквивалентные схемы замещения.*

***

Введение

Реографические методы, основанные на регистрации биоэлектрического импеданса (электрического сопротивления биологических тканей и сред переменному току), на протяжении последних десятилетий вызывают непреходящий интерес для использования в современной медицине при неинвазивной диагностике человеческого организма ввиду своей исключительной доступности, простоты и дешевизны. Областями современного применения этих методов являются исследования состояния сердечно-сосудистой системы (реокардиография и аналогичные методики) [1–4], изучение тканевого состава тела человека (оценка соотношения жировой, костно-мышечной и водной мас-

сы) [5–6], анализ молекулярного состава биологических жидкостей [7], кондуктометрический метод подсчета клеток крови [8–9] и другие.

Недавно сотрудниками кафедры пропедевтики внутренних болезней Пермского государственного медицинского университета было впервые предложено использовать импедансометрию для клинической диагностики заболеваний органов дыхания. Суть разработанного метода электроимпедансной спирометрии [10–12] заключалась в регистрации электрического импеданса всей сложной совокупности биологических объектов, составляющих электрическую цепь, в условиях распространения электрического тока от дыхательных путей до кожных покровов грудной клетки человека: легочной ткани, воздушного аэрозоля, выдыхаемого пациентом во время дыхательного цикла, электролита бронхиального секрета и пр. Принципиальной идеей метода являлось предварительное насыщение с помощью ультразвукового небулайзерного ингалятора дыхательных путей пациента взвесью мельчайших капель проводящей жидкости – 0,9% раствора хлорида натрия (NaCl). Использовался биполярный метод измерения электрического импеданса. При этом один электрод устанавливался в мундштуке ингалятора и не имел непосредственного контакта с телом пациента. Второй электрод располагается на коже грудной клетки по средней подмышечной линии на уровне VI межреберья. Замыкание электрической цепи между электродом, установленным в мундштуке ингалятора, и слизистой оболочкой дыхательных путей происходило благодаря потоку аэрозольных частиц проводящей жидкости, выдыхаемому пациентом.

Результаты клинических исследований выявили существенное достоверное различие среднего модульного значения электрического импеданса между группами больных с различными нарушениями функции внешнего дыхания и группой практически здоровых лиц. Было обнаружено значительное увеличение модуля импеданса у больных бронхиальной астмой (БА) с бронхиальной обструкцией различной степени выраженности по сравнению с контрольной группой. Метод оказался способным также диагностировать пневмонию на ранних стадиях. Чувствительность метода для диагностики БА составила около 90% в сравнении с традиционной спирометрией. В ряде случаев (наличие аллергического воспаления дыхательных путей) чувствительность метода до 30% превосходит возможности традиционной спирометрии, что позволяет диагностировать наличие БА у больных, еще не имеющих на момент обследования ее ярко выраженных признаков [12].

Однако дальнейшее развитие электроимпедансной спирометрии и ее внедрение в широкую клиническую практику совершенно невозможно без выявления физических механизмов, ответственных за изменение электрической проводимости дыхательных путей и паренхимы легких. Реальные физические причины различий значений биоимпеданса у больных, имеющих поражение крупных и мелких дыхательных путей, пока что недостаточно изучены и даже не совсем понятны. Причиной увеличения электрического сопротивления могут быть изменения состояния кровеносных сосудов, мелких дыхательных путей человека, паренхимы легких, диаметра бронхиального дерева, бронхиального секрета, возникающие, например, при повреждении легочной ткани, развитии фиброза и пневмоцирроза, отеке легких, формировании гидроторакса. Уменьшение диаметра дыхательных путей может приводить к снижению вентиляционных

показателей, что типично наблюдается у больных БА.

Другим важнейшим показателем медицинской оценки органов дыхания является сила дыхательной мускулатуры, определяемая скоростью выдыхаемого пациентом во время дыхательного цикла воздушного потока. Типичным признаком для вентиляционных нарушений при БА и заболеваниях паренхимы легких является снижение скорости этого потока. Эти данные позволяют предполагать, что чувствительность метода электроимпедансной спирометрии возможно обусловлена зависимостью электрического импеданса аэрозоля, движущегося в трубке, от скорости его потока. Между тем механизм такой зависимости остаётся невыясненным, и это предположение требует экспериментальной проверки.

В работе представлены результаты модельного эксперимента, проведенного для проверки предположнения о зависимости значения электрического импеданса от диаметра дыхательных путей и скорости движения в них аэрозольных частиц с помощью экспериментальной установки на основе медицинского ультразвукового небулайзера. Важными параметрами, влияющими на свойства получаемого аэрозоля, являются акустическая мощность ультразвукового излучателя и скорость воздушного потока над поверхностью жидкости. При этом концентрация частиц в генерируемом аэрозоле зависит от обоих параметров [13; 14]. Проводимость потока аэрозоля определяется рядом механизмов. Аэрозольные частицы, получаемые в небулайзере, могут иметь электрический заряд, когда ионизация частиц возникает при случайных столкновениях (трении) частиц друг с другом или окружающими поверхностями в процессе аэрации раствора проводящей жидкости ультразвуковыми волнами [15–16]. Тогда величина возникающего электрического тока должна быть пропорциональна скорости потока заряженных частиц, т. е. скорости выдыхаемого пациентом воздуха. Аэрозоль может также конденсироваться на стенках трубки, в которой он движется, при наличии разности температур. При хорошей смачиваемости стенок на них образуется тонкая плёнка жидкости, толщина которой также зависит от скорости потока и мощности небулизации. В случае, когда электроды касаются стенок, проводимость такой конденсационной плёнки также требуется учитывать.

Методика эксперимента

Электрическая проводимость потоков аэрозолей солевых растворов изучалась при помощи экспериментальной установки, имеющей в составе: генератор аэрозоля, измерительную ячейку и прибор для измерения модуля и угла фазового сдвига импеданса.

Измерительная ячейка представляла собой трубку из полистирола диаметром 10 мм и длиной 70 мм, в которой продувался поток аэрозоля проводящей жидкости. Две хлоридсеребряные (AgCl) электродные пластины длиной 25 мм и шириной 8 мм располагались внутри измерительной ячейки у одной из стенок трубки рядом друг с другом (в одной плоскости) на расстоянии 3 мм. Именно такая конструкция ячейки и электродов была использована ранее при клинических исследованиях метода электроимпедансной спирометрии [11; 12] и продемонстрировала свою эффективность при анализе дыхания пациентов.

Для получения аэрозолей применялся медицинский ультразвуковой ингалятор Omron NE-U17 [17]. Резервуар ингалятора заполнялся 10%-ным раствором хлорида натрия (NaCl) или хло-

рида кальция (CaCl2). Объём заполняемой жидкости составлял 50 мл. Аэрозоль в ингаляторе получается посредством воздействия на жидкость ультразвуковых колебаний с различной интенсивностью небулизации (распыления) от 0 до 3 мл/мин, соответствующей десяти устанавливаемым уровням (от 1 до 10). В конструкции ингалятора имеется вентилятор, который создаёт воздушный поток, выносящий аэрозоль из резервуара. Скорость воздушного потока (расход воздуха) могла варьироваться от 0 до 17 л/мин (11 уровней – от 0 до 10). Размер распыляемых частиц в соответствии с Европейским стандартом для такого типа небулайзеров составляет 1–8 мкм (50% менее 5 мкм, средний размер 4.7 мкм) [17].

Для одновременного определения модуля и угла фазового сдвига импеданса использовался RCL-метр GW-Instek LCR-8105G со следующими техническими характеристиками: частотный диапазон 20 Гц – 5 МГц, диапазон измерения импеданса 0,1 Ом – 100 МОм, амплитуда напряжения 10 мВ – 2.0 В, базовая точность измерений – 0.1% [18]. Опыты осуществлялись по биполярной схеме: однополярные токовые и потенциальные электроды RCL-метра объединялись на зажимах электродов измерительной ячейки. Амплитуда напряжения задавалась равной 2.0 В. Управление работой LCR-метра осуществлялось с помощью подключенного к нему персонального компьютера. Оригинальная компьютерная программа обеспечивала выполнение серий из 10 измерений (дублей) параметров электрического импеданса последовательно на каждой частоте электрического тока с сохранением результатов в файл данных. Все измерения проводились через одинаковый промежуток времени 1 мин после начала пропускания аэрозоля через измерительную ячейку.

При обработке экспериментальных результатов часто предполагается нормальный закон распределения случайных погрешностей измерения, представляющий результат воздействия множества причин, каждая из которых вносит малый вклад в величину погрешности. Вместе с тем в ряде работ указывается на необходимость обязательной проверки гипотезы о нормальном распределении случайной погрешности. Эта задача решается при помощи критериев согласия, таких как критерий согласия Пирсона (хи-квадрат) и критерий согласия Колмогорова. В данной работе используется критерий Шапиро-Уилка, хорошо подходящий для небольшого числа данных [19]. Из полученного ряда значений электрического импеданса сделаны статистические исключения. Для этого в статистической выборке рассчитывались среднее значение и стандартное отклонение каждого показателя. Исключение результата измерения выполняли в случае, если его значение не находилось в интервале трёх стандартных отклонений от среднего значения оставшейся выборки [20].

Результаты и обсуждение

В опытах с аэрозолем 10%-ного раствора хлорида натрия были получены частотные зависимости модуля и угла фазового сдвига импеданса на частотах 20, 100, 500 Гц, 1, 5, 10, 20, 30, 40 и 50 кГц для шести значений скорости воздушного потока V (уровни 1, 3, 5, 7, 8, 10) и пяти значений интенсивности распыления W (уровни 2, 4, 6, 8, 10) соответственно. Таким образом, общее число проанализированных комбинаций параметров переменного электрического тока и потока аэрозольных частиц составило 300 различных вариан-

тов. Измеренные значения модуля импеданса достигали весьма значительных величин ~ 1 – 10 МОм. Типовые графики частотных зависимостей для модуля импеданса и угла фазового сдвига при неизменных остальных параметрах приведены на рисунках 1 и 2.

Обнаружено, что при частотах менее 5 кГц заметного изменение модуля импеданса с ростом частоты не наблюдается (активная составляющая сопротивления остается постоянной), а значения фазового угла близки к нулю (емкостная составляющая сопротивления практически отсутствует). При более высоких частотах наблюдается существенное снижение величины модуля импеданса и возрастание отрицательного значения угла фазового сдвига от 0 до –78 градусов.

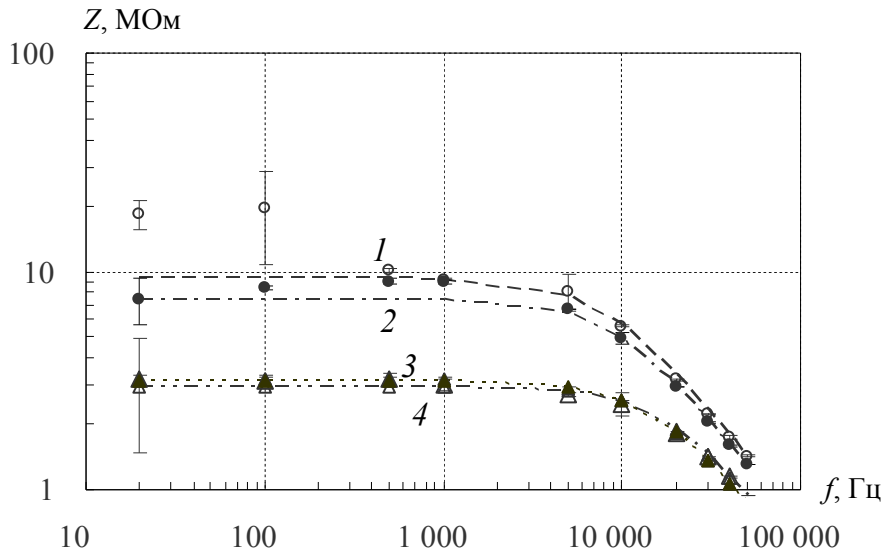


Рис. 1. Зависимости модуля импеданса *Z* от частоты *f* при *W* = 4, *V* = 5 (*1*); *W* = 4, *V* = 8 (*2*); *W* = 8, *V* = 5 (*3*); *W* = 8, *V* = 8 (*4*). Линии соответствуют расчету дисперсионной зависимости для соответствующих параллельных *RC*-цепей

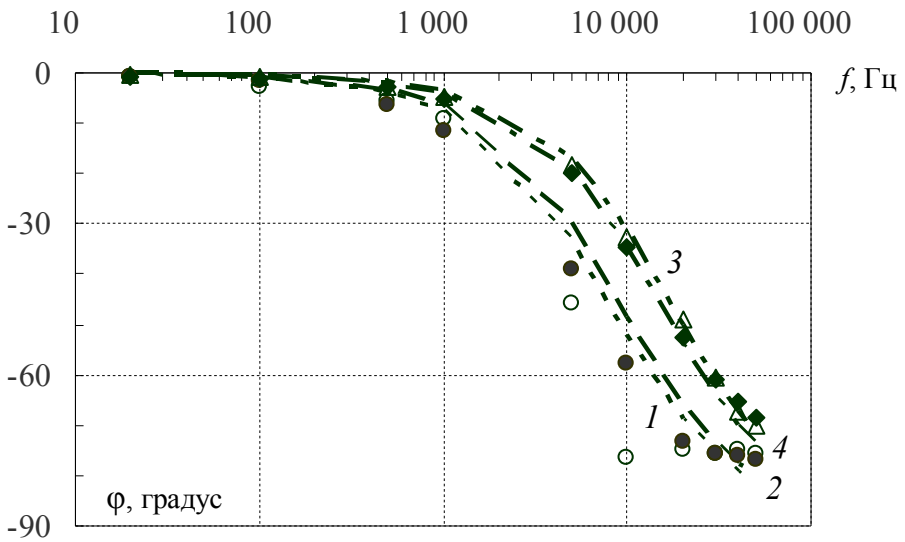


Рис. 2. Зависимости фазового угла импеданса φ от частоты *f* при *W* = 4, *V* = 5 (*1*); *W* = 4, *V* = 8 (*2*); *W* = 8, *V* = 5 (*3*); *W* = 8, *V* = 8 (*4*). Линии соответствуют расчету дисперсионной зависимости для соответствующих параллельных *RC*-цепей

Полученные результаты показывают, что на низких частотах (20–5000 Гц) импеданс аэрозолей был обусловлен в основном только активным сопротивлением, тогда как на высоких частотах (10–50 кГц) проводимость возрастала за счет ёмкостной составляющей. При этом кривые соответствующих частотных зависимостей в логарифмическом масштабе имеют постоянный наклон.

Такой вид дисперсионных зависимостей характерен для параллельной *RC*-цепи [21; 23], что позволяет предположить именно такую эквивалентную электрическую цепь замещения и рассчитать соответствующие значения активных сопротивления *R* и емкостей *C* при заданных скорости и мощности распыления потока аэрозольных частиц.

Параметры *R* и *C* определялись следующим образом.

Модуль импеданса *Z* для параллельной *RC*-цепи описывается выражением

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}.$$

После преобразования этого выражения получим

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + C^2\omega^2.$$

Из данного выражения можно определить коэффициенты R^{-2} и C^2 методом линейной регрессии [24] (зависимая переменная Z^{-2}, независимая переменная ω^2).

Значения *R* оказались в пределах от 3.1 до 90 МОм, а значения *C* – от 0.56 до 4.5 пФ. Сплошные линии на графиках рисунков 1 и 2 построены по результатам расчетов. Наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов. Средняя ошибка определения значения *R* во всем измеренном диапазоне составила около 30%, значения *C* – около 5%.

На рисунках 3 и 4 представлены графики, демонстрирующие типичные зависимости рассчитанного значения емкости *C* от скорости воздушного потока и уровня распыления.

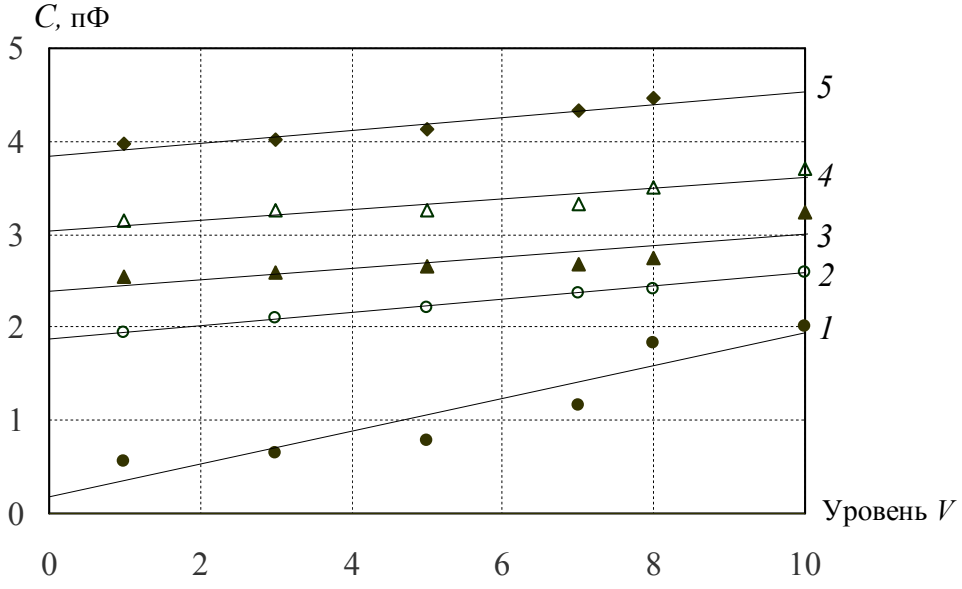


Рис. 3. Зависимости электроёмкости *C* эквивалентной *RC*-цепи замещения от скорости потока аэрозольных частиц *V* при интенсивности распыления *W* = 2 (*1*); *W* = 4 (*2*); *W* = 6 (*3*); *W* = 8 (*4*); *W* = 10 (*5*)

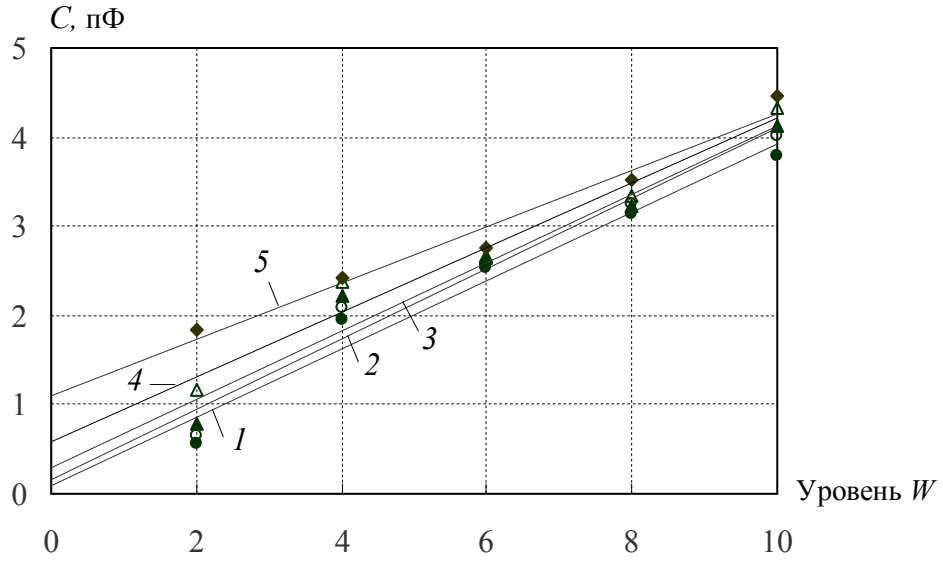


Рис. 4. Зависимости электроёмкости *C* эквивалентной *RC*-цепи замещения от интенсивности распыления аэрозольных частиц *W* при скорости потока *V* = 1 (*1*); *V* = 3 (*2*); *V* = 5 (*3*); *V* = 7 (*4*); *V* = 9 (*5*)

Как можно видеть из графика $C(V)$ (см. рис. 3), емкость при фиксированных различных значениях интенсивности распыления монотонно возрастает с увеличением скорости потока аэрозоля, создаваемого вентилятором ингалятора, при этом зависимость близка к линейной. Также электроемкость возрастает и с увеличением интенсивности распыления (см. зависимость $C(W)$ на рис. 4). Однако, как сами значения емкости, так и ее изменения представляют собой весьма незначительные величины всего в несколько пФ, не способные внести существенный вклад в импеданс за счет его емкостной составляющей на не слишком высоких частотах переменного тока, использованных в экспериментах.

В свою очередь, экспериментальные данные зависимости активного сопротивления R от скорости движения аэрозоля $R(V)$, а также от интенсивности распыления $R(W)$ показали, что сопротивление монотонно уменьшается как с увеличением скорости движения аэрозоля, так и с увеличением интенсивности распыления. При этом, по сравнению с емкостью, активное сопротивление изменяется в гораздо более существенных пределах, понижаясь в десятки раз. Так, например, полученные значения при $W = 4$, $V = 8$ составили: $R = 8{,}5 \pm 0{,}6$ МОм, $C = 2{,}50 \pm 0{,}04$ пФ; при $W = 8$, $V = 5$: $R = 2{,}91 \pm 0{,}05$ МОм, $C = 3{,}26 \pm 0{,}03$ пФ.

На рисунке 5 представлен график зависимости логарифма модуля импеданса на низких частотах 20 Гц и 50 кГц (когда полное сопротивление обусловлено только активной составляющей) от скорости потока аэрозольных частиц при различных значениях интенсивности распыления. Показано, что экспериментальные значения наилучшим образом соответствуют прямым линиям с отрицательным коэффициентом наклона.

Аналогичным образом графики зависимости логарифма модуля импеданса от интенсивности распыления аэрозольных частиц при разных значениях скорости потока также представляют собой прямые линии с отрицательным коэффициентом наклона (рис. 6).

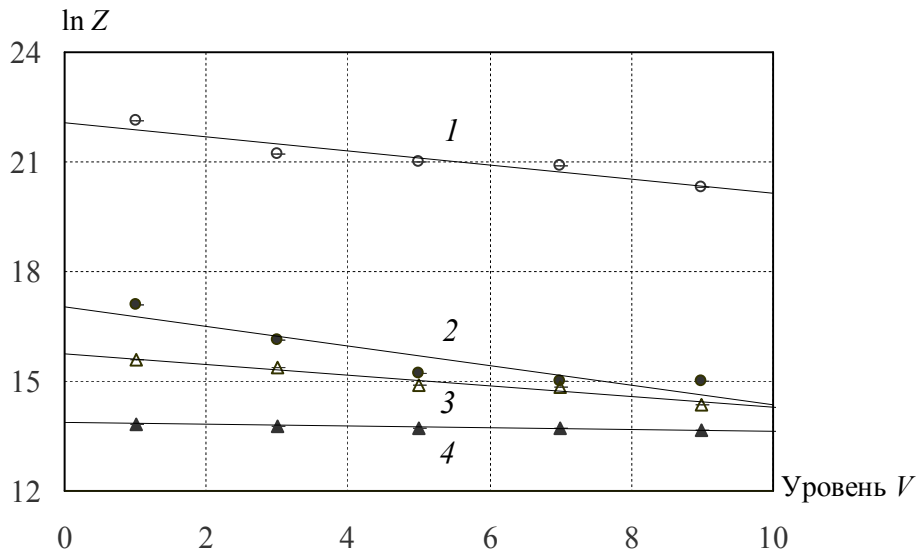


Рис. 5. Зависимости логарифма модуля импеданса *Z* от скорости потока аэрозольных частиц *V* на частоте *f* = 20 Гц при *W* = 2 (*1*); *W* = 8 (*2*); и на частоте *f* = 50 кГц при *W* = 2 (*3*), *W* = 8 (*4*)

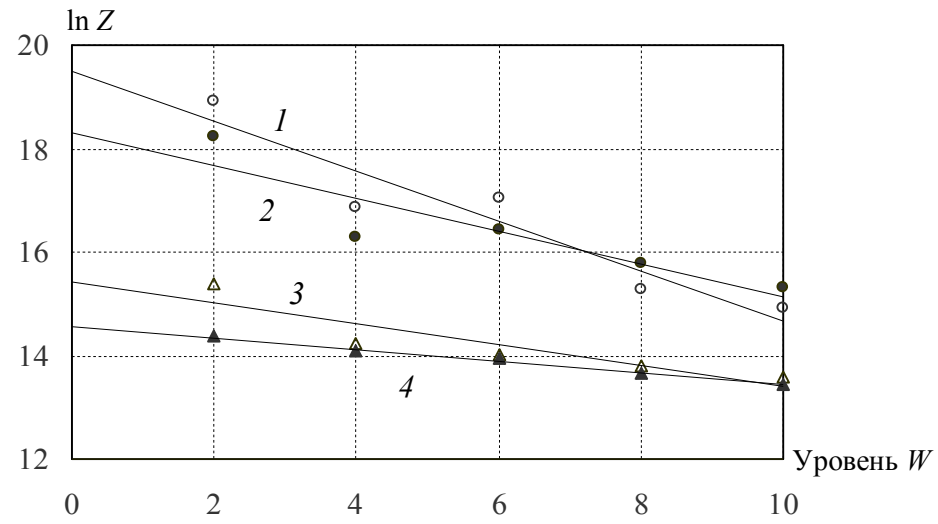


Рис. 6. Зависимости логарифма модуля импеданса *Z* от интенсивности распыления аэрозольных частиц *W* на частоте *f* = 20 Гц при *V* = 2 (*1*); *V* = 8 (*2*); и на частоте *f* = 50 кГц при *V* = 2 (*3*), *V* = 8 (*4*)

Исходя из полученных экспериментальных данных можно предположить [25] закономерности следующего вида:

$$Z \sim e^{-aV}, \qquad (1)$$

$$Z \sim e^{-bW}, \qquad (2)$$

где *a*, *b* – коэффициенты.

Для определения зависимости модуля импеданса аэрозоля *Z* от *V* и *W* для каждой частоты электрического тока на основе соотношений *1* и *2* была составлена линейная регрессия [24] (a_1, a_2 и a_3 – некоторые константы):

$$\ln Z = a_1 V + a_2 W + a_3 . \qquad (3)$$

Применение линейного регрессионного анализа для модели зависимости модуля импеданса аэрозоля (формула (3)) показало результаты, представленные в таблице.

Значения параметров линейного регрессионного уравнения (3), квадрата скорректированного коэффициента детерминации и относительной среднеквадратичной ошибки для частот 20 Гц, 1, 10 и 50 кГц

Частота, Гц	Параметр	Значение	R^2_{adj}	Среднеквадратичная ошибка S_n, %
20	a_1	–0.153 ± 0.009	0.709	8.84
	a_2	–0.618 ± 0.011		
	a_3	17.67 ± 0.09		
1 000	a_1	–0.131 ± 0.006	0.739	5.49
	a_2	–0.386 ± 0.006		
	a_3	15.53 ± 0.05		
10 000	a_1	–0.097 ± 0.003	0.756	3.39
	a_2	–0.219 ± 0.004		
	a_3	13.28 ± 0.03		
50 000	a_1	–0.077 ± 0.003	0.797	2.92
	a_2	–0.189 ± 0.003		
	a_3	11.66 ± 0.02		

Рассчитанные значения скорректированного коэффициента детерминации и среднеквадратичного отклонения указывают на хорошее соответствие выражения (3) экспериментальным данным, при этом с увеличением частоты уменьшается среднеквадратичная ошибка и растёт доля объяснённой дисперсии.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных модельных экспериментов было подтверждено предположение о взаимосвязи электрических и кинетических параметров потока аэрозольных частиц проводящей жидкости. Результаты измерения электрического сопротивления переменному току различной частоты потока аэрозоля 10%-ного раствора хлорида натрия, движущегося через измерительную ячейку, и численных расчетов показали, что эквивалентная электрическая схема замещения, в качестве которой использовалась параллельная *RC*-цепь, удовлетворительно описывает частотную зависимость параметров импеданса.

Обнаружено, что значения рассчитанной емкости линейно возрастают с увеличением скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором, и интенсивности распыления аэрозольных частиц. Установлены обратные зависимости модуля импеданса от скорости движения аэрозоля V и интенсивности распыления W, предложена модель зависимости логарифма модуля импеданса от двух переменных. Найдены коэффициенты линейной регрессионной модели для каждой частоты. Показано, что предложенная модель удовлетворительно описывает экспериментальные данные.

Полученные результаты открывают дальнейшую принципиальную возможность определения скорости потока выдыхаемого воздуха электроимпеданс-

ным методом и могут быть применены в разработке электроимпедансного датчика измерения скорости потока аэрозоля и методов медицинской диагностики бронхообструктивных заболеваний.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-48-590003 р_урал_а).

Список литературы

1. Пушкарь Ю. Т. Исследование регионарного кровообращения и центральной гемодинамики с помощью реографических методов. М.: Медицина, 1981. 112 с.

2. Ронкин М. А., Иванов Л. Б. Реография в клинической практике. М.: МБН, 1997. 403 с.

3. Geddes L. A., Baker L. E. Principles of applied biomedical instrumentation. NY: Wiley, 1989. 992 p.

4. Grimnes S., Martinsen O. G. Bioimpedance and bioelectricity basics. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2008. 471 p.

5. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. М.: Наука, 2009. 392 с.

6. Цветков А. А. Биоимпедансные методы контроля системной гемодинамики. М.: Слово, 2010. 330 с.

7. Попечителев Е. П., Филист С. А. Способы и модели идентификации биоматериалов на основе анализа многочастотного импеданса // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2011. № 1. С. 74–80.

8. Оценка гематологических и биохимических показателей крови методом биоимпедансной спектроскопии / М. В. Малахов, Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, А. А. Мельников, А. Д. Викулов // Клиническая лабораторная диагностика. 2011. № 1. С. 20–23.

9. Zhao T. X., Jacobson B. Quantitative correlations among fibrinogen concentration, sedimentation rate and electrical impedance of blood // Medical & Biological Engineering & Computing. 1997. N 5. P. 181–184.

10. Мишланов В. Ю. Исследование функции внешнего дыхания путем измерения электрического импеданса легких и дыхательных путей на различных частотах зондирующего переменного тока // Вестник современной клинической медицины. 2011. Т. 4, № 4. С. 24–28.

11. Пат. 2487662 Рос. Федерация, МПКА61В 5/08, А61В 5/087, А61В 5/091. Способ диагностики функции внешнего дыхания с помощью импедансной спирографии и программно-аппаратный комплекс «БИА-лаб Спиро» для его осуществления / Мишланов В. Ю., Мишланова И. В., Мишланов Я. В., Мишланова С. Л. Заявл. 14.04.2011; опубл. 20.07.2013, Бюл. 30.

12. Исследование функции внешнего дыхания методом электроимпедансной спирометрии: экспериментально-клинические параллели / В. Ю. Мишланов, А. Л. Зуев, Т. Л. Устьянцева, Я. В. Мишланов, В. В. Савкин // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2013. Т. 99, № 12. С. 1425–1434.

13. Экнадиосянц О. К. Получение аэрозолей // Физика и техника мощного ультразвука. Т. 3. Физические основы ультразвуковой технологии. М.: Наука, 1970. С. 337–395.

14. Barreras F., Amaveda H., Lozano A. Transient high-frequency ultrasonic water atomization // Experiments in Fluids. 2002. Vol. 33. P. 405–413.

15. Flament M. P., Leterme P., Gayot A. Study of technological parameters of ultrasonic nebulization // Drug Development and Industrial Pharmacy. 2001. Vol. 27, N 7. P. 643–649.

16. Simones M. P., Loyalka S. K., Duffy C. Measurement of size and charge distribution of sodium chloride particles generated by Aeroneb Pro pharmaceutical nebulizer // Eur. J. Nanomed. 2014. Vol. 6, N 1. P. 29–36.

17. Ультразвуковой ингалятор Omron NE-U17: руководство по эксплуатации. Omron Healthcare Co Ltd, Kyoto, 2012. 24 с.

18. Precision LCR-Meter LCR-8000G Series: User Manual. Good Will Instrument Co Ltd. 144 p.

19. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica. М.: Медиасфера, 2002. 312 с.

20. Яворский В. А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных. М., 2011. 44 с.

21. Эквивалентные электрические модели биологических объектов / А. Л. Зуев, В. Ю. Мишланов, Н. В. Шакиров, А. И. Судаков, А. В. Фролов // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16, № 1. С. 110–120.

22. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: Мир, 1993. 413 с.

23. Судаков А. И., Шакиров Н. В., Зуев А. Л., Мишланов В. Ю. Тождественные электрические модели биологических объектов // Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18, № 4. С. 491–497.

24. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа: монография. Киев: «Корнийчук», 2011. 376 с.

25. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособ. для ВТУЗов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.

Поступила в редакцию 22.11.17

UDC 57.087; 53.08; 537.39

A. L. Zuev, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Scientific Researcher, Perm Federal Research Center UB RAS (Perm, Russia) (e-mail: zal@icmm.ru)

I. V. Mishlanov, Post-Graduate Student, Computer Systems and Telecommunications Chair, Perm State National Research University (Perm, Russia)

V. B. Polyakov, Senior Lecturer, Computer Systems and Telecommunications Chair, Perm State National Research University (Perm, Russia)

EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTRICAL IMPEDANCE CHANGES IN AIR CHANNELS FILLED WITH ELECTROLYTE SOLUTION AEROSOL

The article presents the results of an experimental study of electrical impedance in a model cell through which the air flow containing aerosol particles of the 10% sodium chloride solution generated by an ultrasonic nebulizer passes. The active and capacitive components of admittance were determined at different values of alternating current frequency, flow rate and aerosol atomization intensity. Measurement results were compared with the most probable electrical conductivity models. An equivalent electrical circuit in the form of a parallel RC-circuit, which corresponds well to the obtained frequency dependences of impedance magnitude and phase shift angle, is proposed. In addition, a linear regression model describing the dependence of the impedance module logarithm on two parameters of the flow of aerosol particles at different electrical current frequencies is developed.

Key words: *electrical impedance, biological tissues, respiratory organs, flow of aerosol particles, spirometry, equivalent circuits.*

References

1. Pushkar' Yu. T. Issledovanie regionarnogo krovoobrashcheniya i central'noj gemodinamiki s pomoshch'yu reograficheskih metodov. Moscow, Medicina Publ., 1981. 112 p.

2. Ronkin M. A., Ivanov L. B. Reografiya v klinicheskoj praktike. Moscow, MBN Publ., 1997. 403 p.

3. Geddes L. A., Baker L. E. Principles of applied biomedical instrumentation. NY, Wiley Publ., 1989. 992 p.

4. Grimnes S., Martinsen O. G. Bioimpedance and bioelectricity basics. 2nd edition. Amsterdam, Elsevier Science & Technology Books, 2008. 471 p.

5. Nikolaev D. V., Smirnov A. V., Bobrinskaya I. G., Rudnev S. G. Bioimpedansnyj analiz sostava tela cheloveka. Moscow, Nauka Publ., 2009. 392 p.

6. Cvetkov A. A. Bioimpedansnye metody kontrolya sistemnoj gemodinamiki. Moscow, Slovo Publ., 2010. 330 p.

7. Popechitelev E. P., Filist S. A. Sposoby i modeli identifikacii biomaterialov na osnove analiza mnogochastotnogo impedansa. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2011, no. 1, pp. 74–80.

8. Malahov M. V., Nikolaev D. V., Smirnov A. V., Mel'nikov A. A., Vikulov A. D. Ocenka gematologicheskih i biohimicheskih pokazatelej krovi metodom bioimpedansnoj spektroskopii. Klinicheskaya laboratornaya diagnostika, 2011, no. 1, pp. 20–23.

9. Zhao T. X., Jacobson B. Quantitative correlations among fibrinogen concentration, sedimentation rate and electrical impedance of blood. Medical & Biological Engineering & Computing, 1997, no. 5, pp. 181–184.

10. Mishlanov V. Yu. Issledovanie funkcii vneshnego dyhaniya putem izmereniya ehlektricheskogo impedansa legkih i dyhatel'nyh putej na razlichnyh chastotah zondiruyushchego peremennogo toka. Vestnik sovremennoj klinicheskoj mediciny, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 24–28.

11. Mishlanov V. Yu., Mishlanova I. V., Mishlanov YA. V., Mishlanova S. L. Sposob diagnostiki funkcii vneshnego dyhaniya s pomoshch'yu impedansnoj spirografii i programmno-apparatnyj kompleks «BIA-lab Spiro» dlya ego osushchestvleniya. Patent RF, no. 2487662, 2013.

12. Mishlanov V. Yu., Zuev A. L., Ust'yanceva T. L., Mishlanov Ya. V., Savkin V. V. Issledovanie funkcii vneshnego dyhaniya metodom ehlektroimpedansnoj spirometrii: ehksperimental'no-klinicheskie paralleli. Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova, 2013, vol. 99, no. 12, pp. 1425–1434.

13. Ehknadiosyanc O. K. Poluchenie aehrozolej. Fizika i tekhnika moshchnogo ul'trazvuka. Vol. 3. Fizicheskie osnovy ul'trazvukovoj tekhnologii. Moscow, Nauka Publ., 1970, pp. 337–395.

14. Barreras F., Amaveda H., Lozano A. Transient high-frequency ultrasonic water atomization. Experiments in Fluids, 2002, vol. 33, pp. 405–413.

15. Flament M. P., Leterme P., Gayot A. Study of technological parameters of ultrasonic nebulization. Drug Development and Industrial Pharmacy, 2001, vol. 27, no. 7, pp. 643–649.

16. Simones M. P., Loyalka S. K., Duffy C. Measurement of size and charge distribution of sodium chloride particles generated by Aeroneb Pro pharmaceutical nebulizer. Eur. J. Nanomed, 2014, vol. 6, no. 1, pp. 29–36.

17. Ul'trazvukovoj ingalyator Omron NE-U17: rukovodstvo po ehkspluatacii. Omron Healthcare Co Ltd, Kyoto, 2012. 24 p.

18. Precision LCR-Meter LCR-8000G Series: User Manual. Good Will Instrument Co Ltd. 144 p.

19. Rebrova O. Yu. Statisticheskij analiz medicinskih dannyh. Primenenie paketa prikladnyh programm Statistica. Moscow, Mediasfera Publ., 2002. 312 p.

20. Yavorskij V. A. Planirovanie nauchnogo ehksperimenta i obrabotka ehksperimental'nyh dannyh. Moscow, 2011. 44 p.

21. Zuev A. L., Mishlanov V. Yu., Shakirov N. V., Sudakov A. I., Frolov A. V. Ehkvivalentnye ehlektricheskie modeli biologicheskih ob"ektov. Rossijskij zhurnal biomekhaniki, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 110–120.

22. Horovic P., Hill U. Iskusstvo skhemotekhniki. Moscow, Mir Publ., 1993. 413 p.

23. Sudakov A. I., Shakirov N. V., Zuev A. L., Mishlanov V. Yu. Tozhdestvennye ehlektricheskie modeli biologicheskih ob"ektov. Rossijskij zhurnal biomekhaniki, 2014, vol. 18, no. 4, pp. 491–497.

24. Radchenko S. G. Metodologiya regressionnogo analiza. Kiev, Kornijchuk Publ., 2011. 376 p.

25. L'vovskij E. N. Statisticheskie metody postroeniya ehmpiricheskih formul. 2th ed., Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1988. 239 p.

УДК 519.24

Е. С. Тарантова, студент, Муромский институт Владимирского государственного университета (Муром, Россия) (e-mail: elena.tarantova@yandex.ru)

К. В. Макаров, канд. техн. наук, доцент, Муромский институт Владимирского государственного университета (Муром, Россия) (e-mail: k-distance@rambler.ru)

ВЫБОР ПРИЗНАКОВ И МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ ВИДОВ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕРЕАБИЛИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматривается проблема мониторинга физической активности в рамках проведения реабилитации. Указывается цель реабилитации и составные части, необходимые для ее проведения. Подчеркивается важность определения вида физической активности. Перечисляются необходимые физические упражнения, которые выполняет пациент в рамках курса реабилитации. Описываются недостатки проведения реабилитации в настоящее время.

Раскрывается понятие телереабилитации. Предлагается способ осуществления телереабилитации с применением доступного носимого устройства – смартфона, в состав которого входят акселерометр и гироскоп, необходимые для распознавания вида активности. Использование смартфона позволит эффективно решить задачу построения системы телереабилитации, так как его можно использовать не только в качестве источника данных, но и для осуществления обмена данными между системой и пациентом.

Поставлена задача распознавания видов физической активности. Перечисляются этапы, необходимые для решения данной задачи. В статье предложены два эксперимента – по выбору метода классификации и по выбору комбинации признаков для классификации. Описаны признаки, используемые в эксперименте по выбору метода классификации. Представлены формулы для их расчета.

Также из числа описанных признаков была выбрана комбинация признаков, обеспечивающая наименьший процент ошибки классификации видов физической активности. Представлена точность классификации для известных методов классификации и некоторых комбинаций признаков. Для лучшей комбинации признаков приведена матрица ошибок классификации.

В качестве средства проведения эксперимента использовалась среда MATLAB. Для проведения эксперимента использовался открытый набор данных USC-HAD, содержащий в себе данные от датчиков смартфона: акселерометра и гироскопа.

Ключевые слова: *физическая активность, телереабилитация, акселерометр, гироскоп, выбор признаков, методы классификации.*

***

Введение

Физически активный образ жизни является одним из важнейших условий здорового образа жизни человека. Знание о физической активности человека и её контроле даёт возможность определить изменения здоровья человека, оценить состояние организма, проследить зависимость переходных состояний от различных факторов.

По данным Всемирной организации здравоохранения, отсутствие физической активности является четвертым по значимости фактором риска смерти в мире. Одна из причин связана с недостаточным наблюдением и контролем выполнения человеком физических упражнений. Поэтому на сегодняшний день мониторинг физической активности является актуальной задачей.

Медицинская реабилитация – это одно из направлений, в котором применяется мониторинг физической активности человека.

Реабилитация – это восстановление здоровья, функционального состояния и трудоспособности, нарушенных болезнями, травмами или физическими, химическими и социальными факторами.

Цель реабилитации – эффективное и раннее возвращение больных и инвалидов к бытовым и трудовым процессам, в общество; восстановление личностных свойств человека.

Лечебная физическая культура (ЛФК) – составная часть медицинской реабилитации больных, метод комплексной функциональной терапии, использующий физические упражнения как средство сохранения организма больного в деятельном состоянии, стимуляции его внутренних резервов, предупреждения и лечения болезней, вызванных вынужденной гиподинамией.

Из физических упражнений в ЛФК наиболее часто используют ходьбу, бег, прыжки, перенос тяжести, ходьбу по лестнице вверх и вниз. Все эти упражнения способствуют окончательному восстановлению всего организма, воспитывая у больных настойчивость и уверенность в своих силах [1].

Однако необходимо отметить тот факт, что в большинстве случаев физической реабилитации не уделяется должного внимания, так как во многих поликлиниках отсутствуют соответствующие специалисты. В существующей практике проведения реабилитации используется дорогостоящее стационарное оборудование, из-за чего снижается доступность реабилитационных услуг.

Решить подобные проблемы возможно с помощью телемедицины.

Постановка задачи

Телемедицинская реабилитация (телереабилитация) применительно к пациенту – осуществление реабилитационного процесса под дистанционным управлением и контролем. Наиболее часто для дистанционного прохождения реабилитации используют носимые устройства [2].

Для распознавания динамических движений (ходьба, бег, подъем по лестнице) и статических поз (стоит, сидит, лежит) возможно применение акселерометра и гироскопа, которыми комплектуются современные смартфоны. Акселерометр и гироскоп являются источником данных об ускорении и ориентации в пространстве.

Также смартфон можно использовать не только для распознавания физической активности пациента, но и для уведомления о необходимости выполнения курса реабилитации, его изменениях, общения с врачом и в целом для осуществления обмена данными между системой и пациентом.

Полученные данные с датчиков не дают представления о выполненной пациентом активности, поэтому необходимо выбрать, каким образом соотносить показания датчиков с каким-либо видом активности. Для этого нужно решить задачу распознавания образов.

Пусть $O = \{(X(t), Y(t), W(t), ...)\}$ – множество образов объектов, C – конечное множество меток классов.

Требуется построить функцию (классификатор) $F : O \to C$, способную классифицировать произвольный объект $o \in O$.

В качестве объекта будем рассматривать показания трёх осей акселерометра и трёх осей гироскопа, в качестве класса – вид физической активности.

Решение задачи распознавания образов можно свести к следующим этапам:

1. Генерация признаков – выявление признаков, которые наиболее полно описывают объект.

2. Выбор признаков – выявление признаков, которые имеют наилучшие классификационные свойства для конкретной задачи.

3. Построение классификатора, т. е. правила отнесения образа к одному из классов на основании его вектора признаков.

4. Оценка классификатора. Нахождение ошибок классификации и оценка эффективности выбранного метода [3].

Такая задача уже решалась в [4; 5; 6; 7], но особое внимание следует уделить выбору признаков и методу классификации, которые бы позволили минимизировать процент ошибки классификации видов активностей для телереабилитационной системы.

Метод, предложенный в статье

Проведение эксперимента по выбору признаков и метода классификации было осуществлено в среде MATLAB.

Для проведения эксперимента был взят набор данных USC-HAD, находящийся в открытом доступе. Показания с акселерометра и гироскопа снимались со смартфона, закрепленного на поясе.

В сборе данных принимало участие 14 человек: 7 мужчин и 7 женщин разного возраста, роста и веса [8].

В наборе 12 видов физической активности, каждая из которых выполнялась каждым человеком по 5 раз:

1) идет вперед;
2) поднимается по лестнице;
3) спускается по лестнице;
4) бежит;
5) прыгает;
6) сидит;
7) стоит;
8) лежит;
9) идет налево;
10) идет направо;
11) поднимается на лифте;
12) спускается на лифте.

В рамках решения задачи построения телереабилитационной системы для эксперимента необходимо взять лишь те виды активности, которые необходимы реабилитологу для мониторинга состояния пациента. Таким образом, первые восемь видов активностей были выбраны в качестве классов распознавания.

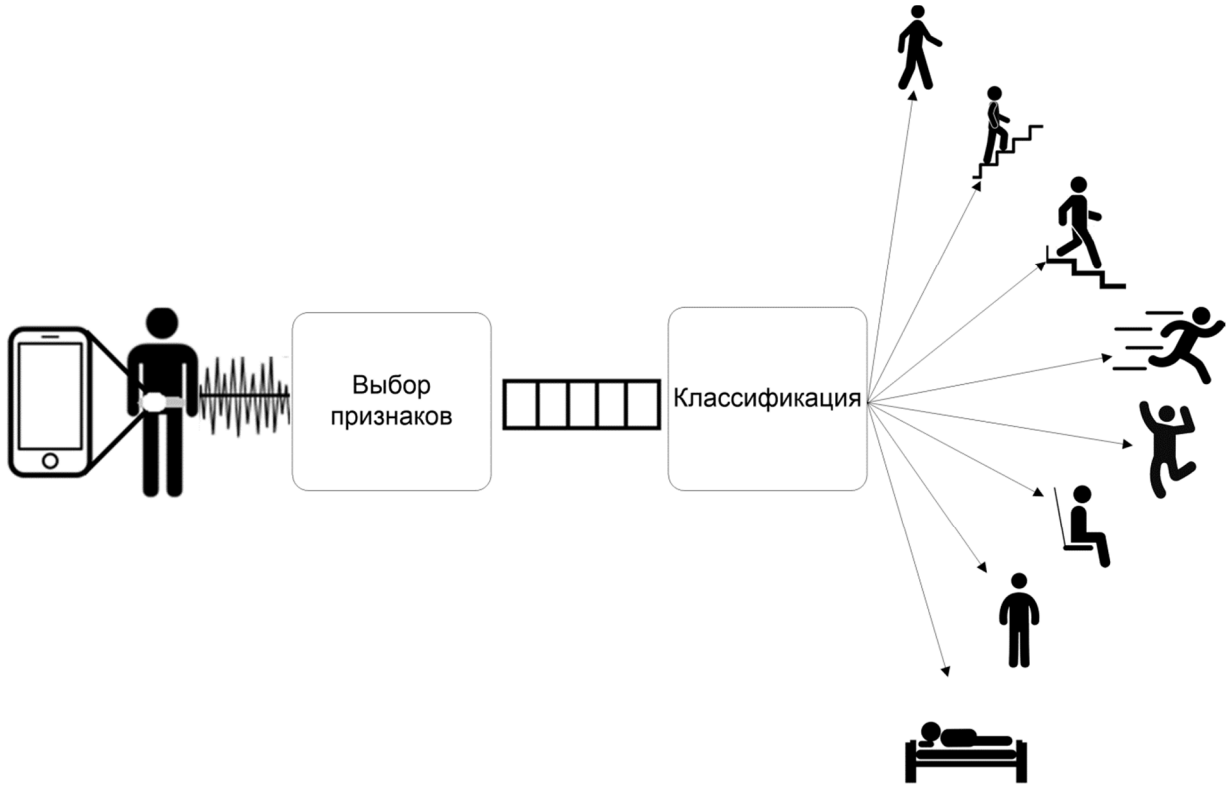


Рис. 1. Схема процесса распознавания вида активности

На первом этапе предлагается произвести выбор метода классификации. При этом в процессе классификации необходимо использовать полный набор признаков (табл. 1).

На втором этапе нужно осуществить выбор комбинации признаков, которая дает наименьший процент ошибки классификации для выбранного метода классификации в первом эксперименте.

В таблице 1 перечислены признаки, которые были использованы для проведения эксперимента [4].

Стандартное отклонение – распределение значений относительно среднего в выборке.

Асимметрия – числовое отображение степени отклонения графика распределения показателей от симметричного графика распределения.

Минимум – наименьшее значение в выборке.

Среднее значение – числовая характеристика, некоторое число, заключённое между наименьшим и наибольшим из их значений.

Максимум – наибольшее значение в выборке.

Среднее абсолютное отклонение – арифметическое среднее отклонений всех значений от среднего. Абсолютным оно является потому, что суммируются отклонения по модулю, так как в противном случае сумма всех разбросов была бы равна нулю.

Эксцесс – показатель остроты пика графика распределения.

Таблица 1

Список признаков

№	Функция	Описание	Формула
1	Std(x)	Стандартное отклонение	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{x}_i - \overline{x})^2}$
2	Skewness(x)	Асимметрия	$E\left[\left(\frac{x-\overline{x}}{\sigma}\right)^3\right]$
3	Min(x)	Наименьшее значение в наборе	$\min_i(x_i)$
4	Mean(x)	Среднее значение	$\overline{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$
5	Max(x)	Наибольшее значение в наборе	$\max_{\mathrm{i}}(\mathrm{x}_{\mathrm{i}})$
6	Mad(x)	Среднее или медианное абсолютное отклонение	$\mathrm{median}_{\mathrm{i}}\left(\left\|\mathrm{x}_{\mathrm{i}} - \mathrm{median}_{\mathrm{j}}\left(\mathrm{x}_{\mathrm{j}}\right)\right\|\right)$
7	Kurtosis(x)	Эксцесс	$\frac{E\left[\left(x-\overline{x}\right)^4\right]}{E\left[\left(x-\overline{x}\right)^2\right]^2}$
8	Iqr(x)	Межквартильный диапазон	$Q3(x) - Q1(x)$
9	Entropy(x)	Энтропия	$\sum_{i=1}^{N}\left(c_i \log\left(c_i\right)\right), c_i = x_i / \sum_{j=1}^{N} x_j$
10	Meanfreq(x)	Средняя частота	$\sum_{i=1}^{N}\left(ix_i\right) / \sum_{j=1}^{N} x_j$
11	Range(x)	Диапазон значений	$\max(x) - \min(x)$

Межквартильный диапазон – это диапазон между первым и третьим квартилями (то есть между 25-ми и 75-ми процентилями) распределения.

Энтропия – мера неопределённости или непредсказуемости некоторой системы.

Средняя частота оценивает среднюю нормированную частоту, частоту спектра мощности сигнала во временной области, x.

Диапазон значений возвращает разность между максимумом и минимумом выборки.

Эксперимент

Для проведения первого этапа эксперимента необходимо разбить набор исходных данных USC-HAD на два множества: обучающее и тестовое.

Обучающее множество – множество, которое включает данные, использующиеся для обучения модели. Такое множество содержит данные от датчиков и выходные значения. Выходные значения предназначены для обучения модели и дают представление о том, какой вид активности выполнялся человеком.

Тестовое множество также содержит входные и выходные значения. Здесь выходные значения используются для проверки работоспособности модели.

Для данных из набора данных USC-HAD, полученных с акселерометра и гироскопа, необходимо рассчитать все вышеперечисленные признаки. После этого необходимо указать метод классификации и провести обучение.

Результаты первого эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценки точности классификации

Метод классификации	Точность классификации
Complex tree	88,4
Medium tree	87,0
Simple tree	56,4
Linear discriminant	89,8
Linear SVM	94,3
Quadratic SVM	95,4
Cubic SVM	95,7
Fine Gaussian SVM	80,0
Medium Gaussian SVM	94,3
Coarse Gaussian SVM	85,2
Fine KNN	92,7
Medium KNN	87,5
Coarse KNN	57,1
Cosine KNN	84,1
Cubic KNN	83,2
Weighted KNN	90,5
Boosted trees	92,7
Bagged trees	95,6
Subspace discriminant	88,9
Subspace KNN	74,8
RUSBoosted trees	87,1

Уровень точности классификации – это процент правильно классифицированных объектов в тестовом множестве.

Точность классификации рассчитывается как отношение объектов, правильно классифицированных в процессе обучения, к общему количеству объектов набора данных, которые принимали участие в обучении:

$$\text{Точность классификации} = \frac{\text{Кол-во верно классифицированных объектов}}{\text{Общее кол-во объектов}} \times 100\%.$$

Исходя из проведенного эксперимента, в качестве метода классификации был выбран Cubic SVM, который обеспечил точность классификации 95,7%.

В таблице 3 представлены результаты второго эксперимента по выбору комбинации признаков.

Эксперименты проводились для множества различных комбинаций признаков.

В результате проведенных экспериментов было выявлено, что наибольшая точность классификации достигается при использовании комбинаций признаков, указанных в последней строке таблицы 3. Числа в данной строке соответствуют номерам признаков, указанных в таблице 1.

Матрица ошибок классификации для каждого вида активности при данной комбинации признаков представлена на рисунке 2.

Таблица 3

Точность классификации при различных комбинациях признаков

Комбинация признаков	Точность классификации
Все признаки	95,7
Только акселерометр	93,8
Только гироскоп	93,5
Признаки от акселерометра: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11 Признаки от гироскопа: 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10	96,6

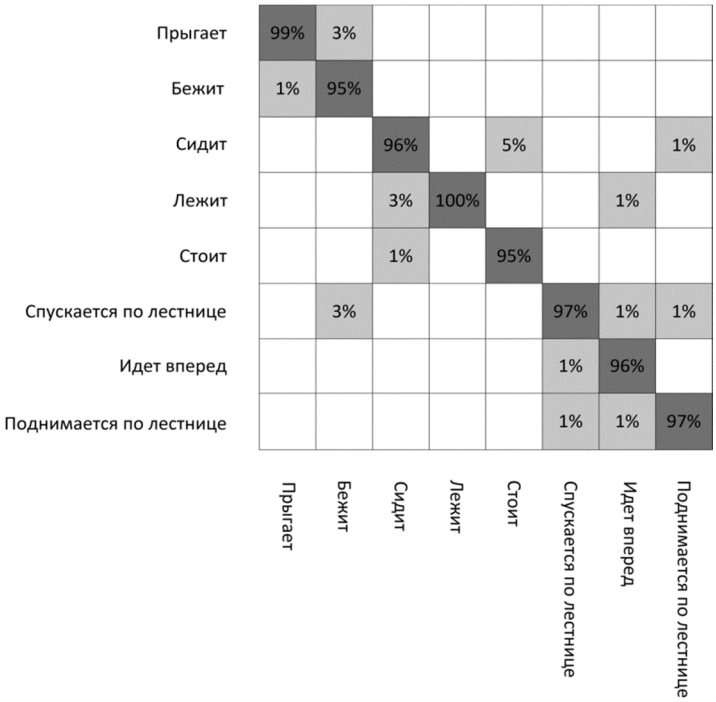


Рис. 2. Матрица ошибок

Обсуждение результатов и заключение

Результаты экспериментов были сопоставлены с результатами других исследований, которые представлены в таблице 4.

Во всех приведенных исследованиях используется метод классификации Cubic SVM. Проведенные эксперименты показали, что для выбранной комбинации признаков возможно распознавание восьми видов активности с точностью классификации 96,6%, что выше, чем результаты исследований, с которыми проводилось сравнение.

Таблица 4

Результаты других исследований в задаче классификации

Публикация	Количество видов активности	Точность классификации
Ravi et al. 2005 [8]	8	63,0
Könönen et al. 2010 [9]	9	79,0
Jorge Luis Reyes Ortiz. 2015 [4]	6	96,5

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов был выбран метод классификации Cubic SVM и комбинация признаков от акселерометра и гироскопа. В дальнейшем эти результаты будут использованы в рамках построения телереабилитационной системы.

Список литературы

1. Физическая реабилитация: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по Государственному образовательному стандарту 022500 «Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья» (Адаптивная физическая культура) / под общ. ред. проф. С. Н. Попова. Изд. 3-е. Ростов н/Д: Феникс, 2005. 608 с. (Высшее образование.)

2. Панченко О. А., Минцер О. П. Применение информационных технологий в современной реабилитологии: монография. Киев: КВИЦ, 2013. 136 с.: ил. ISBN 978-617-697-000-2.

3. Лепский А. Е., Броневич А. Г. Математические методы распознавания образов: курс лекций. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. 155 с. ISBN 978-5-8327-0306-0.

4. Jorge Luis Reyes Ortiz Smartphone-Based Human Activity Recognition. Recognizing Outstanding Ph.D. Research. Springer Theses. URL: https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-14274-6.

5. Juha Pärkkä. Analysis of Personal Health Monitoring Data for Physical Activity Recognition and Assessment of Energy Expenditure, Mental Load and Stress [Henkilökohtaisessa terveydentilan seurannassa syntyvän mittaustiedon analyysiä fyysisten aktiviteettien tunnistamista sekä energiankulutuksen, henkisen kuormituksen ja stressin arviointia varten]. Espoo 2011. VTT Publications 765. 103 p.

6. Attila Reiss Personalized mobile physical activity monitoring for everyday life. Doctoral Thesis / Technical University of Kaiserslautern. Kaiserslautern, Germany, 2014. P. 1–176.

7. Khan Adil & Lee Young-Koo & Lee Soo-Young & Kim Tae-Seong. A Triaxial Accelerometer-Based Physical-Activity Recognition via Augmented-Signal Features and a Hierarchical Recognizer. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions. 2010. N 14. P. 1166–1172.

8. Zhang M., Sawchuk A. A. USC-HAD: A Daily Activity Dataset for Ubiq-

uitous Activity Recognition Using Wearable Sensors // ACM Conference (International) on Ubiquitous Computing (UbiComp) Workshop on Situation, Activity and Goal Awareness (SAGAware). Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2012.

9. Ravi N., Dandekar N., Mysore P. Activity recognition from accelerometer data. Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, 2005. P. 1541–1546.

10. Könönen V., Mäntyjärvi J., Similä H. Automatic feature selection for context recognition in mobile devices // Pervasive and Mobile Computing. 2010. Vol. 6, N 2. P. 181–197.

Поступила в редакцию 14.12.17

UDC 519.24

E. S. Tarantova, Student, Murom Institute of Vladimir State University (Murom, Russia) (e-mail: elena.tarantova@yandex.ru)

K. V. Makarov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Murom Institute of Vladimir State University (Murom, Russia) (e-mail: k-distance@rambler.ru)

FEATURE SELECTION AND CHOOSING THE METHOD FOR PHYSICAL ACTIVITY CLASSIFICATION IN THE TASK OF BUILDING THE TELEREHABILITATION SYSTEM

The article considers physical activity monitoring problem within rehabilitation task. The goal of rehabilitation and the components necessary for its implementation are indicated. The importance of determining the type of physical activity for carrying out the rehabilitation program is underlined. The necessary physical exercises that the patient performs as part of the rehabilitation course are listed. The disadvantages of rehabilitation at the present time are described.

The notion of telerehabilitation is considered. A method is proposed for carrying out rehabilitation with the use of an accessible wearable device – a smartphone, which includes an accelerometer and a gyroscope, necessary for recognizing the type of activity. Using the smartphone will effectively solve the problem of building a system of telerabilitation, as it can be used not only as a data source, but also for the exchange of data between the system and the patient.

The task of recognizing the types of physical activity is set. The stages necessary to solve this problem are listed. Two experiments are proposed in the article – at the choice of the method of classification and selection of combinations of features for classification. The features used in the experiment to select the classification method are described. Formulas for their calculation are presented.

Also from among the described features the combination of features providing the smallest percent of an error of classification of types of physical activity was chosen. The accuracy of classification for known classification methods and some combinations of characteristics is presented. For a better combination of features, a matrix of classification errors is presented.

As a means of carrying out the experiment, the MATLAB environment was used. For the experiment an open data set USC-HAD has been used, which contains data from the sensors of the smartphone: an accelerometer and a gyroscope.

Key words: *physical activity, telerehabilitation, accelerometer, gyroscope, feature selection, classification methods.*

References

1. Fizicheskaya reabilitaciya: uchebnik dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obuchayushchihsya po Gosudarstvennomu obrazovatel'nomu standartu 022500 «Fizicheskaya kul'tura dlya lic s otkloneniyami v sostoyanii zdorov'ya» (Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura); ed. by S. N. Popova. 3th ed. Rostov n/D: Feniks Publ., 2005. 608 p. (Vysshee obrazovanie.)

2. Panchenko O. A., Mincer O. P. Primenenie informacionnyh tekhnologij v covremennoj reabilitologii. Kiev, 2013. 136 p.: il. ISBN 978-617-697-000-2.

3. Lepskij A. E., Bronevich A. G. Matematicheskie metody raspoznavaniya

obrazov. Kurs lekcij. Taganrog, 2009. 155 p. ISBN 978-5-8327-0306-04.

4. Jorge Luis Reyes Ortiz Smartphone-Based Human Activity Recognition. Recognizing Outstanding Ph.D. Research. Springer Theses. URL: https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-14274-6.

5. Juha Pärkkä. Analysis of Personal Health Monitoring Data for Physical Activity Recognition and Assessment of Energy Expenditure, Mental Load and Stress [Henkilökohtaisessa terveydentilan seurannassa syntyvän mittaustiedon analyysiä fyysisten aktiviteettien tunnistamista sekä energiankulutuksen, henkisen kuormituksen ja stressin arviointia varten]. Espoo 2011. VTT Publications 765. 103 p.

6. Attila Reiss Personalized mobile physical activity monitoring for everyday life. Doctoral Thesis. Technical University of Kaiserslautern. Kaiserslautern, Germany, 2014, pp. 1–176,

7. Khan Adil & Lee Young-Koo & Lee Soo-Young & Kim Tae-Seong. A Tri-axial Accelerometer-Based Physical-Activity Recognition via Augmented-Signal Features and a Hierarchical Recognizer. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions, 2010, no. 14, pp. 1166–1172.

8. Zhang M., Sawchuk A. A. USC-HAD: A Daily Activity Dataset for Ubiquitous Activity Recognition Using Wearable Sensors. ACM Conference (International) on Ubiquitous Computing (UbiComp) Workshop on Situation, Activity and Goal Awareness (SAGAware). Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2012.

9. Ravi N., Dandekar N., Mysore P. Activity recognition from accelerometer data. Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, 2005, pp. 1541–1546.

10. Könönen V., Mäntyjärvi J., Similä H. Automatic feature selection for context recognition in mobile devices. Pervasive and Mobile Computing, 2010, vol. 6, no. 2, pp. 181–197.

УДК 681.3

Д. Х. Доан, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (Рязань, Россия) (e-mail: d2h.rus@mail.ru)

А. В. Крошилин, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (Рязань, Россия) (e-mail: alfzdrprog@mail.ryazan.ru)

С. В. Крошилина, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (Рязань, Россия) (e-mail: asak_kasa@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ МЕДИЦИНСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ВАРИАНТА ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ

В настоящее время компьютерные технологии получили большое распространение в медицине. Медицинские информационные системы, в том числе системы поддержки принятия медицинских решений, применяются в деятельности большинства современных медицинских учреждений. В таких системах накоплены большие объемы разной медицинской информации. Эффективное использование статистической медицинской информации позволяет решить некоторые задачи систем поддержки принятия медицинских решений, одной из которых является формирование наборов вариантов течения заболевания [2, 8, 9]. В связи с этим необходимо применить методы интеллектуального анализа данных, важное место в которых занимают методы нечеткой кластеризации [1, 4].

Цель работы – разработка методики нечеткой кластеризации для эффективного анализа статистической медицинской информации, накопленной в системах поддержки принятия медицинских решений. Представлено применение разработанного метода нечеткой кластеризации для решения задачи выбора вариантов течения заболевания.

В статье предложен подход для решения задачи выбора вариантов течения заболевания в системах поддержки принятия медицинских решений на основе теории нечетких множеств. Приведено описание метода нечеткой кластеризации в анализе медицинской статистической информации в системах поддержки принятия медицинских решений, указаны шаги модифицированного метода нечеткой кластеризации, а также представлена общая схема модифицированного алгоритма нечеткой кластеризации. Приведены критерии оценки качества нечеткой кластеризации, в том числе особенно критерий с понятием «мощный кластер». В результате исследований на основе модифицированного метода нечеткой кластеризации разработана система поддержки принятия медицинских решений, с помощью которой решена задача выбора варианта течения заболевания.

***Ключевые слова**: нечеткая кластеризация, системы поддержки принятия медицинских решений, варианты течения заболевания.*

***

Введение

Работа медицинских специалистов и врачей в основном связывается с принятием решений в медико-технологическом процессе и решением управленческих проблем при обеспечении таких процессов. Требуется работать с большим количеством медицинских данных, в то время как медицинский персонал сталкивается с требованиями повысить качество оказания медицинской помощи, уменьшить риски для пациентов, а также затраты на лечение. В связи с этим в настоящее время в большинстве медицинских учреждений, включая и медицинские учреждения диспансерного типа, применяются разные медицинские информационные системы (МИС), а также системы поддержки принятия медицинских решений (СППМР), предназначенные для информационной поддержки врачей-пользователей в процессе принятия медицинских решений [1; 8; 9]. Такие системы способны соби-

рать и хранить большие объемы разной медицинской информации медико-технологических процессов, которая может оказаться потенциально полезной при проведении дополнительных исследований [3]. Эффективное использование накопленной статистической информации в СППМР позволяет решить некоторые задачи, одной из которых является подготовка мотивационной базы для принятия решений при выборе клинических вариантов течения заболевания [2]. Это достигается путем применения методов интеллектуального анализа данных, особое место в которых занимают методы нечеткой кластеризации [1; 4].

Описание метода нечеткой кластеризации для эффективного анализа медицинской статистической информации в системах поддержки принятия медицинских решений

Существует несколько определений для интеллектуального анализа данных, но все эти определения имеют одно и то же толкование базового понятия и ключевые слова, которые являются общими для всех. В общем случае интеллектуальный анализ данных – это процесс автоматического обнаружения полезной информации, а также нетривиальных и скрытых закономерностей в большом объеме исследуемых данных. В настоящее время для интеллектуального анализа данных используется концепция паттернов (шаблонов, дорожных карт), описывающих подмножество данных или модель, применимую к подмножеству данных. При этом можно считать интеллектуальный анализ данных конкретным этапом общего процесса обнаружения полезных знаний из данных, который представляет собой применение определенных алгоритмов для извлечения шаблонов из данных. Полученные знания позволяют осуществлять принятие более эффективных решений.

Медицина – одна из наиболее интересных областей, в которой интеллектуальный анализ данных может иметь важное практическое значение.

Применение интеллектуального анализа данных в медицинской области становится актуальным по нескольким причинам:

– чрезвычайно большие объемы медицинских данных;

– необходимость принятия решений на основе анализа имеющихся медицинских данных;

– способность генерировать информацию, являющуюся принципиально полезной, в процессе принятия медицинских решений.

Одним из методов интеллектуального анализа данных [1; 3; 9] для эффективного исследования накопленной статистической медицинской информации является нечеткая кластеризация, большое преимущество которой заключается в том, что возможно проводить кластеризацию без ограничений на вид исследуемых данных, а также при отсутствии априорной информации о характер классов и/или о количестве кластеров. Тем не менее позволяется проводить разбиение данных по совокупности признаков, а не только по одному параметру.

Задача нечеткой кластеризации выполняет разбиение множества n объектов предметной области $Q = \{q_1, q_2, ..., q_n\}$ на кластеры по некоторым характеристикам (атрибутам).

Каждый объект $q_i \in Q$ представлен в виде характеристического вектора:

$$q_i = \left(q_{i1}, q_{i2}, \ldots, q_{im}\right), i = \overline{1,n}, \qquad (1)$$

где $q_{ij} \in P$; $j = \overline{1,m}$;

P – множество значений атрибутов.

Допустим, что $CL = \{cl_1, cl_2, ..., cl_k\}$ – множество полученных кластеров. При этом существует отображение $Q \to CL$ так, что

$$\begin{cases} cl_k \in CL, \\ cl_k = \left\{q_i, q_j : d\left(q_i, q_j\right) < \alpha\right\}, \\ q_i, q_j \in Q, \end{cases} \qquad (2)$$

где метрика $d\left(q_i, q_j\right)$ – оценочная функция, значение которой предоставляет степень «схожести» объектов q_i и q_j в пространстве атрибутов P;

α – значение ограничения, которое задано заранее.

Полученный результат нечеткой кластеризации представляет собой кластеры, включающие в себя объекты данных медицинской предметной области в пространстве допустимых атрибутов, значения оценочной функции ограничены некоторой заданной величиной.

Нечеткая кластеризация позволяет определить объекты, находящиеся на границе кластеров, иначе говоря, нечеткая кластеризация позволяет обнаружить пересекающие кластеры. Однако для слабоструктурированной исходной информации (к которой относятся данные медико-технологических процессов) традиционные подходы к нечеткой кластеризации не позволяют получить адекватные решения [3]. Поэтому необходима разработка методики нечеткой кластеризации, позволяющей получить наилучшее решение.

В разработанной авторами системе [6] предложен модифицированный метод нечеткой кластеризации, который основан на построении отношений нечеткой равнозначности [2; 3; 4; 7].

Для осуществления нечеткой кластеризации введено понятие «***нормальная мера схожести***». Для каждого атрибута $a \in P$, где P – множество атрибутов (пространство характеристик), его нормальной меры схожести относительно любого атрибута $b \in P$ по расстоянию определяется следующим образом:

$$\mu_a\left(b\right) = 1 - d\left(a,b\right) \Big/ \max_{c \in A} d\left(a,c\right), \qquad (3)$$

где $c \in P$; $d(a,b)$ – расстояние между a и b.

Отметим, что значения $\mu_b(a)$ находятся в интервале [0,1]. Значение $\mu_a(b) = 0$ – a совсем не схоже с b, $\mu_a(b) = 1$ – a совсем схоже с b. При этом нормальная мера схожести атрибута a по расстоянию порождает нечеткие множества атрибутов, которые схожи с ним.

Относительная мера схожести $\tau_a(b,c)$ двух атрибутов $b,c \in P$ относительно третьего атрибута $a \in P$ определяется как

$$\tau_a\left(b,c\right) = 1 - \left|\mu_a\left(b\right) - \mu_a\left(c\right)\right|, \qquad (4)$$

где $a,b,c \in P$; $\mu_a(b)$, $\mu_a(c)$ – нормальная мера схожести a относительно b и c.

На множестве P мера схожести $\tau(b,c)$ пары атрибутов $b,c \in P$ строится следующим образом:

$$\tau(b,c) = T\left[\tau_{ai}(b,c)\right], \qquad (5)$$

где $i = 1,...,|P|$; а $\tau_{ai}(b,c)$ – относительная мера схожести;

T – операция t-норма.

Операция t-норма – треугольная норма, которой определяется отобра-

жение: $T:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$ при удовлетворении свойств $\forall x,y,z\in[0,1]$:

• $T(x,1)=x$;

• $T(x,y)=T(y,x)$ – симметричность;

• $T(x,T(y,z))=T(T(x,y),z)$ – ассоциативность;

• $T(x,y)\le T(x_0,y_0)$ при $x\le x_0$ и $y\le y_0$ – монотонность.

Применяется *t*-норма для минимизации min-норма по Заде:

$$T(b,c)=\min(b,c). \qquad (6)$$

Из уравнений (5) и (6) получается мера схожести $\tau(b,c)$ пары атрибутов $b,c\in P$ на множестве *P*:

$$\tau(b,c)=\min\left[\tau_{ai}(b,c)\right], i=1,...,|P|. \quad (7)$$

Отношение (7) называется нечетким отношением, при вычислении транзитивного замыкания которого получается отношение нечеткой равнозначности [10]:

$$R_\tau^t=R_\tau^{t-1}\circ R, \qquad (8)$$

где $R_\tau=\tau(b,c)$, $\forall b,c\in P$; $t=2,...,|P|$; $R_\tau^{|P|}$ – отношение нечеткой равнозначности.

Градация отношения нечеткой равнозначности порождает семейство отношений равнозначности, каждое из которых позволяет разбивать исходное множество на классы равнозначности. Чем больше уровень нечеткого отношения, тем более детально разбиение исходного множества. Для построения градации отношения нечеткой равнозначности необходимо упорядочивать по возрастанию элементы матрицы этого отношения.

Шаги нечеткой кластеризации можно представить следующим образом:

• шаг 1: построение нормальной меры схожести по расстоянию $\mu_a(b)$ для каждого атрибута множества *P* по (3);

• шаг 2: построение относительной меры схожести пары атрибутов $\tau_a(b,c)$ относительно каждого атрибута на множестве *P* согласно нормальной мере схожести по расстоянию $\mu_a(b)$ по (4);

• шаг 3: построение меры схожести $\tau(b,c)$ пары атрибутов $b,c\in P$ на множестве *P* по (5), применение min-нормы в качестве *t*-нормы по (6) для получения нечеткого отношения на множестве *P*;

• шаг 4: при вычислении транзитивного замыкания нечеткого отношения в цикле по (7) получается отношение нечеткой равнозначности;

• шаг 5: построение градации отношения нечеткой равнозначности упорядочением по возрастанию элементов матрицы этого отношения;

• шаг 6: выбор уровня нечеткого отношения для реализации разбиения исходное множество на кластеры.

Результаты разбиения предложенным выше подходом необходимо оценивать с использованием критериев качества нечеткой кластеризации. Оптимальный результат разбиения по критериям называется лучшим разбиением. В противном случае необходимо осуществление повторного выбора уровня нечеткого отношения. Общая схема модифицированной нечеткой кластеризации представлена на рисунке.

Рис. Общая схема модификации метода нечеткой кластеризации

Оценка качества нечеткой кластеризации

Сложной проблемой при применении алгоритмов кластеризации для решения практических задач является определение количества кластеров до начала анализа, формализованного подхода в настоящее время для ее решения не существует [4]. При отсутствии информации о количестве кластеров возникает проблема выбора наилучшего разбиения. Решение этой проблемы возможно, если добавить в алгоритм нечеткой кластеризации критерий оценки качества кластеризации, представленный оценочной функцией критерия качества.

Существует несколько известных критериев оценки качества кластеризации, применимых для нечеткой кластеризации [3; 4; 7].

Коэффициент разбиения $K_{\text{КР}}$ представлен следующим образом:

$$K_{\text{КР}} = \frac{\sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2}{|P|}, K_{\text{КР}} \in \left[1/|CL|, 1\right], \quad (9)$$

где P – исходное множество атрибутов;

CL – множество кластеров;

μ_{ij} – элемент матрицы принадлежности R (элемент матрицы отношения нечеткой равнозначности).

Отметим, что коэффициент разбиения $K_{\text{КР}}$ достигает максимума при наиболее четком разбиении, т. е. $K_{\text{КР}} = 1$. Это значит, что неопределенность в этом случае максимальна, следовательно, полученное разбиение является худшим. Кроме того, в случае когда количество кластеров мало, полученное значение коэффициента разбиения является неадекватным для его области значений.

Улучшение коэффициента разбиения возможно, если переместить его область значений без изменения его характера следующим образом:

$$K_{\text{КР}_\text{у}} = \frac{\sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2}{|P| - 1/|CL|}, \quad K_{\text{КР}_\text{у}} \in \left[0, \frac{(|CL|-1)}{|CL|}\right]. \quad (10)$$

Таким образом, зависимость от количества кластеров связана с окончанием области значений коэффициента разбиения, а не с началом, и проблема решена. При этом полученный результат $K_{\text{КР}_\text{у}}$ можно назвать улучшенным коэффициентом разбиения.

Энтропийный критерий $K_{\text{ЭР}}$ представляется в виде

$$K_{\text{ЭР}} = \frac{\sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}\ln\left(\mu_{ij}\right)}{|P|}, \qquad (11)$$

$$K_{\text{ЭР}} \in \left[0, \ln\left(|CL|\right)\right],$$

где P – исходное множество атрибутов;

CL – множество кластеров;

μ_{ij} – элемент матрицы принадлежности R.

Чем меньше значение энтропии разбиения, тем больше степень принадлежности элемента одному кластеру, т. е. тем более качественно выполнено разбиение. При этом $K_{\text{ЭР}} = \ln|CL|$ – наихудшее разбиение, а $K_{\text{ЭР}} = 0$ – наилучшее разбиение.

Значения энтропии разбиения $K_{\text{ЭР}}$ сильно зависят от количества кластеров. При малых значениях числа кластеров получаются значения энтропии разбиения $K_{\text{ЭР}}$ очевидно малые и наоборот. Поэтому при сравнении разных решений с помощью энтропии разбиения полученный результат получается некорректным.

Улучшенная энтропия разбиения, которая позволит получить более корректные результаты, представлена следующим образом:

$$K_{\text{ЭР}_{\text{у}}} = \frac{\sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}\ln\left(\mu_{ij}\right)}{|P|\ln\left(|CL|\right)}, \qquad (12)$$

$$K_{\text{ЭР}_{\text{у}}} \in [0,1].$$

Коэффициент улучшенной энтропии разбиения не связан с количеством кластеров. Поэтому при разных значениях числа кластеров с его использованием можно сравнивать результаты различных методов кластеризации.

Критерий эффективности разбиения $K_{\text{ЭФР}}$ представлен в виде

$$K_{\text{ЭФР}} = \sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2\left[d^2\left(c_j,\bar{q}\right) - d^2\left(q_i,c_j\right)\right], \qquad (13)$$

где P – исходное множество атрибутов;

q_i – i-й элемент множества P;

$\bar{q}$ – среднее значение элементов q_i;

CL – множество кластеров;

c_j – центр j-го кластера $cl_j \in CL$;

μ_{ij} – элемент матрицы принадлежности R;

$d\left(q_i,c_j\right)$ – расстояние между 2-мя объектами q_i и c_j.

Формулу (13) можно переписать следующим образом:

$$K_{\text{ЭФР}} = \sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2 d^2\left(c_j,\bar{q}\right) - \sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2 d^2\left(q_i,c_j\right). \qquad (14)$$

Эффективность разбиения состоит их двух частей: внутрикластерные отличия и межкластерные отличия.

Внутрикластерные отличия представлены в следующем виде:

$$K_{\text{ЭФР}_{\text{В}}} = \sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2 d^2\left(q_i,c_j\right). \qquad (15)$$

Чем меньше значения внутрикластерных отличий, тем более качественно выполнено разбиение, т. е. при оптимальном значении числа кластеров значение внутрикластерных отличий достигает минимума.

Межкластерные отличия представлены в следующем виде:

$$K_{\text{ЭФР}_{\text{М}}} = \sum_{i=1}^{|P|}\sum_{j=1}^{|CL|}\mu_{ij}^2 d^2\left(c_j,\bar{q}\right). \qquad (16)$$

Чем больше значения межкластерных отличий, тем более качественно выполнено разбиение, т. е. при оптимальном значении числа кластеров значение внутрикластерных отличий достигает максимума. Поэтому чем больше значение эффективности разбиения, тем лучше выполнена кластеризация.

Таким образом, улучшенные коэффициенты не связаны с количеством кластеров, следовательно, позволяют выполнить оценку качества кластеризации как на большом, так и на малом количестве кластеров и получить результаты оценок в интервале [0,1]. При этом с помощью улучшенных коэффициентов проблема, связанная с необходимостью определения количества кластеров до начала анализа для задач кластеризации, возможна решена.

Критерий мощности кластеров. Для каждого уровни в градации отношений нечеткой равнозначности осуществляется разбиение исходного множества на кластеры. Количество полученных разбиений соответствует количеству уровней нечеткой равнозначности, которое велико и близко к количеству элементов входного множества, но не все разбиения практически полезны. Классы равнозначности различны по кардинальному числу в градации нечеткой равнозначности, особенно в её начальных значениях. При этом для оценки качества разбиения исходного множества используется критерий мощности кластеров, основанный на понятии «мощный кластер».

Мощный кластер – кластер, который считается практически полезным при некоторой мощности класса равнозначности в градации нечеткой равнозначности.

Для каждого уровня нечеткого отношения критерий качества для оценки разбиения по мощности кластеров представлен в следующем виде:

$$K_{\text{Р}i} = L_i \cdot \left|K_{\text{МК}}\right| \cdot K_{\text{ПК}}, \qquad (17)$$

где L_i – уровень нечеткой равнозначности;

$\left|K_{\text{МК}}\right|$ – кардинальное число множества мощных кластеров $K_{\text{МК}}$, которое можно определить как

$$K_{\text{МК}} = \left\{\forall k_i^{'} \in K^{'} : \left|k_i^{'}\right| \geq \Pi_{\text{Кч}}\right\}, \qquad (18)$$

где $k_i^{'}$ – класс равнозначности;

$K^{'}$ – множество полученных классов равнозначности на выбранном уровне эквивалентности;

$\Pi_{\text{Кч}}$ – порог кардинального числа, являющийся минимальной мощностью класса равнозначности, при котором кластер считается практически полезным.

Для вычисления $\Pi_{\text{Кч}}$ в качестве кластеров классов равнозначности, упорядоченных по количеству элементов от большего к меньшему в них, для каждой пары классов вычисляется взвешенное отношение:

$$\begin{cases} \Pi_{\text{Кч}_{\text{ВО}}} = \Pi_{\text{Кч}_{\text{ВК}}} \times \Pi_{\text{Кч}_{\text{ОК}}}, \\ \Pi_{\text{Кч}_{\text{ВК}}} = \left(\left|k_i^{'}\right| + \left|k_{i+1}^{'}\right|\right) / 2, \\ \Pi_{\text{Кч}_{\text{ОК}}} = \left|k_i^{'}\right| / \left|k_{i+1}^{'}\right|, \end{cases} \qquad (19)$$

где $\Pi_{\text{ЧК}_{\text{ОК}}}$ – отношение двух соседних классов;

$\Pi_{\text{ЧК}_{\text{ВК}}}$ – весовой коэффициент, с помощью которого максимум $\Pi_{\text{ЧК}_{\text{ВО}}}$ смещается ближе к началу последовательности. При максимальном значении $\Pi_{\text{ЧК}_{\text{ВО}}}$ значение $\Pi_{\text{ЧК}}$ будет равно мощности соответствующего кластера;

$K_{ПК}$ – промежуточный коэффициент разбиения, вычисленный по следующей форме:

$$K_{ПК} = \sum \left|k_j^{'}\right| / \left|X\right|, k_j^{'} \in K_{МК}, \qquad (20)$$

где $\left|k_j^{'}\right|$ – кардинальное число мощных кластеров;

$\left|X\right|$ – общее кардинальное число множества кластеров.

Наилучшее разбиение будет получено в случае, когда значение K_{Pi} достигает максимума:

$$K_P = \max_i K_{Pi} = \max_i \left(L_i \cdot \left|K_{МК}\right| \cdot K_{ПК}\right). \quad (21)$$

Таким образом, с помощью критерия мощности кластеров можно отметить, что при высоком уровне нечеткой равнозначности разбиение исходного множества на кластеры довольно детально, при этом в классы равнозначности включают наиболее схожие объекты. От множества мощных кластеров только зависит качество разбиения, наилучшее значение которого достигается при большом кардинальном числе этого множества. При высоком значении промежуточного коэффициента разбиения в результат конечного разбиения включено большое количество объектов.

Применение модифицированного метода нечеткой кластеризации в системах поддержки принятия медицинских решений

Авторами на основе модифицированного метода нечеткой кластеризации была разработана система [6], которая успешно прошла апробацию и внедрена в ГБУ РО «Областной клинический противотуберкулезный диспансер» для решения задачи выбора вариантов течения заболевания с использованием статистической медицинской информации, которая для системы является множеством медицинских показателей (МП) [2; 5; 8; 9]. Полученные результаты кластеризации, которыми является распределение МП по их атрибутам, сравниваются со стандартными шаблонами (дорожными картами) вариантов течения заболевания, хранимыми в системе. Шаблоны с наибольшей оценкой в ранжированном списке представляются для выбора врачу-пользователю.

В таблице приведены результаты сравнительного анализа точности выбора вариантов течения заболевания в период до и после применения модифицированного метода нечеткой кластеризации (ММНК) [2; 5].

Сравнение точности выбора вариантов течения заболевания

Размер выборки, пац.	До применения ММНК			После применения ММНК			Улучшение показателя
	Периоды	Правильные варианты		Периоды	Правильные варианты		
		пац.	%		пац.	%	
2000	2002	1759	88,0	2013	1954	97,7	11,1
2000	2003	1799	90,0	2013	1954	97,7	8,6
1500	2004	1325	88,3	2014	1464	97,6	10,5
2500	2001	2080	83,2	2015	2470	98,8	18,8
2000	2003	1799	90,0	2016	1968	98,4	9,4
2500	2003	2189	87,5	2017	2475	99,0	19,1

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что точность выбора значительно повышена (8,6–19,1%) и среднее значение правильных вариантов достигает высокого уровня (>90%). Следовательно, разработанный метод нечеткой кластеризации данных, применяемый в СППМР [6], является достоверным и представляет практическую значимость для решения задачи выбора варианта течения заболевания.

Заключение

Для эффективного исследования статистической медицинской информации в СППМР методом нечеткой кластеризации были выполнены следующие задачи:

1. Предложен модифицированный метод нечеткой кластеризации на основе нечетких отношений равнозначности, построенных только взаимосвязями между исследуемыми данными.

2. На основе модифицированного метода нечеткой кластеризации разработана СППМР, позволяющая производить эффективный анализ статистической медицинской информации, накопленной в них.

3. Была решена задача выбора вариантов течения заболевания на базе разработанного метода нечеткой кластеризации.

Таким образом, модифицированный метод нечеткой кластеризации повышает эффективность исследования статистической медицинской информации, а разработанная СППМР [6] на основе предложенной методики позволяет эффективно решить задачу выбора вариантов течения заболевания, а также может применяться в составе других систем схожего назначения [3; 5].

Список литературы

1. Доан Д. Х., Крошилин А. В., Крошилина С. В. Обзор подходов к проблеме принятия решений в медицинских информационных системах в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. 2015. №12, ч. 1. С. 26–30.

2. Формирование наборов вариантов течения болезни методом нечеткой кластеризации в системах поддержки принятия медицинских решений / Д. Х. Доан, С. Ю. Жулева, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, В. В. Тишкина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2017. №7. С. 60–65.

3. Крошилин А. В. Использование нечеткой кластеризации для оптимизации информационных данных в медицинском технологическом процессе // Вестник РГРТУ. 2015. №52. С. 144–149.

4. Учет качества разбиения при использовании модифицированного алгоритма нечеткой кластеризации исследуемых данных и методика её построения / А. Н. Пылькин, К. А. Майков, А. В. Крошилин, А. М. Белицкий // Вестник РГРТУ. 2016. №58. С. 57–63.

5. Построение медицинских экспертных систем сопровождения медико-технологического процесса / А. Н. Пылькин, А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, Д. Х. Доан // Вестник РГРТУ. 2017. №60. С. 123–130.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618420. Программный комплекс поддержки принятия решений на основе нечеткой логики «Эксперт 4. Обработка статистических данных медико-технологических процессов методом нечеткой кластеризации» ver. 4.04 / С. В. Крошилин, А. В. Крошилин, А. Н. Пылькин, Д. Х. Доан. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 28.07.2016.

7. Поддержка принятия решений на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения / Е. Н. Долженко, А. Н. Пылькин, А. В. Крошилин,

С. Ю. Жулева // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. №7. С. 62–68.

8. Доан Д. Х., Крошилин А. В., Крошилина С. В. Применение нечеткой кластеризации в системах поддержки принятия медицинских решений для формирования наборов вариантов течения болезни // Естественно-научные основы медико-биологических знаний: материалы всеросс. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием / ред. кол.: Т. Г. Авачева, В. М. Пащенко, А. А. Кривушин; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. Рязань, 2017. С. 18–21.

9. Доан Д. Х., Крошилина С. В., Жулева С. Ю. Использование нечеткой кластеризации в анализе статистической медицинской информации для формирования наборов вариантов течения болезни в системах поддержки принятия медицинских решений // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж, 2017. Т. 1. С. 268–272.

10. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

Поступила в редакцию 26.12.17

UDC 681.3

D. H. Doan, Post-Graduate Student, Ryazan State Radioengineering University (Ryazan, Russia) (e-mail: d2h.rus@mail.ru)

A. V. Kroshilin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Ryazan State Radioengineering University (Ryazan, Russia) (e-mail: alfzdrprog@mail.ryazan.ru)

S. V. Kroshilina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Radioengineering University (Ryazan, Russia) (e-mail: asak_kasa@mail.ru)

APPLICATION OF METHOD OF FUZZY CLUSTERING IN THE MEDICAL DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEMS FOR SOLVING THE TASK OF SELECTION OF THE VARIANTS OF THE COURSE OF THE DISEASE

Now computer technologies have been widespread in medicine. Medical information systems, including the medical decision-making support systems, are applied in the activities of most modern medical institutions. In these systems large volumes of different medical information are stored. Effective use of statistical medical information allows solving some problems of medical decision-making support systems, one of which is formation of sets of variants of disease course [2, 8, 9]. In this connection it is necessary to apply methods of data mining, in which important place is taken by methods of fuzzy clustering [1, 4].

The aim of the work is to develop the methodology of fuzzy clustering for the effective analysis of statistical medical information, which was stored in medical decision-making support systems. The application of developed method of fuzzy clustering for solving the task of selection of the variants of disease course is presented.

In this paper the approach for solving the task of selection of the variants of disease course in medical decision-making support systems on the basis of the theory of fuzzy set is proposed. The description of the method of fuzzy clustering in the analysis of medical statistical information in medical decision-making support systems is given, the steps of the modified fuzzy clustering method are shown, and the general scheme of the modified fuzzy clustering algorithm is presented. The criteria for evaluating the quality of fuzzy clustering are given, including especially the criterion with conception "strong cluster". On the basis of the modified method of fuzzy clustering, a medical decision-making support systems was developed, with the help of which the task of selection of the variant of the disease course was solved.

Key words: *fuzzy clustering, medical decision-making support systems, the task of selecting variants of the disease course.*

References

1. Doan D. H., Kroshilin A. V., Kroshilina S. V. Obzor podkhodov k probleme prinyatiya resheniy v meditsinskikh informatsionnykh sistemakh v usloviyakh neopredelennosti. Fundamentalnyye issledovaniya, 2015, no. 12, pt. 1, pp. 26–30.

2. Doan D. H., Zhuleva S. Y., Kroshilin A. V., Kroshilina S. V., Tishkina V. V. Formirovaniye naborov variantov techeniya bolezni metodom nechetkoy klasterizatsii v sistemakh podderzhki prinyatiya meditsinskikh resheniy. Biomeditsinskaya radioelektronika, 2017, no. 7, pp. 60–65.

3. Kroshilin A. V. Ispolzovaniye nechetkoy klasterizatsii dlya optimizatsii informatsionnykh dannykh v meditsinskom tekhnologicheskom protsesse. Vestnik RGRTU, 2015, no. 52, pp. 144–149.

4. Pylkin A. N., Maykov K. A., Kroshilin A. V., Belitskiy A. M. Uchet kachestva razbiyeniya pri ispolzovanii modifitsirovannogo algoritma nechetkoy klasterizatsii issleduyemykh dannykh i metodika yeyo postroyeniya. Vestnik RGRTU, 2016, no. 58, pp. 57–63.

5. Pylkin A. N., Kroshilin A. V., Kroshilina S. V., Doan D. H. Postroyeniye meditsinskikh ekspertnykh sistem soprovozhdeniya mediko-tekhnologicheskogo protsessa. Vestnik RGRTU, 2017, no. 60, pp. 123–130.

6. Kroshilin S. V., Kroshilin A. V., Pylkin A. N., Doan D. H. Sviditelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2016618420. Programmnyy kompleks podderzhki prinyatiya resheniy na osnove nechetkoy logiki “Ekspert 4. Obrabotka statisticheskikh dannykh mediko-tekhnologicheskikh protsessov metodom nechetkoy klasterizatsii” ver. 4.04, zaregistrirovana v Reyestre programm dlya EVM 28.07.2016.

7. Dolzhenko E. N., Pylkin A. N., Kroshilin A. V., Zhuleva S. Y. Podderzhka prinyatiya resheniy na osnove nechetkoy logiki v sistemakh meditsinskogo naznacheniya. Biomeditsinskaya radioelektronika, 2015, no. 7, pp. 62–68.

8. Doan D. H., Kroshilin A. V., Kroshilina S. V. Primeneniye nechetkoy klasterizatsii v sistemakh podderzhki prinyatiya meditsinskikh resheniy dlya formirovaniya naborov variantov techeniya bolezni. Materialy vseross. konf. studentov i molodykh uchenykh s mezhdunar. uchastiyem «Yestestvenno-nauchnyye osnovy mediko-biologicheskikh znaniy». Ryazan, 2017, pp. 18–21.

9. Doan D. H., Kroshilina S. V., Zhuleva S. Y. Ispolzovaniye nechetkoy klasterizatsii v analize statisticheskoy meditsinskoy informatsii dlya formirovaniya naborov variantov techeniya bolezni v sistemakh podderzhki prinyatiya meditsinskikh resheniy. Trudy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Novyye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh, proyektirovanii, upravlenii, proizvodstve». Voronezh, 2017, vol. 1, pp. 268–272.

10. Kofman A. Vvedeniye v teoriyu nechetkikh mnozhestv. Moscow, Radio i svyazi Publ., 1982. 432 p.

УДК 519.688

А. В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, БМУ «Курская областная клиническая больница» (Курск, Россия) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

С. Н. Кореневская, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: knsofia@mail.ru)

И. А. Комлев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

Д. С. Родионов, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ

Целью работы является повышение точности прогнозирования развития критического состояния кровообращения сердца на основе гибридных нечетких моделей.

Для достижения этой цели на первом этапе исследования методами разведочного анализа, ориентированного на нечеткие приложения, был определен список информативных признаков, по которым определены такие интегральные показатели, как: степень тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы; характеристика гемодинамики сердца; гемостаз; уровень психоэмоционального напряжения; функциональный резерв. Дополнительно выбраны два лабораторных показателя: перекисное окисление липидов и антиокислительная активность.

Для оценки степени тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы определяется систолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений, содержание ионов кальция в крови, активированное частичное протромбиновое время. Гемодинамика сердца определяется по амплитуде Т-зубца, смещению сегмента ST, концентрации креатинфосфокиназы и концентрации тропанита Т. Интегральные показатели, полученные по электрическим характеристикам биологически активных точек, а также уровни психоэмоционального напряжения и утомления определяются по методике, разработанной в Юго-Западном государственном университете.

Используя общие рекомендации по синтезу гибридных нечетких решающих правил для выбранных интегральных показателей и лабораторных признаков, получены функции принадлежности к классу «высокий риск развития критического состояния кровообращения сердца», которые агрегируются в финальное прогностическое решающее правило.

В результате математического моделирования и проверки на контрольной выборке было установлено, что при превышении порога в 0,6 уверенность в правильном принятии решений о развитии критического состояния кровообращения сердца превышает величину 0,9, что позволяет рекомендовать полученные нечеткие математические модели к использованию в медицинской практике.

Ключевые слова: *нечеткая логика, сердечно-сосудистые заболевания, критические состояния.*

***

Критическое состояние кровообращения в сердце (КСКС) относит к классу социально значимых и опасных заболеваний, часто приводящих к летальному исходу.

Одним из действенных вариантов борьбы с этой патологией является своевременный прогноз развития критического состояния кровообращения сердца с использованием современных математических методов, информационных и интеллектуальных технологий.

Опыт успешного решения задач прогнозирования различных заболеваний, включая инсульты различных органов и систем, приобретенный на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ, показал, что хороших результа-

тов по времени и качеству принятия прогностических решений удается достичь при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил [9–11; 15; 20; 21; 23–26; 35–38], являющейся развитием нечеткой логики принятия решений [7; 17; 19; 32].

В работах [3; 4] было показано, что одним из показателей, характеризующих возможность развития КСКС, является степень тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы (ЦГС), определяемая по формуле

$$\text{ЦГС} = \frac{\text{САД}\left[\text{C}_\text{a}{}^{2+}\right]\cdot\text{ЧСС}}{30000} + +10\frac{\Delta\text{АД}}{\text{АЧТВ}} + \alpha_i\frac{\text{КМВ}}{20}, \quad (1)$$

где САД – систолическое АД в данный момент времени (мм рт. ст.);

ЧСС – частота сердечных сокращений (количество ударов вминуту);

ΔАД – разница систолического артериального давления в настоящее время и 3 дня назад (мм рт. ст);

АЧТВ – ативированное частичное тромбопластиновое время (в секундах);

$\left[\text{Ca}^{2+}\right]$ – концентрация Ca^{2+} в крови, моль/л;

КМВ – коэффициент межрегионального взаимодействия, определяющий влияние на степень тяжести ишемического процесса центральной гемодинамической системы наличия ишемических процессов в сердце, головном мозге и нижних конечностях;

α_i – весовой коэффициент, определяющий влияние различных периферийных органов на ЦГС.

Коэффициент межрегионального взаимодействия определяется следующим выражением:

$$\text{КМВ} = \frac{\text{ПАД}}{\text{ПОВД}}\cdot\frac{\Delta\text{ДР}}{\Delta\text{СБВО}}, \quad (2)$$

где ПАД – пульсовое артериальное давление, мм рт. ст.;

ПОВД – постокклюзионное венозное давление в конечности, мм рт. ст.;

ΔДР – диагностический резерв до и после холодовой пробы;

ΔСБВО – процент снижения объема кровотока в базальной вене в ортостазе.

Весовой коэффициент определяется по следующему алгоритму:

– если у пациента имеется ишемическая болезнь нижних конечностей, то $\alpha_\text{к} = 1,5$;

– если у пациента имеется ишемическая болезнь головного мозга, то $\alpha_к = 2$

– если у пациента имеется ишемическая болезнь сердца, то $\alpha_\text{с} = 2,5$;

При наличии сочетанных ишемий весовой коэффициент определяется умножением соответствующих коэффициентов.

При отсутствии ишемических поражений органов $\alpha_\text{к} = 0$.

С учетом общей методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил [9; 10; 11; 23] для базовой переменной ЦГС определяется функция принадлежности к понятию (классу $\omega_\text{КС}$) «высокий риск развития критического состояния кровообращения сердца» $\mu_\text{КС}$(ЦГС), график приведён на рисунке 1.

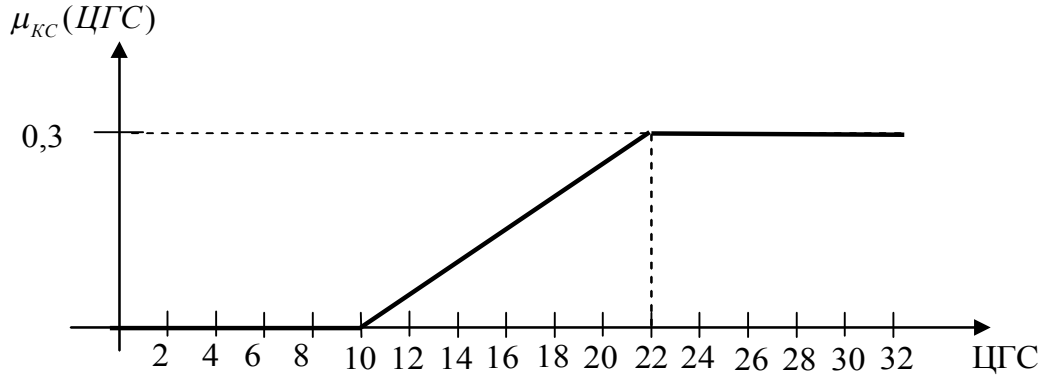


Рис. 1. График функции принадлежности к классу $\omega_{КС}$ с базовой переменной ЦГС

Опрос высококвалифицированных экспертов показал, что кроме ЦГС в качестве факторов риска развития КСКС целесообразно использовать показатели, характеризующие гемодинамику сердца, гемостаз, лабораторные показатели, характеризующие перекисное окисление липидов (ПОЛ) и антиокислительную активность (АОА), электрическое сопротивление биологически активных точек (БАТ), «связанных» с заболеваниями сердца, а также уровень длительного психоэмоционального напряжения (ПЭН) и функциональный резерв организма (ФР) [2; 3; 4; 28].

В соответствии с рекомендациями [4] в качестве показателей, характеризующих гемодинамику сердца и определяющих риск развития КСКС, выбраны:

X_1 – амплитуда Т-зубца;

X_2 – смещение сегмента ST относительно изолинии;

X_3 – концентрация креатинфосфокиназы;

X_4 – концентрация тропанит Т.

С использованием интерактивных процедур, сочетающих технологию экспертного оценивания Делфи, и процедур, минимизирующих прогностические ошибки, определяются функции степени риска развития КСКС f_c (X_i) с такой же областью определения, как и функции принадлежности.

На рисунке 2 приведены графики функций уровня тяжести с базовыми переменными $X_1,\ldots,X_4$.

Аналитически графики функций $f_c(x_i)$ описываются следующими выражениями:

$$f_c(X_1)=\begin{cases}0,06, & \text{если } X_1<-3,\\ -0,02X_1 & \text{если } -3\le X_1<0,\\ 0, & \text{если } 0\le X_1<3,\\ 0,05X_1-0,15, & \text{если } 3\le X_1<6,\\ 0,15, & \text{если } X_1\ge 6;\end{cases}$$

$$f_c(X_2)=\begin{cases}0,19, & \text{если } X_2<-2,\\ -0,095X_2 & \text{если } -2\le X_2<0,\\ 0,125X_2, & \text{если } 0\le X_2<2,\\ 0,25 & \text{если } X_2\ge 2;\end{cases}$$

$$f_c(X_3)=$$
$$=\begin{cases}0 \text{ если } X_3<180,\\ 0,0009X_3-0,16 \text{ если } 180\le X_3<400,\\ 0,25, \text{ если } X_3\ge 400;\end{cases}$$

$$f_c(X_4)=\begin{cases}0,5X_4, & \text{если } 0\le X_4<0,5;\\ 0,25, & \text{если } X_4\ge 0,5.\end{cases}$$

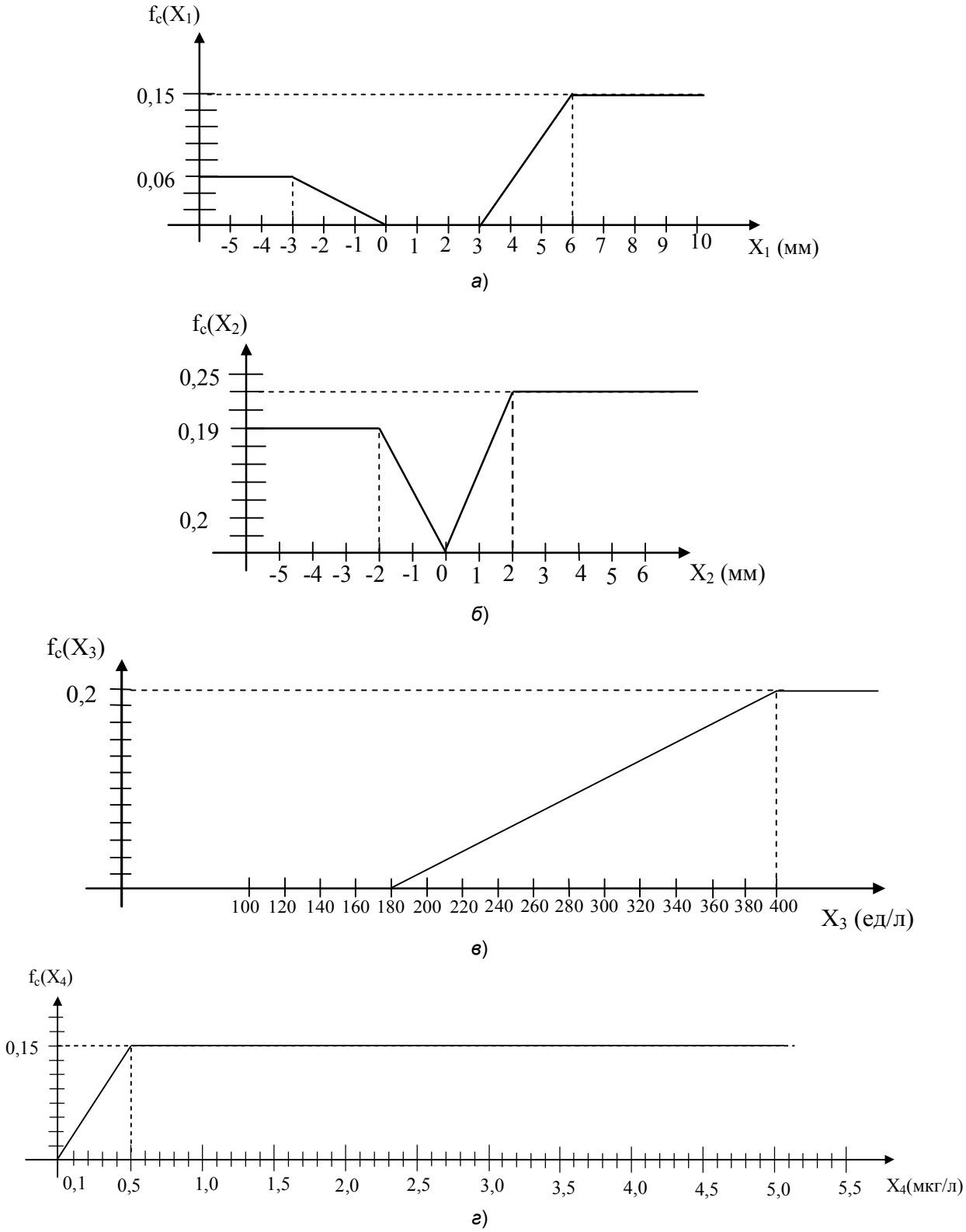


Рис. 2. Функции степени риска развития КСКС: *а* – –$f_c(x_1)$; *б* – –$f_c(x_2)$; *в* – $f_c(x_3)$; *г* – $f_c(x_4)$

В соответствии с рекомендациями [7; 15; 17; 19; 23] интегральный показатель степени риска развития КСКС по группе гемодинамических показателей определяется выражением

$$SR(i+1) = SR(i) + f_c(X_{i+1})\left[1 - SR(i)\right],$$

где $SR(1) = f_c(X_1)$.

Функция принадлежности к классу $\omega_{КС}$ по этой группе показателей определяется графиком, представленным на рисунке 3.

В соответствии с рекомендациями [28] принадлежности к классу $\omega_{КС}$ по показателям перекисного окисления липидов и антиокислительной активности были выбраны шкалы отклонений измеряемых показателей от их номинальных значений. При этом в качестве базовых переменных соответствующих функций принадлежности используется относительная разность между номинальными значениями ПОЛ и АОА и их текущими значениями, то есть

$$\delta x_{П} = \frac{x_{П}^{Н} - x_{П}^{Т}}{x_{П}^{Н}} 100\%;$$

$$\delta x_{А} = \frac{x_{А}^{Н} - x_{А}^{Т}}{x_{А}^{Н}} 100\%, \qquad (3)$$

где $x_{П}^{Н}$ и $x_{А}^{Н}$ – ПОЛ и АОА, измеренные на репрезентативной группе здоровых людей;

$x_{П}^{Т}$ и $x_{А}^{Т}$ – ПОЛ и АОА у обследуемого пациента.

С учетом рекомендаций [15; 19; 23] для этой пары признаков были получены функции принадлежности к классу $\omega_{КС}$, графики которых приведены на рисунке 4.

Синтез частного решающего правила для оценки риска развития КСКС по величинам электрических характеристик БАТ осуществлялся в соответствии с общими рекомендациями, описанными в работах [5; 6; 12; 13; 22; 31; 33].

Для определения риска развития КСКС использовались БАТ, связанные с меридианом сердца (С1…С9).

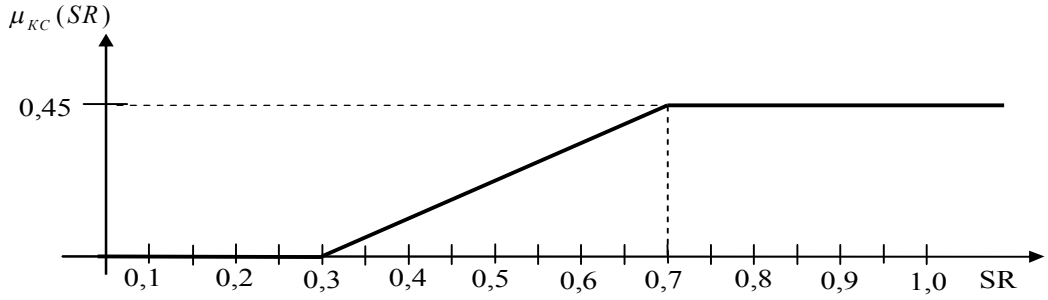
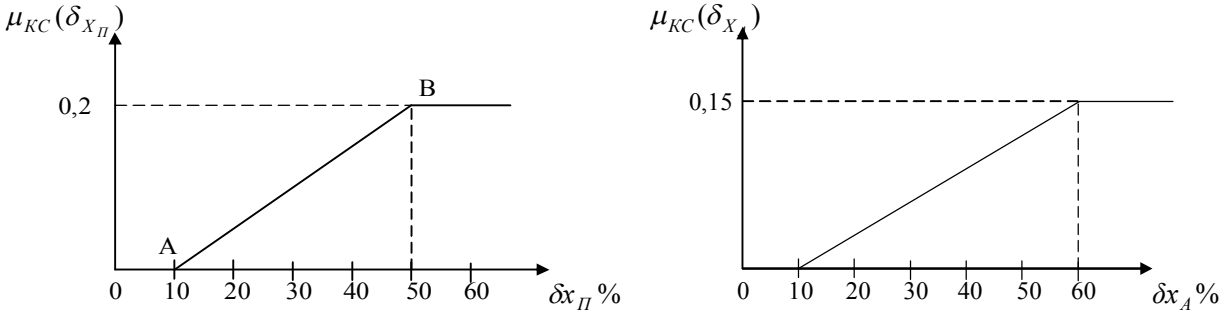


Рис. 3. График функции принадлежности к классу $\omega_{КС}$ с базовой переменной SR



а) *б*)

Рис. 4. Графики функции принадлежности к классу $\omega_{КС}$: *а* – $\delta x_{п}$, *б* – $\delta x_{А}$

Сочувственная точка меридиана сердца V15 и точки уха AP19, AP21, AP60, AP100, AP105, AP115 были исключены как малоинформативные с неудобной регистрацией их характеристик [22; 27].

Количество наблюдаемых больных с КСКС было 40 человек. Наблюдения за изменением состояния пациентов осуществлялись в течение года. В исследуемые группы включались люди с повышенными энергетическими характеристиками главных точек меридиана сердца. Контроль за энергетическими характеристиками БАТ производился ежемесячно. Люди, у которых наблюдался хотя бы небольшой рост сопротивлений главных БАТ (более 10% от номинального значения) без проведения лечебно-оздоровительных мероприятий, относились к классу пациентов с высоким риском развития КСКС. По мнению экспертов и данным объективных исследований, проводимых по контрольным диагностическим программам [17; 23; 28], в конце годичного наблюдения у 90% отобранных испытуемых были отмечены начальные клинические проявления ухудшения деятельности сердечно-сосудистой системы.

С учетом результатов экспериментов в соответствии с рекомендациями [22] была построена прогностическая таблица оценки степени риска развития КСКС по величинам сопротивления выбранных БАТ.

В таблице звездочкой (*) обозначены БАТ, которые составляют группы признаков, исключающих все «мешающие» ситуации – ДЗТ БАТ.

Анализ таблицы показывает, что при падении сопротивлений БАТ ниже 60 кОм они в совокупности обеспечивают надежный прогноз степени риска развития КСК – SRB. Расчет осуществлялся с использованием модифицированной формулы Е. Шортлифа в соответствии с рекомендациями [22; 23]:

$$SRB(j+1) = SRB(j) + \\ + K_{jr}\left[1 - SRB(j)\right],$$

где K_{jr} – коэффициент риска, выбираемый из таблицы для точки с номером j для интервала сопротивлений с номером r.

В соответствии с рекомендациями [10; 13; 35; 36; 37] по шкале SRB получена функция принадлежности к классу $\omega_{\text{КС}}$, которая приведена на рисунке 5.

Прогностическая таблица по группе БАТ

БАТ	Диапазоны сопротивлений, кОм											
	>500	400…500	300…399	200…299	100…299	90…99	80…89	70…79	60…69	50…59	40…49	<40
C*9	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,95
C*7	0	0	0	0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
C8	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0,5	0,8	0,95
C4	0	0	0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
C6	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3

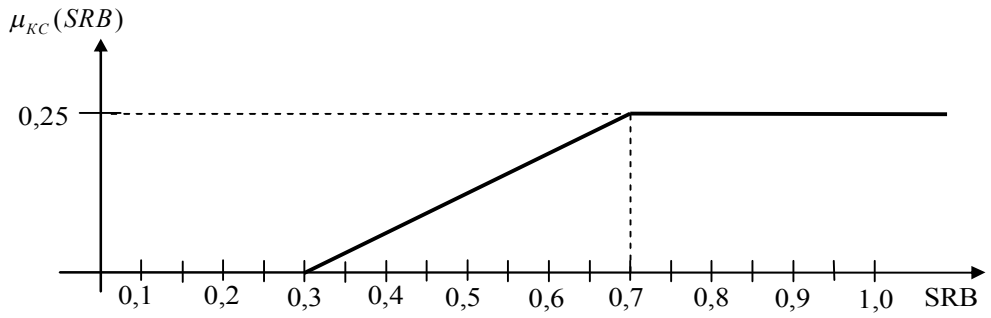


Рис. 5. График функции принадлежности к классу $\omega_{КС}$ с базовой переменной SRB

Оценку уровня ПЭН (YP) и функционального резерва (YF) и аналогичных им показателей предлагается проводить в соответствии с рекомендациями [1; 8; 14;16–18; 20; 23; 28; 30; 34].

Графики соответствующих функций принадлежности к классу $\omega_{КС}$ приведены на рисунке 6.

С учетом того, что все факторы риска были отобраны экспертом так, что отклонение каждого из них от номинального состояния увеличивает риск развития КСКС, интегральный показатель степени риска исследуемой патологии оценивается модифицированной формулой Е. Шортлифа [10; 15; 23; 25]:

$$ISR(q+1) = ISR(q) + \mu_{КС}(S_{i+1})[1 - ISR(q)],$$

где $ISR(1) = \mu_{KC}(S_1)$; S_1 = ЦГС; $S_2 = SR$; $S_3 = \delta X_{П}$; $S_4 = \delta X_{А}$; $S_5 = SRB$; $S_6 = YP$; $S_7 = YF$.

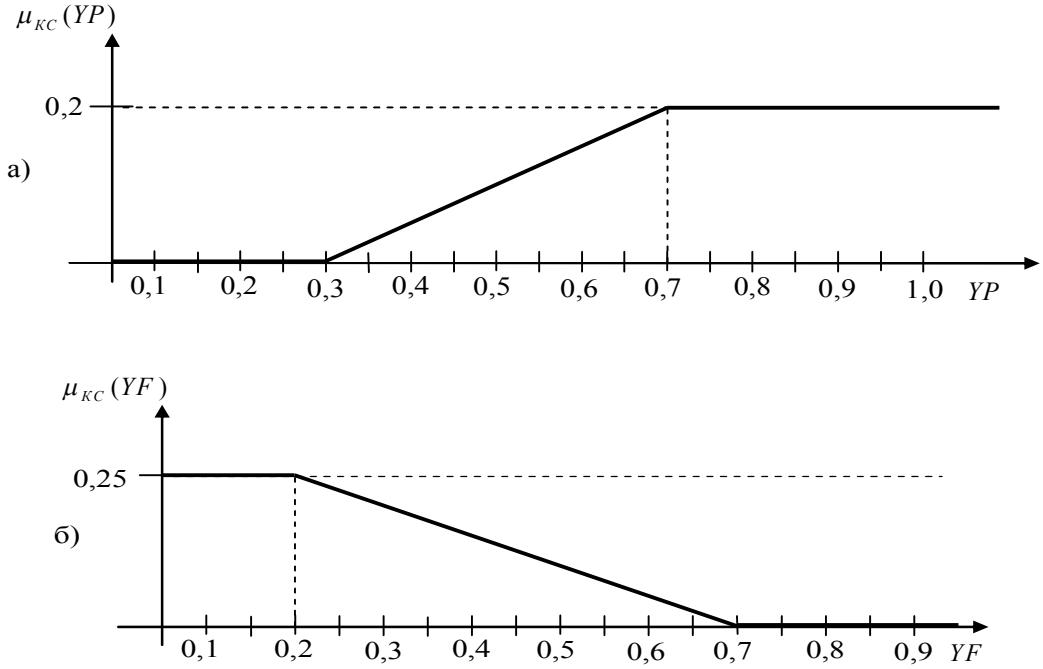


Рис. 6. Графики функций принадлежности к классу $\omega_{КС}$ с базовыми переменными *YP* и *YF*

В результате математического моделирования и проверки на контрольной выборке было установлено, что при превышении порога в 0,6 уверенность в правильном принятии решений о развитии критического состояния сердца кровообращения превышает величину 0,9.

Список литературы

1. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека / А. В. Бойцов, Л. П. Лазурина, С. Н. Кореневская, А. Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. №6(57). С. 52–58.

2. Быков А. В., Устинов А. Г., Хрипина И. И. Модель прогнозирования возникновения осложнений ишемии нижних конечностей путем оценки функционального резерва организма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №4(17). С. 81–88.

3. Быков А. В., Устинов А. Г., Кореневский Н. А. Нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей для различных этапов ведения пациентов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. №2(19). С. 142–155.

4. Быков А. В., Кореневский Н. А., Емельянов С. Г. Прогнозирование степени тяжести ишемического процесса сердца, головного мозга и нижних конечностей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С. 4–9.

5. Кореневский Н. А., Буняев В. В. Донозологическая диагностика методами рефлексотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. №3. С. 21–28.

6. Гадалов В. Н., Кореневский Н. А., Снопков В. И. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, №2. С. 515–521.

7. Конева Л. В., Кореневский Н. А., Дегтярев С. В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, №4. С. 993–1000.

8. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 312 с.

9. Кореневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №2. С. 99–103.

10. Кореневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. №1(289). С. 33–35.

11. Кореневский Н. А., Руцкой Р. В., Долженков С. Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. Т. 12, №4. С. 905–909.

12. Кореневский Н. А., Буняев В. В., Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск, 2003. 206 с.

13. Кореневский Н. А., Лазурина Л. П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики. Курск, 2000. 177 с.

14. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н. А. Кореневский, О. И. Филатова, М. И. Лукашов, Р. А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. №5. С. 4–9.

15. Кореневский Н. А., Рябкова Е. Б. Метод синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, №8. С. 128–136.

16. Нечеткая оценка уровня функционального резерва человека / Н. А. Кореневский, Л. В. Стародубцева, И. А. Ключиков, А. В. Бойцов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. №4. С. 26–28.

17. Кореневский Н. А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореф. дис. … д-ра техн. наук. СПб., 1993. 32 с.

18. Комплекс для исследования особенностей внимания и памяти / Н. А. Кореневский, Д. Е. Скопин, Р. Т. Аль-Касасбех, А. А. Кузьмин // Медицинская техника. 2010. №1. С. 36–40.

19. Кореневский Н. А., Тутов Н. Д., Корженевич И. М. Способы представления разнотипных данных в задачах медицинских и экологических исследований // Известия Юго-Западного государственного университета. 1998. №2. С. 56–63.

20. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н. А. Кореневский, Н. А. Серебровский, В. И. Коптева, Н. А. Говорухина. Курск, 2012. 231 с.

21. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н. А. Кореневский, М. В. Артеменко, В. Н. Провоторов, Л. А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 881–886.

22. Кореневский Н. А., Крупчатников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

23. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

24. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, №12. С. 31–40.

25. Кореневский Н. А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII, №2. С. 6–10.

26. Кореневски Н. А., Разумова К. В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия:

Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 1. С. 223–227.

27. Лунсан Г. Очерки методов восточной рефлексотерапии. 3-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1991. 402 с.

28. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография / С. П. Серегин, О. Н. Воробьева, С. Н. Кореневская [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2015. 166 с.

29. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / С. В. Харьков, С. Д. Долженков, С. Н. Кореневская, А. Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, №1. С. 44–49.

30. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления / А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, А. В. Бойов, С. Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №2. С. 107–118.

31. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, N. A. Korenevskiy and M. Alshamasin // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2012. Vol. 15, N 7. P. 681–689.

32. Modelling and parameter estimation fir operator intelligence in man-machine systems / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, M. Alshamasin, D. Klionskiy and F. Ionescou // Int. J. Modelling, Identification and Control. 2012. Vol. 15, N 1. P. 69–85.

33. Al-Kasasbeh R. T. Prediction of the gastric ulcer based on the change of the electrical resistance of the acupuncture points and fuzzy logic decision making // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2013. Vol. 16, N 3. P. 302–313.

34. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescouc, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings. 2013. Vol. 40. P. 213–216.

35. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, is. 1. P. 46–49.

36. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems / N. A. Korenevsky, S. A. Gorbatenko, R. A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering Journal. 2015. Vol. 42, N 2. P. 67–72.

37. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S. A. Gorbatenko, R. A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. 2009. Vol. 43, N 4. P. 187–190.

38. Use of Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevskiy, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169–172.

Поступила в редакцию 28.12.17

UDC 519.688

A.V. Bikov, Candidate of Medical Sciences, Cardiovascular Surgeon, Kursk Regional Clinical Hospital (Kursk, Russia) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

S. N. Korenevskaya, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: knsofia@mail.ru)

I. A. Komlev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

D. S. Rodionov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

FORECASTING THE CRITICAL STATE OF HEART BLOODSTREAM BASED ON HYBRID FUZZY MODELS

The aim of this work is to improve the accuracy of forecasting of development of the critical state of circulation of the heart based on hybrid fuzzy models.

To achieve this goal in the first stage of the study by the methods of exploratory analysis based on fuzzy application was a list of informative features which are defined for such integral factors as: the severity of ischemic damage to the Central hemodynamic system; characterization of the hemodynamics of the heart; hemostasis; level of psychoemotional tension; functional reserve. An additional two laboratory indicators: lipid peroxidation and antioxidant activity.

To assess the degree of ischemic damage to the Central hemodynamic system is determined by systolic arterial pressure, heart rate, content of calcium ions in the blood, activated partial prothrombin time. The hemodynamics of the heart is determined by the amplitude of the T wave, ST segment, concentration of creatine kinase and concentrations of tropinota T. Integral indicators, obtained on the electrical characteristics of biologically active points, as well as the levels of emotional stress and fatigue are determined by the method developed in the Southwest State University.

Using General recommendations for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for the selected integral indices and laboratory characteristics, the functions belonging to the class of high risk critical condition of blood circulation of the heart, which are aggregated in the final predictive decision rule.

As a result of mathematical modeling and validation in the control sample it was found that when the threshold is exceeded at 0.6 confidence in the correct decisions on the development of the critical state of circulation of the heart exceeds the value of 0.9, which allows us to recommend the obtained fuzzy mathematical model for use in medical practice.

Key words: *fuzzy logic, cardiovascular disease, critical state.*

Литература

1. Bojcov A. V., Lazurina L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N. Primenenie teorii izmereniya latentnyh peremennyh dlya formirovaniya prostranstva informativnyh priznakov v zadachah ocenki funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2014, no. 6(57), pp. 52–58.

2. Bykov A. V., Ustinov A. G., Hripina I. I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenij ishemii nizhnih konechnostej putem ocenki funkcional'nogo rezerva organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4(17), pp. 81–88.

3. Bykov A. V., Ustinov A. G., Korenevskij N. A. Nechetkij algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoj bolezni konechnostej dlya razlichnyh ehtapov vedeniya pacientov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 2(19), pp. 142–155.

4. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Emel'yanov S. G. Prognozirovanie stepeni tyazhesti ishemicheskogo processa serdca, golovnogo mozga i nizhnih konechnostej. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2016, no. 9, pp. 4–9.

5. Korenevskij N. A., Bunyaev V. V. Donozologicheskaya diagnostika metodami refleksoterapii. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2001, no. 3, pp. 21–28.

6. Gadalov V. N., Korenevskij N. A., Snopkov V. I. Matematicheskie modeli reflektornyh sistem organizma cheloveka i ih ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. 2012, vol. 11, no. 2, pp. 515–521.

7. Koneva L. V., Korenevskij N. A., Degtyarev S. V. Ocenka urovnya psihoehmocional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, harakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 993–1000.

8. Zade L. A. Ponyatie lingvisticheskoj peremennoj i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. Moscow. Mir Publ., 1976. 312 p.

9. Korenevskij N. A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskih system. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 99–103.

10. Korenevskij N. A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya medicinskih ehkspertnyh system. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 1(289), pp. 33–35.

11. Korenevskij N. A., Ruckoj R. V., Dolzhenkov S. D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkih reshayushchih pravil. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 905–909.

12. Korenevskij N. A., Bunyaev V. V., Yacun S. M. Komp'yuternye sistemy rannej diagnostiki sostoyaniya orga-nizma metodami refleksologii. Novocherkassk, 2003, 206 p.

13. Korenevskij N. A., Lazurina L. P. Ehnergoinformacionnye modeli refleksodiagnostiki. Kursk, 2000. 177 p.

14. Korenevskij N. A., Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. Kompleksnaya ocenka urovnya psihoehmocional'nogo napryazheniya. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2009, no. 5, pp. 4–9.

15. Korenevskij N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil dlya ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem po informacii o geometricheskoj strukture mnogomernyh dannyh. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 128–136.

16. Korenevskij N. A., Starodubceva L. V., Klyuchikov I. A., Bojcov A. V. Nechetkaya ocenka urovnya funkcional'nogo rezerva cheloveka. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2012, no. 4, pp. 26–28.

17. Korenevskij N. A. Principy i metody postroeniya interaktivnyh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunkcional'nyh modelej. Avtoref. Dr. eng. sci. diss. St. Petersburg, 1993. 32 p.

18. Korenevskij N. A., Skopin D. E., Al'-Kasasbekh R. T., Kuz'min A. A. Kompleks dlya issledovaniya osobennostej vnimaniya i pamyati. Medicinskaya tekhnika, 2010, no. 1, pp. 36–40.

19. Korenevskij N. A., Tutov N. D., Korzhenevich I. M. Sposoby predstavleniya raznotipnyh dannyh v zadachah medicinskih i ehkologicheskih issledovanij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 1998, no. 2, pp. 56–63.

20. Korenevskij N. A., Serebrovskij N. A., Kopteva V. I., Govoruhina N. A. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemyh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami na osnove geterogennyh modelej. Kursk, 2012. 231 p.

21. Korenevskij N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. N., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkih re-shayushchih pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvyazej dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881–886.

22. Korenevskij N. A., Krupchatnikov R. A., Al'-Kasasbekh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v medicine, psihologii i ehkologii na osnove nechetkih setevyh modelej. Staryj Oskol: TNT, Publ., 2013. 528 p.

23. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovskij V. I. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij: monografiya. Staryj Oskol: TNT Publ., 2016. 472 p.

24. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnyh nechetkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem. Naukoemkie tekhnologii, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31–40.

25. Korenevskij N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenij na nechetkih setevyh modelyah v zadachah medicinskoj diagnostiki i prognozirovaniya. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij, 2006, vol. XIII, no. 2, pp. 6–10.

26. Korenevski N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkih klassifikacionnyh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya medicinskih prilozhenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 1, pp. 223–227.

27. Lunsan G. Ocherki metodov vostochnoj refleksoterapii. 3th ed. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 402 p.

28. Seregin S. P., Vorob'eva O. N., Korenevskaya S. N., eds. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i profilaktiki recidivov infarktov miokarda v reabilitacionnom periode. Kursk, 2015. 166 p.

29. Har'kov S. V., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Kocar'Ocenka A. G. zashchitnyh mekhanizmov organizma i ih rol' v zadachah prognozirovaniya i medicinskoj diagnostiki. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 44–49.

30. Shutkin A. N., Bojcova E. A., Bojov A. V., Korenevskaya S. N. Ispol'zovanie gibridnyh nechetkih modelej dlya ocenki stepeni utomleniya. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 2, pp. 107–118.

31. Al-Kasasbeh R. T., Ionescou F., Korenevskiy N. A. and Alshamasin M. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2012, vol. 15, no 7, pp. 681–689.

32. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Alshamasin M., Klionskiy D. and Ionescou F. Modelling and parameter estimation fir operator intelligence in man-machine systems. Int. J. Modelling, Identification and Control, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 69–85.

33. Al-Kasasbeh R. T. Prediction of the gastric ulcer based on the change of the electrical resistance of the acupuncture points and fuzzy logic decision making. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2013, vol. 16, no. 3, pp. 302–313.

34. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescouc F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A. P. Fuzzy determination of the hu-man's level of psycho-emotional. IFMBE Proceedings, 2013, vol. 40, pp. 213–216.

35. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems. Biomedical Engineering, 2015, vol. 49, is. 1, pp. 46–49.

36. Korenevsky N. A., Gorbatenko S. A., Krupchatnikov R. A., Lukashov M. I. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. Biomedical Engineering Journal, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 67–72.

37. Korenevsky N. A., Gorbatenko S. A., Krupchatnikov R. A., Lukashov M. I. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems. Biomedical Engineering, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 187–190.

38. Korenevskiy N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V. Use of Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. Biomedical Engineering, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169–172.

УДК 616-001.19-085:577.175.823

В. Н. Мишустин, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

И. А. Моновцов, канд. мед. наук, доцент, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия) (e-mail: moni-1@yandex.ru)

Н. Н. Григорьев, д-р мед. наук, профессор, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия) (e-mail: meg200683@mail.ru)

О. И. Филатова, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mishustina.rita@yandex.ru)

ВЫБОР МЕТОДА ЛЕЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ РАН НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В связи с развитием медицины при глубоких ранах кожи и мягких тканей, вызванных термической травмой, приоритет стал отдаваться активной хирургической тактике, причем целесообразен комплексный подхода к выбору метода лечения на основе прогнозирования исходов результатов лечения. Целью данного исследования явилось улучшение результатов лечения глубоких ран кожи и мягких тканей путем использования методов автоматического прогнозирования. Для прогнозирования результатов лечение глубоких ран была использована система автоматизированного прогнозирования (АСП) тромбоэмболических осложнений, разработанная сотрудниками ЮЗГУ, которая была реконфигурирована под решение задач прогнозирования исходов лечения глубоких ран для выбора наиболее адекватного метода лечения. Для выбора морфологических и лабораторных признаков, необходимых для автоматизированного прогнозирования результатов лечения и выбора метода лечения, нами проведено экспериментальное исследование на лабораторных животных. Изучение глубоких ран кожи и подлежащих мягких тканей проводили на модели контактного отморожения кожи по методу В. В. Бойко Выраженность воспалительных процессов оценивали по количественному содержанию интерлейкина-6 (ИЛ-6) и фактора некроза опухоли альфа (ФНО-α). Измерение микроциркуляции на коже спины экспериментального животного проводили с помощью лазерного допплеровского флоуметра (ЛДФ). Для гистологического исследования брали 4-5 кусочков ткани из видимой области повреждения и из пограничной области. Выраженность перекисного окисления липидов в крови животных оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА). В результате проведенного исследования было установлено, что некрэктомия в области раны в раннем периоде на фоне комбинированного введения в послеоперационном периоде серотонина адипината и препарата DSLET позволяет уменьшить объем некроза глубоких тканей и улучшить выживаемость экспериментальных животных по сравнению с контрольной группой. С учетом этого были выбраны признаки, позволяющие автоматически прогнозировать результат лечения глубоких ран, что влияет на выбор метода их лечения.

Ключевые слова: *математическая модель, автоматизированная система прогнозирования, глубокие раны, лечение.*

***

Актуальность исследования

В связи с развитием медицины при глубоких ранах кожи и мягких тканей, в частности, вызванных термической травмой, приоритет стал отдаваться активной хирургической тактике [1; 3; 4].

До сих пор определение сроков проведения НЭ, ее объемов при глубоких ранах остается предметом дискуссий [2]. Ряд авторов считает, что целесообразно выполнение ранних НЭ с последующим местным лечением ран, проведением реконструктивных операций на заключительном этапе [3–5]. Однако регламентация сроков и объемов проведения таких хирургических вмешательств остаются спорными [1; 2; 5].

Ряд хирургов предпочитает проводить разрезы по демаркационной линии, но при этом возможно удаление жизнеспособной ткани. Перспективным в этом направлении является возможность применения лекарственных веществ, позво-

ляющих уменьшить зону некроза и дифференцировать границу мертвых и жизнеспособных тканей [2–4].

Таким образом, целесообразен комплексный подхода к выбору метода лечения глубоких ран на основе прогнозирования исходов результатов лечения, сочетающего автоматизированные и традиционные методы диагностики.

Цель исследования

Улучшение результатов лечения глубоких ран кожи и мягких тканей путем использования методов автоматического прогнозирования.

Материалы и методы

Для прогнозирования результатов лечение глубоких ран была использована система автоматизированного прогнозирования (АСП) тромбоэмболических осложнений, разработанная сотрудниками ЮЗГУ профессором В. С. Титовым, профессором В. Н. Мишустиным и доцентом М. И. Труфановым. Программа зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ (№2006612172 от 22.06.2006 по заявке №2006611188 от 10.04.2006).

Программа позволяет:

– прогнозировать исход развития заболевания на ранней стадии;

– проводить статистические исследования выбранной по какому-либо критерию группы пациентов;

– устанавливать взаимосвязь между различными группами признаков и одиночными признаками и их влияние на развитие заболевания;

– реконфигурировать АСП под решение задач прогнозирования развития других заболеваний.

Таким образом, с учетом 4-го положения программа позволила реконфигурировать АСП для решения задач выбора метода лечения глубоких ран.

Для выбора морфологических и лабораторных признаков, необходимых для автоматизированного прогнозирования результатов лечения и выбора метода лечения, нами проведено экспериментальное исследование на половозрелых крысах-самцах линии «Wistar» массой тела 250 г (табл. 1).

Изучение глубоких ран кожи и подлежащих мягких тканей проводили на модели контактного отморожения кожи по методу В. В. Бойко (2010 г.) [1].

На третьи сутки после моделирования экспериментальным животным контрольной группы 2 и опытным группам 4 под наркозом острым путем выполняли некрэктомию. После удаления некротизированной ткани применялась шовная методика сближения раны непрерывным обвивным швом атравматической полипропиленовой нитью 5/0.

Таблица 1

Количество животных в эксперименте

Характеристика групп	Количество животных	
	общее	в т.ч. для изучения летальности
1. Интактные животные	60	60
2. Контрольная группа 1 (модель раны)	60	60
3. Контрольная группа 2 (модель раны + некрэктомия)	60	60
4. Опытная группа (модель раны + некрэктомия + комбинированное применение серотонина адипината 4,5 мг/кг + DSLET 10 мкг/кг)	60	60
Итого:	240	240

Крысы опытной группы получали внутрибрюшинно серотонина адипинат в дозе 4,5 мг/кг и комбинированно внутрибрюшинно DSLET 10 мкг/кг после моделирования раны на первые, третьи, пятые и седьмые сутки. Для гистологического исследования брали 4-5 кусочков ткани из видимой области повреждения и из пограничной области.

Выраженность воспалительных процессов оценивали по количественному содержанию интерлейкина-6 (ИЛ-6) и фактора некроза опухоли-альфа (ФНО-α), которые определяли с помощью наборов для иммуноферментного анализа для крыс («Rat TNF-α Platinum ELISA» и «Rat IL-6 Platinum ELISA» фирмы «eBioscience», Австрия).

Измерение микроциркуляции на коже спины экспериментального животного проводили с помощью лазерного допплеровского флоуметра (ЛДФ) фирмы «Biopac Systems, Inc.» MP-100 с датчиком TSD–144 и программы Acqknowledge 3.8.1. Измерение показателей микроциркуляции выполнялось на пограничной некрозу зоне в шести точках. Показатели имели вид ЛДФ-грамм и выражались в перфузионных единицах (п.е.). Запись проводилась в течение 30 с в каждой точке.

Выраженность перекисного окисления липидов в крови животных оценивали по содержанию малонового диальдегида (МДА). Кроме того, определяли активность каталазы, супероксиддисмутазы (СОД) и общую антиокислительную активность (ОАА) сыворотки крови крыс. Уровень конечных стабильных метаболитов оксида азота (суммарную концентрацию нитратов и нитритов, NOx) определяли колориметрическим методом по развитию окраски в реакции диазотирования нитритом сульфаниламида, входящим в состав реактива Грисса.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета прикладных программ StatSoft Statistica 6.1 Russian в соответствии с современными требованиями к исследованиям, выполняемым в рамках доказательной медицины, со стандартами GCP и GLP.

Результаты исследования и их обсуждение

При исследовании микроциркуляции кожи в пограничной зоне в первой контрольной группе выявлялись значительные нарушения регионарного кровотока, сопровождающиеся достоверным снижением показателей микроциркуляции на первые, третьи, седьмые и четырнадцатые сутки исследования, с постепенным восстановлением микроциркуляции начиная с седьмых суток, которая оставалась достоверно ниже на 51,5% относительно группы интактных животных ($p < 0,05$). Восстановление уровня микроциркуляции в контрольной группе 1 имело место на четырнадцатые сутки эксперимента, оставаясь ниже нормы на 34,4% ($p < 0,05$).

Нами также установлено, что в контрольной группе 1 на всех сроках исследования отмечалось достоверное повышение уровня провоспалительных цитокинов.

В контрольной группе 1 через сутки после моделирования раны поверхность поврежденной кожи была некротизирована, происходило отслоение эпидермиса практически на всем протяжении области повреждения. В сосочковом слое кожи был выражен фибриноидный некроз соединительной ткани, в сетчатом слое дермы при окраске по методу Ван Гизон – набухание соединительнотканных волокон и стенок сосудов. В пограничной области отмечалось расслоение рогового слоя, клетки базального слоя эпидермиса, волосяных фолликулов и желез набухшие, в

отдельных клетках – кариопикноз. В сосочковом слое наблюдались запустевшие расширенные сосуды, стенки набухшие.

К третьим суткам на поверхности области повреждения сформировался гомогенный слой некротических масс. Микроскопически эпидермис полностью слущен, сосочковый слой дермы разрушен.

К седьмым суткам на поверхности области повреждения формировался плотный струп. Глубокий некроз распространялся от эпидермиса до клетчатки.

Таким образом, в ходе проведенного эксперимента в контрольной группе 1 определялось развитие прогрессирующего некроза, распространявшегося на всю толщу кожи и подкожной клетчатки, захватывающего мышечную ткань. Формирование струпа макроскопически обнаруживалось к седьмым суткам. Появлялись отдельные очаги развития молодой соединительной ткани, лишь к четырнадцатым суткам зона некроза была окружена грануляционной тканью, созревание ее замедленно. Уровень летальности в контрольной группе 1 составил 47,5%.

Динамика уровня биохимических показателей в контрольной группе 2 представлена в таблице 2.

Выполненная некрэктомии не приводила к снижению уровня провоспалительных цитокинов, при этом уровень ИЛ-6 оставался достоверно выше в 2,6 раза на седьмые сутки и в 2,1 раза на четырнадцатые сутки эксперимента, а уровень ФНО-α был выше в 3,2 раза на седьмые сутки и в 2,1 раза на четырнадцатые сутки по сравнению с группой интактных животных (табл. 2).

Таблица 2

Динамика уровня биохимических показателей в контрольной группе 2

Биохимические показатели	Исследуемые группы	Сроки исследования	
		7 сутки	14 сутки
МДА, мкМоль/л	интактные	$1{,}93\pm0{,}10^{y}$	$1{,}94\pm0{,}14^{y}$
	контроль 2	$2{,}83\pm0{,}09^{x}$	$2{,}50\pm0{,}11^{x}$
КАТ, мкат/л	интактные	$9{,}12\pm0{,}13^{y}$	$9{,}12\pm0{,}13^{y}$
	контроль 2	$6{,}12\pm0{,}21^{x}$	$7{,}75\pm0{,}26^{x}$
СОД, усл.ед./мл	интактные	$12{,}20\pm0{,}17^{y}$	$12{,}12\pm0{,}13$
	контроль 2	$10{,}10\pm0{,}32^{x}$	$11{,}66\pm0{,}24$
ОАА, %	интактные	$25{,}80\pm0{,}76^{y}$	$26{,}90\pm0{,}80^{y}$
	контроль 2	$15{,}03\pm0{,}78^{x}$	$23{,}67\pm0{,}66^{x}$
NOx, мкМоль/л	интактные	$5{,}59\pm0{,}14^{y}$	$5{,}57\pm0{,}13^{y}$
	контроль 2	$3{,}60\pm0{,}13^{x}$	$4{,}17\pm0{,}18^{x}$
ИЛ-6, пг/мл	интактные	$4{,}19\pm0{,}12^{y}$	$4{,}25\pm0{,}15^{y}$
	контроль 2	$10{,}84\pm0{,}30^{x}$	$8{,}80\pm0{,}37^{x}$
ФНО-α, пг/мл	интактные	$2{,}42\pm0{,}16^{y}$	$2{,}32\pm0{,}11^{y}$
	контроль 2	$7{,}71\pm0{,}18^{x}$	$4{,}78\pm0{,}32^{x}$

Примечание: ^{y} – $p < 0.05$ в сравнении с контрольной группой 2; ^{x} – $p < 0.05$ в сравнении с интактной группой.

На третьи сутки в поверхностных слоях операционной раны выявлялись очаги некроза мышечной ткани и жировой ткани. В пограничной области обнаруживались инфильтраты, состоящие из нейтрофилов, макрофагов и плазмоцитов. Имелись очаги плазморрагии, небольшие свежие кровоизлияния, мелкие очаги формирования грануляционной ткани.

К седьмым суткам в области раны по-прежнему выявлялся очаг некроза, окруженный плотным демаркационным слоем нейтрофилов. Имелись мелкие очаги формирования грануляционной ткани с множественными фибробластами, тонкими новообразованными волокнистыми структурами.

К четырнадцатым суткам в области операционной раны небольшой очаг некроза был окружен формирующейся молодой соединительной тканью с большим количеством активных фибробластов, тонкими новообразованными коллагеновыми волокнами. Соединительная ткань, окружающая зону некроза, была рыхлая, отечная, выталкивает некротические массы на поверхность. Вблизи области повреждения новообразованные сосуды грануляционной ткани содержали форменные элементы крови.

Таким образом, в контрольной группе 2 репаративные процессы также были замедленны. Формирование струпа в области повреждения макроскопически обнаруживалось к седьмым суткам, так же как и формирование демаркационной зоны вокруг некротизированных тканей. К седьмым суткам появлялись отдельные очаги развития молодой соединительной ткани, лишь к четырнадцатым суткам зона некроза была окружена грануляционной тканью, созревание ее замедленно. Уровень летальности в контрольной группе 2 составил 30%.

Введение экспериментальным животным комбинации серотонина адипината и DSLET привело к повышению уровня каталазы в опытной группе на 41,3% на 7-е сутки и на 19,1% на 14-е сутки эксперимента относительно контрольной группы 2 ($p < 0,05$). Следует отметить, что на седьмые и четырнадцатые сутки уровень каталазы не отличался от значения интактных животных ($p > 0,05$) (табл. 3).

Динамика уровня биохимических показателей в опытной группе представлена в таблице 3.

Таблица 3

Динамика биохимических показателей в опытной группе

Биохимические показатели	Исследуемые группы	Сроки исследования	
		7 сутки	14 сутки
МДА, мкМоль/л	Интактные	$1,93±0,10^{y}$	$1,94±0,14^{y}$
	контроль 2	$2,83±0,09^{x}$	$2,50±0,11^{x}$
	опытная группа 6	$2,11±0,06^{y}$	$1,93±0,07^{y}$
КАТ, мкат/л	Интактные	$9,12±0,13^{y}$	$9,12±0,13^{y}$
	контроль 2	$6,12±0,21^{x}$	$7,75±0,26^{x}$
	опытная группа 6	$8,65±0,21^{y}$	$9,23±0,18^{y}$
СОД, усл.ед./мл	Интактные	$12,20±0,17^{y}$	12,12±0,13
	контроль 2	$10,10±0,32^{x}$	11,66±0,24
	опытная группа 6	$13,31±0,24^{xy}$	$12,51±0,18^{y}$
ОАА, %	Интактные	$25,80±0,76^{y}$	$26,90±0,80^{y}$
	контроль 2	$15,03±0,78^{x}$	$23,67±0,66^{x}$
	опытная группа 6	$24,74±0,52^{y}$	$28,00±0,64^{y}$

Окончание табл. 3

Биохимические показатели	Исследуемые группы	Сроки исследования	
		7 сутки	7 сутки
NOx, мкМоль/л	Интактные	5,59±0,14^{y}	5,57±0,13^{y}
	контроль 2	3,60±0,13^{x}	4,17±0,18^{x}
	опытная группа 6	4,81±0,17^{xy}	5,27±0,20^{y}
ИЛ-6, пг/мл	Интактные	4,19±0,12^{y}	4,25±0,15^{y}
	контроль 2	10,84±0,30^{x}	8,80±0,37^{x}
	опытная группа 6	4,24±0,22^{y}	3,89±0,18^{y}
ФНО-α, пг/мл	Интактные	2,42±0,16^{y}	2,32±0,11^{y}
	контроль 2	7,71±0,18^{x}	4,78±0,32^{x}
	опытная группа 6	2,84±0,19^{y}	2,54±0,15^{y}

Примечание: ^{y} – $p < 0,05$ в сравнении с контрольной группой 2; ^{x} – $p < 0,05$ в сравнении с интактной группой.

В опытной группе, получавшей лечение комбинацией серотонина адипината и DSLET, активность СОД превосходила на седьмые и четырнадцатые сутки эксперимента на 31,8% и 7,3% соответственно контрольную группу 2 ($p < 0,05$) и не отличалась от значений интактных животных ($p > 0,05$) (см. табл. 3).

В группе животных, получавших комбинацию серотонина адипината и DSLET, начиная с седьмых суток отмечалось увеличение уровня ОАА на 64,6% и 18,3% на четырнадцатые сутки исследования по сравнению с контрольной группой 2 ($p < 0,05$). Во время эксперимента значения ОАА не отличались от группы интактных животных на всех сроках исследования ($p > 0,05$) (см. табл. 3).

В контрольной группе 2 имело место нарушение NO-продуцирующей функции эндотелия, выражающееся в снижении концентрации конечных стабильных метаболитов оксида азота (NOx) на седьмые и четырнадцатые е сутки эксперимента на 35,6% и 25,1% соответственно по сравнению с группой интактных животных ($p < 0,05$)

Применение в эксперименте комбинации препаратов выявило их положительное влияние на уровень NOx на седьмые и четырнадцатые сутки исследования. Отмечено повышение данного показателя в опытной группе 6 на 33,6% и на 26,4% на седьмые и четырнадцатые сутки соответственно по сравнению с контрольной группой 2 ($p < 0,05$).

В опытной группе применение комбинированного лечения привело к снижению уровня провоспалительных цитокинов. Так, уровень ИЛ-6 снижался в 2,6 раза на седьмые сутки и в 2,3 раза на четырнадцатые сутки эксперимента относительно контрольной группы 2 ($p < 0,05$).

В таблице представлены данные, демонстрирующие снижение ФНО-α в опытной группе в 2,7 на седьмые сутки и в 1,9 раза на четырнадцатые сутки исследования по сравнению с контрольной группой 2 ($p < 0,05$).

Следует отметить, что уровень провоспалительных цитокинов ИЛ-6 и ФНО-α в опытной группе на седьмые и четырнадцатые сутки эксперимента снижался до значений интактных животных ($p > 0,05$).

При комбинированном использовании препаратов серотонина адипинат и DSLET на третьи сутки в области

операционной раны демаркационная зона становилась макроскопически видимой, при микроскопическом исследовании некротические массы не выявлялись, обнаруживалась жировая ткань с небольшими клеточными инфильтратами, а также тонким слоем грануляционной ткани с большим количеством макрофагов и фибробластов. В межмышечной соединительной ткани обнаруживались единичные небольшие скопления нейтрофилов. Сосуды были расширены, гиперемированы, стенки набухшие, в просветах – стаз. Выражен отек тканей.

К седьмым суткам на поверхности раны обнаруживался толстый слой грануляционной ткани, богатой фибробластами, макрофагами с примесью нейтрофилов. Имелись очаги скопления плотных новообразованных соединительнотканных волокон.

К четырнадцатым суткам формировалась плотная соединительная ткань, богатая зрелыми волокнистыми структурами.

Использование комбинации препаратов серотонина адипинат и DSLET позволяет морфологически (макроскопически) определять зону демаркации на третьи сутки и проводить адекватную некрэктомию в пределах границ некроза. При микроскопическом исследовании на третьи сутки некротические массы отсутствовали, имелись небольшие воспалительные клеточные инфильтраты. В краях раны формировалась грануляционная ткань. К седьмым суткам слой грануляций утолщался, накапливались плотные соединительнотканные волокна, к четырнадцатым суткам формировалась зрелая волокнистая соединительная ткань.

В опытной группе после выполнения некрэктомии с использованием серотонина адипината и DSLET погибло 13,3% животных. За 4 – 7-е сутки эксперимента летальность составила 3,3%. За 8 – 14-е сутки летальности среди экспериментальных животных не было. Общая летальность в опытной группе составила 16,6%.

Таким образом, некрэктомия в раннем периоде на фоне комбинированного введения в послеоперационном периоде серотонина адипината и препарата DSLET позволяет уменьшить объем некроза глубоких тканей и улучшить выживаемость экспериментальных животных по сравнению с контрольной группой. С учетом этого были выбраны признаки, позволяющие автоматически прогнозировать результат лечения глубоких ран, что влияет на выбор метода их лечения.

Список литературы

1. Оценка фармакологической эффективности применения серотонина адипината, опиоидного пептида DSLET и их комбинации при экспериментальном контактном отморожении на фоне активной хирургической тактики / А. Л. Чигунадзе, Е. Б. Артюшкова, В. Н. Мишустин, Г. Н. Горяинова, Е. В. Артюшкова, М. П. Гладченко, И. Ю. Уханова, Н. С. Заугольникова // Человек и его здоровье: Курский научно-практический вестник. 2015. № 2. С. 89–95.

2. Перспектива применения активной хирургической тактики на фоне введения комбинации опиоидного пептида DSLET и серотонинергического средства серотонина адипината в комплексном лечении контактного отморожения в эксперименте / В. А. Лазаренко, Е. Б. Артюшкова, В. Н. Мишустин, И. А. Моновцов, Л. Л. Квачахия, А. Л. Чигунадзе, Е. В. Артюшкова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 592.

3. Горпинич А. Б. Применение серотонина адипината в лечении пациен-

тов с критической ишемией нижних конечностей // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2008. № 2. С. 91–96.

4. Артеменко М. В., Добровольский И. И., Мишустин В. Н. Информационно-аналитическая поддержка автоматизированной классификации на основе прямых и обратных решающих правил на примере прогноза тромбоэмболии // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12-2. С. 199–205.

5. Автоматизированный аппаратно-програмный комплекс диагностики венозных тромбоэмболических осложнений / В. Н. Гридин, О. Б. Тарасова, В. Н. Мишустин, В. С. Титов, М. И. Труфанов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 2. С. 79–82.

Поступила в редакцию 17.01.18

UDC 616-001.19-085:577.175.823

V. N. Mishustin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

I. A. Monovtsov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: moni-1@yandex.ru)

N. N. Grigoriev, Doctor of Medical Sciences, Professor, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: meg200683@mail.ru)

O. I. Filatova, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mishustina.rita@yandex.ru)

CHOOSING THE METHOD OF TREATMENT OF DEEP RAS ON THE BASIS OF AUTOMATIC FORECASTING

In connection with the development of medicine in case of deep wounds of the skin and soft tissues, in particular caused by thermal injury, the priority was to be given active surgical tactics, and appropriate integrated approach to choice of treatment based on the prediction of outcomes results lecheniya the Aim of this study was to improve the results of treatment of deep skin wounds and soft tissue through the use of automatic methods of forecasting. To predict the results of treatment of deep wounds was used by computer-aided prediction (ASP) of thromboembolic complications, developed at SWSU , which was reconfigured for the solution of problems of forecasting of outcomes of treatment for deep wounds select the most appropriate method of treatment. To select morphological and laboratory features needed for automated prediction of results of treatment and choice of treatment, we conducted an experimental study on laboratory animals. The study of the deep wounds of the skin and underlying soft tissue was performed on the model contact frostbite of the skin according to the method of Boyko V. V. the severity of the inflammatory process was evaluated by the quantitative content of interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α). Measurement of microcirculation on the skin of the back of the experimental animal was performed using laser Doppler flowmetry (LDF). For histological examination took 4-5 pieces of tissue from the visible area of damage and from the border region. The intensity of lipid peroxidation in the blood of animals was evaluated by the content of malondialdehyde (MDA). In the study it was found that the necrectomy in the wound area at an early period on the background of combined administration in the postoperative period of serotonin adipate and drug DSLET, to reduce the amount of deep tissue necrosis and improve survival of experimental animals compared with the control group. Considering this was a selection of characteristics that automatically predict the outcome of treatment of deep wounds that affect the choice of method of treatment.

Key words: *mathematical model, automated forecasting system, deep wounds, treatment.*

References

1. Chigunadze A. L., Artyushkova E. B., Mishustin V. N., Goryainova G. N., Artyushkova E. V., Gladchenko M. P., Uhanova I. Yu., Zaugol'nikova N. S. Ocenka farmakologicheskoj ehffektivnosti primeneniya serotonina adipinata, opioidnogo peptida DSLET i ih kombinacii

pri ehksperimental'nom kontaktnom otmorozhenii na fone aktivnoj hirurgicheskoj taktiki. Chelovek i ego zdorov'e, 2015, no. 2, pp. 89–95.

2. Lazarenko V. A., Artyushkova E. B., Mishustin V. N., Monovcov I. A., Kvachahiya L. L., Chigunadze A. L., Artyushkova E. V. Perspektiva primeneniya aktivnoj hirurgicheskoj taktiki na fone vvedeniya kombinacii opioidnogo peptida DSLET i serotoninergicheskogo sredstva serotonina adipinata v kompleksnom lechenii kon-taktnogo otmorozheniya v ehksperimente. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2013, no. 6, pp. 592.

3. Gorpinich A. B. Primenenie serotonina adipinata v lechenii pacientov s kriticheskoj ishemiej nizhnih konechnostej. Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki, 2008, no. 2, pp. 91–96.

4. Artemenko M. V., Dobrovol'skij I. I., Mishustin V. N. Informacionno-analiticheskaya podderzhka avtomatizirovannoj klassifikacii na osnovepryamyh i obratnyh reshayushchih pravil na primere prognoza tromboehmbolii. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2015, no. 12-2, pp. 199–205.

5. Gridin V. N., Tarasova O. B., Mishustin V. N., Titov V. S., Trufanov M. I. Avtomatizirovannyj apparatno-programnyj kompleks diagnostiki venoznyh tromboehmbolicheskih oslozhnenij. Informacionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve, 2008, no. 2, pp. 79–82.

УДК 616.5-002.4

А. В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ «Курская областная клиническая больница», доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКИМИ ОБЛИТЕРИРУЮЩИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ АРТЕРИЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Целью работы является формирование пространства информативных признаков для решения задач прогнозирования и оценки степени тяжести хронических облитерирутощих заболеваний артерий нижних конечностей.

Для достижения этой цели было организовано пятилетнее наблюдение за 400 больными, страдающими различными стадиями этого класса заболеваний, с первичным экспертным выбором семидесяти семи исходных признаков.

Первоначально выбранный список признаков в ходе исследований с использованием методов экспертного оценивания, статистических методов, методов разведочного анализа, проводимого с использованием традиционных подходов и технологии мягких вычислений, в течение пяти лет подвергался проверке на избыточность и достаточность для решения поставленных в работе задач. В ходе этих исследований было выяснено, что необходимым и достаточным для обеспечения выбранного качества прогнозирования и дифференциальной диагностики является список информативных признаков, состоящий из 37 признаков.

Дальнейшая оптимизации состава информативных признаков производилась с использованием теории измерения латентных переменных, разведочного анализа и метода группового учета аргументов для конкретных решаемых задач по методике, разработанной на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ.

Например, для задачи прогнозирования риска возникновения гангрены было сформировано пространство информативных признаков в составе: x_1 – качество жизни; x_2 – лодыжечно-илечевой индекс; x_3 – реографический индекс; x_4 – температура тела; x_5 – СОЭ; x_6 – наличие лейкоцитоза; x_7 – наличие тромбоза; x_8 – наличие анемии; x_9 – частота сердечных сокращений; x_{10} – частота дыхания; x_{11} – величина систолического артериального давления; x_{12} – наличие аритмии.

Полученные пространства и подпространства признаков используются для синтеза решающих правил прогнозирования состояния и оценки степени тяжести хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей, причем, как показали проведенные исследования, для решения выбранного класса задач целесообразно использовать теорию нечеткой логики принятия решений и, в частности, методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил.

Ключевые слова: *информативные признаки, хронические облитерирующие заболевания артерий нижних конечностей, нечеткая логика принятия решений.*

***

Одной из важных задач ведения больных с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей (ХОЗАНК) является своевременная и точная оценка состояния ишемизированных органов с выбором адекватных схем профилактики и лечения [1–3; 13].

В разработке математических моделей оценки состояния больных с ХОЗАНК важным является формирование пространства информативных признаков, по которым может быть принято адекватное решение.

Для решения этой задачи было организовано пятилетнее наблюдение за 400 больными (с 2011 по 2016 г.) с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей (ХОЗАНК). Группу контроля составили 150 здоровых доноров.

Общими критериями включения в группу наблюдения являлись:

1. Наличие у пациента ХОЗАНК с хронической ишемией нижних конечностей (ХИНК) 2–4 степени по А. В. Покровскому.

2. Возраст пациентов от 30 до 85 лет.

3. Наличие не менее двух курсов безрезультативного лечения в хирургическом отделении (ХО) по месту жительства (ЦРБ, ГБ).

4. Наличие атеросклероза (А) других жизненно важных регионов: сердце (С), головной мозг (ГМ) на фоне атеросклероза нижних конечностей (АсНК), требующих коррекции в настоящее время.

5. Наличие обязательного поражения магистральных артерий нижних конечностей (АНК).

6. Должны быть обязательно пациенты нереконструктабельной группы (критерии разделения по В. А. Лазаренко [57]).

7. Наличие информированного согласия на участие в исследовании и соблюдение указаний врача относительно назначенной терапии и проводимых клинико-лабораторных исследований.

Критерием исключения являлось отсутствие хотя бы одного из критериев включения.

В зависимости от клинических проявлений экспертами предложено разделение исследуемых пациентов по группам:

ω_1 – больные, у которых ХОЗАНК сопровождается ХИНК 2 степени (52 человека);

ω_2 – больные, у которых ХОЗАНК сопровождается ХИНК 3 степени без КИНК (48 человек);

ω_3 – больные, у которых ХОЗАНК сопровождается ХИНК 3-4 степени с КИНК (300 человек);

ω_4 – больные с ХОЗАНК и сочетанным А С, ГМ (350 человек);

ω_5 – контрольная группа относительно здоровых людей без клинически значимой ХИНК (дистанция безболевой ходьбы более 1 км) (150 человек).

Деление на группы учитывало рандомизацию по полу, возрасту, типу ХОЗАНК, степени тяжести КИНК, наличию сопутствующей ишемической патологии.

Для решения задачи дифференциальной диагностики различных стадий (классов) ХОЗАНК с КИНК на экспертном уровне было отобрано 76 клинико-диагностических показателей, характеризующих различные проявления жизнедеятельности (табл. 1).

Этот перечень первоначально был предложен нами для решения задач традиционной классификации стадий ХОЗАНК, особенно КИНК. На первом этапе исследований нами было установлено, что этот перечень признаков хотя и является избыточным, но позволяет с использованием интеграционных правил Е. Шортлифа определять степень тяжести КИНК. С целью рационализации лечебно-диагностического процесса эксперты по каждому из предложенных классов состояний указали целесообразность назначений различных схем лечения, обеспечивающих наиболее эффективное ведение больных.

Характерной особенностью контрольной группы является то, что при отсутствии у них тяжёлых форм ХОЗАНК они могут иметь заболевания со сходной симптоматикой, что может создавать картину «схожести» регистрируемых показателей. Поэтому производилась комплексная оценка состояния конечностей с использованием разных диагностических групп.

Таблица 1

Список показателей, определенных экспертами для оценки состояния обследуемых

№	Имя признака	Единицы измерения	min нормы	max нормы
X1	АЧТВ	с	26	45
X2	Гомоцистеин	мкмоль/л	5,5	16,2
X3	Гематокрит	процент	36	42
X4	Фактор Виллебранда	процент	50	160
X5	Д-димер	нг/мл	0	443
X6	Фибриноген	г/л	2	4
X7	Лейкоциты	кл./мкл	4000	9000
X8	Антитромбин-3	процент	80	120
X9	Тромбоциты	10*9/л	160	390
X10	Протеин С	процент	70	140
X11	Протеин Z	процент	70	150
X12	Волчаночный антикоагулянт	у.е.	0	1,2
X13	Антитела к кардиолипину	Е/мл	0	12
X14	Антитела к b2- гликопротеину-1	(+/–)	–	–
X15	Антитела к клеткам сосудистого эндотелия	титр	0	<1:40
X16	ADAMATS 13	процент	50	140
X17	Выявление гетерозиготной анамалии (F2: 20210 G/A)	(+/–)	–	–
X18	Агрегация тромбоцитов с АДФ и ристомицином	с	14	18
X19	Протромбиновый индекс (ПТИ)	процент	80	120
X20	Международное нормализованное отношение (МНО)	мкмоль/л	0,8	1,2
X21	Время кровотечения по Дьюке	мин	2	4
X22	СОЭ	мм/час	2	15-20
X23	Время свёртывания по Ли-Уайту	мин	5	7
X24	Фибринолитическая активность плазмы (спонтанный фибринолиз)	мин	120	240
X25	Резистентность капилляров (С-м жгута Кончаловского-Лееде)	число пете-хий до 1 мм	0	10
X26	ПДФ (продукты деградации фибриногена)	мг/л	0	5
X27	Протромбиновое время (ПВ)	с	15	17
X28	Тромбиновое время	с	10	20
X29	Плазминоген	процент	75	135
X30	С-реактивный белок	мг/л	0	5
X31	Ревматоидный фактор (РФ)	МЕ/мл	0	14
X32	Глюкоза	ммоль/л	3,3	6,6
X33	Гликированный гемоглобин	процент	0	6
X34	Серотонин в крови	нмоль/л	230	460
X35	Креатинин	мкмоль/л	80	120
X36	Мочевина	мкмоль/л	1,7	8,8

Продолжение табл. 1

№	Имя признака	Единицы измерения	min нормы	max нормы
X37	Мочевая кислота	мкмоль/л	214	488
X38	Холестерин сыворотки общий	ммоль/л	3,3	5,2
X39	Липопротеины высокой плотности (ЛПВП)	ммоль/л	0,8	2,2
X40	Липопротеины низкой плотности (ЛПНП)	ммоль/л	1,3	3,5
X41	Тропонин I	мкг/л	0	10
X42	Тропонин T	мкг/л	0	0,1
X43	Креатинфосфокиназа (КФК)	ед/л	24	190
X44	Лактатдегидрогеназа общая (ЛДГ)	ед/л	0	450
X45	Калий	ммоль/л	3,3	5,3
X46	Кальций	ммоль/л	2	3
X47	Хлориды	ммоль/л	97	108
X48	Каталазное число (ПОЛ)	у.е.	11	20
X49	Гемоглобин	г/л	120	150
X50	Эритроциты	10*12/л	3	5
X51	ЭКГ QRS	с	0,06	0,1
X52	ЭКГ зубец T	мм	5	10 (2 отв. 13)
X53	ЭКГ сегмент ST	мм (отклонение)	0	0
X54	УЗИ сердца. Фракция выброса (по Симпсону)	процент	55	60
X55	УЗИ сердца КСО	мл	19	49
X56	ЧСС	число/мин	60	90
X57	ЧДД	число/мин	12	18
X58	Систолическое артериальное давление (САД)	мм. рт. ст.	120	135
X59	УЗИ артерий нижних конечностей. Характеристика КИМ	мм	0	1
X60	УЗИ артерий нижних конечностей. Лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ)	у.е.	0,9	1,3
X61	УЗИ артерий нижних конечностей. Пальце-плечевой индекс (ППИ)	у.е.	0,7	0,9
X62	УЗИ артерий нижних конечностей. ПСС (пиковая систолическая скорость)	см/с	90	<150
X63	УЗИ артерий нижних конечностей. ИПС (индекс пиковых скоростей как отношение ПСС в зоне стеноза к ПСС в постстенотической зоне)	у.е	2	3
X64	Тредмилл – тест с определением ЛПИ (снижение ЛПИ при движении со скоростью 3,2 км/ч на расстоян е 200 м или 5 минут)	процент	0	15
X65	Реовазография с определением РИ (реоиндекс)	у.е	0,8	1,2
X66	Термометрия (снижение T кожи)	градусы	O	0,5

Окончание табл. 1

№	Имя признака	Единицы измерения	min нормы	max нормы
X67	Транскутанная оксиметрия (определение tc pO2)	мм рт. ст.	50	>50
X68	Рентгеноконтрастная ангиография (степень выраженности стеноза)	процент	0	40
X69	МРТ-ангиография (спиральная томография, TOF-томография), степень выраженности стеноза	процент	0	40–50
X70	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА (ПСС ВСА)	см/с	–	<125
X71	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА (ПСС ПА)	см/с	–	<135
X72	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА (ПСС СМА)	см/с	–	<150
X73	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА (снижение ПСС ипсилатеральной глазной и надблоковой артерий)	процент	0	<30
X74	ИБСНК (ишемическая балльная система нижних конечностей – выраженность болевого синдрома, наличие субфасциального отёка и трофической язвы, реактивная гиперемия или цианоз конечности)	баллы	–	–
X75	ИБСС (ишемическая балльная система сердца – боли за грудиной, одышка, нарушение ритма, ишемическое ремоделирование: ХСН, ОКС, ПИКС)	баллы	–	–
X76	ИБСГМ (ишемическая балльная система головного мозга – головная боль, головокружение. Неустойчивость походки, характеристика нарушений зрения, памяти, когнитивная дисфункция)	баллы	–	–
X77	Качество жизни (функциональное состояние организма с учётом компенсации нарушений со стороны сердца, нижних конечностей, головного мозга на фоне дифференцированного комплексного лечения)	баллы	–	–

Первоначально выбранный список признаков (см. табл. 1) в ходе исследований с использованием методов экспертного оценивания, статистических методов, методов разведочного анализа, проводимых с использованием традиционных подходов и технологии мягких вычислений, в течение пяти лет подвергался проверке на избыточность и достаточность для решения поставленных в работе задач. В ходе этих исследований было выяснено, что необходимым и достаточным для обеспечения выбранного качества прогнозирования и дифференциальной диагностики является список информативных признаков, приведенный в таблице 2.

Таблица 2

Список показателей, определенных экспертами как максимально идентификационные для оценки состояния обследуемых

№	Имя признака	Единицы измерения	min нормы	max нормы
X1	АЧТВ	с	26	45
X2	Гомоцистеин	мкмоль/л	5,5	16,2
X3	Д-димер	нг/мл	0	443
X4	Фибриноген	г/л	2	4
X5	Лейкоциты	кл./мкл	4000	9000
X6	Тромбоциты	10*9/л	160	390
X7	Протромбиновый индекс (ПТИ)	процент	80	120
X8	СОЭ	мм/час	2	15–20
X9	С-реактивный белок	мг/л	0	5
X10	Тропонин I	мкг/л	0	10
X11	Тропонин T	мкг/л	0	0,1
X12	Креатинфосфокиназа (КФК)	Ед/л	24	190
X13	Кальций	ммоль/л	2	3
X14	Гемоглобин	г/л	120	150
X15	Эритроциты	10*12/л	3	5
X16	ЭКГ QRS	с	0,06	0,1
X17	ЭКГ зубец T	мм	5	10 (2 отв. 13)
X18	ЭКГ сегмент ST	мм (откло-нение)	0	0
X19	УЗИ сердца Фракция выброса (по Симпсону)	процент	55	60
X20	ЧСС	число/мин	60	90
X21	ЧДД	число/мин	12	18
X22	Систолическое артериальное давление (САД)	мм. рт. ст.	120	135
X23	УЗИ артерий нижних конечностей. Характеристика КИМ	мм	0	1
X24	УЗИ артерий нижних конечностей. Лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ)	у.е.	0,9	1,3
X25	УЗИ артерий нижних конечностей. Пальце-плечевой индекс (ППИ)	у.е.	0,7	0,9
X26	УЗИ артерий нижних конечностей. ПСС (пиковая систолическая скорость)	см/с	90	<150
X27	УЗИ артерий нижних конечностей. ИПС (индекс пиковых скоростей как отношение ПСС в зоне стеноза к ПСС в постстенотиче-ской зоне)	у.е	2	3
X28	Тредмилл – тест с определением ЛПИ (снижение ЛПИ при движении со скоростью 3,2 км/ч на расстоян е 200 м или 5 минут)	процент	0	15

Окончание табл. 2

№	Имя признака	Единицы измерения	min нормы	max нормы
X29	Реовазография с определением РИ (реоиндекс)	у.е	0,8	1,2
X30	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА, (ПСС ВСА)	см/с	–	<125
X31	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА, (ПСС ПА)	см/с	–	<135
X32	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА, (ПСС СМА)	см/с	–	<150
X33	УЗИ брахиоцефальных артерий, БЦА (снижение ПСС ипсилатеральной глазной и надблоковой артерий)	процент	0	<30
X34	ИБСНК (ишемическая балльная система нижних конечностей – выраженность болевого синдрома, наличие субфасциального отёка и трофической язвы, реактивная гиперемия или цианоз конечности)	баллы	–	–
X35	ИБСС (ишемическая балльная система сердца – боли за грудиной, одышка, нарушение ритма, ишемическое ремоделирование: ХСН, ОКС, ПИКС)	баллы	–	–
X36	ИБСГМ (ишемическая балльная система головного мозга – головная боль, головокружение. Неустойчивость походки, характеристика нарушений зрения, памяти, когнитивная дисфункция)	баллы	–	–
X37	Качество жизни (функциональное состояние организма с учётом компенсации нарушений со стороны сердца, нижних конечностей, головного мозга на фоне дифференцированного комплексного лечения)	баллы	–	–

Дальнейшая оптимизация состава информативных признаков производилась с использованием теории измерения латентных переменных, разведочного анализа и методики, описанной в работах [4; 8–10; 12].

Например, для задачи прогнозирования риска возникновения гангрены было сформировано пространство информативных признаков в составе:

x_1 – качество жизни;

x_2 – лодыжечно-плечевой индекс;

x_3 – реографический индекс;

x_4 – температура тела;

x_5 – СОЭ;

x_6 – наличие лейкоцитоза;

x_7 – наличие тромбоза;

x_8 – наличие анемии;

x_9 – частота сердечных сокращений;

x_{10} – частота дыхания;

x_{11} – величина систолического артериального давления;

x_{12} – наличие аритмии.

Полученные пространства и подпространства признаков используются

для синтеза решающих правил прогнозирования состояния и оценки степени тяжести ХОЗАНК, причем, как показали проведенные исследования, для решения выбранного класса задач целесообразно использовать теорию нечеткой логики принятия решений [5; 11; 17–20; 22] и, в частности, методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, основные положения и примеры медицинского использования которой подробно описаны в работах [5–8; 12; 14–16; 20; 21].

Список литературы

1. Быков А. В., Устинов А. Г., Хрипина И. И. Модель прогнозирования возникновения осложнений ишемии нижних конечностей путем оценки функционального резерва организма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №4(17). С. 81–88.

2. Быков А. В., Кореневский Н. А., Устинов А. Г. Нечеткий алгоритм прогноза развития ишемической болезни конечностей для различных этапов ведения пациента // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. №2(19). С. 142–155.

3. Быков А. В., Кореневский Н. А., Емельянов С. Г. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С. 4–9.

4. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Кореневский А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

5. Кореневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №2. С. 99–103.

6. Кореневский Н. А., Руцкой Р. В., Долженков С. Д. Метод прогнозирования и диагностики состояния здоровья на основе коллективов нечетких решающих правил // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. Т. 12. №4. С. 905–909.

7. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, №12. С. 31–39.

8. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, В. В. Дмитриева // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.

9. Кореневский Н. А., Рябкова Е. Б. Метод синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 8. С. 128–136.

10. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н. А. Кореневский, М. В. Арте-

менко, В. Я. Провоторов, Л. А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, №4. С. 881–886.

11. Кореневский Н. А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореф. дис. … д-ра техн. наук. СПб., 1993. 32 с.

12. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных нечетких моделей / Н. А. Кореневский, В. И. Серебровский, Н. А. Коптева, Т. Н. Говорухина; Курск. гос. сельскохозяйственная акад. Курск, 2012. 231 с.

13. Савельев В. С., Кошкин В. М., Каралкин А. В. Патогенез и консервативное лечение тяжелых стадий облитирующего атеросклероза артерий нижних конечностей: руководство для врачей. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. 216 с.

14. Bioengineering System for Prediction and Esrty Prenosological Diagnostics o Stomach Diseases based on Energy Characteristics of Bioactive Points with Fuzzy Logic / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. Alshamasln, D. Kilonskiy // J. Biosans Bloelectron. 2015. N 6. P. 182. doi:10.4172/2155-6210.1000182.

15. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescou, A. Smith // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2013. Vol. 16, is. 3. P. 302–313.

16. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevskiy, A. Kuzmin, F. Ionescou // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. 2012. Vol. 15, № 7. P. 681–689.

17. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems // Biomedical engineering. 2015. Vol. 49. P. 46–49.

18. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems // Biomedical engineering. Springer New York. 2008. Vol. 42, N 2. P. 67–72.

19. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevskiy, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical engineering. 2013. Vol. 47, N 4. P. 169–172.

20. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevskiy, S. A. Gorbatenko, R. A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical engineering. 2009. Vol. 43, N 4. P. 187–190.

21. Assessment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models / N. A. Korenevskiy, V. N. Gadalov, E. N. Korovin, V. I. Serebrovskiy // Biomedical engineering. 2013. Vol. 47, N 4. P. 173–176.

22. Zadeh L. A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering: Fuzzy Sets and Fuzzy Information-Granulation Theory. Beijing. Beijing Normal University Press, 2005. ISBN 7-303-05324-7.

Поступила в редакцию 29.01.18

UDC 616.5-002.4

A. V. Bykov, Candidate of Medical Sciences, Kursk Regional Clinical Hospital, Cardiovascular Surgeon, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: bikov-av@yandex.ru)

SHAPING THE SPACE OF INFORMATIVE FEATURES FOR THE ASSESSMENT OF PATIENTS WITH CHRONIC OBLITERATING DISEASES OF LOWER LIMB ARTERIES

The aim of the work is the formation of a space of informative signs for solving problems of prediction and evaluation of severity of chronic obliterating diseases of arteries of the lower extremities.

To achieve this goal, a five-year monitoring of 400 patients suffering from various stages of this class of diseases was organized with a primary expert choice of seventy-seven initial signs.

The initially selected list of features in the course of studies using expert assessment methods, statistical methods, exploration methods conducted using traditional approaches and soft computing technology for five years, was tested for redundancy and sufficiency for solving the tasks set in the work. In the course of these studies, it was found that the list of informative features consisting of 37 signs is necessary and sufficient to provide the selected quality of prediction and differential diagnosis.

Further optimization of the composition of informative features was carried out using the theory of latent variables measurement, exploratory analysis and the method of group accounting of arguments for specific solved problems according to a method developed at the Department of Biomedical engineering of SWSIJ.

For example, for the task of predicting the risk of gangrene, a space of informative signs was formed in the composition: xl - quality of life; x2 - antebrachial index; x3 - rheographic index; x4 is the body temperature; x5 - ESR; x6 -presence of leukocytosis; x7 - presence of thrombosis; x8 - the presence of anemia; x9 - heart rate; xlO - frequency of breathing; xl 1 - the magnitude of systolic blood pressure; xl2 - the presence of arrhythmia.

Obtained spaces and subspaces of features are used to synthesize the decisive rules for predicting the state and assessing the severity of chronic obliterating diseases of the arteries of the lower extremities, and as shown by the studies carried out to solve the selected class of problems, it is advisable to use the theory of fuzzy logic of decision-making, and in particular the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules.

Key words: *informative signs, chronic obliterating diseases of arteries of the lower extremities, fuzzy logic of decision-making.*

Список литературы

1. Bykov A. V., Ustinov A. G., Hripina I. I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenij ishemii nizhnih konechnostej putem ocenki funkcional'nogo rezerva organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4(17), pp. 81–88.

2. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Ustinov A. G. Nechetkij algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoj bolezni konechnostej dlya razlichnyh ehtapov vedeniya pacienta. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 2(19), pp. 142–155.

3. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Emel'yanov S. G. Prognozirovanie stepeni tyazhesti razvitiya ishemicheskogo processa v serdce, golovnom mozge i nizhnih konechnostyah na osnove nechetkih modelej. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2016, no. 9, pp. 4–9.

4. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovskij V. I. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij. Staryj Oskol: TNT Publ., 2016. 472 p.

5. Korenevskij N. A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskih system. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, in-

formatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 99–103.

6. Korenevskij N. A., Ruckoj R. V., Dolzhenkov S. D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkih reshayushchih pravil. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 905–909.

7. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnyh nechetkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnyh system. Naukoemkie tekhnologii, 2014, no. 12, vol. 15, pp. 31–39.

8. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A., Dmitrieva V. V. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelej G. Rasha. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 6, pp. 37–40.

9. Korenevskij N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil dlya ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem po informacii o geometricheskoj strukture mnogomernyh dannyh. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 128–136.

10. Korenevskij N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. Ya., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvyazej dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881–886.

11. Korenevskij N. A. Principy i metody postroeniya interaktivnyh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunkcional'nyh modelej. Avtoref. dr. eng. sci. diss. St. Petersburg, 1993. 32 p.

12. Korenevskij N. A., Serebrovskij V. I., Kopteva N. A., Govoruhina T. N. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemyh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami na osnove geterogennyh nechetkih modelej. Kursk, 2012. 231 p.

13. Savel'ev V. S., Koshkin V. M., Karalkin A. V. Patogenez i konservativnoe lechenie tyazhelyh stadij oblitiruyushchego ateroskleroza arterij nizhnih konechnostej: rukovodstvo dlya vrachej. Moscow, OOO «Medicinskoe informacionnoe agentstvo», 2010. 216 p.

14. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Alshamasln M., Kilonskiy D. Bioengineering System for Prediction and Esrty Prenosological Diagnostics o Stomach Diseases based on Energy Characteristics of Bioactive Points with Fuzzy Logic. J. Biosans Bloelectron, 2015, no. 6, p. 182. doi:10.4172/2155-6210.1000182.

15. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Alshamasin M., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2013, vol. 16, is. 3, pp. 302–313.

16. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Kuzmin A., Ionescou F. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2012, vol. 15, no. 7, pp. 681–689.

17. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. Biomedical engineering, 2015, vol. 49, pp. 46–49.

18. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems. Biomedical engineering. Springer New York, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 67–72.

19. Korenevskiy N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V.Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. Biomedi-

cal engineering, 2013, vol. 47, no. 4, pp. 169–172.

20. Korenevskiy N. A., Gorbatenko S. A., Krupchatnikov R. A., Lukashov M. I. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems. Biomedical engineering, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 187–190.

21. Korenevskiy N. A., Gadalov V. N., Korovin E. N., Serebrovskiy V. I. Assessment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models. Biomedical engineering, 2013, vol. 47, no. 4, pp. 173–176.

22. Zadeh L. A. Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering: Fuzzy Sets and Fuzzy Information-Granulation Theory. Beijing, Beijing Normal University Press, 2005. ISBN 7-303-05324-7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

– электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

А.Л. Иванов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.

Ключевые слова: агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**