МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Известия

Юго-Западного государственного университета

Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Научный журнал

Том 9 № 3 / 2019

Proceedings

of the Soutwest State University

Series: Control, Computer engineering, Information science. Medical instruments engineering

Scientific Journal

Vol. 9 № 3 / 2019

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение (Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya:. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie)

Научный рецензируемый журнал

Основан в 2011 г.

Цель издания – публичное представление научно-технической общественности научных результатов фундаментальных, проблемно-ориентированных научных исследований в таких областях, как информационные и интеллектуальные системы, распознавание и обработка изображений, системный анализ и принятие решений, моделирование в медицинских и технических системах.

В журнале публикуются оригинальные работы, обзорные статьи, рецензии и обсуждения, соответствующие тематике издания.

Публикация статей в журнале для авторов бесплатна.

Целевая аудитория: научные работники, профессорско-преподавательский состав образовательных учреждений, экспертное сообщество, молодые ученые, аспиранты, заинтересованные представители широкой общественности.

Журнал придерживается политики открытого доступа. Полнотекстовые версии статей доступны на сайте журнала, научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора наук, кандидата наук по следующим научным специальностям:

Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки) – 05.11.01.

Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки) – 05.11.13.

Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки) – 05.11.17

Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки) – 05.12.13.

Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки) – 05.13.01.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Емельянов Сергей Геннадьевич, д-р техн.наук, профессор, Лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, ректор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г.Курск, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Томакова Римма Александровна, д-р техн. наук, профессор;
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г.Курск, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. М. Алгулиев, д-р техн. наук, профессор;
Ю. С. Бехтин, д-р техн. наук, профессор;
А. А. Бурмака, д-р техн. наук, профессор;
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;
Зо Зо Тун, канд. техн. наук, профессор;
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;
Риад Таха Аль-Касасбех, 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, заслуженный деятель науки России;
С. А. Филист, д-р техн. наук, профессор;
А. В. Филонович, д-р техн. наук, профессор;
А. А. Ханова, д-р техн. наук, доцент

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
Адрес учредителя, издателя и редакции:
305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Телефон: +7(4712) 22-25-26,
Факс: +7(4712) 50-48-00.
E-mail: rio_kursk@mail.ru

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (ПИ №ФС77-42691 от 16.11.10).

ISSN 2223-1528 (Print)

Сайт журнала: https://swsu.ru/izvestiya/seriestechniq/

© Юго-Западный государственный университет, 2019

Материалы журнала доступны под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Типография:
Полиграфический центр Юго-Западного государственного университета, 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Подписка и распространение:
журнал распространяется по подписке.
Подписной индекс журнала 44291 в объединенном каталоге «Пресса России».

Периодичность: четыре раза в год

Свободная цена.

Оригинал-макет подготовлен Е.В. Мельник

Подписано в печать 22.08.2019. Формат 60x84/8.
Бумага офсетная. Усл.печ.л. 22,3.
Тираж 1000 экз. Заказ 93.

Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies

Peer-reviewed scientific journal
Published since 2011

These Proceedings present the results of scientific fundamental and applied research in such areas as information and intelligent systems; image recognition and processing; system analysis and decision making; simulation in medical and technical systems.

The journal publishes scientific articles, critical reviews, reports and discussions in the above mentioned areas.

All papers are published free of charge.

Target readers are scientists, university professors and teachers, experts, young scholars, graduate and post-graduate students, stakeholders and interested public.

The Editorial Board of the journal pursues open access policy. Complete articles are available at the journal web-site and at eLIBRARY.RU .

The journal is included into the Register of the Top Scientific Journals of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation as a journal recommended for the publication of the findings made by the scientists working on a doctorial or candidate thesis in the following areas:

Devices and methods of measurement (by type of measurement) (technical Sciences) – 05.11.01.

Devices and methods of control of the natural environment, substances, materials and products (technical Sciences) – 05.11.13.

Devices, systems and medical devices (technical Sciences) – 05.11.17.

Telecommunication systems, networks and devices (technical Sciences) – 05.12.13.

System analysis, management and information processing (by industry) (technical Sciences) – 05.13.01.

EDITOR-IN-CHIEF

Sergei G. Emelianov, Dr. of Sci. (Engineering)**,** Correspondent Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, a Holder of the Russian Government Prize in the Field of Science and Engineering, Rector of the Southwest State University (Kursk, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Rimma A. V. Tomakova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor,
Southwest State University (Kursk, Russia)

EDITORIAL BOARD

R. M. Alguliyev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
Y. S. Bekhtin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
A. A. Burmaka, Dr. of Sci. (Engineering), Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia);
V. N. Gridin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
A. L. Zhiznyakov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
Zh. T. Zhusubaliyev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
S. A. Zinkin, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor;
Zo Zo Thun, Candidate of Engineering, Professor;
I. V. Zotov, Dr. of Sci. (Engineering);
N. A. Korenevsky, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
E. N. Korovin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
A. N. Pylkin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
Riad Taha Al-Kasasbeh, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
V. G. Rubanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
S. P. Seryogin, Doctor of Sci. (Medical), Professor;
A. S. Sizov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
V. S. Titov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
S. A. Filist, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
A. V. Filonovich, Dr. of Sci. (Engineering), Professor;
A. A. Khanova, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor

Founder and Publisher :
"Southwest State University"
Official address of the Founder, Publisher and Editorial Office:
305040, Russia, Kursk, ul. 50 Let Oktyabrya, 94
Phone: (+74712) 22-25-26,
Fax: (+74712) 50-48-00.
E-mail: rio_kursk@mail.ru

The Journal is officially registered by:
The Federal Supervising Authority in the Field of Communication, Information Technology and Mass media
(PI №FS77-42691 of 16.11.10).

ISSN 2223-1528 (Print)

Web-site: https://swsu.ru/izvestiya/seriestechniq/

© Southwest State University, 2019

Publications are available in accordance with the Creative Commons Attribution 4.0 License

Printing office:
Printing Center
of the Southwest State University,
50 Let Oktyabrya str., 94,
Russia, Kursk, 305040

Subscription and distribution:
the journal is distributed by subscription.
Subscription index 44291 in the General Catalogue "Pressa Rossii"

Frequency: four times a year

Free-of-control price.

Original lay-out design: E. Mel'nik

Sent to the printer 22.08.2019 . Format 60x84/8.
Offset paper. Printer's sheets: 22,3.
Circulation 1000 copies. Order 93.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Оригинальные статьи

Метод и алгоритмы расчета индикатора ZigZag для котировок ценных бумаг в VBA Excel 8

Малышев А.В., Коровяковский И.В., Аллаберенов Н.И., Алексеев В.А.

Разработка прототипа информационно-аналитической системы исследования и развития когнитивных способностей лиц с инвалидностью 28

Истомина Т.В., Петрунина Е.В., Никольский А.Е., Томакова И.А.

РАСПОЗНАВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Оригинальные статьи

Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений 44

Филист С.А., Дабагов А.Р., Томакова Р.А., Малютина И.А., Кондрашов Д.С.

Методы и алгоритмы формирования слабых классификаторов в ансамбле классификаторов прогнозирования сердечно-сосудистых рисков 64

Протасова З.У., Шаталова О.В., Дафалла А.А.Б., Дегтярев С.В.

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики пневмокониозов у работников гальванических цехов 84

Григоров И. Ю., Хрипина И. И., Серебровский В. В., Дегтярёв С. В.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Оригинальные статьи

Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивной функции внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем 99

Поляков А.В., Коржук Н.Л., Родионова С.Н., Николаева Е.А.

Прогнозирование обострения генитального герпеса на основе технологии мягких вычислений..... 113

Лукашов М.И., Письменная Е.В., Олисова О.Ю., Стародубцева Л.В., Шульга Л.В.

Оценка степени тяжести пиелонефрита по энергетическому разбалансу биологически активных точек 129

Родионов Д. С., Петров С. В., Лазурина Л. П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Оригинальные статьи

Нечёткая оценка степени декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения с использованием модели Георга Раша 141

Быков А. В., Кореневский Н. А., Бойцов А. В., Родионова С. Н.

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий 160

Мясоедова М.А., Стародубцева Л.В., Титова А.В., Шульга Л.В.

Диагностика форм пиелонефрита и оценка степени их тяжести на основе нечетких математических моделей 173

Серегин С. П., Родионов Д. С., Петров С. В., Сипливый Г. В.

К сведению авторов 192

CONTENT

INFORMATION AND INTELLIGENT SYSTEMS

Original articles

Method and Algorithms of ZigZag Indicator Calculation for Securities Quotations in VBA Excel 8

Malyshev A. V., Korovyakovsky I. V., Allaberenov N. I., Alekseev V. A.

A Prototype of Intelligent Systemfor Development of Cognitive Abilities for Disabled Persons 28

Istomina T.V., Petrunina E.V., Nikolskiy A.E., Tomakova I.A.

IMAGE RECOGNITION AND PROCESSING

Original articles

Multilayer Morphological Operators for Segmenting Hardly Structured Halftone Bitmaps 44

Filist S. A., Dabagov A. R., Tomakova R. A., Malyutina I. A., Kondrashov D. S.

Methods and Algorithms for the Formation of Weak Classifiers in the Ensemble of Classifiers for Predicting Cardiovascular Risks 64

Protasova Z. U., O Shatalova. V., Dafalla A. A.B., Degtyaryov S. V.

Mathematical Models for Predicting and Early Diagnostics of Pneumokoniosis in Workers of Galvanic Works 84

I. Y. Grigorov, I. I. Khripina, V. V. Serebrovskiy, S. V. Degtyarov

SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING

Original articles

Prediction of the Appearance and Development of Disorders of Cognitive Functions of Attention in the Work of Operators of Information-Rich Human-Machine Systems.....99

Polyakov A.V., Korzhuk N.L., Rodionova S.N., Nikolaeva E.A.

Forecasting the Exposure of Genital Herpes on the Basis of Soft Computing Technology 113

Lukashov M. I., Pismennaya E. V., Olisova O. Y., Starodubtseva L. V., Shulga L. V.

Assessment of the Severity of Pyelonephritis by the Energy Imbalance of Biologically Active Points 129

Rodionov D. S., Petrov S. V., Lazurina L. P.

SIMULATION IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Original articles

Fuzzy Assessment Stepney Decompensation of Regional Hemodynamics of the Systemic Circulation Using the Model Georg Rasch 141

Bykov A. V., Korenevsky N. A., Boytsov A. V., Rodionova S. N.

Mathematical Models for Prediction and Early Diagnosis of Diseases of the Immune System in Workers of Electric Power Companies 160

Myasoedova M. A., Starodubtseva L. V., Titova A. V., Shulga L. V.

Diagnosis of Pyelonephritis Forms and Assessment of Their Severity on the Basis of Fuzzy Mathematical Models 173

Seregin S. P., Rodionov D. S., Petrov S. V., Siplivyj G. V.

Infirmation for Authors 192

Оригинальная статья / Original article

УДК 002.6:021

Метод и алгоритмы расчета индикатора ZigZag для котировок ценных бумаг в VBA Excel

А.В. Малышев [1] ✉, И.В. Коровяковский [1], Н.И.Аллаберенов [1], В.А. Алексеев [1]

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: alta76@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. *В статье рассмотрен индикатор ZigZag и особенности его построения. Разработаны два алгоритма построения данного индикатора для определения котировок в VBA Excel. Проанализирована возможность многопоточного использования одного из представленных алгоритмов. Представлена разработка методики расчета индикатора ZigZag двумя алгоритмами в VBA Excel для биржевых котировок ценных бумаг.*

Методы. *В ходе исследования был проведен анализ научной литературы по выбранной тематике. На основе синтеза знаний, а также исходя из принципа дедукции было высказано предположение о математической сущности индикатора. На основе сделанного вывода, с применением метода декомпозиции задачи, выявлены основные процедуры, которые реализованы в программном коде. В ходе работы разработанные алгоритмы расчета индикатора ZigZag были протестированы на фактических котировках Bitcoin / U.S.dollar за 13.05.2019 года на показаниях часового интервала.*

Результаты*. Предложенные алгоритмы в результате проведенного тестирования показали верные результаты. Был разработан эффективный программный код расчета графика ZigZag при помощи двух представленных алгоритмов в среде VBA Excel. Разработанная методика позволяет успешно и быстро построить график ZigZag по заранее заданному условию для любых котировок, записанных в биржевом формате. Представленный программный код может быть использован для анализа и прогнозирования движения цен котировок ценных бумаг. Разработанные однопоточный и многопоточный алгоритмы расчета ZigZag могут быть использованы в экономическом анализе, шифровании и кодировании информации, сегментировании и кластеризации изображений.*

Заключение. *Практические результаты заключаются в разработке программного кода двух алгоритмов расчета индикатора ZigZag в среде VBA Excel.*

Ключевые слова*: индикатор; график; ZigZag; алгоритм; котировки ценных бумаг; VBA Excel.*

Конфликт интересов*: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

© Малышев А.В., Коровяковский И.В., Аллаберенов Н.И., Алексеев В.А., 2019

Для цитирования: Метод и алгоритмы расчета индикатора ZigZag для котировок ценных бумаг в VBA Excel / А.В. Малышев, И.В. Коровяковский, Н.И.Аллаберенов, В.А. Алексеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 8–27.

Статья поступила в редакцию 05.06.2019

Статья подписана в печать 10.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Method and Algorithms of ZigZag Indicator Calculation for Securities Quotations in VBA Excel

Alexander V. Malyshev [1] ✉, Ilya V. Korovyakovsky [1], Nury I. Allaberenov [1], Vladislav A. Alekseev [1]

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: alta76@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. *The article considers the ZigZag indicator, and features of its construction. Two algorithms have been developed for constructing this indicator for quotes in VBA Excel. And also, the possibility of multi-threaded use of one of the presented algorithms is analyzed. The aim of this work is to develop a methodology for calculating the ZigZag indicator by the two algorithms presented in VBA Excel for stock quotes*

Methods. *During the study, an analysis of the scientific literature on the selected topic was carried out. Based on the synthesis of knowledge, as well as on the basis of the principle of deduction, an assumption was made about the mathematical essence of the indicator. Based on the conclusion, using the problem decomposition method, the main procedures that the program code should solve are identified. In the course of work, the developed algorithms for calculating the ZigZag indicator were tested on actual Bitcoin / U.S.dollar quotes for 05/13/2019 on the hourly interval readings.*

Results. *An efficient program code for calculating the ZigZag chart was developed using the two presented algorithms in the VBA Excel environment. Algorithms as a result of testing gave the correct results. The developed technique allows you to successfully and quickly build a ZigZag chart according to a predefined condition for any quotes recorded in the exchange format. The presented program code can be used to analyze and predict the movement of prices of securities quotes. The developed single-threaded and multi-threaded algorithms for calculating ZigZag can be used in economic analysis, encryption and coding of information, image segmentation and clustering.*

Conclusion. *The practical results are the development of program code for two algorithms for calculating the ZigZag indicator in the VBA Excel environment.*

Keywords: *indicator; chart; ZigZag; algorithm; stock quotes; VBA Excel.*

Conflict of interest: *The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Malyshev A.V., Korovyakovsky I.V., Allaberenov N.I., Alekseev V.A. Method and algorithms of ZigZag indicator calculation for securities quotations in VBA Excel . *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universi-*

teta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2019, 9(3): 8–27 (In Russ.).

Received 05.06.2019

Accepted 10.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Индикатор ZigZag (далее ЗигЗаг) – это индикатор (график) тренда цен котировок акций, соединяющий локальные экстремумы и позволяющий отфильтровывать ценовой шум по заданному пользователем условию. Данный индикатор используется для иллюстраций тенденций рынка или для фильтрации показателей котировок с целью дальнейшего анализа [9]. Стоит отметить, что ЗигЗаг «игнорирует» заданный размер колебания движения цен и представляет данные с использованием монотонной линейной аппроксимации. Порог фильтрации устанавливается пользователем, и, таким образом, если изменение ценового тренда не достигнет этого уровня, ЗигЗаг пересмотрит сам себя: видимый подъём или спад будет отфильтрован, а предыдущий тренд будет продолжаться без перерыва [8]. После того, как разворот цены достиг возможного порогового значения или превысил его, в этом случае предпоследний этап ЗигЗага больше не подлежит пересмотру [6].

В отличие от линейных графиков, которые приняты для отображения динамики цен акций и привязаны к цене открытия на определенном временном интервале, график ЗигЗаг позволяет более информативно отражать динамику движения цен, так как классифицирует линии движения на основе признака расстояния движения самой цены. Использование такого рода графиков можно встретить во многих современных программных продуктах анализа состояний финансовых рынков, таких как Metastock [10], Metatrader [11], StockSharp [12] и др. Распространенность данного вида графика обусловлена наглядностью и интуитивной понятностью построения.

Подобные принципы построения графиков ЗигЗаг можно найти в волновой теории Эллиота [2], во фрактальной модели финансового рынка Бенуа Мандельброта [19], а также при расчёте расстояния Дженсена-Шеннона [17]. Практическое применение индикатора зигзаг можно встретить в следующих научных работах [17, 7, 4, 13, 9, 3, 5].

Математическая модель ЗигЗаг-диаграммы представима в виде последовательности

$$\mathcal{X}: \quad \mathbb{X}_1 \leftrightarrow \mathbb{X}_2 \leftrightarrow \cdots \leftrightarrow \mathbb{X}_{n-1} \leftrightarrow \mathbb{X}_n \,, \quad (1)$$

где каждое $\mathbb{X}_i$ является топологическим пространством, а каждый $\leftrightarrow$ представляет непрерывную функцию, ори-

ентированную вперед $\mathbb{X}_i \to \mathbb{X}_{i+1}$ или назад $\mathbb{X}_i \leftarrow \mathbb{X}_{i+1}$.

Если мы примем гомологический функтор H_p с коэффициентом поля k к диаграмме, мы получим ЗигЗаг-диаграмму векторных пространств, также называемым зигзагообразным модулем [14]:

$$\mathsf{H}_p(\mathcal{X}): \quad \mathsf{H}_p(\mathbb{X}_1) \leftrightarrow \mathsf{H}_p(\mathbb{X}_2) \leftrightarrow \cdots \leftrightarrow \leftrightarrow \cdots \leftrightarrow \mathsf{H}_p(\mathbb{X}_{n-1}) \leftrightarrow \mathsf{H}_p(\mathbb{X}_n) \quad (2)$$

Исходя из вышесказанного и на основе работ [21, 18, 22] можно сделать предположение, что суть индикатора ЗигЗаг для ценных бумаг состоит в кластеризации (сегментации) динамического ряда биржевых котировок во временный ряд на основе признака расстояния цены. Причем способы расчета расстояния цены могут быть различными [1, 21].

Стоит отметить, что научный интерес с точки зрения разработки программного обеспечения представляет программная реализация заложенных в основу принципов расчета и фильтрации показателей цен, так как успешная реализация алгоритмов не только позволит проводить указанный статистический (экономический) анализ, но и может быть использована в шифровании и кодировании информации, сегментировании и кластеризации изображения.

Существует множество модификаций данного индикатора [16], но большинство из них позволяет калибровать только численные показатели условия фильтрации.

На данный момент в свободном доступе отсутствует код в VBA Excel для построения и расчета графиков ЗигЗаг, который позволяет проводить экономический анализ котировок акций с изменением заданного условия расчёта.

Материалы и методы

Целью данной работы является разработка методики расчета индикатора ЗигЗаг двумя алгоритмами, которая для удобства представления разбита на несколько этапов. Представленная методика проведена и протестирована на фактических данных котировок Bitcoin/U.S.dollar за 13.05.2019 года на показаниях часового интервала.

Рассмотрим подробнее методику расчета по предложенным этапам.

На основании выводов, сделанных ранее, а также исходя из принципа декомпозиции задачи [24, с. 169-172] перед разработчиками стояла задача получения динамического ряда цен из котировок акций, а потом на основе признака расстояния цены рассчитать динамический ряд котировок.

Этап 1. Получение и очистка данных

Скачаем нужные данные с сайта в текстовом формате и для начала вставим данные котировок Bitcoin/U.S.dollar в файл Excel. Распределим данные по столбцам: в результате получим данные котировок Bitcoin/U.S.dollar, записанные в биржевом формате (рис. 1, рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<TICKER>	<PER>	<DATE>	<TIME>	<OPEN>	<HIGH>	<LOW>	<CLOSE>	<VOL>
2	BTC/USD	60	20190513	0	7167.94	7173.22	7051.5	7142.76	411
3	BTC/USD	60	20190513	10000	7154.71	7154.71	6866.15	6982.27	1103
4	BTC/USD	60	20190513	20000	6976.95	6995.05	6867.73	6994.43	499
5	BTC/USD	60	20190513	30000	6964.74	7039.01	6863.75	7019.73	686
6	BTC/USD	60	20190513	40000	7017.6	7084.06	7012.68	7034.06	441
7	BTC/USD	60	20190513	50000	7026.02	7051.5	6979.67	7051.5	307
8	BTC/USD	60	20190513	60000	7037.76	7075	6998.87	7010.54	355
9	BTC/USD	60	20190513	70000	7020	7100	7007.81	7081.12	350
10	BTC/USD	60	20190513	80000	7085.84	7145	7035.2	7037.6	459
11	BTC/USD	60	20190513	90000	7046.24	7084.36	7013.9	7074.96	251
12	BTC/USD	60	20190513	100000	7076.55	7077.6	6990	7017.49	203
13	BTC/USD	60	20190513	110000	7034.33	7069.13	7000.01	7052.46	278
14	BTC/USD	60	20190513	120000	7054.39	7122.28	7051	7100.79	512
15	BTC/USD	60	20190513	130000	7100.77	7116.82	7047.9	7097.18	456
16	BTC/USD	60	20190513	140000	7105.45	7333.09	7073.68	7261.93	1333

Рис. 1. Данные котировок Bitcoin/U.S.dollar в таблице Excel

Fig.1. Bitcoin / U.S.dollar quote data in Excel spreadsheet

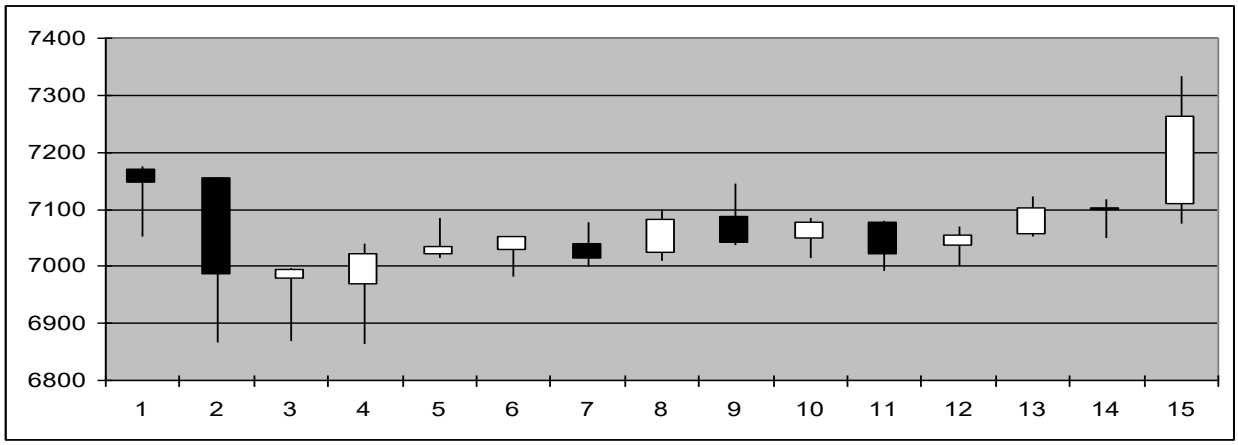


Рис. 2. Биржевой график котировок Bitcoin/U.S.dollar

Fig.2. Bitcoin / U.S.dollar stock price chart

Во избежание искажений конечных данных следует использовать, по возможности, минимальный промежуток времени движения котировок, т.к. современный способ записи биржевых котировок акций уже является «абстракцией» [0], и при использовании длинных интервалов времени колебаний цен неизбежны потери данных, которых нужно избежать для построения показателей ЗигЗаг.

Обработаем эти данные следующим образом, чтобы получить динамический ряд котировок: если цена открытия(Open) ниже цены закрытия(Close), то котировки двигались снизу вверх, и наоборот, если цена открытия(Open) выше цены закрытия(Close), то цены

двигались снизу вверх. Таким образом, получим временной ряд котировок. Листинг программного кода обработки данных котировок ценных бумаг в динамический ряд представлен на рисунке 3.

Так как при построении индикатора ЗигЗаг используются только экстремумы котировок, то после обработки данных такие показатели, как «цена открытия» и «цена закрытия», будут отброшены.

```
1  Sub phase_1()
2  a = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
3  Set WoW = Range(Cells(2, 3), Cells(a, 3))
4  s = WoW.Cells.Count
5  x = 1
6  For n = 1 To s
7  Cells(x, 10) = WoW(n)
8  Cells(x + 1, 10) = WoW(n)
9  x = x + 2
10 Next n
11 Set WoW = Range(Cells(2, 4), Cells(a, 4))
12 s = WoW.Cells.Count
13 x = 1
14 For n = 1 To s
15 Cells(x, 11) = WoW(n)
16 Cells(x + 1, 11) = WoW(n)
18 x = x + 2
19 Next n
20 p = 1
21 For n = 2 To s + 1
22 a = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp)
23 If Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp) = 1 Then
24 Cells(p, 12) = Cells(n, 7)
25 Cells(p + 1, 12) = Cells(n, 6)
26 p = p + 2
27 Else
28 Cells(p, 12) = Cells(n, 6)
29 Cells(p + 1, 12) = Cells(n, 7)
30 p = p + 2
31 End If
32 Next n
33 End Sub
```

Рис. 3. Программный код VBA Excel обработки данных котировок ценных бумаг в динамический ряд

Fig.3. VBA Excel code for processing stock quotes data in a time series

Этап 2. Расчет показателей ЗигЗаг

При разработке кода расчёта было составлено два алгоритма нахождения показателей данных ЗигЗаг. Сначала находим первые экстремумы, удовлетворяющие нашему условию, поочередно проверяя данные. Начиная с первого числа, компьютер просчитывает диапазон ячеек, сравнивая показатели максимальных и минимальных показателей курса акций. При неудовлетворении условия диапазон поиска расширяется, и поиск повторяется. При нахождении показателей алгоритм переходит к следующему шагу обработки данных. В противном случае выдаётся сообщение о том, что нет данных, удовлетворяющих условию. Для реализации алгоритмов фильтрации экстремумов по заданному условию нам понадобиться создать несколько пользовательских функций, листинг программного кода которых приведен на рисунке 4.

В пользовательской функции Formula, которая представлена в строках 1-8 листинга, определяется основное условие фильтрации. В данном случае в строке 3 установлено следующее фильтрующее условие: разница между верхним и нижним экстремумами должна быть больше или равна 250.

```
Function Formula(Max, Min)
JL = 250
If  (Max – Min) >= JL Then
Formula = True
Else
Formula = False
End If
End Function

Function Main_Condition(j, i)
MaxI = Application.Max(Range(Cells(j, 12), Cells(i,
12)))
MinI = Application.Min(Range(Cells(j, 12), Cells(i,
12)))
   If Formula(MaxI, MinI) Then
   Main_Condition = True
   Else
   Main_Condition = False
   End If
End Function
```

```
Function TochkaMin(j, i)
MinI = Application.Min(Range(Cells(j, 12), Cells(i, 12)))
   Set myCell = Range(Cells(j, 12), Cells(i,
12)).Find(What:=MinI, LookIn:=xlValues, SearchDirec-
tion:=xlPrevious)
   If Not myCell Is Nothing Then
   TochkaMin = myCell.Row
   End If
End Function

Function TochkaMax(j, i)
MaxI = Application.Max(Range(Cells(j, 12), Cells(i,
12)))
   Set myCell = Range(Cells(j, 12), Cells(i,
12)).Find(What:=MaxI, LookIn:=xlValues, SearchDirec-
tion:=xlPrevious)
   If Not myCell Is Nothing Then
   TochkaMax = myCell.Row
   End If
End Function
```

Рис. 4. Программный код пользовательских функций VBA Excel для реализации алгоритмов фильтрации

Fig.4. Excel VBA user code for filtering algorithms

При передаче в данную функцию параметров высшей и нижней точки оцениваемого диапазона функция возвращает true/false в зависимости от переданных значений. Функция Main_Condition получает два параметра, а именно начало и конец анализируемого диапазона ячеек *j* и *i*.

Результаты и их обсуждение

Были разработаны два алгоритма для расчета показателей ЗигЗаг для биржевых котировок. Листинг программного кода алгоритмов представлен на рисунках 5 и 6.

Схемы алгоритмов 1 и 2 представлены на рисунках 7 и 8 и выполнены с применением диаграмм ДРАКОН.

При выполнении первого алгоритма последовательно определяются значения: сначала из выбранных котировок находится первый экстремум, соответствующий условию; если сначала определен нижний экстремум, то алгоритм позволяет определить значение верхнего экстремума. Этот процесс повторяется по всей длине временного ряда. В качестве недостатка данного алгоритма следует отметить возможность его реализации лишь в однопоточном режиме.

Применение второго алгоритма дает возможность исследователю сначала выбрать отдельно все нижние экстремумы, а затем верхние.

```
1  Sub algoritm1()
2  j = 1
3  For i = 1 To Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row
4  Step 1
5  If Main_Condition(j, i) Then
6  If TochkaMax(j, i) > TochkaMin(j, i) Then
7  Cells(TochkaMin(j, i), 13) = Cells(TochkaMin(j, i), 12)
8  k = 1
9  Exit For
10 Else
11 Cells(TochkaMax(j, i), 13) = Cells(TochkaMax(j, i), 12)
12 k = 0
13 Exit For
14 End If
15 Else
16 End If
17 Next i
18 z = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row
19 u = 0
20 Do
21 If k = 1 Then
22 j = Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row
23 f = (Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row + 1 + u)
24 MaxI = Application.Max(Range(Cells(j, 12), Cells(f, 12)))
25 p = TochkaMax(j, f)
26 If p = f Then
27 u = u + 1
28 Else
29 MinI = Application.Min(Range(Cells(p, 12), Cells(f,
30 12)))
31 If Formula(MaxI, MinI) Then
32 Cells(p, 13) = MaxI
33 k = 0
34 u = 0
35 Else
36 u = u + 1
37 End If
38 End If
39 End If
40 If k = 0 Then
41
42
43 j = Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row
44 f = (Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row + 1 + u)
45 MinI = Application.Min(Range(Cells(j, 12), Cells(f, 12)))
46 p = TochkaMin(j, f)
47 If p = f Then
48 u = u + 1
49 Else
50 MaxI = Application.Max(Range(Cells(p, 12), Cells(f, 12)))
51 If Formula(MaxI, MinI) Then
52 Cells(p, 13) = MinI
53 k = 1
54 u = 0
55 Else
56 u = u + 1
57 End If
58 End If
59 Else
60 End If
61 Loop While f <= z
62 j = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row - 1
63 For i = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row To 1 Step -
64 1
65 If Main_Condition(j, i) Then
66 If TochkaMax(j, i) > TochkaMin(j, i) Then
67 Cells(TochkaMax(j, i), 13) = Cells(TochkaMax(j, i), 12)
68 Else
69 Cells(TochkaMin(j, i), 13) = Cells(TochkaMin(j, i), 12)
70 Exit For
71 End If
72 Else
73 End If
74 Next i
75 Range(Cells(1, 10), Cells(1, 14)).Insert Shift:=xlDown
76 Columns("M:M").AutoFilter Field:=1, Criteria1:="<>" '
77 a = Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row
78 Range(Cells(1, 10), Cells(a, 13)).Copy
79 Cells(1, 15).Select
80 ActiveSheet.Paste
81 Columns("M:M").AutoFilter
82 End Sub
83
```

Рис. 5. Программый код VBA Excel алгоритма №1 расчета показателей индикатора ЗигЗаг

Fig.5. Program code VBA Excel of algorithm №1 for calculating indicators of the ZigZag indicator

```
1  Sub algoritm2()
2  j = 1
3  For i = 1 To Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row Step 1
4  If TochkaMax(j, i) > TochkaMin(j, i) Then
5  If Main_Condition(j, i) Then
6  Cells(TochkaMin(j, i), 13) = Cells(TochkaMin(j, i), 12)
7  j = i
8  Else
9  End If
10 Else
11 j = TochkaMin(j, i)
12 End If
13 Next i
14 j = 1
15 For i = 2 To Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row Step 1
16 If TochkaMin(j, i) > TochkaMax(j, i) Then  '
17 If Main_Condition(j, i) Then
18 Cells(TochkaMax(j, i), 13) = Cells(TochkaMax(j, i), 12)
19 j = i
20 Else
21 End If
22 Else
23 j = TochkaMax(j, i)
24 End If
25 Next i
26 j = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row - 1
27 For i = Cells(Rows.Count, 12).End(xlUp).Row To 1 Step -1
28 If Main_Condition(j, i) Then
29 If TochkaMax(j, i) > TochkaMin(j, i) Then
30 Cells(TochkaMax(j, i), 13) = Cells(TochkaMax(j, i), 12)
31 Exit For
32
33
34
35 Else
36 Cells(TochkaMin(j, i), 13) = Cells(TochkaMin(j, i), 12)
37 Exit For
38 End If
39 Else
40 End If
41 Next i
42 Range(Cells(1, 10), Cells(1, 14)).Insert Shift:=xlDown
43 Columns("M:M").AutoFilter Field:=1, Criteria1:="<>" '
44 a = Cells(Rows.Count, 13).End(xlUp).Row
45 Range(Cells(1, 10), Cells(a, 13)).Copy
46 Cells(1, 15).Select
47 ActiveSheet.Paste
48 Columns("M:M").AutoFilter
49 a = Cells(Rows.Count, 17).End(xlUp).Row
50 Range(Cells(1, 18), Cells(a, 18)).Clear
51 Cells(2, 18) = Cells(2, 17) '
52 Cells(a, 18) = Cells(a, 17)
53 For i = 3 To a
54 If Cells((i - 1), 17) > Cells(i, 17) And Cells(i, 17) <
55 Cells((i + 1), 17) _
56 Or Cells((i - 1), 17) < Cells(i, 17) And Cells(i, 17) >
57 Cells((i + 1), 17) Then
58 Cells(i, 18) = Cells(i, 17)
59 Else
60 End If
61 Next i
62 Columns("R:R").AutoFilter Field:=1, Criteria1:="<>"
63 a = Cells(Rows.Count, 18).End(xlUp).Row
64 Range(Cells(1, 15), Cells(a, 18)).Copy
65 Cells(1, 25).Select
66 ActiveSheet.Paste
67 Columns("R:R").AutoFilter
68 End Sub
69
```

Рис. 6. Программый код VBA Excel алгоритма №2 расчета показателей индикатора ЗигЗаг

Fig.6. Program code VBA Excel of algorithm №2 for calculating indicators of the ZigZag indicator

Однако в результате такого подхода полученные данные имеют лишние значения, которые при проверке удаляются. Именно во втором алгоритме предусмотрена возможность разделить между двумя потоками поиск показателей по условию (например, при помощи языка C#).

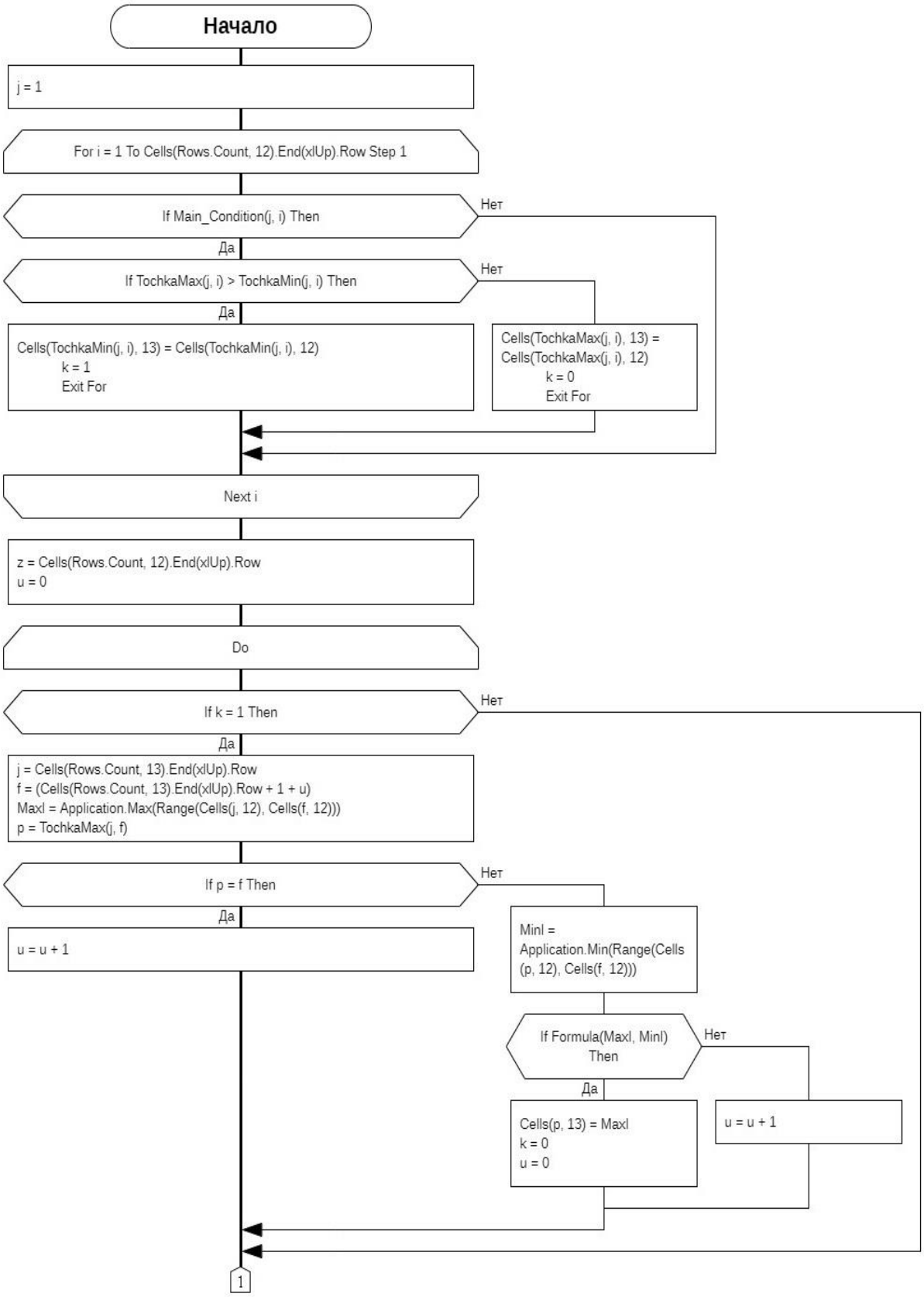


Рис. 7. Схема алгоритма № 1 для расчета показателей индикатора ZigZag (начало, окончание см. на с. 18)

Fig.7. Diagram of algorithm No. 1 for calculating of the ZigZag indicator (for the end, see p. 18)

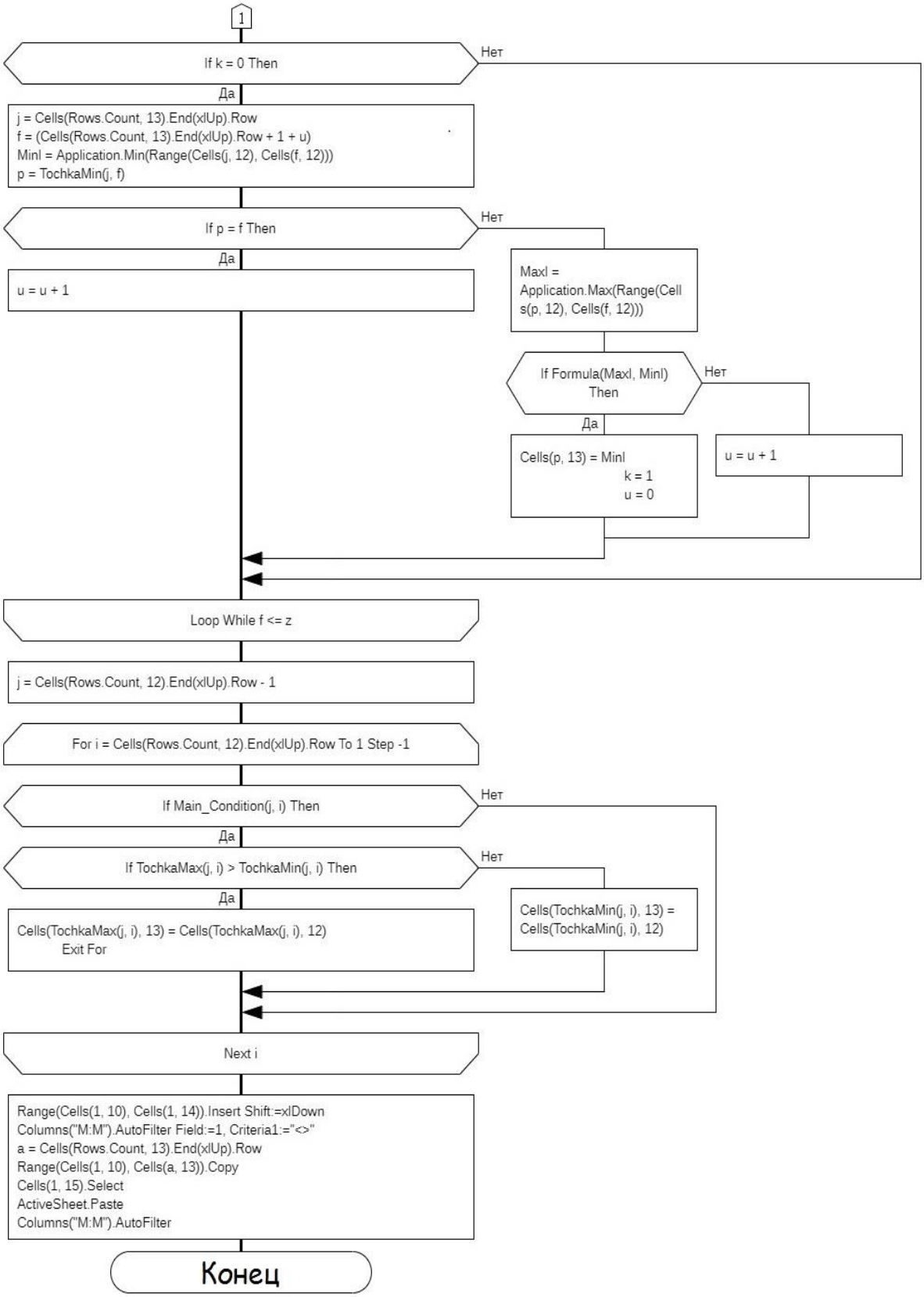


Рис. 7. Схема алгоритма № 1 для расчета индикатора ZigZag (окончание, начало см. на с. 17)

Fig.7. Diagram of algorithm No. 1 for calculating of the ZigZag indicator (beginning see p. 17)

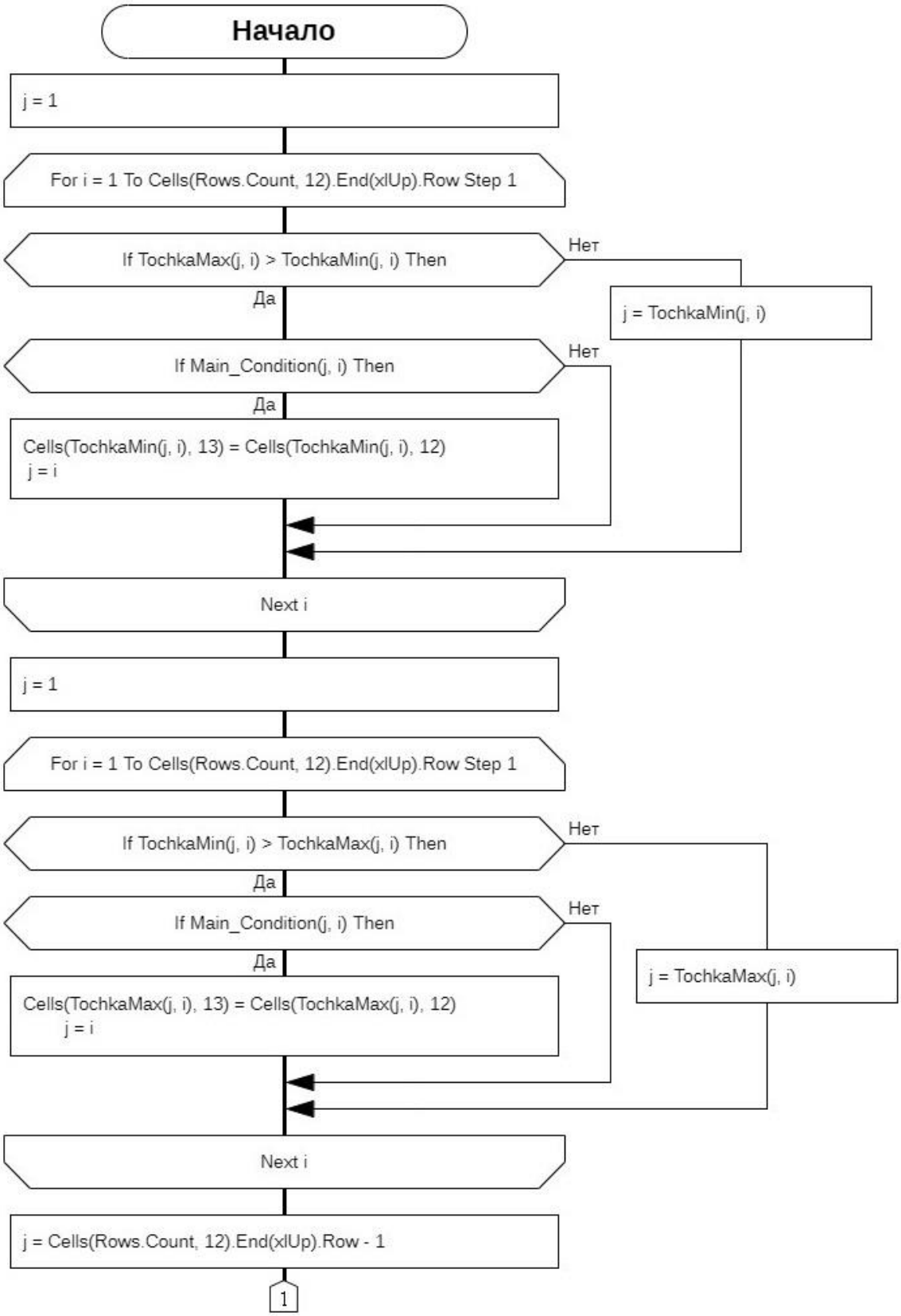


Рис. 8. Схема алгоритма № 2 для расчета показателей индикатора ZigZag (начало, окончание см. на с. 20)

Fig. 8. Diagram of algorithm No. 2 for calculating of the ZigZag indicator (for the end, see p. 20)

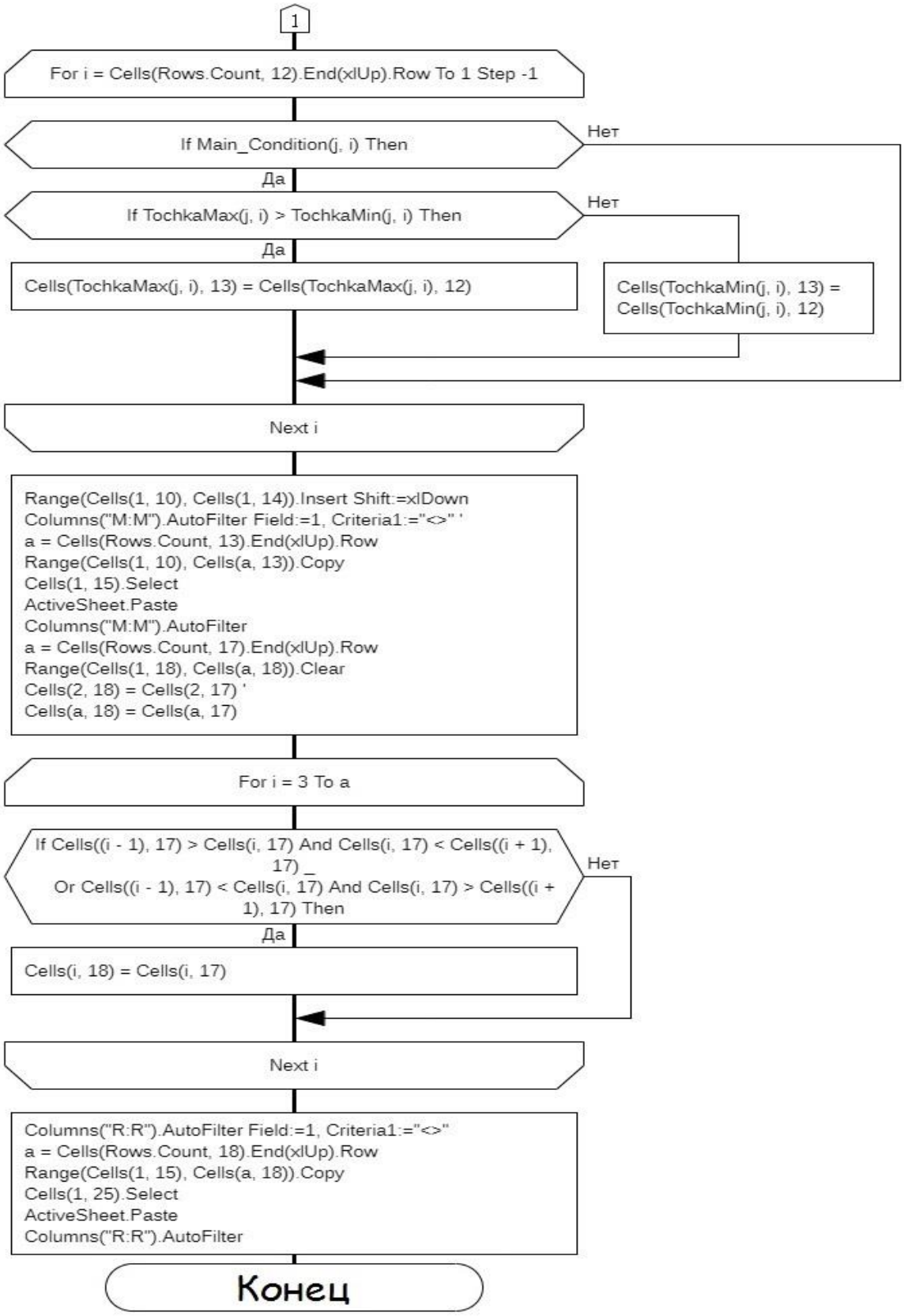


Рис. 8. Схема алгоритма № 2 для расчета индикатора ZigZag (окончание, начало см. на с. 19)

Fig. 8. Diagram of algorithm No. 2 for calculating of the ZigZag indicator (beginning see p. 19)

Окончательно после реализации программного кода были получены значения, представленные на рисунке 9.

Результаты обработки двумя алгоритмами идентичны, после ручной проверки можно убедиться, что код работает правильно. Справедливо заметить, что алгоритм №2 легче для понимания и реализации, а также более расширяем (при некоторой модификации) для использования в четырёх и более потоках.

Программный код был протестирован на версиях MS Excel 2003, 2007, 2010, 2016. Стоит отметить, что с выходом в MS Excel 2019 функций «МАКС/МИНЕСЛИ» представленный код можно значительно сократить и усовершенствовать.

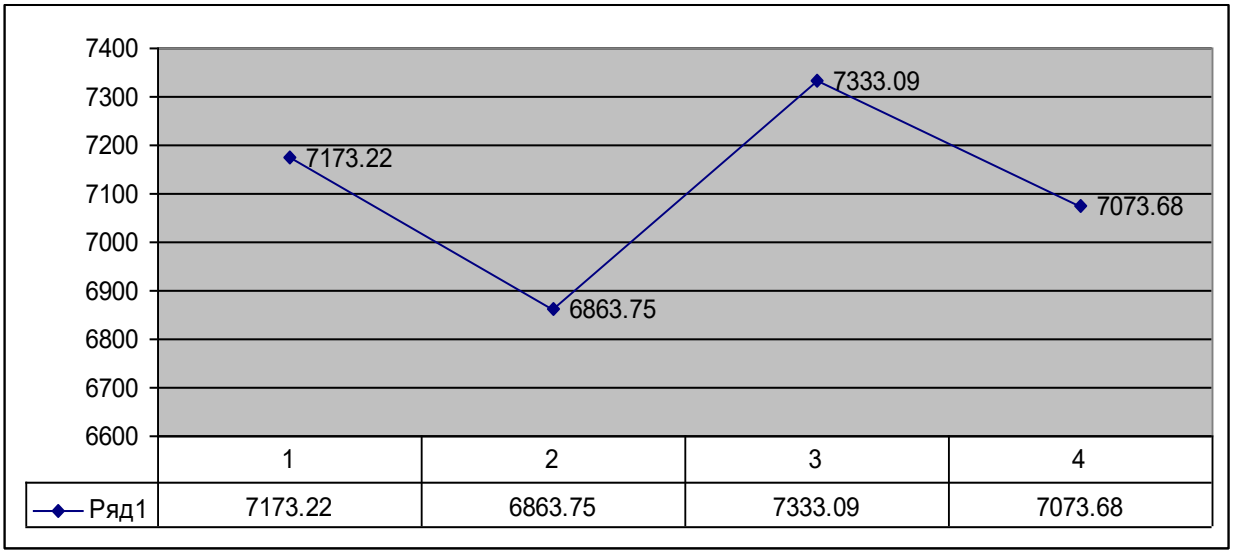


Рис. 9. График ZigZag котировок Bitcoin / U.S.dollar, рассчитанный алгоритмами

Fig.9. Bitcoin / U.S.dollar quotes ZigZag chart calculated by algorithms

Выводы

1. В результате проведенных исследований, был разработан эффективный программный код расчета графика ЗигЗаг при помощи двух представленных алгоритмов в среде VBA Excel.

2. Разработанные алгоритмы обеспечивают верные результаты, которые были получены по итогам тестирования.

3. Разработанная методика позволяет успешно и быстро построить график ЗигЗаг по заранее заданному условию для любых котировок, записанных в биржевом формате.

4. Представленный программный код может быть использован для анализа и прогнозирования движения цен котировок ценных бумаг.

5. Разработанные однопоточный и многопоточный алгоритмы расчета ЗигЗаг могут быть использованы в экономическом анализе, шифровании и кодировании информации, сегментировании и кластеризации изображения.

Список литературы

1. Sheebha R., Subadra M. A. Survey On Various Signal Pre-Processing Methods For Sensor Response In E-Nose // Res. 2014; 6 (11). 2014. Vol. 6, №. 11. P. 76-80. URL: http://www.sciencepub.net/researcher/research0611/012_27374 research061114_76_80.pdf (дата обращения: 22.05.2019).

2. Batyrbekova Nurlana Using Elliott wave Theory predictions as inputs in equilibrium portfolio models with views // Review of Business and Economics Studies. 2015. №2. P. 33-45. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/using-elliott-wave-theory-predictions-as-inputs-in-equilibrium-portfolio-models-with-views (дата обращения: 25.05.2019).

3. Mao Y., Wei W., Wang B. Twitter volume spikes: analysis and application in stock trading // Proceedings of the 7th Workshop on Social Network Mining and Analysis. ACM, 2013. P. 4. URL: https://www.researchgate.net/profile/ Yuexin_Mao/ publication/ 262153112_ Twitter_volume_spikes_analysis_and_application_in_ stock_trading/links/ 58c41e4f45851538 eb873604/Twitter-volume-spikes-analysis-and-application-in-stock-trading.pdf (дата обращения: 20.05.2019).

4. Phetchanchai C. Index financial time series based on zigzag-perceptually important points // Journal of Computer Science. 2010. №6 (12). P. 1389-1395. URL: https:// thescipub.com/PDF/jcssp.2010.1389.1395.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

5. Phetchanchai C. Improved Particle Swarm Optimization for Fuzzy Based Stock Market Turning Points Prediction : дис. / Universiti Teknologi Malaysia, 2013. 60 p. URL: http://eprints.utm.my/id/eprint/33794/5/ ChawalsakPhetchanchaiPFSKSM2013.pdf (дата обращения: 22.05.2019).

6. Raftopoulos S. The Zigzag Trend Indicator // Technical analysis of stocks and commodities-magazine edition. 2003. Vol. 21, № 11. P. 26-33.

7. Rakićević A., Milovanović A., Aničić R. An application of neural networks and fundamental analysis for automated trading: belgrade stock exchange case //Integration and regional position of stock markets: a case of south east european countries. P. 626-643. URL: http://symorg.fon.bg.ac.rs/proceedings/2016/papers/ FINANCIAL %20MANAGEMENT. pdf#page=31 (дата обращения: 25.05.2019).

8. Siligardos G. E. Filtering Price Movement // Technical analysis of stocks and commodities-magazine edition. May 2015. P. 13-16.

9. Talebi H., Hoang W., Gavrilova M. L. Multi-scale foreign exchange rates ensemble for classification of trends in forex market // Procedia Computer Science. 2014. Vol. 29. P. 2065-2075. URL: https://primedirection.net/docs/insight4.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

10. Steven B. Achelis. Technical Analysis from A to Z - ZIG ZAG by. URL: https://www.metastock.com/customer/resources/taaz/?p=127 (дата обращения: 25.05.2019).

11. ZigZag – индикатор для MetaTrader 4. URL: https://www.mql5.com/ru/code/7796 (дата обращения: 25.05.2019).

12. ZigZag Methods. URL: https://doc.stocksharp.com/ html/Methods_T_StockSharp_ Algo_Indicators_ZigZag.htm (дата обращения: 25.05.2019).

13. Carlsson G., De Silva V. Zigzag persistence // Foundations of computational mathematics. 2010. Vol. 10, № 4. P. 367-405. URL: https:// link.springer.com/ content/ pdf/10.1007/s10208-010-9066-0.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

14. Carlsson G., De Silva V., Morozov D. Zigzag persistent homology and real-valued functions // Proceedings of the twenty-fifth annual symposium on Computational geometry. ACM, 2009. P. 247-256. URL: http://www.fodava.gatech.edu/ files/reports/FODAVA-09-32.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

15. Ермаков И. Е., Жигуненко Н. А. Двумерное структурное программирование; класс устремлённых графов (теоретические изыскания из опыта языка «Дракон») // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2010. №6. С. 452-461. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dvumernoe-strukturnoe-programmirovanie-klass-ustremlyonnyh-grafov-teoreticheskie-izyskaniya-iz-opyta-yazyka-drakon (дата обращения: 30.05.2019).

16. Индикаторы на основе ZIGZAG. URL: https:// fortrader.org/tag/zigzag-indicators/ (дата обращения: 25.05.2019).

17. Исаков А. В. Сигнальная модель для внутреннего денежного рынка // Прикладная эконометрика. 2013. №2 (30). С. 77-92. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ signalnaya-modeldlya-vnutrennego-denezhnogo-rynka-1 (дата обращения: 26.05.2019).

18. Ключников М. В. Технология кластерного анализа финансовых показателей банков // Прикладная информатика. 2006. №1. С. 41-50. URL: https:// cyberleninka.ru/ article/n/tehnologiya-klasternogo-analiza-finansovyh-pokazateley-bankov (дата обращения: 28.05.2019).

19. Козлова И. А. Применение наилучшего равномерного приближения к анализу фрактальных моделей // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2015. №1 (41). С. 54-59. URL: https://cyberleninka.ru/ article/n/primenenie-nailuchshego-ravnomernogo-priblizheniya-k-analizu-fraktalnyh-modeley (дата обращения: 27.05.2019).

20. Монастырная В.С., Фролов В.В. Визуальный язык Дракон и его применение // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. С. 78-79. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vizualnyy-yazyk-drakon-i-ego-primenenie (дата обращения: 30.05.2019).

21. Обзор алгоритмов кластеризации данных. URL: https:// habr.com/ru/post/ 101338/ (дата обращения: 25.05.2019).

22. Полосухин И.Д. Динамическая кластеризация временных рядов с использованием агрегированных показателей // Вестник НТУ ХПИ (Харьковский Политехнический Институт), 2011. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/ bitstream/KhPI-Press/ 14848/1/vestnik_HPI_2011_35_Polosukhin_Dinamicheskaya.pdf (дата обращения: 25.05.2019).

23. Практическое руководство. Доступ к объектам взаимодействия Office с помощью возможностей Visual C# (Руководство по программированию на C#). URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/ interop/how-to-access-office-onterop-objects (дата обращения: 25.05.2019).

24. Ульянов М.В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. М.: Физматлит, 2008. 303 с.

25. Швагер Д. Технический анализ: полный курс / ред. А. Дзюра; пер. А. Куницына, Б. Зуева. М.: Альпина Паблишер, 2017. 803 с.

References

1. Sheebha R., Subadra M. A Survey On Various Signal Pre-Processing Methods For Sensor Response In E-Nose. Res. 2014; 6 (11), 2014, vol. 6, no. 11, pp. 76-80. URL: http:// www.sciencepub.net/researcher/research0611/ 012_27374research061114_76_80.pdf (accessed 22.05.2019).

2. Batyrbekova Nurlana Using Elliott wave Theory predictions as inputs in equilibrium portfolio models with views. Review of Business and Economics Studies, 2015, no.2, pp. 33-45. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/using-elliott-wave-theory-predictions-as-inputs-in-equilibrium-portfolio-models-with-views (accessed 22.05.2019).

3. Mao Y., Wei W., Wang B. Twitter volume spikes: analysis and application in stock trading. Proceedings of the 7th Workshop on Social Network Mining and Analysis. - ACM, 2013, p. 4. URL: https://www.researchgate.net/profile/Yuexin_Mao/ publication/ 262153112_Twitter_volume_spikes_analysis_and_application_ in_stock_ trading/links/ 58c41e4f45851538eb873604/Twitter-volume-spikes-alysis-alysis).

4. Phetchanchai, eds. Index financial time series based on zigzag-perceptually important points. Journal of Computer Science, 2010, no. 6 (12), pp. 1389-1395. URL: https:// thescipub.com/PDF/jcssp.2010.1389.1395.pdf (accessed 25.05.2019).

5. Phetchanchai C. Improved Particle Swarm Optimization for Fuzzy Based Stock Market Turning Points Prediction: dis. Universiti Teknologi Malaysia, 2013. 60 p. URL: http://eprints.utm.my/id/eprint/33794/5/ ChawalsakPhetchanchaiPFSKSM2013.pdf (accessed 22.05.2019).

6. Raftopoulos S. The Zigzag Trend Indicator. Technical analysis of stocks and commodities-magazine edition, 2003, vol. 21, no. 11, pp. 26-33.

7. Rakićević A., Milovanović A., Aničić R. An application of neural networks and fundamental analysis for automated trading: belgrade stock exchange case. Integration and regional position of stock markets: a case of south euntrope, 2016, pp. 626-643. URL: http:// symorg.fon.bg.ac.rs/proceedings/2016/papers/FINANCIAL% 20MANAGEMENT.pdf# page=31 (accessed 25.05.2019).

8. Siligardos G. E. Filtering Price Movement. Technical analysis of stocks and commodities-magazine edition, May 2015, pp. 13-16.

9. Talebi H., Hoang W., Gavrilova M. L. Multi-scale foreign exchange rates ensemble for classification of trends in forex market. Procedia Computer Science, 2014, vol. 29, pp. 2065-2075. URL: https://primedirection.net/docs/insight4.pdf (accessed 25.05.2019).

10. Steven B. Achelis. Technical Analysis from A to Z - ZIG ZAG by. URL: https://www.metastock.com/customer/resources/taaz/?p=127 (accessed 25.05.2019).

11. ZigZag - indikator dlya MetaTrader 4 [ZigZag - indicator for MetaTrader 4]. URL: https://www.mql5.com/en/code/7796 (accessed 25.05.2019). (In Russ.).

12. ZigZag Methods. URL: https://doc.stocksharp.com/ html/Methods_T_StockSharp_ Algo_Indicators_ZigZag.htm (accessed 25.05.2019).

13. Carlsson G., De Silva V. Zigzag persistence. Foundations of computational mathematics, 2010, vol. 10, no. 4, pp. 367-405. URL: https:// link.springer.com/content/pdf/ 10.1007/s10208-010-9066-0.pdf (accessed 25.06.2019).

14. Carlsson G., De Silva V., Morozov D. Zigzag persistent homology and real-valued functions. Proceedings of the twenty-fifth annual symposium on Computational geometry. - ACM, 2009, pp. 247-256. . URL: http://www.fodava.gatech.edu/ files/reports/FODAVA-09-32.pdf (accessed 25.05.2019).

15. Ermakov Ilya Evgenievich, Zhigunenko Nikita Aleksandrovich. Dvumernoe strukturnoe programmirovanie; klass ustremlennykh grafov (teoreticheskie izyskaniya iz opyta yazyka «Drakon») [Two-dimensional structural programming; class of aspiring graphs (theoretical research from the experience of the Dragon language)]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT Education*, 2010, no.6, pp. 452-461. URL: https:// cyberleninka.ru/article/n/dvumernoe-strukturnoe-programmirovanie-klass-ustremlyonnyh-grafov-teoreticheskie-izyskaniya-iz-opyta-yazyka-drakon (accessed: 30.05.2019) (In Russ.).

16. Indikatory na osnove ZIGZAG [Indicators based on ZIGZAG]. https:// fortrader.org/tag/zigzag-indicators/ (accessed 25.05.2019) (In Russ.).

17. Isakov A. V. Signal'naya model' dlya vnutrennego denezhnogo rynka [The signal model for the domestic money market]. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*,

2013, no.2 (30), pp. 77-92. URL: https://cyberleninka.ru/article /n/signalnaya-modeldlya-vnutrennego-denezhnogo-rynka-1 (accessed 26.05.2019). (In Russ.).

18. Klyuchnikov Maxim Vladimirovich. Tekhnologiya klasternogo analiza finansovykh pokazatelei bankov [Technology of cluster analysis of financial indicators of banks]. *Prikladnaya informatika = Applied Informatics*, 2006, no.1, pp. 41-50. URL: https:// cyberleninka.ru/ article/n/tehnologiya-klasternogo-analiza-finansovyh-pokazateley-bankov (accessed 28.05.2019). (In Russ.).

19. Kozlova Irina Aleksandrovna. Primenenie nailuchshego ravnomernogo priblizheniya k analizu fraktal'nykh modelei [Application of the best uniform approximation to the analysis of fractal models]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. = Modern high technology. Regional applicatio*, 2015, no.1 (41), pp. 54-59. URL: https:// cyberleninka.ru/article/n/primenenie-nailuchshego-ravnomernogo-priblizheniya-k-analizu-fraktalnyh-modeley (accessed 27.05.2019). (In Russ.).

20. Monastic V.S., Frolov V.V. Vizual'nyi yazyk drakon i ego primenenie [The visual language of the dragon and its application]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki = Actual problems of aviation and astronautics*, 2016, no. 12, pp. 78-79. URL: https:// cyberleninka.ru/article/n/vizualnyy-yazyk-drakon-i-ego-primenenie (accessed 30.05.2019). (In Russ.).

21. Obzor algoritmov klasterizatsii dannykh [Overview of data clustering algorithms]. URL: https:// habr.com/en/post/101338/ (accessed 25.06.2019). (In Russ.).

22. Polosukhin I.D. Dinamicheskaya klasterizatsiya vremennykh ryadov s ispol'zovaniem agregirovannykh pokazatelei [Dynamic clustering of time series using aggregated indicators]. *Vestnik NTU ”KhPI”, Khar'kovskii Politekhnicheskii Institut = Bulletin of NTU” KhPI”*, Kharkov Polytechnic Institute, 2011. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/ bitstream/KhPI-Press/14848/1/ vestnik_HPI_2011_35_ Polosukhin_Dinamicheskaya.pdf (accessed 25.05.2019). (In Russ.).

23. Prakticheskoe rukovodstvo. Dostup k ob"ektam vzaimodeistviya Office s pomoshch'yu vozmozhnostei Visual C# (Rukovodstvo po programmirovaniyu na C#) [Practical guidance. Access Office Objects Using Visual C # Features (C # Programming Guide)]. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/ csharp/ programming-guide/interop/how-to-access-office-onterop-objects (accessed 25.05.2019). (In Russ.).

24. Ulyanov M.V. Resursno-effektivnye komp'yuternye algoritmy. Razrabotka i analiz [Resource-efficient computer algorithms. Development and analysis]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 303 p. (In Russ.).

25. Schwager D. Tekhnicheskii analiz [Technical analysis]; ed. by A. Dziura; trans. A. Kunitsyn, B. Zuev. Moscow, Alpina Publisher, 2017. 803 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Малышев Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой программной инженерии, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alta76@yandex.ru

Alexander V. Malyshev, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Software Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alta76@yandex.ru

Коровяковский Илья Владимирович, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kiv-lucky@yandex.ru

Ilya V. Korovyakovsky, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: e-mail: kiv-lucky@yandex.ru

Аллаберенов Нуры, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: allaberenov.nury@gmail.com

Nury Allaberenov, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: allaberenov.nury@gmail.com

Алексеев Владислав Андреевич, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vladislaw.al2015@yandex.ru

Vladislav A. Alekseev, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vladislaw.al2015@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.93.12

Разработка прототипа информационно-аналитической системы исследования и развития когнитивных способностей лиц с инвалидностью

Т.В. Истомина [1] ✉, Е.В. Петрунина [1], А.Е. Никольский [1], И.А. Томакова [2]

[1] ФГБОУ ВО «Московский государственный гуманитарно-экономический университет»
ул. Лосиноостровская, 49, г. Москва, 107150, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: istom@mail.ru

Резюме

Цель исследования. *Данная работа посвящена вопросам разработки методов и средств интеллектуальной обработки медицинской информации. Одними из главных причин внезапной смертности и инвалидизации являются последствия нервных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также нарушения опорно-двигательного аппарата. Приведенная статистика заболеваемости студентов с нарушением опорно-двигательного аппарата в ФГБОУИ ВО МГГЭУ подтверждает необходимость создания эффективных методов и средств корректировки работы нервной, сердечно-сосудистой и опорно-двигательной системы студентов с инвалидностью и развития когнитивных способностей обучающихся с НОДА. Цель работы заключается в разработке прототипа информационно-аналитической системы для эффективного представления и интеллектуального анализа больших неструктурированных биомедицинских данных, в частности, для решения задач диагностики, оценки влияния заболеваний на обучение и развития когнитивных способностей лиц с инвалидностью.*

Методы. *В ходе исследования был проведен анализ современного состояния научных разработок и существующего программного обеспечения в сфере изучения медицинской информации. Практика использования таких разработок подтверждает необходимость создания научного подхода к комплексированию современных методов, моделей и технологий сбора, формирования больших баз данных для превентивной и персонализированной медицины. На базе этих принципов разрабатывается информационно-аналитическая система (ИАС) для извлечения знаний из больших неструктурированных информационных массивов гетерогенных данных, их эффективной обработки и динамической визуализации, математического моделирования с применением когнитивных нейронечетких методов поддержки принятия решений врача.*

Результаты*. В данной работе предлагается онтологический подход к описанию инклюзии, приводится обобщенная многоагентная структура информационно-аналитической системы. На данном этапе исследований коллективом разработан прототип ИАС исследования возможностей корректировки работы нервной, сердечно-сосудистой и опорно-двигательной системы студентов с инвалидностью и развития когнитивных способностей обучающихся с НОДА с применением БОС-тренингов по параметрам электроэнцефалограммы, электромиограммы, частоты сердечного ритма, стабилограммы.*

Заключение. *Практические результаты заключаются в разработке базы данных и веб-приложения, которые используются в образовательном процессе студентов с НОДА.*

© Истомина Т.В., Петрунина Е.В., Никольский А.Е., Томакова И.А., 2019

***Ключевые слова**: информационно-аналитическая среда; лица с ограниченными возможностями здоровья; биомедицинские данные; веб-приложение.*

***Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Разработка прототипа информационно-аналитической системы исследования и развития когнитивных способностей лиц с инвалидностью / Т.В. Истомина, Е.В. Петрунина, А.Е. Никольский, И.А. Томакова // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.* 2019. Т. 9, № 3. С. 28–43.

Статья поступила в редакцию 27.05.2019

Статья подписана в печать 27.06.2019

Статья опубликована 22.08.2019

A Prototype of Intelligent Systemfor Development of Cognitive Abilities for Disabled Persons

Tatiana V. Istomina [1] ✉, Elena V. Petrunina [1], Anatoly E. Nikolskiy [1], Irina A. Tomakova [2]

[1] Moscow State Humanities and Economic University
Losinoostrovskaya str., 49, Moscow 107150, Russian Federation

[2] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: istom@mail.ru

Abstract

***Purpose of research**. The focus of this study is to outline a new AI technique and implement an intelligent precision system for analyzing heterogeneous integrated biomedical data. Ischemic heart disease in Russia remains a major cause of health lost globally, as well as in each world region, followed by stroke. Cardiovascular diseases and disorders of the musculoskeletal system are a major barrier to sustainable human development.*

***Methods.** The statistics of morbidity in students with disorders of the musculoskeletal system at the MGGEU confirms the need to create effective methods and technique of adjusting the nervous, cardiovascular and musculoskeletal systems of students and developing the cognitive abilities of students with disorders of the musculoskeletal system.*

***Results.** Despite the fast development of computing technology, the Data Mining methods utilization in CV medicine is still in infancy. This burden can be reduced by introducing effective scientific approaches and developing computer decision-making support systems that realize the creative professional capabilities of an interdisciplinary team of specialists in the fields of medicine, big data and computer technology.To date, domestic and foreign mathematical methods for modeling processes of nerve and cardiovascular disorders, which lead to one or another associated diseases represents various techniques for adequately reproducing numerous data.*

***Conclusion.** In fact, experimental and clinical data dynamics are complex and heterogeneous in nature, as they are caused by multiple genetic and behavioral factors. So, many more advancements and developments in Data Mining need to be made to predict outcomes accurately and effectively.*

The focus of this research is to create a prototype information system for the intelligent analysis of heterogeneous biomedical data, in particular, to solve diagnostic problems, assess the impact of diseases on learning and develop the cognitive abilities of persons with disabilities. We propose a new approach to creation information system to meet the two requirements simultaneously: the efficiency of cognitive process and compliance with the requirements of rehabilitation. The generalized multi-agent structure of the information-analytical system is presented. The practical results consist in developing a prototype information system.

Keywords*: information analytical system; persons with disabilities; biomedical data; web application.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Istomina T.V., Petrunina E.V., Nikolskiy A.E., Tomakova I.A. A Prototype of Intelligent Systemfor Development of Cognitive Abilities for Disabled Persons. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering,* 2019, 9(3): 28–43 (In Russ.).

Received 27.05.2019

Accepted 27.06.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

В современном мире одной из главных причин внезапной смертности и инвалидизации являются последствия нервных и сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), а также нарушения опорно-двигательного аппарата (НОДА). Этим объяснятся актуальность решения фундаментальной проблемы повышения эффективности диагностики и профилактики рисков развития этих заболеваний, особенно у лиц с различными функциональными нарушениями. Такие задачи относятся к классу интеллектуальных и интенсивно решаются отечественными и зарубежными учеными, но исследования далеки от завершения и практической реализации результатов. Сложность решения этой проблемы связана с необходимостью анализа больших неструктурированных данных, требующего применения современных интеллектуальных методов, семантического анализа больших данных, математического моделирования и модульно-графического программирования.

Поэтому необходима разработка научного подхода к комплексированию современных методов, моделей и технологий сбора, формирования больших баз данных для превентивной и персонализированной медицины с целью извлечения знаний из больших неструктурированных информационных массивов гетерогенных данных, их эффективной обработки и динамической визуализации, математического моделирования с применением когнитивных нейронечетких методов поддержки принятия решений врача.

Целью исследований является создание прототипа информационно-аналитической системы (ИАС) для эффективного представления и интеллектуального анализа больших неструктурированных биомедицинских данных, в частности, для решения задач диагностики, оценки влияния заболеваний на обучение и развития когнитивных способностей лиц с инвалидностью.

Анализ современного состояния предметной области и постановка задачи

В настоящее время в мире активно разрабатываются системы анализа различных биомедицинских данных (БМД). Системы интеллектуальной обработки БМД имеют следующие направления применения: диагностика, прогнозирование, мониторинг, исследование когнитивных способностей.

Анализ трудов многочисленных междисциплинарных научно-практических мероприятий Минздрава РФ [3] позволяет представить современное состояние исследований в области поддержки принятия решений в задачах интеллектуальной обработки БМД и выделить, с одной стороны, наличие развития фундаментальных исследований в области сенсорно-перцептивных систем, профилактики и реабилитации, а с другой – активное утверждение кибернетических, когнитивных, конвергентных подходов к нейрореабилитации, профилактике и прогнозированию заболеваний нервной, опорно-двигательной и сердечно-сосудистой системы.

В материалах конференций «Нейрореабилитация 2015 – 2018» [5] рассмотрено современное состояние и развитие отечественной нейрофизиологии и психологии, представлены различные тенденции в построении общих моделей полисенсорной деятельности, связанные с сопоставлением сенсорных систем человека по их различным характеристикам. Методы интеллектуального анализа медицинских данных, кластеризации и классификации и их применения на практике описаны в работе [2]. Авторы предлагают собственную архитектуру системы комплексного интеллектуального анализа медицинских данных, которая позволит взаимодействовать с большим количеством структурированных и неструктурированных данных, включая клинические тексты на естественном языке, и выполнять анализ больших медицинских данных различными методами. Разработанная программная платформа для создания комплексной системы, включающей подсистему анализа медицинских текстов на русском языке, позволяет поддерживать масштабирование и расширение при помощи внешних модулей.

Американские ученые проводят анализ преимуществ и недостатков применения методов BigData в медицине для автоматизации прогнозирования в целях снижения предполагаемого риска от ССЗ [12]. В 2013 году амери-

канской Ассоциацией кардиологов было проведено исследование, в котором приняли участие 25 682 пациента из 11 стран мира, в результате которого была подтверждена адекватность аналитических оценок атеросклеротических ССЗ с использованием методов ИИ. Авторы приходят к выводу, что алгоритмы глубокого обучения облегчат использование ИИ в оценке медицинских данных в реальном времени, повысят точность прогнозов, улучшат пространственные и временные характеристики. Кроме того, внедрение глубокого обучения с неконтролируемыми функциями для анализа больших данных имеет большой потенциал для выявления новых генотипов и фенотипов при гетерогенных ССЗ. Авторы считают, что медицинские платформы повысят точность постановки диагнозов, в будущем когнитивные компьютеры станут стандартами аналитики здравоохранения в медицинских учреждениях в процессе принятия решений и прогнозировании результатов лечения, а машинное глубокое обучение и когнитивные вычисления являются многообещающими и смогут потенциально изменить медицинский процесс лечения.

Доступные в настоящее время методы визуализации сердца имеют возможность генерировать огромное количество структурных и функциональных данных [13]. Однако из-за неспособности клинициста полностью ассимилировать и интерпретировать такие большие и сложные наборы данных, только часть доступной потенциально полезной информации полностью используется для диагностики и принятия клинических решений. Потенциальным решением этой проблемы является разработка компьютерных когнитивных инструментов для автоматизированного анализа больших функциональных наборов данных. Сравнение различных подходов показало, что алгоритмический подход с машинным обучением для когнитивных вычислений, используемый для прогнозирования на основе матриц с отслеживанием наборов, имеет повышенную точность классификации.

Анализ современных платформ анализа медицинских данных позволяет прийти к выводу, что многие технологические компании, такие как IBM, Apple и Google, в значительной степени инвестируют в аналитику здравоохранения. Например, система HealthInformationTextExtraction [15] — для обработки медицинских тестов, разработана группой исследователей в рамках масштабного проекта InformaticsforIntegratingBiology&theBedside [15]. Система представляет набор модулей с открытым исходным кодом, которые ориентированы на обработку клинических данных. Гибкая архитектура системы, основанная на онтологиях, а также разработанные подключаемые модули и интерфейсы позволяют на ее основе конструировать различные приложения в зависимости от целей исследований

на основе платформы для клинических исследований i2b2 и программного обеспечения tranSMART.

Одной из наиболее перспективных и быстроразвивающихся платформ анализа медицинских и биомедицинских текстов является система ApachecTAKES [14]. Это модульная система с открытым исходным кодом, предназначенная для обработки медицинских данных на естественном языке. Она позволяет создать основы для систем извлечения информации из клинических текстов и предоставляет собой набор программных модулей, которые используют правила и модели машинного обучения. В работе [17] предложен алгоритм для обнаружения инфаркта миокарда, который работает непосредственно на данных ЭКГ. Авторы обучают ансамбль полностью сверточных нейронных сетей на наборе ЭКГ из базы данных TechnischeBundesanstalt. Данный подход позволил достичь чувствительности 93,3% и специфичности 89,7%, что оценивалось с помощью десятикратной перекрестной проверки на контрольных выборках. В работе [16] описано применение в кардиологии нового метода когнитивного машинного обучения.

В целом анализ современного состояния исследований в данной предметной области показал актуальность создания на основе применения современных когнитивных и конвергентных подходов к обработке БМД интеллектуальной ИАС, позволяющей структурировать разнородные большие данные, а также формирования индивидуализированных методик профилактики заболеваний, в частности, для решения задач снижения их влияния на лиц с инвалидностью в процессе обучения и развития когнитивных способностей.

Ранняя комплексная профилактика заболеваний нервных и ССЗ включает сочетание методов двигательной, когнитивной, дыхательной и эмоционально-личностной коррекции, совместно воздействующих на формирование каждой функции и формирование целостной функциональной системы. Таким образом, необходима разработка профилактических методик, индивидуально адаптированных для особенностей лиц с различными нозологиями.

Для решения задачи диагностики и исследования влияния нервных, опорно-двигательных и ССЗ, построения рекомендаций по их профилактике разрабатываются дополнительные средства DataMining, ориентированные на создание интеллектуальной информационно-аналитической среды, обеспечивающие индивидуальный подход к обследуемому и повышающие эффективность информативности визуального представления и анализа данных.

Материалы и методы

Для решения задач рассматриваемого класса целесообразно использовать следующие подходы:

• классические вероятностно-статистические методы;

• теорию игр и теорию нечетких и вероятностных множеств;

• теорию искусственных нейронных сетей и экспертных оценок;

• семантические и когнитивные технологии.

Наиболее эффективными для выполнения исследований являются: теория нечетких множеств, теория искусственных нейронных сетей и экспертных оценок, а также семантические и когнитивные технологии.

Задача инклюзивного процесса состоит в обеспечении взаимодействия T биообъекта A с системой B в едином контуре управления с общей целевой функцией эффективности P:

$$A(x_1, x_2, \dots, x_n) \to T \to$$
$$B(y_1, y_2, \dots, y_n) \to P, \qquad (1)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$– значения параметров биологического объекта A,

$y_1, y_2, \dots, y_n$ – значения параметров влияющих воздействий B на A.

В качестве биологического звена инклюзивного процесса целесообразно рассмотреть обучающегося с ограниченными возможностями здоровья определенных нозологий. Сюда следует включить лиц с НОДА, нервными и ССЗ, когнитивными нарушениями, а также с проблемами со зрением, слухом и речевыми дисфункциями. В качестве технического звена рассматриваемой биотехнической системы могут быть представлены различные средства временного, частичного или полного восстановления утраченных функций.

Оператор T определён на множестве $G(g_1, g_2, \dots, xg_n)$, где g_i – комплекс операций, к которым относятся: исследовательские, медицинские, технические, вещественные, информационные, образовательные, экономические, юридические, психологические меры, направленные на восстановление или компенсацию нарушенных функций организма и трудоспособности и определяющих в целом диагностику, коррекцию, адаптацию, развитие когнитивных способностей и реабилитацию функций людей с нозологиями.

Оператор T устанавливает взаимосвязи между объектами A и B путем преобразования значений параметров биообъекта $A(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в значения, не противоречащие параметрам объекта $B(y_1, y_2, \dots, y_n)$, результат оценивается целевой функцией эффективности P.

Для представления инклюзивного процесса необходимо построение онтологической модели предметной области как информационной системы для сопровождения процесса инклюзии [7], т.е. создать информационную структуру, описывающую значения элементов инклюзивного процесса в виде понятий, правил и утверждений об этих понятиях, с помощью которых удобно формировать и описывать отношения, классы, а также функции инклюзии.

Формально онтология инклюзии определяется как

$O = <I,R,F>$, (2)

где $I(XY)$ – конечное множество понятий (концептов) предметной области инклюзии;

R – конечное множество отношений между понятиями;

F – конечное множество функций интерпретации, заданных на инклюзивных процессах и отношениях.

Предлагается онтологическая модель системы в виде

$MO=<V,K,W>$, (3)

где V – онтология верхнего уровня, которая включает общие понятия и отношения;

K – множество предметных онтологий с учетом конкретных задач и требований пользователя;

W– множество правил вывода онтологической модели системы.

В процессе онтологического моделирования проводится выявление закономерностей и повышение эффективности информационных потоков разрабатываемой системы. Разработка моделей производится в соответствии с основными целями интеллектуальной системы, а именно для решения задачи планирования учебного процесса студентов с нозологическими особенностями, выбор ассистирующего оборудования в ходе образовательного процесса, построение системы промежуточного контроля, выбор индивидуальных траекторий обучения [9]. Информационная система образовательного процесса рассматривается как сложная динамическая система, которая должна дать полное описание процесса формирования знаний и навыков с учетом аспектов, обусловленных нозологическими особенностями студентов.

В ходе исследований формируется гетерогенная структура данных:

• многомерные данные для получения медицинской аналитики;

• медицинские аналитические данные, которые могут появиться в результате клинической аналитики;

• среднестатистические данные о нормах и патологиях;

• данные инфраструктуры – аналитика, алгоритмы, реестры, оценочные баллы, средства мониторинга.

Предложено применение интеллектуальных прогностических методов и интеграции разнородных информационных ресурсов по результатам функциональной диагностики [4,6].

Разрабатываемая ИАС реализуется в рамках концепции интегрированного информационного пространства, которое характеризуется применением различных микросервисных архитектур [11], которые позволят производить динамический обмен контентом.

Необходимо решить следующие задачи:

• обеспечить однородное онтологическое представление знаний;

• организовать распределение совместных ресурсов и управление ими.

Для решения рассмотренных задач предложен многоагентный подход к разработке прототипа ИАС. На основе онтологического описания создана обобщенная многоагентная структура ИАС, представленная на рисунке 1.

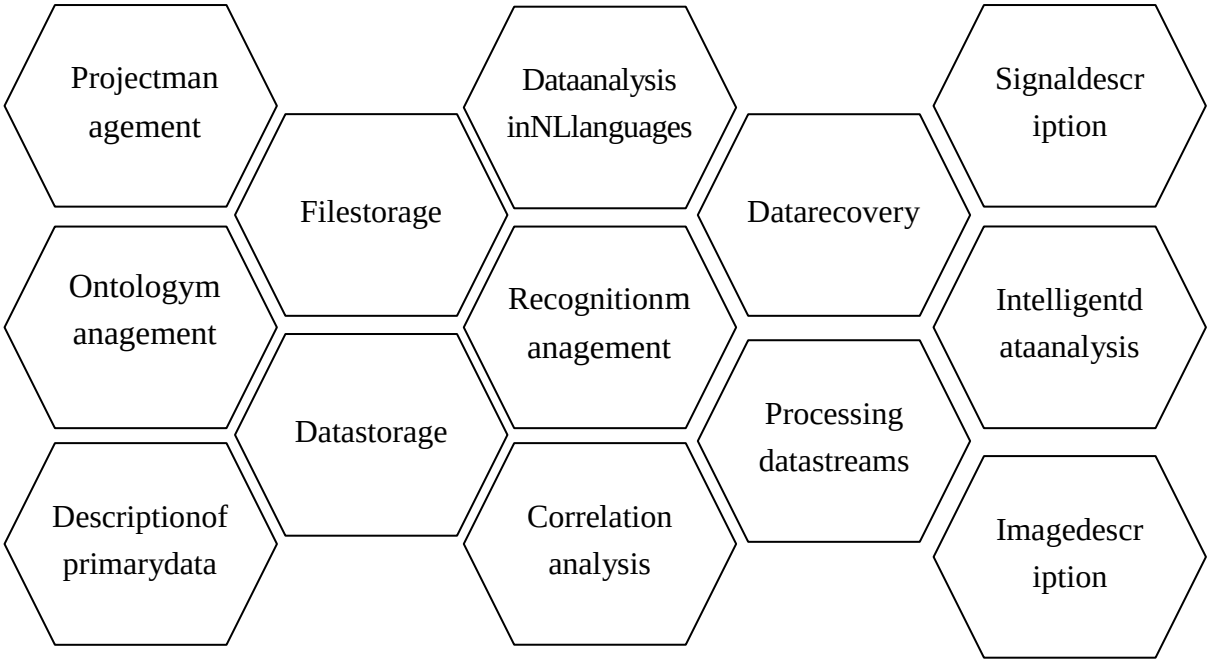


Рис. 1. Структура обобщенной многоагентной информационно-аналитической системы

Fig.1. Generalized multiagent structure of information analytical system

В работе используются методы визуально-ориентированного и объектно-ориентированного проектирования программного обеспечения и проектирования баз данных, а предложенная архитектура положена в основу разрабатываемой системы комплексного интеллектуального анализа БМД в ИАС.

Данные проводимых ежегодно медицинских обследований студентов с НОДА подтверждают наличие у них различных психосоматических заболеваний, особенно у студентов с ДЦП. Образовательный процесс студентов с НОДА характеризуется рядом особенностей. Проведенные в последние годы обследования [10] подтверждают наличие большого количества соматических расстройств у лиц с поражением опорно-двигательного аппарата (47%), в подавляющем большинстве случаев (43%) студенты страдают заболеваниями органов пищеварительной системы и мочеполовой системы в равных пропорциях. Среди неврологических диагнозов на первом месте стоят вегето-сосудистые дистонии (у 33%) и церебрастенический синдром (у 5%).

На рисунке 2 приведены данные по студентам с инвалидностью в инклюзивном университете МГГЭУ. Представленная статистика за 2017-2018 годы подтверждает наличие у поступивших студентов различных заболеваний.

Количество студентов с инвалидностью составляет 56% от общего числа поступивших, причем, несмотря на преобладание студентов с заболеваниями нервной системы (28%), в университете обучаются студенты с различными нозологиями. Таким образом, образовательный процесс студентов с инвалидностью выдвигает особенные требования к разработке мероприятий, направленных на повышение эффективности обучения лиц с инвалидностью и на адаптацию образовательного процесса для различных категорий студентов.

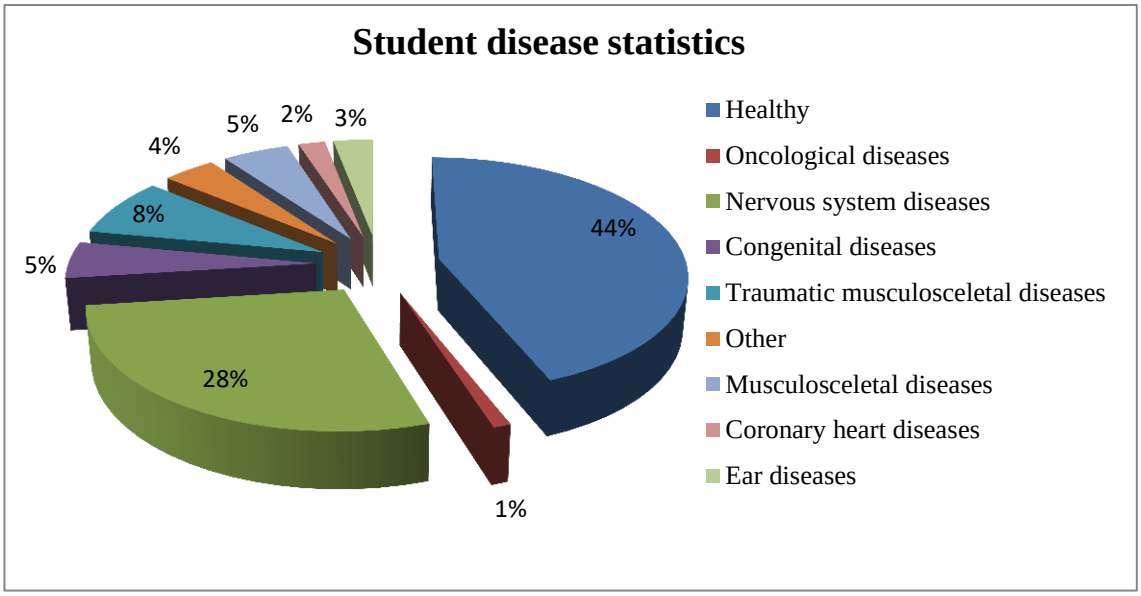


Рис. 2. Структура распределения студентов с различными нозологиями

Fig. 2. The structure of the distribution of students in nosoogy

Одним из эффективных методов решения этой проблемы является развитие когнитивных навыков у лиц с инвалидностью. Несмотря на развитие современных инструментов, биологически обратной связи для проведения тренингов, их применение в качестве средства повышения качества образовательного процесса имеет существенные особенности.

Результаты и их обсуждение

На данном этапе исследований коллективом разработан прототип ИАС исследования возможностей корректировки работы нервной, сердечно-сосудистой и опорно-двигательной системы студентов с инвалидностью и развития когнитивных способностей обучающихся с НОДА с применением БОС-тренингов по параметрам электроэнцефалограммы, электромиограммы, частоты сердечного ритма, стабилограммы на основе комплекса отечественного оборудования «Колибри» и «ST-150». В настоящее время создано web-приложение для хранения и обработки неструктурированных БМД и разноуровневого доступа

к ним, реализованы следующие возможности: единая база для хранения данных о студентах и обследованиях, удобный интерфейс для работы с БД, разделение прав доступа, удобство добавления, редактирования и удаления данных, быстрый поиск по произвольным полям данных, удобная регистрация и авторизация пользователей.

Для хранения данных ИАС использована СУБД MicrosoftSQL благодаря ее высокой производительности, простоте, надежности и безопасности. На рисунке 3 показана структура базы данных, спроектированная в ходе работы. В процессе разработки web-приложения реализован инструмент поиска содержимого формы, разработаны формы редактирования, добавления, удаления и просмотра элементов баз данных.

Для обеспечения безопасности в ИАС реализована система авторизации и аутентификации, обеспечивающая доступ к данным только для зарегистрированных и авторизованных пользователей, имеется компонент разграничения доступа по ролям (рис. 4).

Полученные в ходе исследований данные служат основой для создания статистической базы.

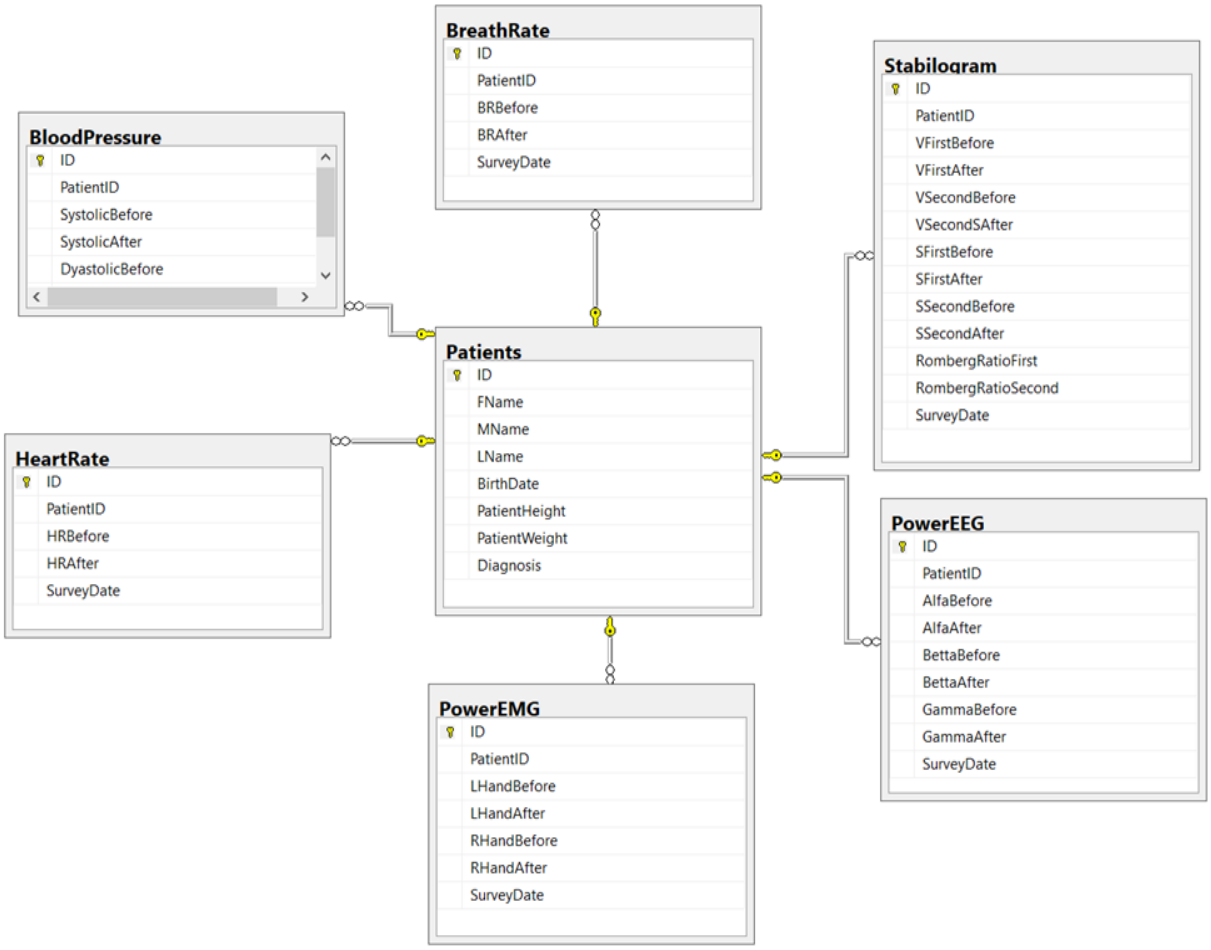


Рис.3. Структура базы данных

Fig. 3. DB structure

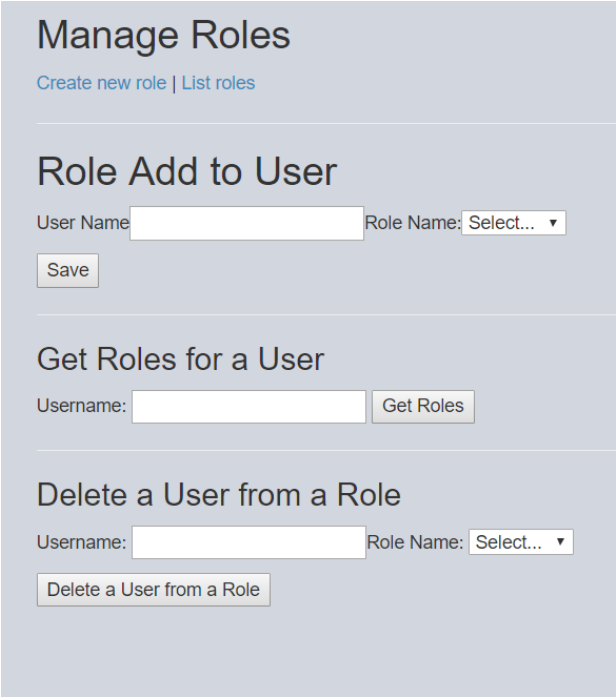


Рис. 4. Форма «Авторизация Пользователя»

Fig. 4. Form "User Authorization"

В ходе дальнейших исследований предполагается осуществление обоснованного выбора наиболее эффективных методик, которые в будущем будут использованы в образовательном процессе для повышения когнитивных способностей студентов с инвалидностью.

Выводы

Таким образом, работа коллектива направлена на решение актуальной проблемы создания интеллектуальной ИАС обработки и хранения БМД, повышающей эффективность анализа разнородных интегрированных данных с использованием онтологического подхода, основанного на применении когнитивных нейронечетких алгоритмов и позволяющего проводить динамическую визуализацию больших неструктурированных данных.

В результате исследований на базе МГГЭУ для обучающихся с различными нозологиями будут разработаны и апробированы методики выявления влияния на обучение и профилактики нервных, опорно-двигательных и ССЗ, а также развития когнитивных способностей с целью повышения познавательных функций студентов с инвалидностью, что должно положительно отразиться на образовательном процессе в целом.

Список литературы

1. Байрамов Э.В. Разработка и применение информационной интеллектуальной системы в единой образовательной среде университета при обучении студентов с инвалидностью // Человек. Общество. Инклюзия. 2018. №3 (36). С.143-146.

2. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С. Методы и средства комплексного интеллектуального анализа медицинских данных // Труды ИАС РАН. 2015. Т.65, №2. С.81-93.

3. Департамент здравоохранения г. Москвы. URL: https//mossgorzdrav.ru (дата обращения: 12.04.2019).

4. Ефремов М.А., Петрунина Е.В., Мяснянкин М.Б. Интеллектуальные агенты для исследования адаптационного потенциала обучающихся с нозологическими особенно-

стями // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, №1 (30). С. 119-133.

5. Избранные вопросы нейрореабилитации: материалы VII международного конгресса «Нейрореабилитация – 2015» (Москва, 9–10 июня 2015 г.). М., 2015. 418 с.

6. Слабые классификаторы с виртуальными потоками в интеллектуальных системах прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений / А.В. Киселев, М.В. Томаков, Е.В. Петрунина, Д.С. Забанов, З.У. Зейдан // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, №1 (30). С. 6-20.

7. Никольский А.Е. Онтологическая модель инклюзии // Естественные и технические науки. 2017. №5 (107). URL: https://elibrary.ru/ item.asp?id=29423203 (дата обращения: 15.04.2019).

8. Никольский А.Е., Петрунина Е.В. Онтологическая модель технологии формирования профессиональных знаний и умений лиц, имеющих нозологические особенности // Интеллектуальные технологии и средства реабилитации и абилитации людей с ограниченными возможностями (ИТСР-2018): труды III международной конференции (Москва, 29-30 ноября 2018 года). М.: МГГЭУ, 2018. С.13-20.

9. Рыбина Г.В. Интеллектуальная технология построения обучающих интегрированных экспертных систем: новые возможности // Открытое образование. 2017. Т.21, №4. С. 44-57.

10. Лечебная педагогика / Л.А. Саркисян, Т.Х. Латышева, Э.К. Белозеров, Н.А. Государев, Н.А. Корягин, Е.Е. Олесов, В.В. Чураков. М., 2000. 152 с.

11. ASP. NETMVC 4: разработка реальных веб-приложений с помощью ASP. NET MVC (Programming ASP.NET MVC 4: Developing Real-World Web Applications with ASP.NET MVC) / Дж. Чедвик [и др.]; пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. 432 с.

12. Artificial Intelligence in Precision Cardiovascular Medicine journal of the american college of cardiology. 2017. Vol. 69, № 21.

13. Cognitive machine-learning algorithm for cardiac imaging: pilot study for differentiating constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy // Journal circcardiovasc. 2016. URL: http://circimaging.ahajournals.org. (дата обращения: 25.04.2019).

14. Ctakes. URL: http://ctakes.apache.org/index.html. (дата обращения: 17.04.2019).

15. IB2B. URL: https://www.i2b2.org/software/projects/hitex/. (дата обращения: 15.03.2019).

16. IEEE, Region 10, Humanitarian Technology, 2017. URL: https:// arxiv.org/ pdf/1710.01115.pdf (дата обращения: 15.04.2019).

17. Physiological Measurement. 2019. Vol. 40, № 1. URL: https:// arxiv.org/ pdf/ 1806.07385.pdf. (дата обращения: 24.03.2019).

References

1. Bayramov E. V. Razrabotka i primenenie informatsionnoi intellektual'noi sistemy v edinoi obrazovatel'noi srede universiteta pri obuchenii studentov s invalidnost'yu [Development and application of information intellectual system in the unified educational environment of the University in teaching students with disabilities]. *Chelovek. Obshchestvo. Inklyuziya = Man. Society. Inclusion*, 2018, no. 3 (36), pp. 143-146 (In Russ.).

2. Baranov A. A., Namazova-Baranova L. S., eds. Metody i sredstva kompleksnogo intellektual'nogo analiza meditsinskikh dannykh [Methods and means of complex intellectual analysis of medical data]. *Trudy IAS RAN = Proceedings of IAS RAS*, 2015, vol. 65, no.2, pp. 81-93 (In Russ.).

3. Departament zdravookhraneniya g. Moskvy [Department of health of Moscow]. URL: https:// mossgorzdrav. ru. (accessed 12.04.2019) (In Russ.).

4. Efremov M. A., Petrunina E. V., Myasnyankin M. B., Miroshnikov A.V. Intellektual'nye agenty dlya issledovaniya adaptatsionnogo potentsiala obuchayushchikhsya s nozologicheskimi osobennostyami [Intellectual agents for the study of adaptive potential of students with nosological features]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 119-133 (In Russ.).

5. Izbrannye voprosy neiroreabilitatsii. *Materialy VII mezhdunarodnogo kongressa «Neiroreabilitatsiya – 2015»* [Selected issues of neurorehabilitation: proceedings of the VII international Congress " Neurorehabilitation-2015 "] (Moscow, June 9-10, 2015). Moscow, 2015. 418 p. (In Russ.).

6. Kiselev A.V., Tomakov M. V., Petrunina E. V., Zabanov D. S., Zeidan Z. U. Slabye klassifikatory s virtual'nymi potokami v intellektual'nykh sistemakh prognozirovaniya serdechno-sosudistykh oslozhnenii [Weak classifiers with virtual flows in intelligent systems for predicting cardiovascular complications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing en-*

gineering, Information science. instruments engineering, 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 6-20 (In Russ.).

7. Nikolsky A. E. Ontologicheskaya model' inklyuzii [Ontological model of inclusion]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and technical Sciences*, 2017, no. 5 (107). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29423203. (accessed 15.04.2019) (In Russ.).

8. Nikolsky A. E., Petrunina E. V. Ontologicheskaya model' tekhnologii formirovaniya professional'nykh znanii i umenii lits, imeyushchikh nozologicheskie osobennosti [Ontological model of technology of formation of professional knowledge and skills of the persons having nosological features]. *Intellektual'nye tekhnologii i sredstva reabilitatsii i abilitatsii lyudei s ogranichennymi vozmozhnostyami (ITSR-2018). Trudy III mezhdunarodnoi konferentsii Moskva = Intellectual technologies and means of rehabilitation and habilitation of people with disabilities (ITSR-2018): proceedings of the III international conference (Moscow*, 29-30 November, 2018). Moscow, 2018, pp. 13-20 (In Russ.).

9. Rybina G. V. Intellektual'naya tekhnologiya postroeniya obuchayushchikh integrirovannykh ekspertnykh sistem: novye vozmozhnosti [Intelligent technology for building integrated training expert systems: new opportunities]. *Otkrytoe obrazovanie = Open education*, 2017, vol. 21,no. 4, pp. 44-57 (In Russ.).

10. Sarkisyan L. A., Latysheva T. H., Belozerov E. K., Gosudarev N. A., Koryagin N. A., Olesov E. E., Churakov V. V. *Lechebnaya pedagogika* [Medical pedagogy]. Moscow, 2000. 152 p. (In Russ.).

11. Chadwick John, eds. ASP. NETMVC 4: razrabotka real'nykh veb-prilozhenii s pomoshch'yu ASP. NET MVC (Programming ASP.NET MVC 4: Developing Real-World Web Applications with ASP.NET MVC) [ASP. NETMVC 4: developing real-world web applications with ASP. NET MVC (Programming ASP.NET MVC 4: Developing Real-World Web Applications with ASP.NET MVC)]. Moscow, OOO «I.D. Vil'yams» Publ., 2013. 432 p.

12. Artificial Intelligence in Cardiovascular Precision Medicine journal of the american college of cardiology, 2017, vol. 69, no. 21.

13. Cognitive machine-learning algorithm for cardiac imaging: pilot study for differentiating constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy. Journal circcardiovasc, 2016. URL: http://circimaging.ahajournals.org. (accessed 25.04.2019).

14. Ctakes. URL: http://ctakes.apache.org/index.html. (accessed 17.04.2019).

15. IB2B. URL: https://www.i2b2.org/software/projects/hitex/. (accessed 15.03.2019).

16. IEEE, Region 10, Humanitarian Technology, 2017. URL: https:// arxiv.org/ pdf/1710.01115.pdf. (accessed 15.04.2019).

17. Physiological Measurement, 2019, vol.40, no.1. URL: https:// arxiv.org/ pdf/1806.07385.pdf. (accessed 24.03.2019).

Информация об авторах / Information about the Authors

Истомина Татьяна Викторовна, доктор технических наук, профессор, Московский государственный гуманитарно-экономический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: istom@mail.ru

Петрунина Елена Валерьевна, кандидат технических наук, Московский государственный гуманитарно-экономический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: petrunina@ mggeu.ru)

Никольский Анатолий Евгеньевич кандидат технических наук, Московский государственный гуманитарно-экономический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail:nikae1936@yandex.ru)

Томакова Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tomakova@mail.ru

Tatiana V. Istomina, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Moscow State University of Humanities and Economics, Moscow, Russian Federation, e-mail: istom@mail.ru

Elena V. Petrunina, Cand. of Sci. (Engineering), Moscow State University of Humanities and Economics, Moscow, Russian Federation, e-mail: petrunina@ mggeu.ru

Anatoly E. Nikolsky, Cand. of Sci. (Engineering), Moscow State University of Humanities and Economics, Moscow, Russian Federation, e-mail: nikae1936@yandex.ru

Irina A. Tomakova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: tomakova@mail.ru)

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.032.26; 615.4

Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений

С.А. Филист [1] ✉, А.Р. Дабагов [2], Р.А.Томакова [1], И.А. Малютина [1], Д.С. Кондрашов [1]

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[2] АО «Медицинские технологии Лтд»
ул. Ибрагимова, 31, г. Москва, 105318, Российская Федерация

✉ e-mail: SFilist@mail.ru

Резюме

Цель исследования *заключается в разработке метода предварительной обработки изображений, предназначенного для повышения качества сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений.*

Методы. *Применение локальной обработки с помощью многослойного морфологического оператора к исходному полутоновому изображению дает возможность сформировать множество изображений. Затем полученное множество изображений подвергается операции фильтрации по направлению, в результате выходное изображение получают из фильтрованных изображений. Метод отличается тем, что применяемый составной морфологический оператор образуют использованием линейных структурообразующих элементов с различными параметрами ориентации относительно растра изображения. При этом каждое фильтрованное изображение получают посредством взаимодействия линейного структурообразующего элемента составного морфологического оператора с исходным изображением. Яркости пикселей в фильтрованном изображении формируют посредством выполнения трех морфологических операций взаимодействия с линейным структурообразующим элементом, применяемых для каждого пикселя исходного изображения. Первая морфологическая операция инвертирует нули в единицы, вторая инвертирует единицы в нули, а третья сравнивает кратности инвертирования и устанавливает окончательное значение пикселя обработанного изображения. Использование такой обработки позволяет модифицировать яркость пикселей исходного изображения. При этом многослойный морфологический оператор, в зависимости от его формирования, дает возможность обеспечить увеличение яркости пикселей, лежащих на границе сегментов, а также увеличить показатели однородности семантически однородных сегментов.*

Результаты. *На основе разработанных морфологических операторов рассмотрены задачи деформации границ полутоновых сложноструктурируемых изображений. Показано, что использование многослойных*

© Филист С.А., Дабагов А.Р., Томакова Р.А., Малютина И.А., Кондрашов Д.С., 2019

морфологических операторов для обработки сложноструктурируемых изображений позволяет сократить размер пограничных зон между сегментами, что повышает точность сегментации сложноструктурируемых изображений, а также построить алгоритмы семантической сегментации полутоновых растровых изображений на основе многослойных морфологических операторов.

Заключение. *Метод предварительной обработки заключается в том, что при использовании многослойного морфологического оператора нет необходимости в учете априорной информации о морфологии выделяемого сегмента, так как многослойный морфологический оператор моделирует работу клеток в нейронной структуре коры головного мозга человека.*

Ключевые слова: *сегментация; морфологические операции; многослойные изображения; морфологическая фильтрация изображений; классификатор.*

Конфликт интересов*: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений / С.А. Филист, А.Р. Дабагов, Р.А. Томакова, И.А. Малютина, Д.С. Кондрашов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 44–63.

Статья поступила в редакцию 17.06.2019

Статья подписана в печать 22.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Multilayer Morphological Operators for Segmenting Hardly Structured Halftone Bitmaps

Sergey A. Filist [1] ✉, Anatoly R. Dabagov [2], Rimma A. Tomakova [1], Irina A. Malyutina [1],Dmitry S. Kondrashov [1]

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

[2] JSC Medical Technologies Ltd
Ibragimova str. 31, Moscow 105318, Russian Federation

✉ e-mail: SFilist@mail.ru

Abstract

Purpose of research *consists in developing a method of preliminary image processing designed to improve the quality of segmentation of hardly structured halftone raster images.*

Methods. *From the initial grayscale image by local processing by a multilayer morphological operator, a multitude of images are filtered, filtered in the direction, and the output image is obtained from the filtered images. The method is characterized in that the composite morphological operator is formed from linear structure-forming elements with various orientation parameters relative to the image raster. Moreover, each filtered image is obtained through the interaction of a linear structure-forming element of a composite morphological operator with the original image. The brightness of the pixels in the filtered image is obtained by performing for each pixel of the original image three morphological operations of the interaction of the original image with a linear structure-forming element. The first*

morphological operation inverts zeros to ones, the second inverts ones to zeros, and the third compares the inverse multiplicities and sets the final pixel value of the processed image. As a result of this processing, the brightness of the pixels of the original image is modified. At the same time, a multilayer morphological operator, depending on its formation, can both provide an increase in the brightness of pixels lying on the boundary of segments and increase the homogeneity indices of semantically homogeneous segments.

Results. *Based on the developed morphological operators, the problems of deformation of the boundaries of grayscale hardly structured images are considered. It is shown that the use of multilayer morphological operators for processing hardly structured images reduces the size of the boundary zones between segments, which increases the accuracy of segmentation of hardly structured images, as well as construct algorithms for semantic segmentation of grayscale raster images based on multilayer morphological operators.*

Conclusion. *The pretreatment method consists in the fact that when using a multilayer morphological operator, there is no need for a priori information about the morphology of the selected segment, since the multilayer morphological operator models the work of cells in the neural structure of the human cerebral cortex.*

Keywords: *segmentation; morphological operations; multilayer images; morphological image filtering; classifier.*

Conflict of Interest: *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Filist S. A., Dabagov A. R., Tomakova R. A., Malyutina I. A., Kondrashov D. S. Multilayer Morphological Operators for Segmenting Hardly Structured Halftone Bitmaps. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 44–63 (In Russ.).

Received 17.06.2019

Accepted 22.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

В настоящее время разработано достаточно большое количество различных методов сегментации [1, 2 3, 4, 5, 6]. В результате выполнения операции сегментации совершается разделение целостного изображения на отдельные области (сегменты) согласно выбранному критерию однородности. При этом процесс сегментации представляется итерационными циклами, которые реализуются до тех пор, пока не будет выполнено (либо нарушено) некоторое заданное условие. Такими условиями могут быть – заданные значения критерия однородности, ограничения на размер сегментов или их количество. Значительная часть критериев однородности основывается на учете яркостных характеристик пикселей на изображении и пороговых методов.

Недостатком известных методов сегментации является то, что пиксели одного и того же сегмента на изображении могут иметь уровни яркости, разность которых превосходит априорно заданную величину. В то же время на других фрагментах этого же изображения может быть противоположная ситуация: пиксели семантически разных сегментов будут идентифицироваться как пиксели одного и того же сегмента.

При формировании критерия однородности часто используется текстурная информация [4,7,8,9]. Применение текстурных критериев весьма перспективно и широко используется многими авторами [9,10,11,12]. Однако для установления текстурных признаков исследователю необходимо иметь априорную информацию об исходном сегменте. Для этого анализируемое изображение должно быть предварительно разделено на сегменты или окна заданного размера (локальные окна). Однако текстурные признаки (обычно это признаки, описываемые с помощью математической статистики) значительно зависят от размеров применяемого окна. С этой целью вводят понятие разномасштабных изображений, анализ которых дает возможность получить текстурные признаки по различным окнам [13, 14, 15, 16, 17, 18].

Для решения проблемы априорной сегментации также используют градиентные методы, которые позволяют выделить границы сегментов [5,7,9,12]. При этом процесс сегментации зависит от величины выбираемого порога, что, как правило, приводит к избыточной сегментации.

Для реализации семантической сегментации используют фильтры – маски, адаптированные к направлению, например масочный оператор Кирша [4, 5]. Недостаток этого метода связан с тем, что маски имеют размерность 3x3 элементов, что приводит к формированию ложных границ или необоснованного объединения в один и тот же сегмент семантически не связанных регионов [1, 10, 17]. Данного недостатка лишен подход [7], основанный на релеевском детекторе границ сегментов, который используют для анализа областей различных размеров. Идея этого подхода заключается в увеличении яркости пикселей на границах сегментов и уменьшении в регионах с высокой степенью однородности.

Общим недостатком перечисленных методов являются строгие требования к завершению процесса объединения сегментов. Чаще всего эти требования основаны на критериях однородности сегментов или на размере сегментов. Выполнение этих требований способствует снижению универсальности методов при заданной конфигурации сегментов на изображении.

Для выделения объектов на полутоновых растровых изображениях достаточно часто используют пороговые методы сегментации на основе среднего значения яркости пикселей [8,1]. К недостаткам этих методов можно отнести слишком большое число эмпирически настраиваемых параметров. Реализация этих требований не позволяет получить решающие правила, необходимые для сегментации изображений одного и того же класса, которые получены при различных условиях или при разнообразных уровнях помех. При нечетких границах сегментов на изображении та-

кие параметры подобрать практически невозможно.

В [9] описан метод, в котором из исходного изображения получают множество изображений посредством применения различных фильтров, адаптированных по направлению. Затем для выбранного элемента изображения устанавливают наличие контрастной границы. С этой целью производят вычисления значений собственного вектора и сравнивают его длину с установленным пороговым значением. Если отсутствует граница, то соответствующий элемент выходного изображения принимают равным соответствующему элементу входного изображения. При наличии границы соответствующий элемент выходного изображения принимают равным соответствующему элементу того фильтрованного по направлению изображения, в котором направление фильтрации наиболее близко определенному направлению границы.

В описанном выше методе при формировании границы изображения возможен случай, когда длина собственного вектора, определяемая для соседних элементов изображения, незначительно изменяется вблизи порогового значения. В этом случае может произойти избирательное усиление шума, вызванное выборкой соседних элементов изображения, что приводит к ухудшению качества выходного изображения. Кроме того, исходные изображения с неодинаковым уровнем шума требуют использования различных пороговых значений, в то время как данный метод не предусматривает адаптивного изменения порогового значения. Указанные недостатки приводят к невозможности качественной обработки изображений с разнообразным уровнем шума. Следует заметить, что выборку элементов выходного изображения при наличии границы производят только одного из фильтрованных по направлению изображений. Однако это способствует полному подавлению всех деталей исходного изображения, которые отличаются по направлению от обнаруженной границы, даже в том случае, когда эти детали хорошо выявлены на исходном изображении.

Проведенный анализ существующих методов сегментации показывает, что все они имеют определенные недостатки и предназначены для решения конкретных задач или для обработки конкретных изображений [16,18,21]. Для универсализации методов и повышения качества сегментации необходимо использовать технологии, основанные на моделировании процессов сегментации, которые осуществляются в зрительном анализаторе человека. Согласно выводам Д. Хьюбела [19], сенсоры зрительного анализатора человека построены по иерархическому принципу, а их электрофизиологическая активность определяется ориентацией объекта интереса в секторе рецептивного по-

ля 30-градусного диапазона. Кроме того, сенсоры зрительного анализатора слабо реагируют на интегральную яркость рецептивного поля. Это свойство было учтено при построении алгоритмов сегментации на основе метода Виолы-Джонса [20].

Из вышеизложенного делается вывод о том, что разрабатываемый алгоритм сегментации должен быть основан на иерархическом принципе. На первом уровне (нижнем) этой иерархии располагаются автономные агенты, предназначенные для предварительной обработки изображения. Эти агенты выполняют две поставленные задачи:1) подчеркивание границ сегментов; 2) увеличение отличия в значениях критерия однородности при анализе различных сегментов. Если первая задача решается хорошо известными методами [6, 13, 14, 17], то для решения второй задачи необходимо формирование многомерной модели. Исходя из априорной информации о структуре сегмента автономные агенты нижнего уровня должны повышать яркость пикселей искомого сегмента и снижать (не изменять) яркости пикселей, которые, по «мнению» агента, не принадлежат сегменту. Для образования таких сегментов целесообразно использовать морфологический анализ, а сами интеллектуальные агенты будем в дальнейшем называть многослойными морфологическими операторами [12].

Материалы и методы

Многослойные морфологические операторы для обработки сложноструктурируемых изображений

Идея морфологической фильтрации растровых полутоновых изображений основана на методе обработки изображений посредством применения многослойного морфологического оператора, предложенного в [12], и экспериментальных исследований Д. Хьюбела [19]. Для морфологической фильтрации предлагается использовать кортеж морфологических операторов, построенных с помощью составного структурообразующего элемента. При этом составной структурообразующий элемент [12] образуется посредством комбинации линейных структурообразующих элементов, которые формируются на девятиэлементной маске, показанной на рисунке 1*а*. Имея четыре направления, что соответствует четырехразрядной сетке, можем получить 2^n комбинаций виртуальных единиц – [1 1 1] и виртуальных нулей - [0 0 0]. Следует заметить, что заполнение структурообразующих элементов многослойного морфологического оператора только виртуальными нулями или виртуальными единицами приводит к потере чувствительности по направлениям изменения яркости. Вследствие этого такие комбинации не представляют интереса для исследований [19] и в дальнейшем будем рассматривать кортеж только из (2^n-2) комбинаций. Если символ θ соот-

ветствует разряду четырехразрядной сетки, то на рисунке 1,*а* показан элемент кортежа, соответствующий двоичному числу 0010.

Кортеж применяется для обработки окна изображения. При этом размеры окна изображения выбираются исходя из априорных сведений об области интереса и могут варьироваться от размера всего изображения до минимальной области интереса. Цель обработки изображения многослойным морфологическим оператором состоит в том, чтобы за счет повышения показателя однородности [5] более яркие области стали еще ярче, а более темные области еще темнее. Выполнение этих условий является благоприятным фактором для реализации метода сегментации, предложенного в [5].

В результате взаимодействия морфологического оператора дилатация со структурообразующим элементом $B(\theta, R)$ с центром в пикселе p с изображением F получим множество

$$D(p,\theta) = \bigcup_{R} F \oplus B(\theta, R) \mid \forall d_i \in D(p,\theta):$$

$$d_i = \sup D(p,\theta),\ i = 1, \ldots, 2R+1, \qquad (1)$$

где θ – ориентация оси линейного структурообразующего элемента относительно растра изображения (аналог позиции на разрядной сетке), $(2R+1)$ – число элементов в линейном структурообразующем элементе.

Рассматривая только случай R=1, новое изображение G формируем как объединения (1) по F:

$$G(B(\theta, R)) = \bigcup_{p \in F} D(p,\theta). \qquad (2)$$

На рисунке 1,*в* представлено изображение, полученное после обработки изображения (рис. 1,*б*) операторами (1) и (2) для θ=1 (рис. 1,*а*). В качестве сравнения на рисунке 1,*г* показан результат обработки того же изображения морфологическим оператором дилатация.

Символом □ на рисунке 1,*г* обозначены элементы F, перешедшие из состояния 0 в состояние 1. Вложенность символов обозначает кратность такого перехода. При движении окна (рис. 1,*а*) по F один и тот же элемент F может переходить из нуля в единицу многократно (при выбранном структурообразующем элементе – двукратно), так как переход одного и того же элемента F могут осуществлять несколько операторов (1), имеющих различные значения координат структурообразующего элемента.

При воздействии морфологического оператора эрозия, определенного на структурообразующем элементе $B(\theta, R)$ с центром в пикселе p, с изображением F получим множество, аналогичное (1), и введем морфологический оператор

$$E(p,\theta) = \bigcup_{R} F \Theta B(\theta, R) \mid \forall d_i \in D(p,\theta):\ d_i = \inf D(p,\theta),\ i = 1, \ldots, 2R+1. \qquad (3)$$

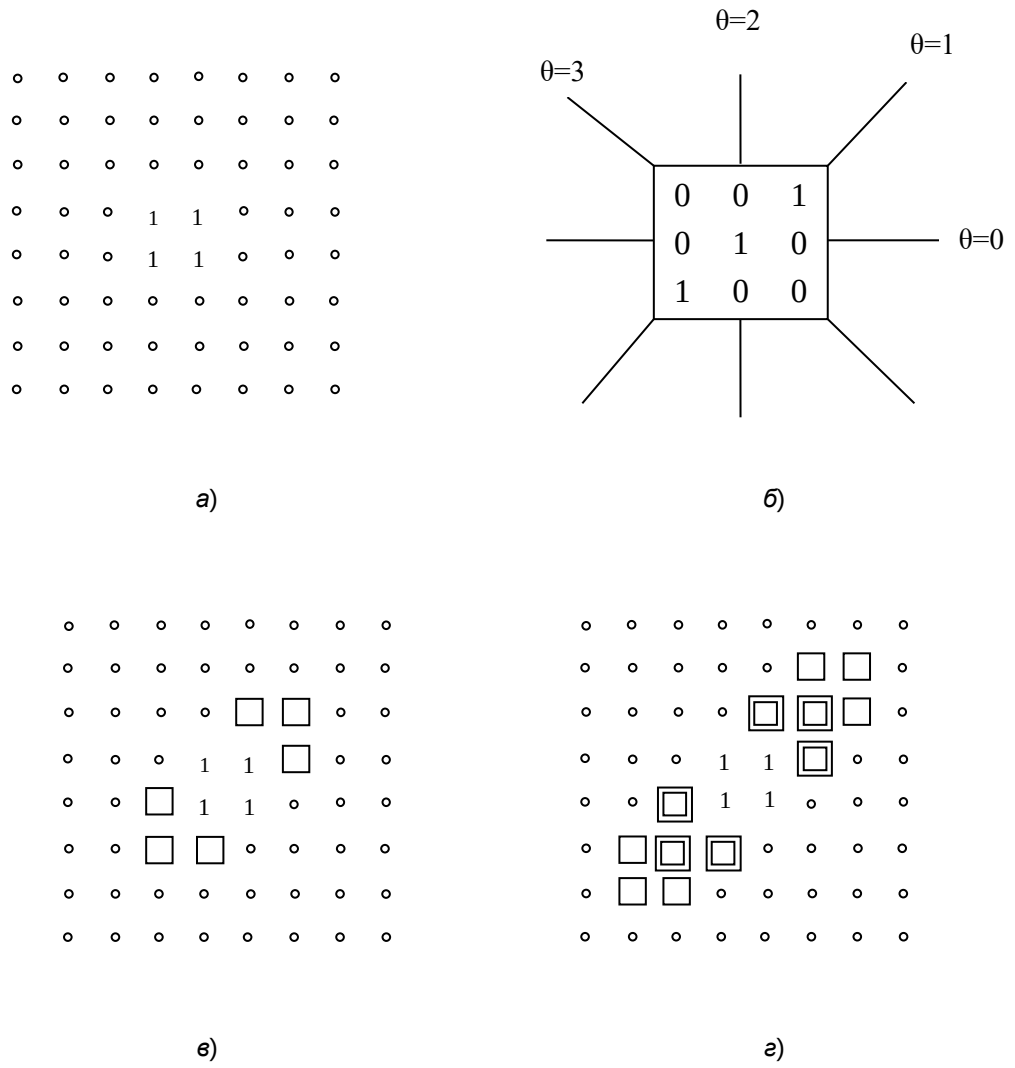


Рис. 1. Структура элемента кортежа многослойного морфологического оператора [0010] *B(1,1)* – *а*; бинарное изображение *F* – *б*; результат морфологических операций (1) и (2) с элементом кортежа [0010] - *в*; результат дилатации *F* и *B(1,1)* – *г* : □ – элементы *F*, перешедшие из состояния 0 в состояние 1 в результате морфологической обработки

Fig. 1. The structure of the tuple element of the multilayer morphological operator [0010] B (1,1) – *a*; binary image F – *б*; the result of morphological operations (1) and (2) with the tuple element [0010] – *в*; the result of dilatation F and B (1,1) – *г*: □ – elements F that have passed from state 0 to state 1 as a result of morphological processing

Чтобы не использовать символы □, будем обозначать переходы из нуля в единицу как единица в степени кратности перехода. Аналогично переход из единицы в нуль будем обозначать как нуль в соответствующей степени кратности. Таким образом получаем двухслойное изображение, в первом слое которого указывается основание степени, а во втором – показатель степени. Чтобы работать только с одним изображением (одним слоем), будем показатели степени у единиц обозначать положительными числами, а показатели

степени у нулей – отрицательными. Показатель степени, равный нулю, характеризует отсутствие инверсии в данном пикселе и может не указываться.

Каждому элементу кортежа морфологических операторов (1) и (3) соответствует одно многослойное изображение. Для агрегации многослойных изображений по всему кортежу многослойных морфологических операторов достаточно алгебраически сложить кратности соответствующих слоев изображений:

$$m_{ij} = \sum_{k=1}^{2^n-2} \left(m1_{ij} + m2_{ij} \right)_k , \qquad (4)$$

где $m1$ – кратность перехода из нуля в единицу;

$m2$ – кратность перехода из единицы в нуль;

ij – координаты пикселя изображения G.

Для перехода от многослойного изображения к бинарному изображению применяем следующее решающее правило [12]:

$$\begin{cases} \hat{c}_{ij} = 1, & \text{если } m > 1; \\ \hat{c}_{ij} = 0, & \text{если } m < 0; \\ \hat{c}_{ij} = c_{ij}, & \text{если } m = 0, \end{cases} \qquad (5)$$

где $\hat{c}_{ij}$ – новое значение атрибута яркости;

c_{ij} – исходное значение атрибута яркости.

Решающие правила (5) устанавливают: каждому элементу кортежа морфологических операторов k соответствует двухслойное множество $\{c_{ij}^m\}_k$, размерность которого совпадает с размерностью изображения G. Последнее выражение в (5) требует оставить пиксель в исходном состоянии, если его показатель кратности (4) равен нулю.

На рисунке 2,*а* приведен результат обработки изображения (см. рис. 1,*б*) морфологическим оператором (3), а на рисунке 2,*б* – результат выполнения решающего правила (5) над изображениями рис. 1,*г* и рис. 2,*а* для элемента кортежа морфологических операторов [0010]. Применяя решающее правило (5) к изображениям, полученным в результате воздействия кортежа морфологических операторов, получим изображение, представленное на рисунке 2,*в*.

При формировании сегментов были реализованы решающие правила, базирующиеся либо на дифференциальных операторах выделения краев [6], либо на алгоритме организации каскадных окон [5]. Предварительная обработка изображений должна быть адаптирована к используемому методу сегментации. Для первого метода сегментации необходимо увеличить яркости пикселей, лежащих в переходной области на границах сегментов. Для второго метода целесообразно повысить однородность областей, принадлежащих семантически различным сегментам. Этим процессом можно управлять, если подсчитывать не только кратность переходов яркости пикселя из нуля в единицу и из единицы в нуль, но и кратность подтверждения состояния пикселя в единице или в нуле.

∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	-3	-3	∘	∘	∘
∘	∘	∘	-3	-3	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘

а)

∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	1	1	∘	∘
∘	∘	0	0	0	1	∘	∘
∘	∘	1	0	0	0	∘	∘
∘	∘	1	1	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘

б)

∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	1	1	1	1	∘	∘
∘	∘	1	∘	∘	1	∘	∘
∘	∘	1	∘	∘	1	∘	∘
∘	∘	1	1	1	1	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘
∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘	∘

в)

Рис. 2. Двухслойное множество, полученное путем применения к изображению рис. 1,*б* морфологического оператора (3) – *а*; результат работы решающего правила (5) над изображениями рис. 1,*г* и рис. 2,*а* для элемента кортежа морфологических операторов [0010] – *б*; граница сегмента (множество *G*), полученная посредством использования морфологических операторов (1), (2), (3) и решающего правила (5)

Fig. 2. The two-layer set obtained by applying the morphological operator (3) – a to Fig. 1б; the result of the work of the decision rule (5) on the images Fig. 1,г and Fig. 2,a for the tuple element of morphological operators [0010] – *b*; segment boundary (set) obtained by using morphological operators (1), (2), (3) and decision rule (5)

В приведенном примере в состоянии единицы остаются только те элементы изображения, которые занимают переходную область на границе сегментов. В дальнейшем будем использовать все элементы кортежа, состоящего из 2^n-2 комбинаций структурообразующих элементов, для выделенных четырех направлений границ сегментов: $\theta = 0$, $\theta = 1$, $\theta = 2$ и $\theta = 3$. Затем, применяя к результатам морфологических операций с этими структурообразующими элементами многослойную операцию объединения (2), (4) и (5), получим границу сегмента, выделенную единицами (рис. 2,*в*).

Таким образом, многослойный морфологический оператор включает некоторую последовательность морфологических операций над исходным изображением. Выполнение этих операций позволяет получить изображения, называемые слоями, над которыми также можно производить морфологические операции. При этом изображения, полученные посредством многослойного морфологического оператора, могут использоваться как слои в последующем многослойном морфологическом операторе.

Результаты и их обсуждение

В качестве примера реализации предложенного метода рассмотрим бинарное изображение с нечеткими границами между сегментами и изолированными пикселями.

На рис. 3,*а* показано такое изображение, на котором бинарные яркости кодируются символами x и 0. При этом

на изображении присутствуют помехи, искажающие границы сегментов.

На рис. 3,*б* приведен результат обработки изображения (см. рис. 3,*а*) морфологическими операторами (1), (2), (3) и (4) по разработанному методу. Два слоя многослойного бинарного изображения кодируются знаками «плюс» и «минус», что соответствует максимальной и минимальной яркости пикселей.

0	0	0	x	0	x	x	0	x	x	x	x
0	0	0	0	x	0	0	x	x	x	x	x
0	0	0	0	0	x	0	x	x	0	x	x
0	0	0	x	0	x	x	x	x	x	x	x
0	0	0	0	x	0	x	0	x	x	x	x

а)

-1	-1	-2	-1	+1	+3	+3	+3	+3	+2	+1	+1
-1	-1	-2	-3	-3	-3	-1	+1	+3	+2	+1	+1
-1	-2	-4	-6	-4	-1	+3	+5	+5	+4	+2	+1
-1	-2	-3	-2	+1	+3	+3	+3	+3	+2	+1	+1
-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	+1	+3	+2	+1	+1

б)

0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

в)

Рис. 3. Имитационная модель изображения с зашумленными границами сегментов – *а*; двухслойное изображение модели рис. 3,*а*, полученное посредством обработки исходного изображения морфологическим оператором с кодом [0 0 0 1] – *б* и его первый слой с выделенной границей сегмента – *в*

Fig. 3. Simulation image model with noisy segment boundaries – *a*; a two-layer image of the model, Fig. 3,a, obtained by processing the original image with a morphological operator with the code [0 0 0 1] - *б* and its first layer with a selected segment boundary – *в*

На рисунке 4,*а* продемонстрировано многослойное изображение, полученное аналогично изображению рисунка 3,*б*, но с морфологическим оператором с кодом [0 0 1 0].

Исследуя модификации границ сегментов, в результате морфологического объединения (они показаны на рисунке 3,*в* и рисунке 4,*б*) приходим к выводу, что граница сегментов стала четкой.

Результирующее изображение получается вследствие многослойной морфологической операции, объединяющей итоги двухслойных морфологических операций:

$$G = \Upsilon^{s=4}(\Upsilon^{s=2}G^2(\theta_0);\ \Upsilon^{s=2}G^2(\theta_1);\ \Upsilon^{s=2}G^2(\theta_2);\ \Upsilon^{s=2}G^2(\theta_3)), \qquad (6)$$

где $G^2(\theta=0)$, $G^2(\theta=1)$, $G^2(\theta=2)$,, $G^2(\theta=3)$ – двухслойные множества, получаемые в результате обработки изображения F морфологическим оператором $\{B(\theta)$, θ =0,1,2,3}.

-1	-2	-2	-2	-0	+2	+0	-0	+2	+1	+1	+1
-1	-2	-4	-4	-2	-2	-4	+2	+4	+3	+2	+1
-1	-6	-4	-6	-4	-1	+0	+5	+5	+5	+2	+1
-1	-1	-2	-4	-1	+3	+3	+4	+4	+3	+3	+1
-1	-1	-1	-1	-0	+2	+2	+2	+2	+2	+1	+1

а)

0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

б)

Рис.4. Двухслойное изображение $\{c_{ij}\}_{\theta=1}^{m}$ модели рис. 3,*а* – *в* и его сегменты, выделенные согласно решающему правилу (5)

Fig. 4. The two-layer image of the model Fig. 3, *а*-*в* and its segments, selected according to the decision rule (5)

На рисунке 5 показан результат многослойной операции (6) объединения изображений, полученных посредством кортежа многослойных морфологических операторов.

Следует заметить, что при обработке полутонового изображения формулы морфологических операторов (1) и (3) остаются справедливы. Однако формулы (4) и (5) нуждаются в модификации.

Для формулы (4) имеем

$$m_{ij} = \sum_{k=1}^{2^n-2}\left(\frac{1}{m1_{ij} + \left|m2_{ij}\right|}(\mu 1 \cdot m1_{ij} + (\delta - \mu 2)\cdot m2_{ij})\right)_k, \qquad (7)$$

где μ1 – верхняя граница множества яркостей пикселей, попавших в структурообразующий элемент с индексом *k* кортежа морфологических операторов;

μ2 – нижняя граница множества яркостей пикселей, попавших в структурообразующий элемент с индексом *k* кортежа морфологических операторов;

δ – динамический диапазон яркости пикселей (типовой 255).

0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Рис. 5. Изображение, полученное в результате морфологической операции объединения изображений рис. 3,*в* и рис. 4,*б*

Fig. 5. The image obtained as a result of the morphological operation of combining the images of Fig. 3,*в* and Fig. 4,*б*

При сегментации бинарного изображения отсутствуют помехи, связанные с переходной областью, поэтому наиболее выраженное преимущество вышеописанного подхода демонстрирует сегментация сложноструктурируемых полутоновых изображений. Пример такого изображения проиллюстрирован на рисунке 6. На рисунке 6,*б* показана увеличенная картина сегментов, находящихся на границе сегментов изображения, приведенного на рисунке 6,*а*.

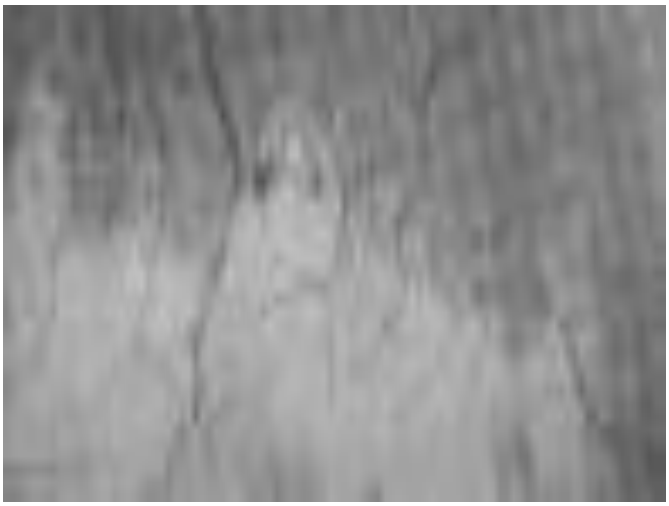
Для наглядности обработки изображения сформируем кортеж морфоло-

гических операторов из составного структурообразующего элемента $\overline{B}$, состоящий из линейных структурообразующих $B_p(\theta)$, $\theta = \overline{0,3}$.

Использование структурообразующего элемента $\overline{B}$ приводит к разбиению множества пикселей F на три подмножества:

$$\begin{cases} A1_p^{\theta} = \{F \text{ I } B_p(\theta)\}; \\ A2_p^{\theta} = \{F \text{ I } \{\overline{B_p} \setminus A1_p^{\theta} \text{ Y } \{\overline{b_p^{qr}}\}\}\}; \\ A3_p^{\theta} = \{F \text{ I } \{\overline{B_p} \setminus A1_p^{\theta} \text{ Y } \{\overline{b_p^{\lambda k}}\}\}\}, \end{cases} \quad (8)$$

где $(2R+1) > q$, $r > 1$; $r < q$; $(2R+1) > \lambda$, $k > 1$; $k > \lambda$.



а)

б)

Рис. 6. Сложноструктурируемое полутоновое изображение – изображение с нечеткими границами сегментов: *а* – исходное сложноструктурируемое изображение; *б* – граница сегментов изображения

Fig. 6. Hardly structured grayscale image - an image with fuzzy segment boundaries: *а* – the original complex structured image; *б* – the boundary of the image segments

Применение многослойного морфологического оператора порождает множества $A1, A2$ и $A3$ для каждого пикселя *p*.

Множество *A*1 – это подмножество элементов множества F, которые принадлежат структурообразующему элементу $B(\theta)$.

Множество *A*2 – это подмножество элементов множества F, которые лежат выше или левее структурообразующего элемента $B(\theta)$.

Множество *A*3 – это подмножество элементов множества *F*, которые лежат ниже или правее структурообразующего элемента $B(\theta)$.

В дальнейшем сформулируем гипотезу, согласно которой существует вероятность того, что каждый структурообразующий элемент многослойного морфологического оператора является элементом границы сегмента. Тогда средние яркости пикселей, находящиеся по обе стороны границы сегмента, должны отличаться друг от друга. Сравнение этих яркостей может подтвердить или опровергнуть выдвинутую гипотезу. Элементы изображения *F*, которые находятся по обеим сторонам границы сегмента, определяют множества *A*2 и *A*3.

Таким образом, разработан метод предварительной обработки изображений, предназначенный для повышения качества сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений. Предложенный метод заключается в том, что из исходного полутонового изображения путем локальной обработки многослойным морфологическим оператором формируют множество изображений, фильтрованных по направлению, а выходное изображение получают из фильтрованных изображений. Метод отличается тем, что составной морфологический оператор создают из линейных структурообразующих элементов с различными параметрами ориентации относительно растра изображения равной длины 2*R*+1. При этом каждое фильтрованное изображение регистрируют посредством взаимодействия линейного структурообразующего элемента составного морфологического оператора с исходным изображением *F*. Яркости пикселей в фильтрованном изображении получают в результате выполнения для каждого пикселя исходного изображения *F* с координатами *p* трех морфологических операций (8) взаимодействия исходного изображения *F* с линейным структурообразующим элементом $B_p(\theta)$. После этого вычисляется суммарное значение яркости пикселей в подмножествах *A2: S1* и *A3: S2*, затем вычисляют разность *S=S1-S2*. Новое значение яркости пикселей устанавливают по рекуррентным формулам в множестве *A2:* $f_{\lambda k} = f_{\lambda k} + S$ и в множестве *A3:* $f_{qr} = f_{qr} - S$. После этого пе-

реходят к определению очередных трех подмножеств для следующего пикселя p исходного изображения. Этот этап предусматривает установление фильтрованных изображений для всех линейных структурообразующих элементов многослойного морфологического оператора. В результате выполнения этой процедуры формируется итоговое изображение G путем суммирования яркостей пикселей фильтрованных изображений для пикселей с одинаковыми координатами.

На этом этапе предусматривается нахождение минимальной яркости $G_{\min}$ и максимальной яркости $G_{\max}$ пикселей итогового изображения и нормирование их по формуле

$$g_{ij} = \left(g_{ij} - G\min\right)\frac{G\max - G\min}{\delta}. \quad (9)$$

Критерием четкости границы является выраженность двух мод на гистограмме распределения полутонового изображения. Для бинарного изображения четкость границы устанавливаем как отношение пикселей со значением «1», попавших в сегмент «1», к общему числу пикселей в сегменте «1» и отношение пикселей со значением «0», попавших в сегмент «0», к общему числу пикселей в сегменте «0».

Выводы

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований введено понятие многослойного морфологического оператора, посредством которого получают многомерные (многослойные) изображения. Установлены операции, выполняемые над многослойными изображениями, которые позволяют агрегировать элементы в слоях изображения таким образом, что пиксели, принадлежащие к различным сегментам (имеющие различную текстуру или ориентацию границ), получают различные приращения яркости.

Показано, что применение многослойных морфологических операторов для обработки сложноструктурируемых изображений дает возможность сократить размер пограничных зон между сегментами, что позволяет повысить точность сегментации сложноструктурируемых изображений. На этой основе построены алгоритмы семантической сегментации полутоновых растровых изображений с использованием многослойных морфологических операторов.

Достоинство предложенного метода предварительной обработки заключается в том, что при употреблении многослойного морфологического оператора нет необходимости в использовании априорной информации о морфологии выделяемых сегментов, поскольку многослойный морфологический оператор моделирует работу нейронных клеток в структуре коры головного мозга человека.

Список литературы

1. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

2. Baatz M., Schäpe A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation // Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2004. Vol. 58, is. 3-4. Herbert Wichmann Verlag. P. 239-258.

3. Pat. US 20090080773 A1, IPC7 G0 K 9/34. Image segmentation using dynamic color gradient threshold, texture, and multimodal-merging / inventors and applicants Mark Shaw, Ranjit Bhaskar, Luis Garcia Ugarriza, Eli Saber, Vincent Amuso. US 11/858,826; filling 20.07.2007; publication 26.03.2009. 16 p.: fig.

4. Pat. WO 2009143651 A1, IPC7 G06T 5/00. Fast image segmentation using region merging with a k-nearest neighbor graph / Mantao Xu, Qiyong Guo, Hongzhi Liu, Jiwu Zhang; applicant Carestream Health, Inc. PCT/CN2008/001046; filling 29.05.2008; publication 03.12.2009. 16 p. : fig.

5. Метод каскадной сегментации рентгенограмм молочной железы / А.Р. Дабагов, Д.С. Кондрашов, И.А. Малютина, Р.А. Томакова, С.А. Филист // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т.9, № 1(30). С.49-61.

6. Дюдин М.В., Филист С.А., Кудрявцев П.С. Способ выделения и классификации контуров легких на изображениях флюорограмм грудной клетки // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 25-30.

7. Пат. 2325044 Российская Федерация, МПК H 04 N 1/409, G 06 K 9/46. Градиентный способ выделения контуров объектов на матрице полутонового растрового изображения / Гданский Николай Иванович, Марченко Юлия Андреевна; патентообладатель Московский государственный университет инженерной экологии. № 2007106412/09; заявл. 21.02.2007; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14. 8 с. : ил.

8. Pat. US 5351305 A, IPC G 06 K 9/40. Concurrent smoothing and edge enhancement of medical diagnostic images / Christopher H. Wood, Fares Hajjar, Anthony Apicella, Kevin E. Matthews; assignee Picker International, Inc. US 07/893,785; filling 05.06.1992; publication 27.09.1994. 8 p. : fig.

9. Жук С.В. Обзор современных методов сегментации растровых изображений // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. № 6. С. 115–118.

10. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. М.: Техносфера, 2006. 616 с.

11. Филист С.А., Томакова Р.А., Горбатенко С.А. Анализ гистологических изображений посредством морфологических операторов, синтезированных на основе преобразования Фурье и нейросетевого моделирования // Биотехносфера. 2010. № 3 (9). С. 54–60.

12. Томакова Р.А., Емельянов С.Г., Филист С.А. Интеллектуальные технологии сегментации и классификации биомедицинских изображений. Курск, 2012. 202 с.

13. Филист С.А., Томакова Р.А., Дураков И.В. Программное обеспечение автоматической классификации рентгенограмм грудной клетки на основе гибридных классификаторов // Экология человека. 2018. № 36. С.59-66.

14. Гибридные интеллектуальные модели для сегментации изображений рентгенограмм грудной клетки / С.А. Филист, Р.А. Томакова, С.В. Дегтярев, А.Ф. Рыбочкин // Медицинская техника. 2017. №5. С. 41-45.

15. Клеточные процессоры в классификаторах многоканальных изображений / С.А. Филист, Р.А. Томакова, А.Н. Брежнева, И.А. Малютина, В.А. Алексеев // Радиопромышленность. 2019. Т.29, № 1. С.45-52.

16. Малютина И.А., Кузьмин А.А., Шаталова О.В. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. №3(39). С.131-138.

17. Филист С.А.,Томакова Р.А., Руденко В.В. Нечеткая сетевая модель морфологического оператора для формирования границ сегментов // Научные ведомости БелГУ, Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. №1(96). Вып. 17/1. С. 188-195.

18. Белых В.С., Ефремов М.А., Филист С.А. Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. №2 (19). С. 12-24.

19. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение: [пер.с англ.]. М.: Мир, 1990. 239 с.

20. Филист С.А., Кудрявцев П.С., Кузьмин А.А. Развитие методологии бустинга для классификации флюорограмм грудной клетки // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С. 10-15.

21. Томакова Р.А. Метод обработки сложносегментируемых изображений с использованием многослойных морфологических операторов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 2. С. 158-164.

References

1. Gonzalez R.S., Woods R.E. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii [Digital image processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005. 1072 p . (In Russ.).

2. Baatz M., Schäpe A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation [Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation]. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing = Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, vol. 58, is. 3-4. Herbert Wichmann Verlag, pp. 239-258.

3. Mark Shaw, Ranjit Bhaskar, Luis Garcia Ugarriza, Eli Saber, Vincent. Amuso Image segmentation using dynamic color gradient threshold, texture, and multimodal-merging. Patent US, no. 20090080773, 2007.

4. Mantao Xu, Qiyong Guo, Hongzhi Liu, Jiwu Zhang. Fast image segmentation using region merging with a k-nearest neighbor graph. Patent US, no. 2009143651, 2008.

5. Dabagov A.R., Kondrashov D.S., Malyutina I.A., Filist S.A. Metod kaskadnoi segmentatsii rentgenogramm molochnoi zhelezy [The method of cascade segmentation of x-ray of the mammary gland]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2019, vol.9, no. 1(30), pp.49-61 (In Russ.).

6. Dyudin M.V., Filist S.A., Kudryavtsev P.S. Sposob vydeleniya i klassifikatsii konturov legkikh na izobrazheniyakh flyuorogramm grudnoi kletki [The method of isolation and classification of the contours of the lungs on the images of chest fluorograms]. *Naukoemkie tekhnologii = High technology*, 2014,vol.15,no.12, pp. 25-30 (In Russ.).

7. Gdansky N. I., Marchenko J. A. Gradientnyi sposob vydeleniya konturov ob"ektov na matritse polutonovogo rastrovogo izobrazheniya [Gradient method for selecting contours of objects on a grayscale bitmap image]. Patent RF, no. 2325044, 2007.

8. Christopher H. Wood, Fares Hajjar, Anthony Apicella, Kevin E. Matthews. Concurrent smoothing and edge enhancement of medical diagnostic images. Patent US, no. 5351305, 1992.

9. Zhuk S.V. Obzor sovremennykh metodov segmentatsii rastrovykh izobrazhenii [Overview of modern methods for segmentation of raster images]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Volgograd state technical University*, 2009, vol. 6, pp. 115–118 (In Russ.).

10. Gonzalez R., Woods R., Eddins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii v srede Matlab [Digital image processing in Matlab]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 616 p. (In Russ.).

11. Filist S.A., Tomakova R.A., Gorbatenko S.A. Analiz gistologicheskikh izobrazhenii posredstvom morfologicheskikh operatorov, sintezirovannykh na osnove preobrazovaniya Fur'e i neirosetevogo modelirovaniya [Analysis of histological images using morphological

operators synthesized based on the Fourier transform and neural network modeling]. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*, 2010, no. 3 (9), pp. 54–60 (In Russ.).

12. Tomakova R.A., Emelyanov S.G., Philist S.A. Intellektual'nye tekhnologii segmentatsii i klassifikatsii biomeditsinskikh izobrazhenii [Intelligent technologies for segmentation and classification of biomedical images]. Kursk, 2012. 202 p. (In Russ.).

13. Filist S.A., Tomakova R. A., Durakov I.V. Programmnoe obespechenie avtomaticheskoi klassifikatsii rentgenogramm grudnoi kletki na osnove gibridnykh klassifikatorov [Hybrid classification chest radiography Software]. *Ekologiya cheloveka = Human ecology*, 2018, no.36, pp.59-66 (In Russ.).

14. Filist S.A., Tomakova R.A., Degtyarev S.V., Rybochkin A.F. Gibridnye intellektual'nye modeli dlya segmentatsii izobrazhenii rentgenogramm grudnoi kletki [Hybrid intelligent models for segmentation of chest radiographs]. *Meditsinskaya tekhnika = Biomedical Engineering*, 2017, no.5, pp. 41-45 (In Russ.).

15. Filist S. A., Tomakova R. A., Brezhnev A. N., Malyutina I. A., Alekseev V. A. Kletochnye protsessory v klassifikatorakh mnogokanal'nykh izobrazhenii [Cell processors in classifiers of multichannel images]. *Radiopromyshlennost' = Radio Industry*, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 45-52.

16. Malyutina I. A., Kuzmin A. A., Shatalova O. V. Metody i algoritmy analiza rentgenogramm grudnoi kletki, ispol'zuyushchie lokal'nye okna v zadachakh obnaruzheniya patologii [Methods and algorithms of analysis of chest radiographs using local Windows in the problems of pathology detection]. *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian journal: management and high technologies*, 2017, no. 3 (39), pp. 131-138.

17. Filist S. A., Tomakova R. A., Rudenko V. V. Nechetkaya setevaya model' morfologicheskogo operatora dlya formirovaniya granits segmentov [Fuzzy network model of morphological operator for forming segment boundaries]. *Nauchnye vedomosti BelGU, Ser. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika = Scientific Bulletin of BelSU, Ser. History. Political science. Economy. Informatics*, 2011, no. 1 (96), is. 17/1, pp. 188-195.

18. Belykh V. S., Efremov M. A., Filist S. A. Razrabotka i issledovanie metoda i algoritmov dlya intellektual'nykh sistem klassifikatsii slozhnostrukturiruemykh izobrazhenii [Development and research of method and algorithms for intelligent classification systems of complex structured images]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2016, no. 2 (19), pp. 12-24.

19. Hubel D. Glaz, mozg, zrenie [Eye, brain, vision]: TRANS. Moscow: Mir Publ., 1990. 239 p.

20. Filist S. A., Kudryavtsev P. S., Kuzmin A. A. Razvitie metodologii bustinga dlya klassifikatsii flyuorogramm grudnoi kletki [Development of boosting methodology for clas-

sification of chest fluorograms]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, no. 9, pp. 10-15.

21.Tomakova R. A. Metod obrabotki slozhnosegmentiruemykh izobrazhenii s ispol'zovaniem mnogosloinykh morfologicheskikh operatorov [Method of processing complex segmented images using multilayer morphological operators]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering,* 2012, no. 2, pt. 2, pp. 158-164.

Информация об авторах / Information about the Authors

Филист Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: SFilist@mail.ru

Sergey A. Filist, Dr. of Sci. (Engineering), Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: SFilist@mail.ru

Дабагов Анатолий Рудольфович, кандидат технических наук, президент АО «Медицинские технологии Лтд», г.Москва, Российская Федерация, e-mail: dar@mti.ru

Anatoly R. Dabagov, Cand. of Sci. (Engineering), President of JSC Medical Technologies Ltd, Moscow, Russian Federation, e-mail: dar@mti.ru

Малютина Ирина Алексеевна, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Irina92_2010@mail.ru

Irina A. Malyutina, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: Irina92_2010@mail.ru

Томакова Римма Александровна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: rtomakova@mail.ru

Rimma A. Tomakova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: rtomakova@mail.ru

Кондрашов Дмитрий Сергеевич, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kondrashov012 @mail.ru

Dmitry S. Kondrashov,Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kondrashov012 @mail.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.891.3

Методы и алгоритмы формирования слабых классификаторов в ансамбле классификаторов прогнозирования сердечно-сосудистых рисков

З.У. Протасова [1], О.В. Шаталова [1], А.А.Б. Дафалла [1], С.В. Дегтярев [1] ✉

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Резюме

Цель исследования *заключается в разработке методов синтеза классификаторов для автоматизированной системы скрининговой оценки сердечно-сосудистого риска.*

Методы. *Разработаны методы построения «слабых» классификаторов медицинского риска с суррогатным маркером, полученным на основе исследований показателей электропроводности биологически активных точек (БАТ), и их агрегирования в сильные классификаторы. В процессе построения классификатора строятся две модели, первая из которых диагностирует наличие заданного медицинского риска, а вторая – его отсутствие. Для диагностики медицинского риска формируются две обучающие выборки с высоким медицинским риском и с низким медицинским риском, а также предлагается способ нахождения суррогатного маркера по результатам исследования электропроводности в БАТ. Суррогатный маркер вычисляется в процентах от номинального значения. При этом номинальное значение определяют как значение медианы суррогатного маркера в обучающей выборке.*

Результаты. *Для каждой обучающей выборки построены интервальные гистограммы, характеризующие суррогатные маркеры. Число интервалов в гистограмме выбиралось исходя из допустимой точности вычисления показателя электропроводности. При проведении биоимпедансных исследований эта точность не превышает 10%, поэтому на гистограмме выделено десять интервалов. По формуле Байеса вычислялась условная вероятность возникновения медицинского риска или его отсутствие в каждом интервале гистограмм двух обучающих выборок. Окончательную модель «слабого» классификатора получали путём вычитания результатов прогноза в двух полученных моделях. Пороговая величина модуля этой разности является репером, указывающим на интервалы, в которых «слабый» классификатор не работает.*

Заключение. *Разработанные интеллектуальные технологии направлены на повышение качества диагностики медицинского риска и могут быть использованы в системах скрининговой диагностики при принятии решений по медицинскому риску.*

Ключевые слова: *сердечно-сосудистый риск; суррогатный маркер; биологически активные точки; ансамбли классификаторов; алгоритм; прогнозирование инсульта.*

Конфликт интересов*: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

© Протасова З.У., Шаталова О.В., Дафалла А.А.Б., Дегтярев С.В., 2019

Финансирование: *Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90116.*

Для цитирования: Методы и алгоритмы формирования слабых классификаторов в ансамбле классификаторов прогнозирования сердечно-сосудистых рисков / З.У. Протасова, О.В. Шаталова, А.А.Б. Дафалла, С.В. Дегтярев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 64–83.

Статья поступила в редакцию 07.06.2019

Статья подписана в печать 28.06.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Methods and Algorithms for the Formation of Weak Classifiers in the Ensemble of Classifiers for Predicting Cardiovascular Risks

Zeinab U. Protasova [1], Olga V. Shatalova [1], Ali A.B. Dafalla [1], Sergey V. Degtyaryov [1] ✉

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Abstract

Purpose of reseach*. The purpose of the study is to develop methods for the synthesis of classifiers for an automated system for screening assessment of cardiovascular risk.*

Methods. *Methods have been developed for constructing "weak" classifiers of medical risk with a surrogate marker obtained on the basis of a study of the conductivity of biologically active points (BAP), and their aggregation into strong classifiers. In the process of constructing the classifier, two models are built, the first of which diagnoses the presence of a given medical risk, and the second - its absence. To diagnose medical risk, two training samples are formed with a high medical risk and a low medical risk, and a method for calculating a surrogate marker based on the results of a BAT conductivity study is determined. The surrogate marker is calculated as a percentage of the nominal value, and the nominal value is determined as the median of the surrogate marker in the training sample.*

Results. *For each training sample, interval histograms were constructed for surrogate markers. The number of intervals in the histogram was selected based on the permissible accuracy of calculating the conductivity index. In bioimpedance studies, this accuracy does not exceed 10%, so ten intervals are highlighted in the histogram. By the Bayes formula, the conditional probability of medical risk or its absence in each histogram interval of two training samples was calculated. The final model of the "weak" classifier was obtained by subtracting the forecast results in the two models obtained. The threshold value of the modulus of this difference is a reference point indicating the intervals in which the "weak" classifier does not work.*

Conclusion. *The developed intelligent technologies are aimed at improving the quality of diagnosis of medical risk and can be used in screening diagnostic systems when making decisions on medical risk.*

Keywords: *cardiovascular risk; surrogate marker; biologically active points; classifier ensembles; algorithm; stroke prediction.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

Financing: *The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90116.*

For citation: Protasova Z. U., Shatalova O. V., Dafalla A. A.B., Degtyaryov S. V. Methods and Algorithms for the Formation of Weak Classifiers in the Ensemble of Classifiers for Predicting Cardiovascular Risk. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 64–83 (In Russ.)..

Received 07.06.2019

Accepted 28.06.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Важнейшей общенаучной прикладной задачей является прогнозирование заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС). Оценка прогноза медицинского риска позволяет определить степень толерантности организма человека к воздействию различных факторов, определяющих его предрасположенности к тому или иному сердечно-сосудистому заболеванию (ССЗ), а если оно уже возникло, то предсказание особенностей его течения в будущем и исход. На сегодняшний день поиск усовершенствованных методов и алгоритмов остается актуальным. Своевременное выявление пациентов с повышенным и высоким риском возникновения осложнений с целью проведения профилактических мероприятий, направленных именно на снижение риска, а также на облегчение тяжести уже имеющихся последствий, является основным направлением в улучшении общей ситуации по заболеваемости в целом [1].

Таким образом, для решения одной из важнейших проблем современного здравоохранения – повышения качества прогнозирования заболеваний сердца– актуален как поиск новых предикторов риска ССЗ [2, 3, 4, 5, 6,14], так и создание методов построения ансамблей классификаторов, позволяющих учитывать системные и латентные связи между анализируемыми предикторами сердечно-сосудистого риска на основе ассоциаций классификаторов [7, 8,13,17].

Научно-технической задачей исследования является разработка методов прогнозирования риска ССЗ, основанных на предикторах, полученных на основе биоимпедансных исследований, и ансамблях классификаторов, учитывающих результаты этих исследований.

Материалы и методы

Для реализации метода прогнозирования медицинского риска необходимо создать N эталонных групп, в которые включаются образцы с прогнозируемым медицинским риском, и выбрать соответствующие параметры биоимпеданса, на основе которых формируются обучающие выборки для синтеза «слабых» классификаторов [1, 9, 15, 16, 17]. В итоге если используем M БАТ, то получаем $N \times M$ «слабых» клас-

сификаторов. Структура обучающих выборок для формирования «слабых» классификаторов для одной *i*-й эталонной группы представлена на рис. 1.

В качестве параметра биоимпеданса выбирается структурный маркер, определяемый по формуле

$$ms = \xi^*_{БАТ} - \xi_{БАТ} \cdot \frac{\xi_N}{\xi^*_N}, \qquad (1)$$

где $\xi^*_{БАТ}$ – параметр импеданса биоматериала в БАТ при высоких значениях показателей функционального состояния (отсутствие медицинского риска), определяемых по статистическим показателям или индивидуально, если пациент находится под наблюдением (априорный показатель);

ξ_N – параметр импеданса биоматериала в индифферентной области при текущих измерениях;

ξ^*_N – параметр импеданса биоматериала, определяемый в индифферентной области по результатам статистического анализа (априорный показатель);

$\xi_{БАТ}$ – параметр импеданса в БАТ у индивидуума, измеряемый в текущий момент.

Рис. 1. Структура формирования обучающих выборок для одной эталонной группы, состоящей из *К1* пациентов, резистентных к медицинскому риску, и *К2* пациентов с наличием медицинского риска для *М* БАТ

Fig. 1. Structure of formation of training samples for one reference group consisting of K1 patients resistant to medical risk and K2 patients with medical risk for M BAT

При формировании «сильного» классификатора необходимо установить весовые коэффициенты («взвесить») для слабых классификаторов. Весовой коэффициент («вес») слабого классификатора зависит от образцов в сформированной обучающей выборке и «суррогатного» маркера, т.е. от выбранной БАТ. Так как «вес» обучающей выборки влияет на «вес» суррогатного маркера, то процесс «взвешивания» осуществляется методом итераций.

Структура модуля «взвешивания» обучающих выборок представлена на рис. 2.

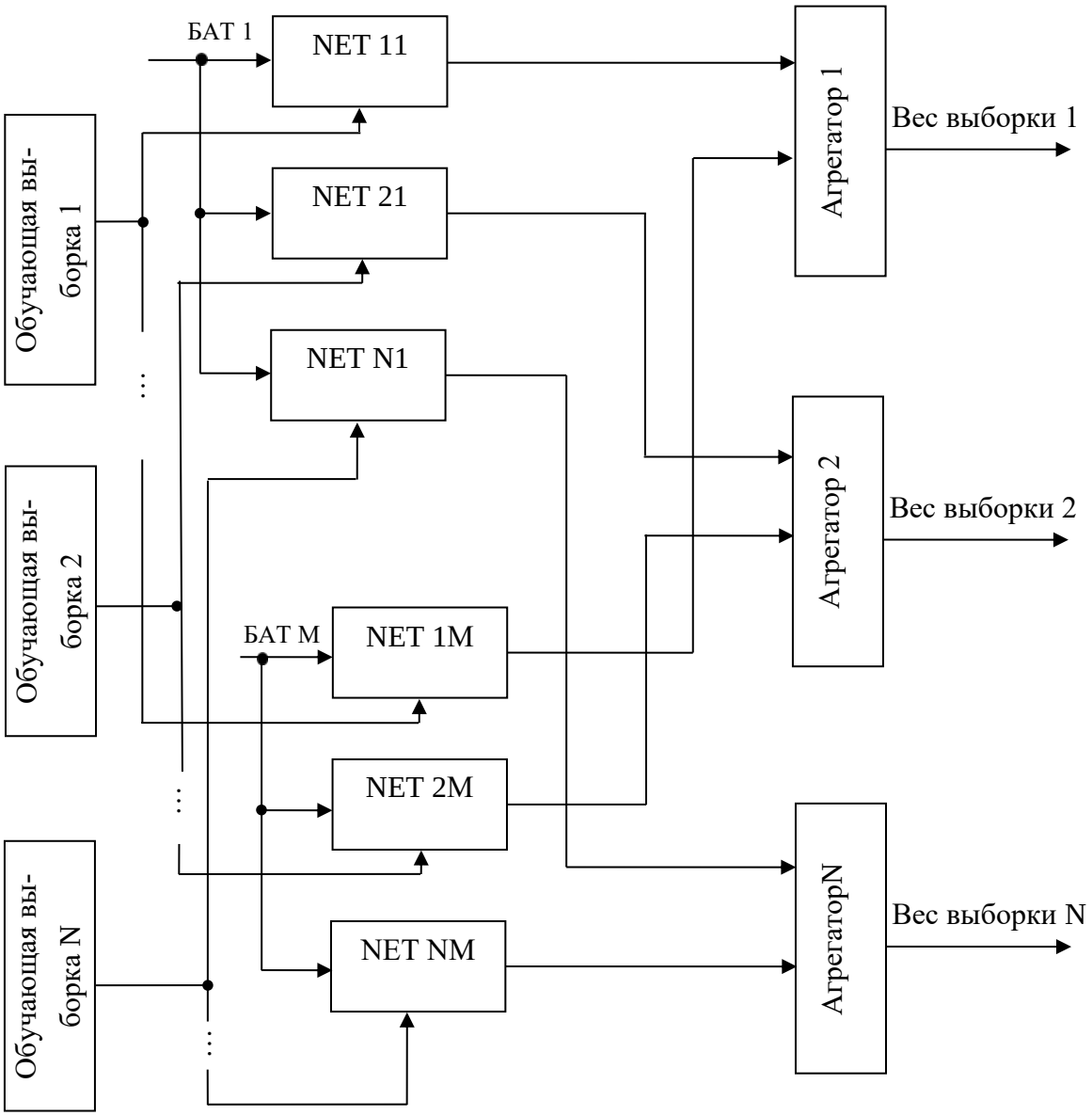


Рис. 2. Структура модуля «взвешивания» обучающих выборок

Fig. 2. Structure of the module" weighing " training samples

Модуль содержит $N \times M$ «слабых» классификаторов *NETij*. Суррогатный маркер (БАТ) характеризует второй индекс. «Слабые» классификаторы группируются по обучающим выборкам таким образом, что каждой обучающей выборке соответствует свой агрегатор (ансамбль «слабых» классификаторов).

Структура модуля «взвешивания» БАТ представлена на рис. 3. Он состоит из того же набора $N \times M$ «слабых» классификаторов *NETij,* но их выходы сгруппированы по суррогатным маркерам, то есть по БАТ или по вторым индексам. Каждой БАТ соответствует свой агрегатор (ансамбль «слабых» классификаторов) согласно схеме рис. 1.

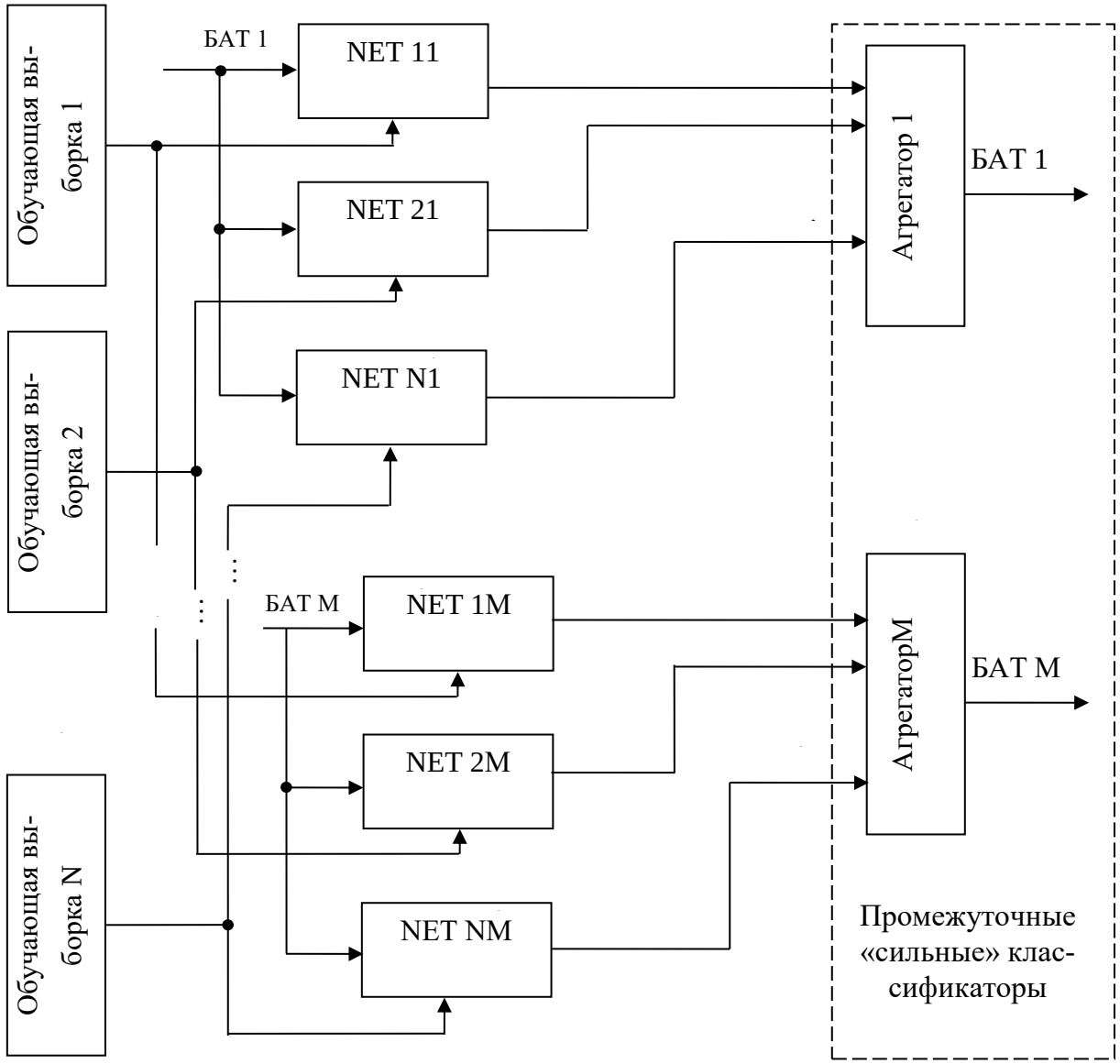


Рис. 3. Структура модуля «взвешивания» БАТ

Fig. 3. Structure of BAT weighing module

Классификация медицинского риска реализуется на основе алгоритма, схема которого представлена на рис. 4. Обучающие выборки формируются согласно структуре (см. рис. 1) в блоке 1. В цикле блока 2 формируются промежуточные «сильные» классификаторы для каждой из *N* выборок.

Процедуры, входящие в этот цикл, позволяют «взвесить» обучающие выборки посредством оценки точности промежуточного «сильного» классификатора, построенного по одной обучающей выборке по всем *M* суррогатным маркерам (БАТ). Внутри этого цикла организован еще один цикл (блока 4), в котором осуществляется синтез «слабых» классификаторов.

После определения всех *M* «слабых» классификаторов по выборке *i* синтезируется промежуточный «сильный» классификатор, который агрегирует *M* «слабых» классификаторов по одной из выборок. В блоке 6 осуществляется «взвешивание» «слабых» классификаторов. В блоке 9 выполняется взвешивание *i*-й выборки. «Взвешивание» реализуется путём оценки показателей качества классификации промежуточного «сильного» классификатора на той же обучающей выборке.

После выхода из цикла блок 2 в циклах (блоки 10 и 11) осуществляется взвешивание «слабых» классификаторов с учётом «веса» обучающей выборки, с помощью которой они были получены. Промежуточные «сильные» классификаторы синтезируются в блоке 14 на основе «весов», полученных в блоке 9.

Финальный сильный классификатор формируется в блоке 17 посредством агрегации промежуточных «сильных» классификаторов, полученных в блоке 14.

Для исключения «слабых» эталонных групп и «слабых» БАТ используются блоки 19-27. После исключения эталонных групп или БАТ синтез классификатора повторяется, но уже с другим комплектом эталонных групп и БАТ. Базисом для функционирования ансамбля классификаторов, оценивающего медицинский риск, является сравнение экспертного оценивания пациентов по показателям медицинского риска с заключением по медицинскому риску, полученным на основе ансамбля классификаторов.

Следовательно, первым этапом реализации алгоритма являются статистические исследования «слабых» классификаторов по диагностике медицинского риска и их мета-анализ [10, 11,17]. По результатам мета-анализа оценивается значимость каждого слабого классификатора медицинского риска, попавшего в мета-анализ. Для каждого «слабого» классификатора определяются суррогатные маркеры. Суррогатные маркеры выбираются на основе экспертной оценки, которая может быть представлена в виде нечётких чисел (функций принадлежности) или нечётких решающих правил [12,17].

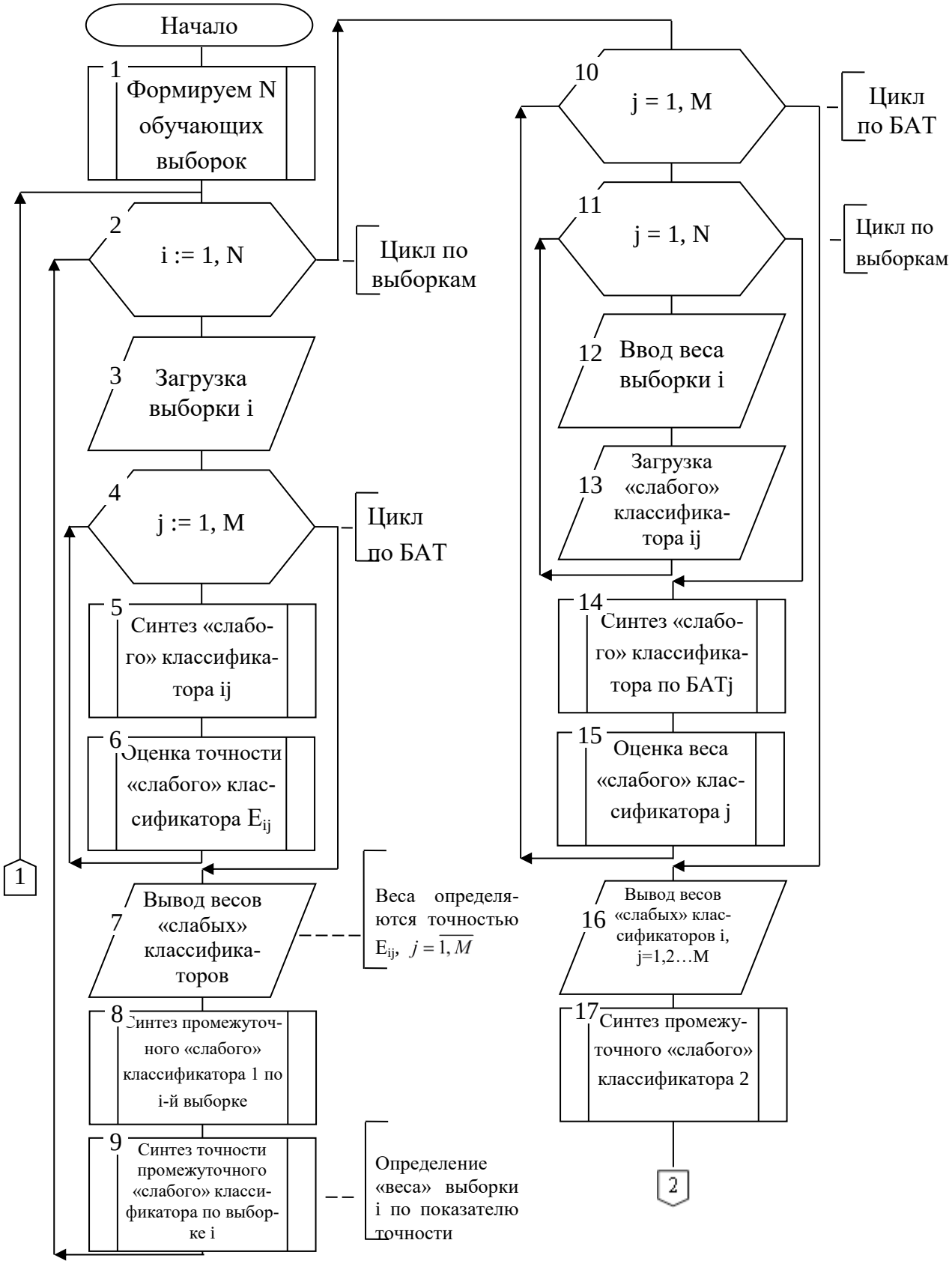


Рис. 4. Схема алгоритма классификации медицинского риска на основе импедансного анализа БАТ (начало, окончание см. на с. 72)

Fig. 4. Scheme of medical risk classification algorithm based on impedance analysis of BAT (for the end, see p. 72)

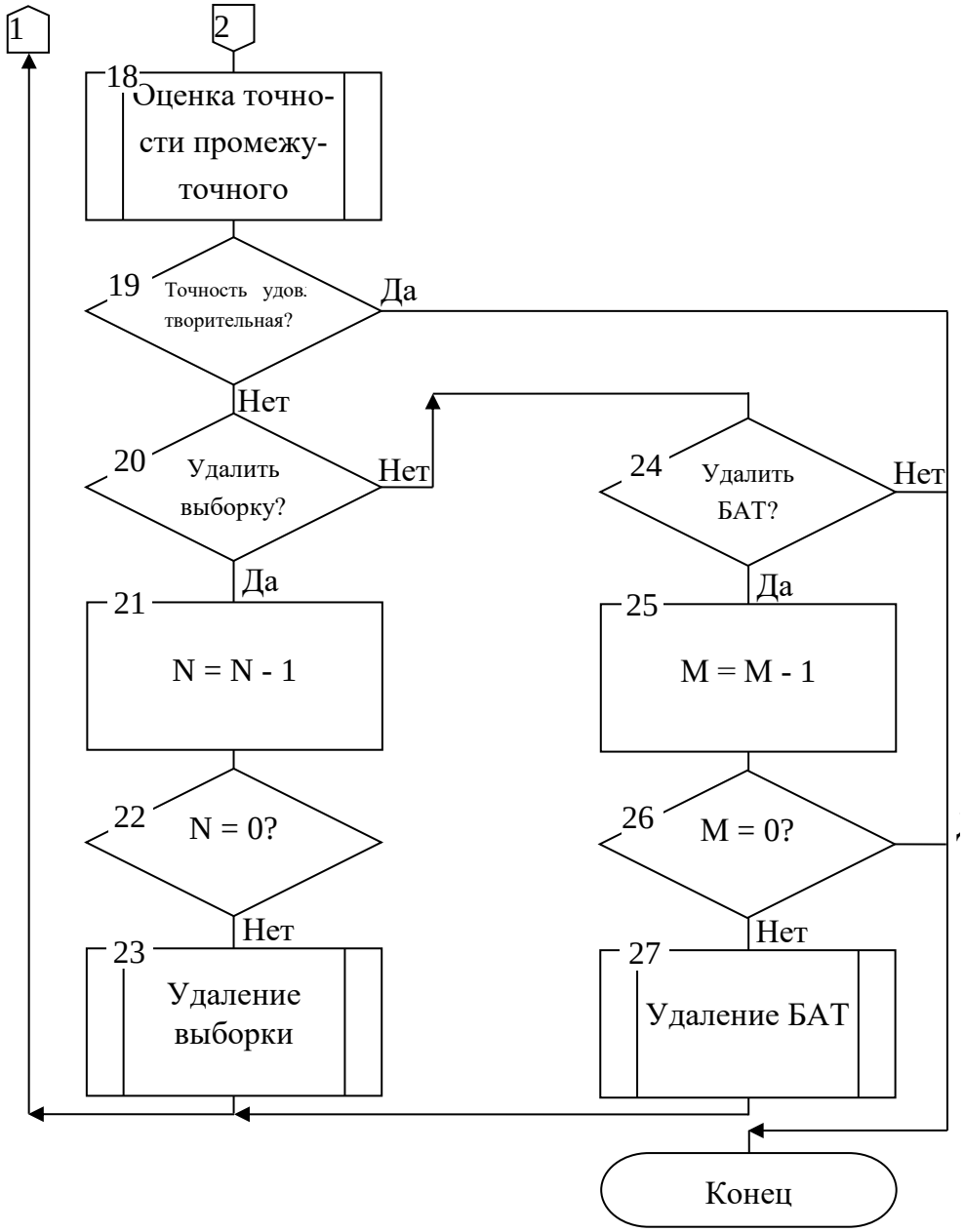


Рис. 4. Схема алгоритма классификации медицинского риска на основе импедансного анализа БАТ (окончание, начало см. на с. 70)

Fig. 4. Scheme of medical risk classification algorithm based on impedance analysis of BAT (beginning see p. 70)

Суррогатные маркеры могут быть установлены также на основе статистических исследований. Связь «маркер – медицинский риск» исследуется по результатам мета-анализа или на основе байесовских методов.

Схема алгоритма формирования ансамбля классификатора для диагностики медицинского риска представлена на рис. 5.

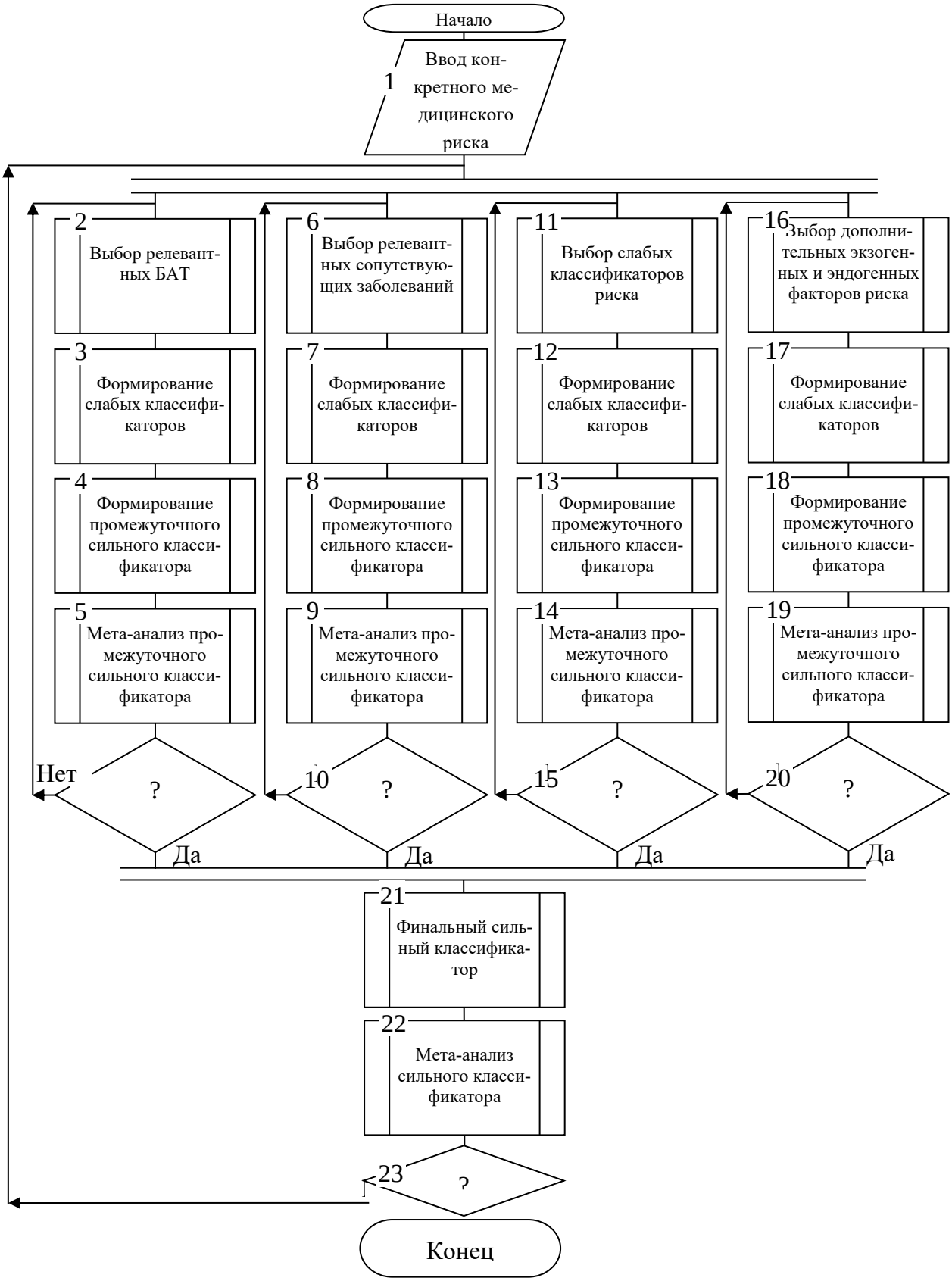


Рис. 5. Схема алгоритма формирования «слабых» классификаторов для диагностики медицинского риска

Fig. 5. Scheme of algorithm of formation of "weak" classifiers for diagnostics of medical risk

В блоке 1 ЛПР устанавливает вид медицинского риска (конкретного заболевания, хирургической операции терапевтического воздействия), для которого формируется ансамбль классификаторов.

После этого формируются слабые классификаторы ансамбля. Причем слабые классификаторы ансамбля разбиты на четыре группы, для каждой из которых строится свой промежуточный сильный классификатор. В первую группу входят классификаторы, работа которых основана на анализе импеданса в БАТ, релевантных для выбранного медицинского риска (блоки 1 – 5). Ко второй группе относят слабые классификаторы, которые анализируют соответствующие заболевания (блоки 6- 10). Третью группу составляют слабые классификаторы сердечно-сосудистых рисков (блоки 11 – 15). Последняя четвёртая группа содержит слабые классификаторы, анализирующие суррогатные маркеры, характерные для медицинских рисков, на основе которых формируются ансамбли слабых классификаторов (блоки 16 – 20).

После определения суррогатных маркеров синтезируются «слабые» классификаторы (блок 17). В блоках 3, 8, 13, 18 формируются «сильные» классификаторы, объединяющие риски по выделенным группам слабых классификаторов, а в блоках 4, 9, 14 и 19 осуществляется мета-анализ полученных рисков.

В блоке 21 формируется финальный агрегатор, на выходе которого присутствует оперативный риск, соответствующий этому ансамблю классификаторов. В случае неудачного выбора суррогатных маркеров (релевантных БАТ) или неудачного комплектования обучающих выборок соответствующее множество станет пустым (блоки 21 и 24 схемы алгоритма на рис. 4), что даст основание исследователю перейти к новым обучающим выборкам или новым суррогатным маркерам. Экспериментальные результаты показали, что эффективность ансамбля «слабых» классификаторов слабо зависит от диагностической эффективности «слабых» классификаторов, входящих в его состав.

Результаты и их обсуждение

Для построения модели классификатора по схемам алгоритма рисунка 4 и рисунка 5 необходимо выполнить следующую последовательность процедур.

Выделение релевантной (релевантных) БАТ для заболевания или органа, определяющего медицинский риск. Процедура включает формирование пула БАТ, из которых выделяется множество репрезентативных по критериям информативности и доступности. В состав множества входит M БАТ.

Выделение групп наблюдения для выбранного медицинского риска – формируются эталонные группы, подверженные медицинскому риску ω_1 (например, инсульт), и группы с нуле-

вым медицинским риском ω_2 согласно рис. 1.

В результате прохождения теста (исследование энергетических характеристик конкретной БАТ) испытуемый из эталонной группы характеризуется показателями электропроводности БАТ, выраженными в процентах к среднестатистическим. Результаты тестов являются суррогатными маркерами, полученными на *M* репрезентативных БАТ. Суррогатный маркер может быть как скаляром, так и вектором.

Строятся «слабые» классификаторы NETij (см. рис. 2 и рис. 3). «Слабые» классификаторы строятся для каждой обучающей выборки и для каждого суррогатного маркера. Всего необходимо построить NxM «слабых» классификаторов.

Формирование *M* подмножеств X_j «слабых» классификаторов (см. рис. 3). Для каждого *j*-го суррогатного маркера (репрезентативной БАТ) строим подмножество Xj, число элементов в котором N равно числу сформированных эталонных групп медицинского риска ω_λ:

$$\left\{X_j^{i\lambda} = P_i(\omega_\lambda \mid Tecmj)\right\},$$
$$i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M}. \qquad (2)$$

В качестве примера на рисунке 6 представлен процесс формирования «слабого» классификатора для теста БАТ VG16 (суррогатный маркер в этом тесте имеет одну компоненту, то есть является скаляром).

На рисунке 6,*а* показана гистограмма процентных отклонений от нормы для теста БАТ VG16 эталонной группы из ста пациентов с высоким риском инсульта (для класса ω_1). На рисунке 6,*б* представлена гистограмма процентных отклонений от нормы для теста БАТ VG16 для эталонной группы из ста пациентов с низким риском инсульта (для класса ω_2).

6. Строятся ансамбли «слабых» классификаторов для каждой обучающей выборки:

$$\left\{Y_i = F(\overrightarrow{X_j})\right\}, \; i = \overline{1, N}; \; j = \overline{1, M}, \qquad (3)$$

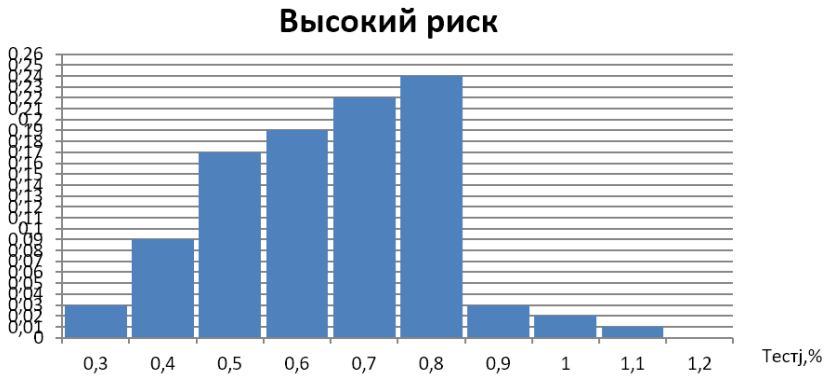
связывающие *M* суррогатных маркеров из множества $\{Тест_j\}$ с моделью латентной переменной *(Риск)*.

7. Для каждой обучающей выборки осуществляется фильтрация моделей риска с учётом экспертной оценки влияний выбранных суррогатных маркеров на прогноз медицинского риска ω_1.

8. Строятся ансамбли «слабых» классификаторов по суррогатным маркерам, селектированных с учетом п.7:

$$\left\{Z_j(\vec{Y})\right\}, \; j = \overline{1, M}. \qquad (4)$$

9. Реализуется финальный классификатор медицинского риска $R = \left(\vec{Z}\left(\vec{Y}\left(\vec{X}\right)\right)\right)$.



а)

б)

Рис. 6. Гистограмма, построенная на основе теста «БАТ VG16» для эталонных групп: *а* – «высокий риск инсульта – класс (ω_1)»; *б* – «низкий риск инсульта – класс (ω_2)»

Fig. 6. Histogram, based on the test "BAT VG16", for reference groups: *a* – " High risk of stroke-class (ω_1)"; *б* – " Low risk of stroke-class (ω_2)»

Медицинский риск $P_i(\omega_1 \mid Тест_j)$ по классу ω_1, определяемый на основе *j*-го «слабого» классификатора, полученного на *i*-й обучающей выборке, вычисляем по формуле Байеса:

$$P_i(\omega_1 \mid Тест_j) = \frac{P(Тест_j \mid \omega_1) \cdot P(\omega_1)}{P(Тест_j)}, \quad (5)$$

где $P(Тест_j \mid \omega_1)$ – условная вероятность возникновения события $Тест_j$ при наличии медицинского риска ω_1;

$P(\omega_1)$ – априорная вероятность появления медицинского риска по ситуации ω_1;

$P(Тест_j)$ – априорная вероятность события $Тест_j$.

Аналогично определяется условная вероятность события $P_i(\omega_2 \mid Тест_j)$.

Априорная вероятность $P(\omega_1)$ определяется из медицинских статистических данных. $P(Тест_j)$ определяется

как статистический показатель $Тест_j$ в выборках классов ω_1 и ω_2. Так как пациентов с низким медицинским риском, в смысле не попавших в ситуацию ω_1, значительно больше, чем пациентов с высоким риском ω_1, то статистику можем ограничить только классом ω_2 – «низкий риск».

Для получения конкретной величины апостериорной вероятности $P(Тест_j \mid \omega_1)$ используют гистограмму результатов тестирования $Тест_j$ по выборкам «высокий риск ω_1» (для теста «БАТ VG16» по классу «высокий риск инсульта» она приведена на рисунке 6,*а*)). «Слабый» классификатор для этого класса, построенный по суррогатному маркеру $Тест_j$, получаем согласно формуле (5). Для этого необходимо собрать априорные данные, например, в виде гистограмм, приведенных на рисунке 6. Получив результат тестирования, находим, в каком диапазоне он лежит на гистограмме, и выполняем соответствующий отсчет по оси ординат. Нормируя его по величине $\frac{P(\omega_1)}{P(Тест_j)}$, тоже априорной, получаем результат работы «слабого» классификатора.

На рисунке 7 показаны зависимости (5), полученные по графикам на рисунке 6 для классов ω_1 – высокий риск и ω_2 – низкий риск.

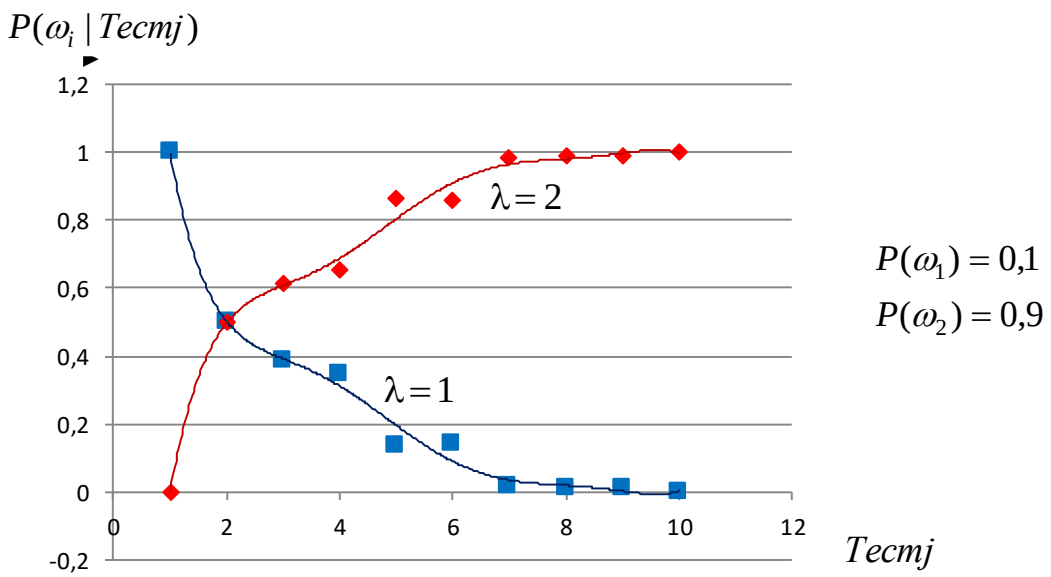


Рис. 7. Графики зависимостей апостериорных условных вероятностей по классам «высокий риск инсульта – класс (ω_1)» и «низкий риск инсульта – класс (ω_2)» при априорных вероятностях классов $P(\omega_1)$=0,1 и $P(\omega_2)$=0,9

Fig. 7. Dependence graphs of posterior conditional probabilities for the classes “High risk of stroke - class (ω_1)” and “Low risk of stroke – class (ω_2)” with a priori probabilities of classes P (ω1) = 0,1 and P (ω2) = 0,9

Для ансамбля «слабых» классификаторов риска R_{1j} по классу ω_1 по j-му суррогатному маркеру объединяют по нечеткому «ИЛИ» частные риски, полученные по всем «слабым» классификаторам на N обучающих выборках:

$$R_{1j} = \max_{i=\overline{1,N}} \{R_{1ij}\}. \quad (6)$$

Финальный классификатор получаем по правилу сложения вероятностей совместных событий:

$$R_1(j+1) = R_1(j) + R_{1(j+1)} \cdot [1 - R_1(j)], \quad (7)$$

где номер итерации $j = \overline{1, M-1}$; $R_1(1) = R_{11}$.

Выводы

Разработан метод построения модели «слабого» классификатора медицинского риска с суррогатным маркером, полученным на основе исследования показателей электропроводности БАТ, отличающийся тем, что в процессе моделирования строятся две модели классификаторов, первая из которых проверяет в качестве нулевой гипотезы наличие заданного медицинского риска, а вторая в качестве нулевой гипотезы использует его отсутствие. Для диагностики медицинского риска формируются две обучающие выборки с высоким медицинским риском и с низким медицинским риском, а также определяется способ вычисления суррогатного маркера по результатам исследования электропроводности в БАТ. Суррогатный маркер вычисляется в процентах от номинального значения, причём номинальное значение определяется как медиана суррогатного маркера в обучающей выборке. Для каждой обучающей выборки строятся интервальные гистограммы для суррогатных маркеров. Учитывая, что число образцов в обучающих выборках неодинаково, число интервалов в гистограмме выбирается исходя из допустимой точности вычисления показателя электропроводности. При биоимпедансных исследованиях эта точность не превышает 10%, поэтому на гистограмме выделяют десять интервалов.

В каждом интервале обеих обучающих выборок находится условная вероятность медицинского риска или его отсутствие. За априорную вероятность события $Тест_{j\lambda}$, где j – номер БАТ, λ – номер интервала, принимают значение гистограммы в интервале λ для выборки с низким медицинским риском.

По формуле Байеса вычисляют условную вероятность медицинского риска или его отсутствие в каждом интервале гистограмм двух обучающих выборок. Окончательную модель «слабого» классификатора получают путём вычитания двух полученных моделей, предварительно задавшись пороговой величиной модуля этой разности, которая является репером, указывающим на интервалы, в которых «слабый» классификатор не работает.

Разработанные интеллектуальные технологии направлены на повышение качества диагностики медицинского риска и могут быть использованы в системах скрининговой диагностики при принятии решений по медицинскому риску.

Список литературы

1. Киселев А.В., Шаталова О.В., Петрунина Е.В. Слабые классификаторы с виртуальными потоками в интеллектуальных системах прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т.9. №1 (30). С. 6-19.

2. Мохаммед А.А., Шаталова О.В., Аль-Кдаси А.М. Моделирование влияния электрокардиосигнала на оценку динамической составляющей биоимпеданса // Медицинская техника. 2013. № 4 (280). С. 30-32.

3. Суржикова С.Е., Мухатаев Ю.Б., Шаталова О.В. Исследование проводимости биоматериалов в биоактивных точках при циклических воздействиях токами различной полярности // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. Вып.9. С.32-36.

4. Филист С.А., Шаталова О.В., Богданов А.С. Модели биоимпеданса при нелинейной вольтамперной характеристике и обратимом пробое диэлектрической составляющей биоматериала // Бюллетень сибирской медицины. 2014. Т. 13, № 4. С. 129-135.

5. Филист С.А., Кузьмин А.А., Кузьмина М.Н. Биотехническая система для контроля импеданса биоматериалов в экспериментах invivo // Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. №9. С. 38-42.

6. Шаталова О.В. Итерационная многопараметрическая модель биоимпеданса в экспериментах invivo // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т.9, № 1 (30). С. 26-38.

7. Суржикова С.Е., Филист С.А., Жилин В.В. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3. С. 85-95.

8. Филист С.А., Шаталова О.В., Ефремов М.А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. 2014. №6. С. 35-39.

9. Шаталова О.В. Ассоциации решающих модулей в интеллектуальных системах прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С.153-162.

10. Ефремов М.А., Шаталова О.В., Федянин В.В. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге ле-

карственных назначений // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 42-47.

11. Курочкин А.Г., Шкатова Е.С., Шуткин А.Н. Многоуровневый мета-анализ для прогнозирования функционального состояния по суррогатным маркерам/ // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. Вып.9. С.25-31.

12. Филист С.А., Томакова Р.А., Яа З.Д. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. №4(43), ч. 2. С. 44-50.

13. Томакова Р.А., Мухаммед А.А., Плесканос Л.В. Многоагентные системы классификации на основе нелинейных моделей импеданса в биоактивных точках // Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. № 9. С. 51-55.

14. Томакова Р.А., Филист С.А., Томаков М.В. Гибридные технологии в интеллектуальных системах идентификации лекарственных средств // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. №6. С. 31-66.

15. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I. Development and Research of Methods and Algorithms for Intelligent Systems for Complex Structured Images Classification // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, № 22. P. 6039-6041.

16. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I. Intelligent Medical Decision Support System Based on Internet-Technology // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2016. № 2, pt. 1. P. 263-270.

17. Шуткин А.Н. Методология синтеза гибридных классификаторов для прогнозирования состояния здоровья и профессиональной пригодности при работе в экстремальных условиях: дис. …д-ра техн. наук. Курск, 2018. 435 с.

References

1. Kiselev A.V., Shatalova O. V., Petrunina E. V., eds. Slabye klassifikatory s virtual'nymi potokami v intellektual'nykh sistemakh prognozirovaniya serdechno-sosudistykh oslozhnenii [Weak classifiers with virtual flows in intelligent systems for predicting cardiovascular complications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering,* 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 6-19 (In Russ.).

2. Mohammed A. A., Shatalova O. V., Al-Qdasi A. M., Snopkov V. N. Modelirovanie vliyaniya elektrokardiosignala na otsenku dinamicheskoi sostavlyayushchei bioimpedansa [Modeling of influence of electrocardiosignal on estimation of dynamic component of bi-

oimpedance]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technics*, 2013, no. 4 (280), pp. 30-32 (In Russ.).

3. Surzhikova S. E., Mukhataev O. V., Shatalova Yu. B. Issledovanie provodimosti biomaterialov v bioaktivnykh tochkakh pri tsiklicheskikh vozdeistviyakh tokami razlichnoi polyarnosti [Investigation of biomaterials conductivity in bioactive points under cyclic effects by currents of different polarity]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, vol.9, pp. 32-36 (In Russ.).

4. Filist S. A., Shatalova O. V., Bogdanov A. S. Modeli bioimpedansa pri nelineinoi vol'tampernoi kharakteristike i obratimom proboe dielektricheskoi sostavlyayushchei biomateriala [Models of bioimpedance at nonlinear voltamper characteristic and reversible breakdown of dielectric component of biomaterial]. *Byulleten' sibirskoi meditsiny = Bulletin of Siberian medicine*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 129-135 (In Russ.).

5. Filist S. A., Kuzmin A. A., Kuzmina M. N. Biotekhnicheskaya sistema dlya kontrolya impedansa biomaterialov v eksperimentakh invivo [Biotechnical system for biomaterial impedance control in invivo experiments]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2014, no. 9, pp. 38-42 (In Russ.).

6. Shatalova O. V. Iteratsionnaya mnogoparametricheskaya model' bioimpedansa v eksperimentakh invivo [Iterative multiparametric model of bioimpedance in invivo experiments]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2019, vol. 9, no. 1 (30), pp. 26-38 (In Russ.).

7. Surzhikova S. E., Filist S. A., Zhilin V. V., Kurochkin A. G. Ispol'zovanie gibridnykh neirosetevykh modelei dlya mnogoagentnykh sistem klassifikatsii v geterogennom prostranstve informativnykh priznakov [Use of hybrid neural network models for multi-agent classification systems in heterogeneous space of informative features]. *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii = Caspian journal: management and high technologies*, 2015, no. 3, pp. 85-95 (In Russ.).

8. Filist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibridnaya neironnaya set' s makrosloyami dlya meditsinskikh prilozhenii [Hybrid neural network with macro-layers for medical applications]. *Neirokomp'yutery. Razrabotka i primenenie = Neurocomputers. Development and application*, 2014, no. 6, pp. 35-39 (In Russ.).

9. Shatalova O. V. Assotsiatsii reshayushchikh modulei v intellektual'nykh sistemakh prognozirovaniya serdechno-sosudistykh zabolevanii [Associations of decision modules in intelligent systems of cardiovascular disease prediction]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v bi-*

omeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical system, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 153-162 (In Russ.).

10. Efremov M. A., Shatalova O. V., Fedyanin V. V., Shutkin A. N. Gibridnye mnogoagentnye klassifikatory v biotekhnicheskikh sistemakh diagnostiki zabolevanii i monitoringe lekarstvennykh naznachenii [Hybrid multi-agent classifiers in biotechnical systems of disease diagnosis and monitoring of medicinal purposes]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primenenie = Neurocomputers: development, application*, 2015, no. 6, pp. 42-47 (In Russ.).

11. Kurochkin A. G., Shkatova E. S., Shutkin A. N. Mnogourovnevyi meta-analiz dlya prognozirovaniya funktsional'nogo sostoyaniya po surrogatnym markeram [Multilevel meta-analysis for predicting the functional state of surrogate markers]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, vol. 9, pp. 25-31 (In Russ.).

12. Filist S. A., Tomakova R. A., Yaa Z. D. Universal'nye setevye modeli dlya zadach klassifikatsii biomeditsinskikh dannykh [Universal network models for classification problems of biomedical data]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2012, no. 4 (43), pt. 2, pp. 44-50 (In Russ.).

13. Tomakova R. A., Muhammed A. A., Plekskanos L. V. Mnogoagentnye sistemy klassifikatsii na osnove nelineinykh modelei impedansa v bioaktivnykh tochkakh [Multi-Agent classification systems based on nonlinear impedance models in bioactive points]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2014, no. 9, pp. 51-55 (In Russ.).

14. Tomakova R. A., Filist S. A., Tomakov M. V. Gibridnye tekhnologii v intellektual'nykh sistemakh identifikatsii lekarstvennykh sredstv [Hybrid technologies in intelligent drug identification systems]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primenenie = Neurocomputers: development, application*, 2014, no. 6, pp. 31-66 (In Russ.).

15. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I. Development and Research of Methods and Algorithms for Intelligent Systems for Complex Structured Images Classification. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 22, pp. 6039-6041.

16. Tomakova R.A., Filist S.A., Pykhtin A.I., Shutkin A.N. Intelligent Medical Decision Support System Based on Internet-Technology. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2016, no.2, pt. 1, pp. 263-270.

17. Shutkin A. N. Metodologiya sinteza gibridnykh klassifikatorov dlya prognozirovaniya sostoyaniya zdorov'ya i professional'noi prigodnosti pri rabote v ekstremal'nykh usloviyakh [Methodology of synthesis of hybrid classifiers for predicting health and professional fitness at work in extreme conditions]. Diss. dokt. tekhn. nauk. Kursk, 2018. 435 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Протасова Зейнаб Усама, аспирант,
кафедры биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: zeinab.zeidan@yandex.ru

Zeinab U. Protasova, Post-Graduate Student,
Department of Biomedical Engineering,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail: zeinab.zeidan@yandex.ru

Шаталова Ольга Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: shatolg@mail.ru

Olga V. Shatalova, Cand. of Sci. (Engineering),
Asociate Professor, Department of Biomedical
Engineering, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: shatolg@mail.ru

Али Абдалла Бабикер Дафалла, докторант
кафедры биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: Shakabi00@Yahoo.com

Ali A.B. Dafalla, Master, Department
of Biomedical
Engineering, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: Shakabi00@Yahoo.com

Дегтярев Сергей Викторович,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных систем и
технологий, ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Sergey V. Degtyaryov, Dr. of Sci. (Engineering),
Professor, Department of Biomedical Engineering,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

УДК 616-003.6

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики пневмокониозов у работников гальванических цехов

И. Ю. Григоров [1], И. И. Хрипина [2] ✉, В. В. Серебровский [2], С. В. Дегтярёв [2]

[1] ОБПУ «Курский автотехнический колледж»
ул. Энгельса, 144А, г. Курск, 305007, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Целью исследования *является синтез математических моделей прогнозирования и ранней диагностики пневмокониоза у работников гальванических цехов, обеспечивающих приемлемое для профилактической медицины качество принятия решений.*

Методы*. Учитывая неполную и нечеткую структуру данных исследуемых классов заболеваний, в качестве математического аппарата исследований выбрана технология мягких вычислений, в частности методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач с аналогичной структурой данных и типом неопределенности. Выбранный и адаптированный под решаемые задачи метод синтеза позволяет учитывать мультипликативный эффект воздействия на организм человека вредных химических веществ, порождаемых процессом гальванизации, с учетом времени воздействия и других существенных эндогенных и экзогенных факторов риска.*

Результаты*. Полученные математические модели прогнозирования и ранней диагностики пневмокониозов у работников гальванических производств кроме воздействий на организм человека пылевых и аэрозолевых фиброгенных факторов риска учитывают неблагоприятные экологические факторы другой природы в сочетании с особенностями эргономики гальванических цехов и с индивидуальными факторами риска. С использованием методов экспертных оценок и математического моделирования было показано, что полученная модель обеспечивает уверенность в правильном прогнозе появления и развития пневмокониоза работников гальванических производств не ниже 0,85, а ранней диагностики не ниже 0,9.*

Заключение*. В работе получены нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики пневмокониоза у работников гальванических производств, где ведущим фактором риска являются вредные химические вещества в сочетании с другими эндогенными и экзогенными факторами риска. Показано, что уверенность в прогнозе превышает величину 0,85, а в наличии ранних стадий – 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику работы профильных врачей профпатологов.*

Ключевые слова: *математические модели; пневмокониоз; ранняя диагностика заболеваний; гальванический цех.*

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

© Григоров И. Ю., Хрипина И. И., Серебровский В. В., Дегтярёв С. В., 2019

Для цитирования: Математические модели прогнозирования и ранней диагностики пневмокониозов у работников гальванических цехов / И. Ю. Григоров, И. И. Хрипина, В. В. Серебровский, С. В. Дегтярёв // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 84–98.

Статья поступила в редакцию 05.06.2019

Статья подписана в печать 10.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Mathematical Models for Predicting and Early Diagnostics of Pneumokoniosis in Workers of Galvanic Works

Igor Y. Grigorov [1], Irina I. Khripina [2] ✉, Vadim V. Serebrovskiy [2], Sergey V. Degtyarov [2]

[1] Kursk Autotechnical College
Engelsa str. 144A, Kursk 305007, Russian Federation

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

Purpose of research *is to synthesize mathematical models of forecasting and early diagnosis of pneumoconiosis in workers of electroplating plants providing quality decision-making acceptable for preventive medicine.*

Methods. *Taking into account the incomplete and fuzzy description of the studied class of diseases, the technology of soft calculations and, in particular, the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules, which has proven itself in solving problems with a similar data structure and type of uncertainty, were chosen as the basic mathematical apparatus.*

The method of synthesis chosen and adapted to the problems to be solved makes it possible to take into account the multiplicative effect of exposure to the human body of harmful chemical substances generated by the galvanization process, taking into account the exposure time and other significant endogenous and exogenous risk factors.

Results. *The obtained mathematical models for predicting and early diagnosis of pneumoconiosis in workers of electroplating industries, in addition to influencing the human body of dust and aerosol fibrogenic risk factors, take into account adverse environmental factors of a different nature in combination with the characteristics of the ergonomics of electroplating plants and individual risk factors.*

In the course of mathematical modeling and expert estimation, it was shown that the obtained model provides confidence in the correct prediction of the emergence and development of pneumoconiosis of electroplating workers not lower than 0.85, and early diagnosis not lower than 0.9.

Conclusion. *The paper obtained fuzzy mathematical models for predicting and early diagnosis of pneumoconiosis in electroplating industry workers, where hazardous chemicals are the leading risk factor in combination with other endogenous and exogenous risk factors. It is shown that the confidence in the forecast exceeds the value of 0.85, and in the presence of the early stages - 0.9, which allows us to recommend the results obtained in the practice of specialized occupational physicians.*

Key words: *mathematical models; pneumoconiosis; early diagnosis of diseases; galvanic workshop.*

Conflict of interest: *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Grigorov I. Y., Khripina I. I., Serebrovskiy V. V., Degtyarov S. V. Mathematical Models for Predicting and Early. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 84–98 (In Russ.).

Received 05.06.2019

Accepted 10.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

По данным зарубежных и отечественных исследователей, современное гальваническое производство занимает значительное место среди загрязнителей воздуха рабочей зоны. Подавляющее большинство технологических процессов металлических покрытий в гальванических цехах является источником выделения в воздушную среду вредных химических веществ в виде промышленной пыли, аэрозолей и газов, приводящих к появлению и развитию целого ряда заболеваний системы дыхания, желудочно-кишечного тракта, кожного покрова и т. д. [1, 3, 5, 6, 22, 24].

Большинство современных исследований в области профпатологии, включая заболевания среди работников гальванических цехов, ориентировано в основном на статистический анализ уровня заболеваемости без синтеза прогностических и диагностических решающих правил.

Известны работы, посвящённые оценке риска возникновения профессиональных заболеваний без учёта индивидуальных особенностей организма и сопутствующих экзогенных и эндогенных факторов риска.

Такой подход значительно снижает потенциально достижимые возможности по оказанию качественной медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

Опыт решения подобных задач кафедрой биомедицинской инженерии ЮЗГУ показывает, что для повышения качества ведения пациентов синтезировать математические модели прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики профессиональных заболеваний с учетом специфики процессов гальванизации целесообразно производить с использованием методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), описанной в работах [7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 25, 28, 29].

Данная работа посвящена использованию МСГНРП для решения задач прогнозирования и ранней диагностики такого профессионального заболевания работников гальванического цеха, как пневмокониоз.

Материалы и методы

С математической точки зрения объектом исследования является структура признакового пространства, обеспечивающего надежное прогнозирование и раннюю диагностику пневмокониоза, и модели взаимосвязи информативных признаков с исследуемыми классами состояний.

С медицинской точки зрения объектом исследования являются работники гальванических цехов, склонные к исследуемой патологии и имеющие разную стадию пневмокониоза.

В качестве базового математического аппарата выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, основу которой составляют функции принадлежности $\mu_\ell^d(x_j)$ к исследуемым гипотезам (классам состояний). В качестве базовых переменных этих функций $\omega_\ell(\ell = 1,...,L)$ используются информативные признаки (x_j), комплексные показатели Y_r, определяемые через функциональные зависимости от x_j, комбинированные показатели Z_i, отражающие мультипликативное влияние вредных производственных факторов на состояние здоровья и т.д. Верхний индекс d определяет тип решаемой задачи (d = П – прогноз; d = Р – ранняя диагностика; d = Д – дифференциальный диагноз и т.д.)

В соответствии с рекомендациями [13] для определения вклада вредных химических веществ в появление и развитие пневмокониоза используется базовая переменная Z_{1i}, определяемая по формуле

$$z_{\ell i} = f_{\ell i}(\frac{c_i}{c_{\Pi i}}) \cdot f_{\ell i}^*(t_i), \qquad (1)$$

где $c_{\Pi i}$ – предельно допустимая концентрация промышленных ядохимикатов $ПЯ_i$ с идентификатором i;

c_i – усредненная концентрация действия $ПЯ_i$ на огранизм человека;

t_i – время нахождения человека в контакте $ПЯ_i$;

$f_{\ell i}(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния ПЯ с концентрацией c_i на появление и развитие заболеваний ω_ℓ с областью определения [0,…, 1];

$f_{\ell i}^*(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния времени воздействия $ПЯ_i$ на появление и развитие патологии ω_ℓ с той же областью определения, что и $f_{\ell i}(\cdot)$.

Таким образом, частная уверенность в появлении и развитии профессиональных заболеваний определяется наборами функций принадлежности $\omega_1^d(Z_{1i})$ (1 = П – пневмокониоз).

Уверенность UHR_Π^Π в прогнозе появления профессионального заболевания от факторов риска вредных химических веществ, находящихся в рабочих зонах гальванических цехов (производственные ядохимикаты ПЯ), определяется нечеткой функцией

$$UHR_\Pi^\Pi = Ag_\Pi^\Pi[\mu_\Pi^\Pi(Z_{\Pi_i})], \qquad (2)$$

где $Ag_{П}^{П}$ – агрегатор прогностических функций принадлежности для класса $\omega_{П}$; i=1,2,…

Для ранней стадии профпатологии $\omega_{П}$

$$UHR_{П}^{P} = Ag_{П}^{P}[\mu_{П}^{P}(Z_{П_i})], \quad (3)$$

где $Ag_{П}^{P}$ – агрегатор диагностических функций принадлежности для класса $\omega_{П}$.

С учетом рекомендаций работ [18, 20, 21, 23] агрегация составляющих математических моделей осуществляется с использованием модифицированной формулы Е. Шортлифа, тогда

$$UHR_{П}^{d}(q+1) = UHR_{П}^{d}(q) + \\ +\mu_{П}^{d}(Z_{П_{i+1}})[1-UHR(q)], \quad (4)$$

где q – номер итерации $UHR_{П}^{d}(1) = \mu_{П}^{d}(Z_{П_1})$.

Известно, что кроме промышленных ядохимикатов на появление и развитие пневмокониоза оказывает целый ряд существенных экзогенных и эндогенных факторов риска $EFR_{П}^{d}$ (экология, эргономика, индивидуальные факторы риска), которые определяются в результате опросов, осмотров, инструментальных и лабораторных методов исследования.

Механизмы расчета $EFR_{П}^{d}$ для различных профессиональных болезней с необходимой для практической реализации полностью описаны в работах [16, 18, 20, 21, 23].

Совместный учет составляющих $UHR_{П}^{d}$ и $EFR_{П}^{d}$ дает финальную нечеткую модель принятия решений следующего вида:

$$UF_{П}^{d} = UHR_{П}^{d} + EFR_{П}^{d} - UHR_{П}^{d} \cdot EFR_{П}^{d}. \quad (5)$$

Результаты и их обсуждение

На экспертном уровне было принято решение в качестве производственных факторов риска появления и развития пневмокониозов выбрать фиброгенные пыль (концентрация С1) и аэрозоль (концентрация С2), для которых функции $f_{П_i}(\frac{C_i}{C_{П_i}})$ и $f_{П_i}^{*}(t_i)$ модели (1) определяются следующими выражениями:

$$f_{П_1}(C_1 / C_{П_1}) = \begin{cases} 0,056\,X_1^2, если\, X_1 \le 3, \\ 1-0,056(X_1-6)^2, если\, 3 \le X_1 < 6, \\ 1, если\, X_1 \ge 6; \end{cases}$$

$$f_1^{*}(t) = \begin{cases} 0, если\, t < 2, \\ 0,00255(t-2)^2, если\, 2 \le t < 16, \\ 1-0,00255(t-30)^2, если\, 16 \le X_1 < 30, \\ 1, если\, t \ge 30; \end{cases}$$

$$f_{П_2}(C_2 / C_{П_2}) = \begin{cases} 0,03(X_2)^2, если\, X_2 < 4, \\ 1-0,03(X_2-8)^2, если\, 4 \le X_1 < 8, \\ 1, если\, X_2 \ge 8; \end{cases}$$

$$f_2^*(t)=\begin{cases}0, если\, t<4,\\ 0,0022(t-4)^2, если\, 4\le t<19,\\ 1-0,0022(t-34)^2, если\, 19\le X_1<34,\\ 1, если\, t\ge 34,\end{cases}$$

где $X_1=C_1/C_{П1}$; $X_2=C_2/C_{П2}$.

Функции принадлежности к классу $\omega_П$ для выражения (2) определяются аналитическими выражениями следующего вида:

$$\mu_П^П(Z_{П_1})=\begin{cases}0, если\, Z_{П_1}<0,1,\\ 3,26(Z_{П_1}-0,1)^2, если\, 0,1\le Z_{П_1}<0,45,\\ 0,8-3,26(Z_{П_1}-0,8)^2, если\, 0,45\le Z_{П_1}<0,8,\\ 0,8, если\, Z_{П_1}\ge 0,8;\end{cases}$$

$$\mu_П^П(Z_{П_2})=\begin{cases}0, если\, Z_{П_2}<0,2,\\ 2,04(Z_{П_2}-0,2)^2, если\, 0,2\le Z_{П_2}<0,55,\\ 0,5-2,04(Z_{П_2}-0,9)^2, если\, 0,55\le Z_{П_2}<0,9,\\ 0,5, если\, Z_{П_2}\ge 0,9.\end{cases}$$

Использование функций $\mu_П^П(Z_{П_1})$ и $\mu_П^П(Z_{П_2})$ увеличивает уверенность в прогнозе появления и развития пневмокониоза, поэтому уверенность в $\omega_П$ по факторам риска «химические вещества гальванических цехов» (модель 4) определяется выражением

$$UHR_П^П=\mu_П^П(Z_{П_1})+\mu_П^П(Z_{П_2})-\\ -\mu_П^П(Z_{П_1})\cdot\mu_П^П(Z_{П_2}). \quad (6)$$

Составляющая $EFR_П^П$ модель 5 определяется выражением

$$EFR_П^П(p+1)=EFR_П^П(p)+\\ +\mu_П^П(X_{p+1})[1-EFR_П^П], \quad (7)$$

где функции принадлежности $\mu_П^П(X_{p+1})$ и данные опросов, осмотров и инструментальных исследований определяются выражениями, приведенными в работах [18, 20, 21, 23].

Финальная уверенность в прогнозе появления и развития пневмокониоза $UF_П^П$ определяется выражением (5).

В результате экспертного оценивания и математического моделирования было показано, что прогностическая уверенность модели (7) превышет величину 0,85 при делении на 2 класса «заболеет – не заболеет пневмокониозом».

Для определения ранней стадии заболевания модель (5) конкретизируется выражением

$$UF_П^p(q+1)=UF_П^p(q)+\\ +D_П^p(q+1)[1-UF_П^p(q)], \quad (8)$$

где $UF_П^p(1)=D_П^p(1)=\mu_П^p(ER_p)$;

$D_П^p(2)=\mu_П^p(UF_П^П)$; $D_П^p(3)=\mu_П^p(U_{01}^П)$.

Функция принадлежности $\mu_{П}^{p}(ER_p)$ определяется по величине энергетического разбаланса меридиана легкого по методике, описанной в работах [4, 11, 12, 13, 14, 16, 26, 27].

Функция принадлежности $\mu_{П}^{p}(UF_{П}^{П})$ определяется по базовой переменной, вычисляемой по формуле (5).

Функция принадлежности $\mu_{П}^{p}(U_{01}^{П})$ определяется по данным опросника, характеризующего наличие ранних стадий пневмокониоза (ежедневный кашель, длительность кашля, одышка, жалобы на боли в груди, наличие мокроты).

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показали, что математическая модель (8) обеспечивает уверенность в определении ранней стадии пневмокониоза не хуже 0,9 при условии, что стаж работы в условиях гальванического цеха не ниже двух лет при пороге дефазификации на уровне 0,6.

Проведенный разведочный анализ и предварительное моделирование показало, что задачи прогнозирования и ранней диагностики пневмокониозов относят к классу плохоформализуемых задач, которые следует решать, используя технологию мягких вычислений. Опыт решения задач со схожей структурой данных, накопленный в Юго-Западном государственном университете, показал, что удобно для выбранной в работе задачи использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил. Используя эту методологию, с учетом специфики вредных факторов риска гальванических производств в сочетании с другими экзогенными и эндогенными факторами риска были получены нечеткие математические модели, позволяющие решать поставленные в работе задачи с приемлемыми для медицинской практики качеством.

Выводы

Предлагаемые математические модели позволяют обеспечивать прогноз появления и развития пневмокониоза с уверенностью не ниже 0,85, а определять раннюю стадию этой патологии с уверенностью не хуже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику врачей профпатологов.

Полученные математические модели следует использовать в медицинской практике как в виде программного обеспечения смартфонов и планшетных компьютеров, так и в составе мощных систем поддержки принятия решений, включая телемедицинские системы.

Список литературы

1. Ажогин Ф.Ф., Беленький М.А., Гальев Ч.В. Гальванотехника: справочное издание. М.: Металлургия, 1987.

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

3. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. М.: Глобус, 2005.

4. Гадалов В.Н., Кореневский Н.А., Снопков В.Н. 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.

5. Гераськова С.Е., Гаршин В.И. Статистические данные профзаболеваний в гальваническом производстве // Новая наука: Опыт, Традиции, Инновации: междунар. науч. период. изд. по итогам междунар. науч.-практ. конф. (24 марта 2016 г., г. Омск): в 2 ч. Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. Ч. 2.

6. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2005.

7. 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.

8. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С.33-35.

9. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. №6. С.25-31.

10. Кореневский Н.А., Артеменко М.В., Провоторов В.Я. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т.13, № 4. С. 881-886.

11. Кореневский Н. А. , Буняев В. В. , Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии: монография / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2003. 206 с.

12. Модуль регистрации электрических характеристик биологически активных точек для экспертной системы врача рефлексотерапевта / Н.А. Кореневский, Р.А. Круп-

чатников, И.А Ключиков., И.И. Хрипина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. №5 (56). С. 81-88.

13. Кореневский Н. А., Крупчатников Р.А. Инфомационно-интелектуальные технологии в рефлексодиагностике и рефлексотерапии: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

14. 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.

15. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, №12. С.31-39.

16. Кореневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472.

17. Метод синтеза нечетких моделей принятия решений по оценке состояния и управлению биотехническими системами / Н.А. Кореневский, В.В. Серебровский, К.В. Разумова, И.И. Хрипина // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С.68-74.

18. Кореневский Н.А., Серебровский В. И., Коптева Н.А. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей. Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. академии, 2012. 231 с.

19. Кореневский Н.А., Шуткин А.Н., Бойцова Е.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.

20. Кореневский Н.А., Хрипина И.И., Лазурина Л.П. Нечеткие коллективные классификаторы для оценки состояния живых систем // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. Курск, 2015. С.172-174.

21. Кореневский Н.А., Серебровский В.И., Степашов Р.В. Использование технологии мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография. Курск. Изд-во Курск. гос. с.-х. акад., 2016. 224 с.

22. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Введ. 2005-11-01. М.: Изд-во стандартов, 2005. 133 с.

23. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний в электроэнергетике на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил: монография / В.И. Серебровский, М.А. Мясоедова, В.В. Серебровский, Н.А. Кореневский, К.В. Разумова: монография. Курск. Изд-во Курск. гос. с.-х. акад., 2019. 285 с.

24. Филь Е. С., Терентьев И. А. Вопросы охраны труда работников гальванических цехов // Молодой ученый. 2016. N 918. С. 32-35. URL: https://moluch.ru/archive/122/33780/ (дата обращения: 15.04.2019).

25. Шуткин А.Н., Кореневская С.Н., Федянин В.В. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Информационные проекты в медицине и педагогике: материалы международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 61-64.

26. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / R. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, F. Ionescu, M. Alshamasin, A. Kuzmin // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 2012. Vol. 15. P. 681-689.

27. Synthesis of fuzzy logic for prediction and medical diagnostics by energy characteristics of acupuncture points / R. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, F. Ionescu, M. Alshamasin, A. Kuzmin // Acupunct Meridian Stud. 2011. P. 175-182.

28. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data / R.T. Al-Kasabeh, N.A. Korenevskiy, F. Ionescu, A.A. Kuzmin // Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis. Bucharest, 2009. P.71-78.

29. Korenevskiy N.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering. 2009. Vol. 42, № 2. P.67-72.

30. 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.

References

1. Azhogin F.F., Belenky M.A., Galyev Ch.V. Gal'vanotekhnika. Spravochnoe izdanie [Galvanotechnics. Reference media]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987 (In Russ.).

2. Boytsov A.V., Lazurina L. P., Korenevskaya S.N., Shutkin A.N. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Application of the theory of measurement of latent variables for forming of space of informative signs in problems of assessment of a functional status of the person]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering,* 2014, no. 6 (57), pp. 52-58 (In Russ.).

3. Vinogradov S.S. Organizatsiya gal'vanicheskogo proizvodstva [Organization of galvanic production]. Moscow, Globus Publ., 2005 (In Russ.).

4. Gadalov V.N., Korenevsky N.A., Snopkov V.N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Mathematical models of reflex systems of a human body and their use for forecasting and diagnosis of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah,* 2012, vol. 11, no. 2, pp. 515-521 (In Russ.).

5. Geraskova S. E., Garshin V.I. Statisticheskie dannye profzabolevanii v gal'vanicheskom proizvodstve [Statistical data of occupational diseases in galvanic production]. *Novaya nauka: Opyt, Traditsii, Innovatsii. = New science: Experience, Traditions, Innovations.* Sterlitamak, 2016, pt. 2 (In Russ.).

6. Glebova E.V., Vysh M., Glebova E.V. Proizvodstvennaya sanitariya i gigiena da [Production sanitation and occupational health of Uch. the settlement for higher education institutions], Moscow, Vysh. shk. Publ., 2005 (In Russ.).

7. Korenevskiy N.A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [A method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and state management of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering,* 2013, no. 2, pp. 99-103 (In Russ.).

8. Korenevskiy N.A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [Use of a fuzzy logic of decision-making for medical expert systems]. *Medicinskaya tekhnika,* 2015, no. 1, pp. 33-35 (In Russ.).

9. Korenevskiy N.A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Design of decision making systems on indistinct network models in problems of medical diagnostics and forecasting]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2006, no. 6, pp. 25-31 (In Russ.).

10. Korenevskiy N.A., Artemenko M.V., Provotorov V.Ya., Novikova L.A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modelei sistemnykh vzaimosvyazei dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [A method of synthesis of fuzzy decisive rules on the basis of models of system interrelations for a solution of problems of forecasting and diagnosis of diseases]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = Systems analysis and management in biomedical systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886 (In Russ.).

11. Korenevsky, N.A., Bunyaev V.V., Yatsun S. M. Komp'yuternye sistemy rannei diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii [Computer systems of early diagnostics of a status of an organism by reflexology methods]. Novocherkassk, 2003. 206 p. (In Russ.).

12. Korenevsky N.A., Krupchatnikov R.A., Klyuchikov I.A., Khripina I.I. Modul' registratsii elektricheskikh kharakteristik biologicheski aktivnykh tochek dlya ekspertnoi sistemy vracha refleksoterapevta [Module of registration of electric characteristics of biologically active points for expert system Reflexologist]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2014, no.5 (56), pp. 81-88 (In Russ.).

13. Korenevsky N.A., Krupchatnikov R.A. Infomatsionno-intelektual'nye tekhnologii v refleksodiagnostike i refleksoterapii:monografiya [Infomatsionno-intelektualnye of technology in a refleksodiagnostika and reflexotherapy]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p. (In Russ.).

14. Korenevsky N.A., Krupchatnikov R.A., Al-Kasasbekh R.T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modelei [Theoretical fundamentals of biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology on the basis of indistinct network models]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p. (In Russ.).

15. Korenevsky N.A., Razumova K.V. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of collectives of hybrid indistinct models of assessment of a status of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31-39 (In Russ.).

16. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Metodologiya sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decisive rules for medical intellectual decision making support systems]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019, pp. 472 (In Russ.).

17. Korenevsky N.A., Serebrovsky V.V., Razumova K.V., Khripina I.I. Metod sinteza nechetkikh modelei prinyatiya reshenii po otsenke sostoyaniya i upravleniyu biotekhnicheskimi sistemami [A method of synthesis of indistinct models of decision-making according to a status and to management of biotechnical systems]. *Biomedicinskaya radioelektronika = Biomedical electronics*, 2016, no. 9, pp. 68-74 (In Russ.).

18. Korenevsky N.A., Serebrovsky V.I., Kopteva N.A., Govorukhina T.N. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei [Forecasting and diagnosis of the diseases caused by harmful production and ecological factors on the basis of heterogeneous models]. Kursk, Kursk. State Agricultural Academician Publ., 2012. 231 p. (In Russ.).

19. Korenevsky N.A., Shutkin A.N., Boytsova E.A. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelei G. Rasha [Assessment and state management of health on the basis of models G. Rasha]. *Medicinskaya tekhnika = Medical equipment*, 2015, no. 6, pp. 37-40 (In Russ.).

20. Korenevsky N.A., Hripina I.I., Lazurina L.P. Nechetkie kollektivnye klassifikatory dlya otsenki sostoyaniya zhivykh sistem [Indistinct collective qualifiers for assessment of a status of live systems]. *Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii "Optiko-elektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii" = In the collection of Optical-electronic devices and devices in image recognition, image processing and symbolic information collection of materials XII International scientific and technical conference.* Kursk, 2015, pp. 172-174 (In Russ.).

21. Korenevsky N.A., Serebrovsky V.I., Stepashov R.V., Govorukhina T.N. Ispol'zovanie tekhnologii myagkikh vychislenii dlya prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevanii rabotnikov agropromyshlennogo kompleks [Use of technology of soft calculations for forecasting and diagnosis of occupational diseases of employees of agro-industrial complex]. Kursk, Kursk State Agricultural Academician Publ., 2016. 224 p. (In Russ.).

22. Gigiena truda. Rukovodstvo po gigienicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda. Vved 2005-11-01 [Occupational

health. Guide to hygienic assessment of factors of a working environment and labor process. Criteria and classification of conditions truda-Vved 2005-11-01]. Moscow, Izd-vo standartov, 2005. 133 p. (In Russ.).

23. Serebrovsky V.V., Myasoyedova M.A., Serebrovsky V.V., Korenevsky N.A., Razumova K.V. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika professional'nykh zabolevanii v elektroenergetike na osnove metodologii sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil [Forecasting and early diagnosis of occupational diseases in power industry on the basis of methodology of synthesis of hybrid fuzzy decisive rules]. Kursk, Kursk State Agricultural Academician Publ., 2019. 285 p. (In Russ.).

24. Fil E. S., Terentyev I. A. Voprosy okhrany truda rabotnikov gal'vanicheskikh tsekhov [Questions of labor protection of employees of galvanic workshops]. *Molodoi uchenyi = Young scientist*, 2016, no. 918, pp. 32-35. URL: https://moluch.ru/archive/122/33780/ (accessed 15.04.2019) (In Russ.).

25. Shutkin A.N., Korenevskaya S.N., Fedyanin V.V. Proektirovanie baz znanii meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil [Design of knowledge bases of medical expert systems with use of collectives of fuzzy rules]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Informatsionnye proekty v meditsine i pedagogike" = Materials of the international scientific and practical conference "Information projects in medicine and pedagogics"*. Kursk, 2014, pp. 61-64 (In Russ.).

26. Al-Kasasbeh R. , Korenevskiy N., Ionescu F., Alshamasin M., Kuzmin A. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic [Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic]. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering = Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2012, pp. 681-689.

27. Al-Kasasbeh R., Korenevskiy N., Ionescu F., Alshamasin M., Kuzmin A. Synthesis of fuzzy logic for prediction and medical diagnostics by energy characteristics of acupuncture points . Acupunct Meridian Stud., 2011, pp. 175-182.

28. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data. *Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis*. Bucharest, 2009, pp.71-78.

29. Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. *Biomedical Engineering*, 2009, vol. 42, no. 2, pp. 67-72.

30. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M., Ionescou F. A. Smith 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.

Информация об авторах / Information about the Authors

Григоров Игорь Юрьевич, преподаватель, ОБПУ «Курский автотехнический колледж», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Igor Y. Grigorov, Lecturer, Kursk Autotechnical College, Kursk, Russian Federation e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Хрипина Ирина Игоревна, кандидат технических наук, заведующий лабораториями кафедры биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Irina I. Khripina, Cand. of Sci. (Engineering), Head of Laboratories of Biomedical Engineering Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Серебровский Вадим Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail:kstu-bmi@yandex.ru

Vadim V. Serebrovskiy, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Дегтярев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Sergey V. Degtyaryov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: Sergeyd12@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

УДК 615.47

Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивной функции внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем

А.В. Поляков [1], Н.Л. Коржук [2], С.Н. Родионова [3] ✉, Е.А. Николаева [3]

[1] ЗАО «Атриум»
Веневское шоссе, 4, г. Тула, 300004, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
пр. Ленина, 92, г. Тула, 300124, Российская Федерация

[3] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Цель исследования. *Целью работы является повышение качества прогнозирования появления и развития нарушений когнитивных функций внимания в условиях нечеткого описания классов состояний.*

Методы*. Для оценки функций внимания используется прибор, разработанный на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ, позволяющий определять такие свойства внимания, как концентрированность, объём, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость. В качестве математического аппарата используется методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, базовым элементом которых является функция принадлежности к таким классам состояний, как норма, прогноз появления и развития нарушений исследуемых свойств внимания, ранняя стадия нарушений свойств внимания с базовой переменной, определяемой по шкалам выбранных свойств внимания.*

Результаты. *Решение о классификации принимается по максимальной величине анализируемых функций принадлежности.*

Заключение. *Полученные математические модели позволяют прогнозировать появление и развитие нарушений всех исследуемых функций внимания. Экспертное доверие к полученным математическим моделям превышает величину 0,6. Если совместно с показателям внимания использовать дополнительные показатели, характеризующие функциональный резерв, уровни психоэмоционального напряжения и утомления, и энергетический разбаланс меридианных структур организма, уверенность в правильной классификации ранних стадий нарушений функций внимания достигает величины 0,85, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практической психологии и медицине.*

Ключевые слова*: прогнозирование появления и развития нарушений когнитивных функций; гибридные решающие правила; функции принадлежности; уверенность в прогнозе; внимание.*

© Поляков А.В., Коржук Н.Л., Родионова С.Н., Николаева Е.А., 2019

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивной функции внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем / А.В. Поляков, Н.Л. Коржук, С.Н. Родионова, Е.А. Николаева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 99–112.

Статья поступила в редакцию 03.06.2019

Статья подписана в печать 17.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Prediction of the Appearance and Development of Disorders of Cognitive Functions of Attention in the Work of Operators of Information-Rich Human-Machine Systems

Andrey V. Polyakov [1], Nikolay L. Korzhuk [2], Sofya N. Rodionova [3] ✉, Ekaterina.A. Nikolaeva [3]

[1] JSC "Atrium"
Venevskoe shosse, 4, Tula, 300004, Russian Federation

[2] Tula State University
Lenina av., 92, Tula, 300124, Russian Federation

[3] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Perpose of research. *The aim of the work is to improve the quality of predicting the appearance and development of disorders of cognitive functions of attention in the conditions of fuzzy description of classes of States.*
Methods. *To assess the functions of attention, a device developed at the Department of biomedical engineering of SUSU is used to determine such properties of attention as concentration, volume, selectivity, switchability, distributability and stability. As a mathematical apparatus is used, the hybrid methodology for the synthesis of fuzzy decision rules, the basic element of which is a function of membership of such classes of States as a norm, the forecast of occurrence and development of infringements investigated the properties of attention, the early stage of violations of the properties of attention with a basic variable determined on scales of selected properties of attention.*
Results*. The decision on classification is made by the maximum value of the analyzed membership functions.*
Conclusion. *The obtained mathematical models allow to predict the appearance and development of violations of all the studied functions of attention. Expert confidence in the obtained mathematical models exceeds 0.6. If, together with the level of attention, additional indicators characterizing the functional reserve, levels of psycho-emotional stress and fatigue and energy imbalance of the Meridian structures of the body are used, confidence in the correct classification of the early stages of attention disorders reaches a value of 0.85, which allows us to recommend the results in practical psychology and medicine.*

Keywords*: predicting the appearance and development of cognitive impairment; hybrid decision rules; membership functions; confidence in the forecast; attention.*

Conflict of interest: *The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Polyakov A.V., Korzhuk N.L., Rodionova S.N., Nikolaeva E.A. Izvestiya Prediction of the Appearance and Development of Disorders of Cognitive Functions of Attention in the Work of Operators of Information-Rich Human-Machine Systems. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 99–112 (In Russ.).

Received 03.06.2019

Accepted 17.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Внимание, являясь важнейшей когнитивной функцией человека, обеспечивает активность и целенаправленность всей его познавательной деятельности. Его расстройства зачастую становятся основой для ухудшения других психических функций – мнестических.

Ослабление внимания сопровождается ухудшением всех видов деятельности, ориентировки и адаптации к окружающей среде, что приводит к снижению качества выполняемой трудовой деятельности, снижению надежности работы человеко-машинных систем, вплоть до катастрофических последствий.

Исследователи, занимающиеся проблемой оценки и реабилитации когнитивных функций, отмечают, что одной из актуальных задач современной психологии, психофизиологии, инженерной психологии, психиатрии и других смежных наук является прогнозирование, своевременное выявление и точная классификация состояний функций внимания, что позволит обеспечить адекватную профилактику и коррекцию возникающих нарушений [2,16].

Современные психология и психиатрия используют большое разнообразие методов и средств, позволяющих получить оценки различных свойств внимания, которые технически выполнены как самостоятельные приборы и программы, так и в составе достаточно мощных компьютерных комплексов для когнитивной реабилитации.

Практически все программно-технические решения по контролю за параметрами внимания используют реакцию испытуемого на символьные, цифровые, звуковые, смешанные тестовые задания с фиксацией времени реакции и установлением количества ошибок, по которым судят о норме/ отклонении исследуемой психологической функции или её составляющих. Анализ известных методов и средств оценки показателей внимания показал, что полученные данные не используются при решении задач прогнозирования и ранней

диагностики состояния функций внимания, что значительно снижает потенциальные возможности современных информационных и интеллектуальных технологий для решения целого ряда практических приложений в различных сферах человеческой деятельности, где внимание и его свойства играют важную роль.

Материалы и методы

Из множества технических средств оценки параметров внимания авторами был выбран прибор оценки параметров внимания и памяти, описанный в работах [4,12,16,26]. Отличительной особенностью этого прибора является то, что с его помощью представляется возможность получить количественные значения выделенных параметров внимания: он дифференцирует и дает количественную оценку всех параметров внимания: концентрированности (КВ), объёма (ОВ), селективности (СВ), переключаемости (ПВ), распределяемости (РВ) и устойчивости (УВ).

Кроме того, в работах [12,16] обоснованы значения нормы исследуемых показателей и определены тенденции их варьирования при изменении функционального состояния.

С целью прогнозирования появления и развития когнитивных нарушений были выделены два класса: нарушения когнитивного параметра S за время наблюдения T не ожидается (класс ω_{0s}); произойдёт нарушение параметров внимания S через время T (класс $\omega_{пs}$). Анализ структуры данных по исследуемым параметрам позволил установить, что не существует четко выраженной границы исследуемых классов, а зону пересечения классов ω_{0s} и $\omega_{пs}$ невозможно аналитически описать.

В этих условиях с учётом рекомендаций [10, 14, 23] в качестве базового математического аппарата была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил [5, 9, 10, 11, 14, 21, 22, 23].

Базовыми элементами гибридных нечетких решающих правил являются функции принадлежности к исследуемым классам состояний $\mu_0(Y_s)$ и $\mu_п(Y_s)$ с базовыми переменными, определяемыми на шкалах Y_s, позволяющими получить количественные характеристики исследуемых параметров внимания (S=КВ, ОВ, СВ, ПВ, РВ, УВ).

Отличительной особенностью первичного однократного измерения показателей внимания является то, что результаты измерения характеризуют текущее состояния внимания в момент проведения исследований. При этом ухудшение значений показателей внимания может быть вызвано различными причинами (кратковременный стресс на работе и дома, кратковременное переутомление и т.д.), которые легко устраняются отдыхом, релаксацией и т.д.

Поэтому эксперты для первичного измерения могут определить достаточно низкие максимальные значения первичных функций принадлежности по отношению к классу $\omega_п$.

В задачах прогнозирования появления и развития нарушений функций внимания в ходе профессиональной деятельности, длящейся годами, целесообразно рассматривать показатели S с выделением на них классов: норма $\omega_н$; риск появления и развития нарушений по показателю S – класс $\omega_п$ и ранняя стадия заболеваний – класс $\omega_р$ (рис. 1).

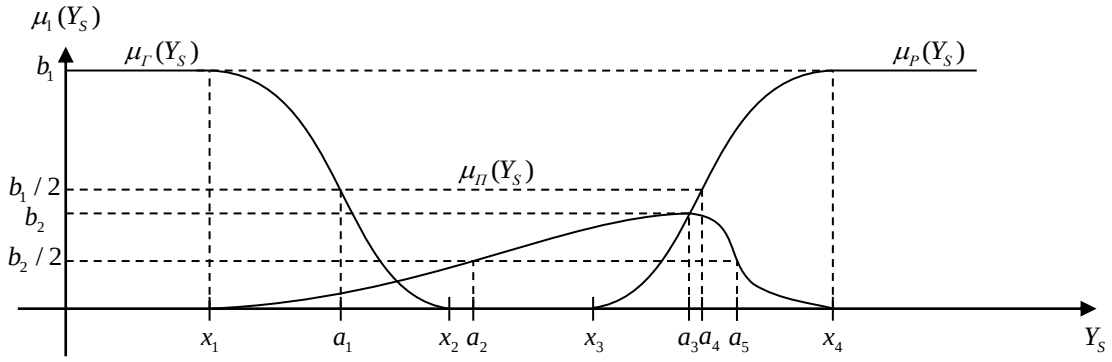


Рис. 1. Вариант графиков функций принадлежности к классам $\omega_н$, $\omega_п$ и $\omega_р$ в задаче прогнозирования появления и развития нарушений внимания по показателю S

Fig. 1. A variant of graphs of functions belonging to classes $\omega_н$, $\omega_п$, and $\omega_р$ in the problem of forecasting the appearance and development of attention disorders by the indicator S

Использование функции принадлежности $\mu_н(Ys)$ позволяет учесть варианты, при которых в процессе трудовой деятельности показатели внимания улучшаются. Применение функции $\mu_p(Ys)$ дает возможность рассматривать задачу прогнозирования как задачу ранней диагностики, в том случае, если у обследуемого наступают ранние стадии когнитивных нарушений. Графики и аналитические выражения функций $\mu_н(Ys)$ и $\mu_p(Ys)$ основаны на учете общих рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил [10,11,14].

Анализ графика функции $\mu_п(Ys)$ позволяет судить о том, что для текущего измерения (при отсутствии ранних стадий нарушения когнитивных функций) при достаточно небольших значениях Y_S нельзя с большой уверенностью утверждать о том, что у обследуемых в ближайшее время появятся соответствующие нарушения, поэтому $в_2<в_1$ и даже $в_2<в_1/2$. Однако со временем эта уверенность может значительно возрасти, в соответствии с рекомендациями [10,14] целесообразно ввести нормировочную временную функцию $f_{пS}(t)$.

С учетом функции $f_{пs}(t)$ значение уверенности в появлении и развитии нарушений показателя внимания S определяется выражением

$$UT_{пs}= \mu_п(Ys) + f_{пs}(t) - \mu_п(Ys)\cdot f_{пs}(t). \quad (1)$$

В зависимости от медико-технических возможностей базовая переменная Y_S может определяться по результатам единичных измерений, усреднением по трем измерениям. С целью повышения точности оценки рекомендуется использовать дополнительные информационные показатели: уровень функционального резерва (FR), уровень психоэмоционального напряжения (UP), уровень утомления (YU), энергетический разбаланс биологически активных точек, «связанных» с вниманием (ERB).

В соответствии с исследованиями, проведенными в [5,9,10,11,14,21], агрегация всех используемых показателей в финальное прогностическое правило UTF_S определяется с помощью модели вида

$$UTF_S=AG(UT_{пs,}\ FR,\ YP,\ YU,\ ERB), \quad (2)$$

где AG – функция агрегации.

Результаты и их обсуждение

С учетом рекомендаций [3,10,14] для всех исследуемых параметров S было определено общее выражение функций принадлежности для параметров КВ, ОВ, СВ, ПВ и УВ:

$$\mu_п(Ys)=\begin{cases} 0, & если\ Ys < x_1; \\ \dfrac{0{,}48(Ys-x_1)^2}{(a_3-x_1)^2}, & если\ x_1 \le Ys < a_2; \\ 0{,}24-\dfrac{0{,}48(Ys-x_3)^2}{(x_3-x_1)^2}, & если\ a_2 \le Ys < a_3; \\ 0{,}24-\dfrac{0{,}48(Ys-a_3)^2}{(x_4-a_3)^2}, & если\ x_3 \le Ys < a_5; \\ \dfrac{0{,}48(Ys-x_4)^2}{(x_4-a_3)^2}, & если\ a_5 \le Ys < x_4; \\ 0, & если\ Ys \ge x_4, \end{cases}$$

где КВ: x_1=150; x_2=250; x_3=260; x_4=360; a_1=200; a_2=225; a_3=300; a_4=310; a_5=330.

ОВ: x_1=4500; x_2=7500; x_3=8000; x_4=9000; a_1=6000; a_2=6350; a_3=8200; a_4=85000; a_5=8350.

СВ: x_1=0,5; x_2=1,5; x_3=2; x_4=2,5; a_1=0,75; a_2=1,35; a_3=2,2; a_4=2,25; a_5=2,35.

ПВ: x_1=250; x_2=450; x_3=460; x_4=560; a_1=350; a_2=375; a_3=500; a_4=510; a_5=530.

УВ: x_1=250; x_2=450; x_3=500; x_4=600; a_1=350; a_2=395; a_3=540; a_5=550.

Для показателя распределяемости внимания прогностическая функция принадлежности имеет вид

$$\mu_п(PB)=\begin{cases} 0, & если\ PB < 100; \\ 0{,}000048(PB-100)^2, & если\ 100 \le PB < 150; \\ 0{,}24-0{,}000048(PB-200)^2, & если\ 150 \le PB < 200; \\ 0{,}24-0{,}000003(PB-200)^2, & если\ 200 \le PB < 400; \\ 0{,}000003(PB-600)^2, & если\ 400 \le PB < 600; \\ 0, & если\ PB \ge 600\ . \end{cases}$$

При построении графика поправочной временной функции следует учитывать интенсивность психоэмоциональной нагрузки, испытываемой оператором при выполнении его трудовой деятельности.

Так, для операторов РЛС

$$f_{\text{пs}}(t)=\begin{cases}0, \ \textit{если}\ t<1;\\ 0{,}017(t-1)^2, \ \textit{если}\ 1\le t<4;\\ 0{,}8-0{,}017(t-7)^2, \ \textit{если}\ 4\le t<8;\\ 0{,}8 \quad \textit{если}\ t\ge 8.\end{cases}$$

Для операторов ЭВМ со средней интенсивностью труда на уровне кафедральных делопроизводителей

$$f_{\text{пs}}(t)=\begin{cases}0, \ \textit{если}\ t<5;\\ 0{,}0035(t-5)^2, \ \textit{если}\ 5\le t<15;\\ 0{,}7-0{,}0035(t-25)^2, \ \textit{если}\ 15\le t<25;\\ 0{,}7 \quad \textit{если}\ t\ge 25.\end{cases}$$

Показатели FR, YP, YU, ERB и соответствующие им функции принадлежности получены в соответствии с рекомендациями [1, 3, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 24, 25].

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильном прогнозе состояния когнитивных функций внимания с использованием модели (2) превышает уровень 0,87.

Кроме того, качество работы модели (2) в течение пяти лет проверялось на репрезентативных контрольных выборках для концентрированности внимания, наиболее страдающей у операторов РЛС и ЭВМ, с расчетом таких показателей, как: диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС), диагностическая эффективность (ДЭ), прогностическая значимость положительных ($ПЗ^+$) и отрицательных ($ПЗ^-$) результатов.

Результаты расчета для класса $\omega_{\text{кв}}$ приведены в таблице.

Таблица. Показатели качества работы математической модели 2 по классу $\omega_{\text{кв}}$

Table. Indicators of the quality of the mathematical model 2 class $\omega_{\text{кв}}$

Год наблюдения / ПК	2014	2015	2016	2017	2018
ДЧ	0,79	0,8	0,85	0,87	0,86
ДС	0,73	0,73	0,86	0,89	0,88
ДЭ	0,75	0,82	0,85	0,88	0,87
$ПЗ^+$	0,78	0,83	0,86	0,87	0,87
$ПЗ^-$	0,76	0,81	0,85	0,88	0,87

Примечание. ПК – показатели качества.

Анализ данных таблицы показывает, что все выбранные показатели качества интенсивно растут первые три года, а затем стабилизируются на уровне 0,85 и выше. Это позволило экспертам выбрать трехлетний срок как надежное время прогноза в задаче прогнозирования нарушений функций концентрированности внимания у операторов ЭВМ и радиолокационных станций (РЛС).

Выводы

Полученные математические модели позволяют прогнозировать появление и развитие нарушений таких показателей внимания, как концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость у операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем. Экспертное доверие к полученным математическим моделям превышает величину 0,85. В ходе статистических испытаний на контрольных выборках, составленных для операторов ЭВМ и радиолокационных станций, было показано, что уверенность в правильном прогнозе по наиболее «страдающему» показателю концентрированности внимания на трехлетний период прогноза превышает 0,85.

Список литературы

1. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний на основе оценки функционального резерва человека с помощью гетерогенных нечётких моделей / В.Н. Гадалов, В.А. Иванов, В.Н. Снопков, В.В. Серебровский // Медицинская техника. 2013. №4. С.6-9.

2. Дмитриева Н.А., Крылев А. А., Партульев А. И. Психология труда и инженерная психология. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979.

3. Конева Л.В., Кореневская С.Н., 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.

4. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С.Н. Кореневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. №5. С. 24-27.

5. Кореневский Н.А., Башир А.С., Горбатенко С.А. Синтез гибридных нечётких правил для прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в экологически неблагоприятных регионах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №4. С. 69-73.

6. Кореневский Н.А., Коростелев А.Н. Применение гетерогенных нечётких моделей для комплексной оценки уровня функционального резерва человека // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т.7, №8. С. 142-147.

7. Комплексная оценка уровня функциональных резервов организма человека на основе нечётких моделей принятия решений / Н.А. Кореневский, А.Н. Коростелев, Е.В. Нечаев, Е.А. Бойцова // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 2. С. 30-36.

8. Метод оценки функционального резерва человека-оператора на основе комбинированных правил нечёткого вывода / Н.А. Кореневский, А.Н. Коростелев, Л.В. Стародубцева, В.В. Серебровский // Биотехносфера. 2012. №1 (19). С. 44-49.

9. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез нечётких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2(41). С. 223-227.

10. Кореневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

11. Кореневский Н. А., Рябкова Е.Б. Метод синтеза нечётких решающих правил оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 8. С. 128-137.

12. Программно-технический комплекс для исследования основных параметров внимания и памяти / Н. А. Кореневский, Д.Е. Скопин, А.А. Кузьмин, Р.Т. Аль-Касасбех // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 32-35.

13. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Кореневский, О.И. Филатова, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. №5. С.4-9.

14. 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.

15. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, А.В. Еремин, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 10-15.

16. Плотников В.В., Кореневский Н.А., Забродин Ю.М. Автоматизация методик психологического исследования: Принципы и рекомендации. Орел: Изд-во ин-та психологии АНСССР; ВНИИОТ Госагропрома СССР, 1989. 327 с.

17. Шуткин А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т.14, №3. С. 593-600.

18. Шуткин А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. №6 (314). С.122-129.

19. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления / А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, А.В. Бойцов, С.Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №2. С. 107-118.

20. Шуткин А.Н., Бойцова Е.А., Стародубцева Л.В. Оценка уровня утомления с использованием теории измерения латентных переменных // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т.14, №3. С. 553-561.

21. Шуткин А.Н., Кореневская С.Н., Федянин В.В. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Информационные проекты в медицине и педагогике: материалы международной научно-практической конференции. М., 2001. С.61-63.

22. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data // Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis. Bucharest, Romania, May 26-29, 2009. P.71-78.

23. Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional / N. Korenevskiy, Al-Kasasbeh RiadTaha, F. Ionescou, M. Alshamasin, Anrew P. Smit Fuzzy // Mega-Conference on Biomedical Enginering: Proceedings of the 4th-international conferecejn the develjpment of biomedical engineering. Ho Chi Minh City, Vietnam (January 8-12), 2012. P. 354-357.

24. Korenevskiy N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49. P. 46-49.

25. Fuzzy determination of the human’s level of physcho-emotional / N.A. Korenevskiy, R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescou, E. Al-Kasabeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings 4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam. Ho Chi Minh, 2013. С. 213-216.

26. System for studying specific features of attention and memory / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering. 2010. Vol. 44. № 1. P. 32-35.

References

1. Gadalov V.N., Ivanov V.A., Snopkov V.N., Serebrovsky V.V. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika zabolevanii na osnove otsenki funktsional'nogo rezerva cheloveka s pomoshch'yu geterogennykh nechetkikh modelei [Forecasting and early diagnosis of diseases based on the assessment of the functional reserve of a person using heterogeneous fuzzy models]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technics*, 2013, no. 4, pp. 6-9 (In Russ.).

2. Dmitrieva M.A., Krylov A.A., Panteleev A.I. Psikhologiya truda iinzhenernayapsikhologiya [Psychology of labor and engineering psychology]. Leningrad, LSU Publ., 1979 (In Russ.).

3. Koneva L.V., Korenevskaya S.N., Degtyarev S.V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Assessment of the level of psycho-emotional stress and fatigue on indicators characterizing the state of human attention]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 993-1000 (In Russ.).

4. Korenevskaya S.N., Shkatova E.S., Magerovsky M.A., Shutkin A.N. Apparatno-programmnyi kompleks dlya psikhofiziologicheskikh issledovanii na baze platformy ANDROID s AFE – interfeisom [Hardware-software complex for psychophysiological research based on ANDROID platform with AFE-interface]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical equipmen*, 2016, no. 5, pp. 24-27 (In Russ.).

5. Korenevsky N.A., Bashir A.S., Gorbatenko S.A. Sintez gibridnykh nechetkikh pravil dlya prognozirovaniya, otsenki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya v ekologicheski neblagopriyatnykh regionakh [Synthesis of hybrid fuzzy rules for forecasting, assessment and management of health in ecologically unfavorable regions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2013, no. 4, pp. 69-73 (In Russ.).

6. Korenevsky N.A., Korostelev A.N. Primenenie geterogennykh nechetkikh modelei dlya kompleksnoi otsenki urovnya funktsional'nogo rezerva cheloveka [Application of heterogeneous fuzzy models for complex assessment of the level of human functional reserve]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh state technical University*, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 142-147 (In Russ.).

7. Korenevsky N.A., Korostelev A.N., Nechaev E. V., Boitsova E. A. Kompleksnaya otsenka urovnya funktsional'nykh rezervov organizma cheloveka na osnove nechetkikh modelei prinyatiya reshenii [Complex assessment of the level of functional reserves of the hu-

man body on the basis of fuzzy models of decision-making]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2010, no. 2, pp. 30-36 (In Russ.).

8. Korenevsky N. A., Korostelev A. N., Starodubtseva L. V., Serebrovsky V. V. Metod otsenki funktsional'nogo rezerva cheloveka-operatora na osnove kombinirovannykh pravil nechetkogo vyvoda [Method of estimation of functional reserve of the human operator on the basis of the combined rules of fuzzy inference]. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*, 2012, no. 1 (19), pp. 44-49 (In Russ.).

9. Korenevsky N.A., Razumova K.V. Sintez nechetkikh klassifikatsionnykh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya meditsinskikh prilozhenii [Synthesis of fuzzy classification rules in multidimensional feature space for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2012, no. 2, 41, pp. 223-227 (In Russ.).

10. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Khripina I. I. Metodologiya sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Stary Oskol: TNT Publ., 2019. 472 p. (In Russ.).

11. Korenevsky N.A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem po informatsii o geometricheskoi strukture mnogomernykh dannykh [Method of synthesis of fuzzy decision rules for assessing the state of complex systems based on information about the geometric structure of multidimensional data]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh state technical University*, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 128-137 (In Russ.).

12. Korenevsky N.A., Skopin D. E., Kuzmin A. A., Al-Kasasbeh R. T. Programmno-tekhnicheskii kompleks dlya issledovaniya osnovnykh parametrov vnimaniya i pamyati [Software and hardware complex for the study of the main parameters of attention and memory]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technology*, 2010, no. 1, pp. 32-35 (In Russ.).

13. Korenevsky N. A., Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. Kompleksnaya otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya [Complex assessment of the level of psycho-emotional tension]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2009, no. 5, pp. 4-9 (In Russ.).

14. Korenevsky N. A., Shutkin A. N.., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii [Assessment and management of students ' health on the basis of hybrid intellectual technologies]. Stary Oskol: TNT Publ., 2016. 472 p. (In Russ.).

15. Lukashov M.I., Korenevsky N. A., Eremin A.V., Filatova O. I. Opredelenie urovnya dlitel'nogo fizicheskogo utomleniya kak faktora riska retsidivov khronicheskikh zabolevan-

ii [Determination of the level of long-term physical fatigue as a risk factor for relapses of chronic diseases]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2009, no. 5, pp. 10-15 (In Russ.).

16. Plotnikov V.V., Korenevsky N. A., Zabrodin Yu. M. Avtomatizatsiya metodik psikhologicheskogo issledovaniya: Printsipy i rekomendatsii [Automation of methods of psychological research: Principles and recommendations]. Orel, 1989. 327 p. (In Russ.).

17. Shutkin A.N. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya na osnove kombinirovannykh nechetkikh modelei i modeli G.Rasha [Assessment of the level of psycho-emotional stress on the basis of combined fuzzy models and G. Rush model]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 593-600 (In Russ.).

18. Shutkin A.N. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya na osnove kombinirovannykh nechetkikh modelei i modeli G.Rasha [Assessment of the level of psycho-emotional stress on the basis of combined fuzzy models and G. Rush models]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology*, 2015, no. 6 (314), pp. 122-129 (In Russ.).

19. Shutkin A.N., Boytsova E. A., Boytsov A.V., Korenevskaya S. N. Ispol'zovanie gibridnykh nechetkikh modelei dlya otsenki stepeni utomleniya [The use of hybrid fuzzy models to assess the degree of fatigue]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2015, no. 2, pp. 107-118 (In Russ.).

20. Shutkin A. N., Boytsova E. A., Starodubtseva L. V. Otsenka urovnya utomleniya s ispol'zovaniem teorii izmereniya latentnykh peremennykh [Assessment of fatigue level using the theory of measurement of latent variables]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and control in biomedical systems*, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 553-561 (In Russ.).

21. Shutkin A. N., Korenevskaya S. N., Fedyanin V. V., Shutkin A.N. Proektirovanie baz znanii meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil [Designing knowledge bases of medical expert systems using teams of fuzzy rules]. *Materialy mezhdunarodnoi nauno-prakticheskoi konferentsii "Informatsionnye proekty v meditsine i pedagogike"* = Materials of the international scientific and practical conference "Information projects in medicine and pedagogy". Moscow, 2001, pp. 61-63 (In Russ.).

22. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data. Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis. Bucharest, Romania, 2009, pp.71-78).

23. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R.Taha, Ionescou F., Alshamasin M., Smit Anrew P. Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional. *"Mega-Conference on Bi-*

omedical Enginering" Proceedings of the 4th-international conferecejn the develjpment of biomedical engineering. Ho Chi Minh City, Vietnam (January 8-12), 2012, pp. 354-357.

24. Korenevskiy N.A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, pp. 46-49.

25. Korenevskiy N.A., Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Ionescou F., Al-Kasabeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of physcho-emotional. *IFMBE Proceedings* "*4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam*". Ho Chi Minh City, 2013, pp. 213-216.

26. Korenevskiy N. A., Skopin D.E., Kusmin A.A., Al-Kasasbeh R.T. System for studying specific features of attention and memory. *Biomedical engineering*, 2010, vol. 44, no. 1. pp. 32-35.

Информация об авторах / Information about the Authors

Андрей Викторович Поляков,
генеральный директор, ЗАО «Атриум»,
Тула, Российская Федерация,
e-mail: nikolaikorzhuk@mail.ru

Andrey V. Polyakov, General Director,
JSC "Atrium" Tula, Russian Federation,
e-mail: nikolaikorzhuk@mail.ru

Николай Львович Коржук,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Приборы
и биотехнические системы»,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет», Тула, Российская Федерация,
e-mail: nikolaikorzhuk@mail.ru

Nikolay L. Korzhuk, Cand. of Sci. (Engineering),
Professor, Professor of the Department "Devices
and bioengineering systems", Tula State
University, Tula, Russian Federation,
e-mail: nikolaikorzhuk@mail.ru

Родионова Софья Николаевна,
аспирант кафедры биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет», Курск, Российская Федерация,
e-mail: knsofia@mail.ru

Sofya N. Rodionova, Post-Graduate Student,
Engineer of the Department of Biomedical
Engineering, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Николаева Екатерина Алексеевна,
соискатель кафедры информационных систем
и технологий, ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
Курск, Российская Федерация,
e-mail: kafedra.ist2015@yandex.ru

Ekaterina A. Nikolaeva, Post-Graduate Student,
Information Systems and Technologies Department, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kafedra.ist2015@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 615.47

Прогнозирование обострения генитального герпеса на основе технологии мягких вычислений

М.И. Лукашов [1], Е.В. Письменная [1], О.Ю. Олисова [2], Л.В. Стародубцева [3] ✉, Л.В. Шульга [3]

[1] ОБУЗ «Курский кожвендиспансер»
ул. Димитрова, 62, г. Курск, 305000, Российская Федерация

[2] Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова
ул. Трубецкая, 8, г. Москва, 119991, Российская Федерация

[3] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru

Резюме

Целью *работы является повышение качества медицинского обслуживания населения, страдающего генитальным герпесом, за счет своевременного и качественного прогноза обострения исследуемого заболевания, что позволяет назначать адекватные схемы профилактики.*

Методы*. В ходе проведенного разведочного анализа была выявлена нечеткая природа структуры данных, выбранных для синтеза моделей прогнозирования обострения генитального герпеса. С учетом этого фактора в качестве основного аппарата исследований выбрана технология мягких вычислений и, в частности, методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанная в Юго-Западном государственном университете, которая была успешно опробована на решении задач со структурой данных, «похожих» на исследуемый класс задач. В процессе синтеза решающих правил сформировано пространство информативных признаков, состоящее из трех блоков: энергетический разбаланс меридианных структур организма, «связанных» с исследуемой патологией; данные опроса и осмотра; признаки, описывающие функциональное состояние человека. По пространству информативных признаков синтезирована нечеткая математическая модель прогнозирования обострения генитального герпеса.*

Результаты. *Выполненное математическое моделирование в сочетании с экспертным оцениванием позволило установить, что уверенность в прогнозе заболевания превышает уровень 0,9 при использовании всех выбранных информативных признаков. Дополнительно на контрольной репрезентативной выборке было подтверждено, что восьмидневный прогноз осуществляется с показателями прогностической значимости, превышающим величину 0,9. Это дает основание рекомендовать полученные результаты к использованию в практике врачей дерматовенерологов.*

Заключение. *Выбранная методология синтеза гибридных нечетких решающих правил позволила с высокой степенью уверенности решать задачу прогнозирования обострения генитального герпеса в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных с сильно пересекающейся структурой классов, что помогает рационализировать выбор схем профилактики в зависимости от индивидуального состояния пациентов. В результате проведенных исследований было установлено, что использование аппарата нечеткой логики принятия решений позволяет обеспечивать восьмидневный прогноз обострения генитального герпеса с уверенностью не ниже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику работы врачей дерматовенерологов.*

© Лукашов М.И., Письменная Е.В., Олисова О.Ю., Стародубцева Л.В., Шульга Л.В., 2019

Ключевые слова: *прогнозирование; обострение; генитальный герпес; технологии мягкие вычисления.*

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Прогнозирование обострения генитального герпеса на основе технологии мягких вычислений / М.И Лукашов., Е.В Письменная., О.Ю. Олисова, Л.В. Стародубцева, Л.В Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 113–128.

Статья поступила в редакцию 06.06.2019

Статья подписана в печать 30.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Forecasting the Exposure of Genital Herpes on the Basis of Soft Computing Technology

Mikhail I. Lukashov [1], Ekaterina V. Pismennaya [1], Olga Y. Olisova [2], Liliya V. Starodubtseva [3] ✉, Leonid V. Shulga [3]

[1] OBUZ "Kursk dermatovenerologic dispensary"
Dimitrova str. 62, Kursk 305000, Russian Federation

[2] The First Moscow State Medical University named after I. M. Sechenova
Trubetckaya str. 8, Moscow 119991, Russian Federation

[3] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: lilja-74@inbox.ru

Abstract

Purpose of reseach*. The aim of the work is to improve the quality of medical care for the population suffering from genital herpes due to the timely and qualitative prognosis of the exacerbation of the disease under study, which allows to prescribe adequate prevention regimens.*

Methods. *In the course of the conducted exploratory analysis, the fuzzy nature of the data structure of the models chosen for the synthesis of prediction of exacerbation of genital herpes was revealed. Taking into account this factor, the technology of soft computing and, in particular, the methodology of synthesis of hybrid fuzzy solving rules developed at Southwestern state University was successfully tested on solving problems with a data structure "similar" to the class of problems under study.*

In the process of synthesis of decision rules was formed a space of informative features consisting of three blocks: energy imbalance meridional structures of the body "associated" with the study of pathology; survey data and inspection; signs describing the functional status of a person.

A fuzzy mathematical model for predicting genital herpes exacerbation was synthesized using the space of informative features.

Results. *As a result of mathematical modeling in combination with expert evaluation, it was shown that the confidence in the forecast when using all the selected informative features exceeds the level of 0.9. In addition, the control representative sample confirmed that the eight-day prognosis is carried out with indicators of prognostic significance exceeding 0.9, which allows us to recommend the results for use in the practice of dermatologists.*

Conclusion. *The chosen methodology of synthesis of hybrid fuzzy solving rules allowed to solve with a high degree of confidence the problem of forecasting exacerbation of genital herpes in conditions of incomplete and fuzzy representation of initial data with a strongly overlapping class structure, which allows to rationalize the choice of prevention schemes depending on the individual condition of patients. As a result of the conducted researches it was established that use of the device of fuzzy logic of decision-making, allows to provide the eight-day forecast of aggravation of genital herpes with confidence not less than 0,9 that allows to recommend the received results in practice of work of doctors dermatovenerologists.*

Keywords*: prediction; exacerbation; genital herpes; soft computing technologies.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Lukashov M. I., Pismennaya E. V., Olisova O. Y., Starodubtseva L. V., Shulga L. V. Forecasting the Exposure of Genital Herpes on the Basis of Soft Computing Technology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 113–128 (In Russ.).

Received 06.06.2019

Accepted 30.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

На протяжении длительного времени герпетическая инфекция остается острой проблемой практического здравоохранения как в России, так и во всем мире.

Заболеваемость герпесом широко распространена, ежегодно в мире регистрируется до 20 млн случаев генитального герпеса. В работах [19, 22] отмечается, что одним из эффективных способов борьбы с этим заболеванием является своевременный и точный прогноз обострения генитального герпеса, что позволяет назначить адекватные схемы профилактики.

Специально проведенными исследованиями с использованием методов разведочного анализа было установлено, что задача прогнозирования обострения генитального герпеса (ГГ) относится к классу плохоформализуемых задач с нечеткой структурой данных и с неопределенной границей между ремиссией и обострением. Такой класс задач на практике реализуется с использованием технологии мягких вычислений.

С учетом этого, пользуясь рекомендациями [3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 23, 24, 25] для решения поставленных в работе задач, была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанная на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ), относящаяся к мягким вычислениям.

Материалы и методы

В соответствии с рекомендациями [7, 15, 19, 20, 24] для решения задач

прогнозирования обострения ГГ экспертам была поставлена задача определения рационального времени прогнозирования T_0, относительно которого по установленной системе факторов риска пациенты надежно разделяются на два класса: ω_0 – риск возникновения обострения в течение времени T_0 отсутствует; $\omega_{об}$ – в течение времени T_0 существует высокая (выше заданного порога) уверенность в обострении генитального герпеса. Кроме того, эксперты могут выбрать несколько времен T_{0k}, для каждого из которых строятся соответствующие прогностические правила [19, 22].

На первом этапе синтеза нечеткого прогностического правила отображено 76 признаков, описывающих функционирование различных систем организма.

На втором этапе синтеза, учитывая латентную природу признаков по отношению к прогностической уверенности, были проведены исследования с помощью интерактивного пакета RUMM2020, в результате которых определен состав информативных признаков [1,17], состоящий из трех блоков:

1. Разбаланс энергетических характеристик БАТ, «реагирующих на рецидивирующий герпес».

2. Данные опроса и осмотра.

3. Общественные показатели, характеризующие функциональное состояние организма.

Состав информативных биологически активных точек определялся в соответствии с рекомендациями [19, 22, 23].

В этот блок признаков вошли биологически активные точки P7, VC7, VC7 и VG1.

Для составления опросника на экспертном уровне был сформулирован следующий набор вопросов:

1) ОРВИ, грипп или другие болезни, ослабляющие иммунную систему (b1);

2) переохлаждение организма (b_2);

3) перегрев организма (b_3);

4) медицинские манипуляции на половых органах (b_4);

5) злоупотребление алкоголем (b_5);

6) чрезмерное пребывание на солнце или злоупотребление солярием (избыточные дозы ультрафиолетового излучения) (b_6);

7) в анамнезе микрохирургические вмешательства на тройничном нерве (b7).

Все признаки определяются двоичным кодом (1 – есть признак, 0 – нет признака) [19, 22].

В группу общесистемных показателей вошли: уровень психоэмоционального напряжения (UP), уровень утомления (UP) и уровень защиты организма от герпесвирусной инфекции (UZ).

На третьем этапе синтеза в соответствии с рекомендациями [11,14,17] определялись функции принадлежности к $\mu_{об}(x_6)$ – классу «высокий риск обострения герпесвирусной инфекции», а также частные коэффициенты уверенности $U_{об}(q)$ в том, что обострение наступит.

В соответствии с рекомендациями [2, 6, 12, 17, 19] по группе биологически

активных точек получено частное решающее правило вида

ЕСЛИ

$$\left[(\delta R_{P7} > 15\%) \text{ И } (\delta R_{VC7} > 15\%)\right] \text{ТО}$$

$$\{\text{УБ}(\text{P}+1) = \text{УБ}(P) + \mu_{\text{об}}(\delta R_{P+1})[1 - \text{УБ}(P)],$$

ИНАЧЕ (УБ =0), (1)

где УБ(1)= $\mu_{\text{об}}(\delta R_{P+1})$; P – номер итерации; δR_j – относительное отклонение БАТ с номером j от своего номинального значения; $\text{УБ}_{\text{об}}(1)$=УБ.

Значения соответствующих функций принадлежностей определяются следующими выражениями:

$$\mu_{об}\ (\delta R_{P7}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{P7} < 15, \\ 0{,}0067\delta R_{P7} - 0{,}1, \textit{если } 15 \le \delta R_{P7} < 60, \\ 0{,}3,\ \textit{если } \delta R_{P7} \ge 60; \end{cases}$$

$$\mu_{об}\ (\delta R_{VC7}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{VC7} < 15, \\ 0{,}0078\delta R_{VC7} - 0{,}072, \textit{если } 15 \le \delta R_{VC7} \le 60, \\ 0{,}35,\ \textit{если } \delta R_{VC7} > 60; \end{cases}$$

$$\mu_{об}\ (\delta R_{VC1}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{VC1} < 15, \\ 0{,}003\delta R_{VC1} - 0{,}046, \textit{если } 15 \le \delta R_{VC1} \le 80, \\ 0{,}2,\ \textit{если } \delta R_{VC1} > 60; \end{cases}$$

$$\mu_{об}\ (\delta R_{VG1}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{VG1} < 15, \\ 0{,}0056\delta R_{VG1} - 0{,}083, \textit{если } 15 \le \delta R_{VG1} \le 60, \\ 0{,}25,\ \textit{если } \delta R_{VG1} > 60. \end{cases}$$

Опросник сформирован таким образом, что вес каждого вопроса в общей доле уверенности прогноза приблизительно одинаков. С учетом этого в качестве базовой функции для соответствующей функции принадлежности выбрана сумма [19]:

$$Y = \sum_{i=1}^{7} b_i\ .$$

Аналитическое выражение $\mu_{об}(Y) = U_{об}(2)$ определяется как

$$U_{об}(2) = \mu_{об}(Y) = 0{,}04Y\ . \qquad (2)$$

Уровни длительного эмоционального напряжения UP и хронического утомления определяются в соответствии с методами, описанными в работах [4, 5, 11, 17, 18, 26, 27].

Соответствующие функции принадлежности определяются выражениями

$$U_{об}(3) = \mu_{об}(UP) = \begin{cases} 0, \textit{если } UP < 0{,}3, \\ 1{,}92(UP - 0{,}3)^2,\ \textit{если } 0{,}3 \le UP < 0{,}55, \\ 0{,}24 - 1{,}92(UP - 0{,}8)^2, \textit{если } 0{,}55 \le UP < 0{,}8, \\ 0{,}24, \qquad \textit{если } UP \ge 0{,}8; \end{cases} \qquad (3)$$

$$U_{об}(4) = \mu_{об}(UU) = \begin{cases} 0, \textit{если } UU < 0{,}3; \\ UU - 0{,}3, \textit{если } 0{,}3 \le UU < 0{,}85; \\ 0{,}3, \qquad \textit{если } UU \ge 0{,}85. \end{cases} \quad (4)$$

На четвертом этапе синтеза выбирается функция агрегации:

$$UO(q+1) = UO(q) + U_{об}(q+1)[1 - UO(q)], \quad (5)$$

где UO(q) – уверенность в обострении учета замкнутых механизмов по q-му блоку признаков: $UO(1)=U_{об}(1)$.

Уровень защиты UZ организма от герпесвирусной инфекции определяется по величинам индекса функционируемых изменений (ИФИ) и экспертного разбаланса общесистемных БАТ (ЭР) в соответствии с методиками, описанными в работах [17, 19, 21].

С учетом защитных механизмов организма уверенность в обострении герпесвирусной инфекции UOZ определяется выражением

$$\mathrm{UOZ} = \begin{cases} 0, \textit{если } UO \le UZ; \\ UO - UZ, \textit{если } UO > UZ. \end{cases} \quad (6)$$

В ходе математического моделирования и проведенного экспертного оценивания было установлено, что уверенность в правильном прогнозе определяется по формуле (5) и достигает величины 0,85, а при использовании формулы (6) – 0,93.

Результаты и их обсуждение

Предложенные в работе решающие правила получены с использованием субъективного мнения экспертов о решаемых задачах. Объективность полученных результатов подтверждалась статистическими испытаниями комбинированных моделей с использованием репрезентативных контрольных выборок.

В контрольную группу входили здоровые студенты ЮЗГУ, не имеющие заболеваний кожи, и пациенты, имеющие другие виды кожных болезней.

Для оценки сопротивлений БАТ использовались аппарат «РЕФЛЕКС-01» и аппаратно-программный комплекс кафедры биомедицинской инженерии. Разведочный анализ проводился с использованием специализированного пакета прикладных программ и стандартного пакета «Статистика–6».

В процессе статистических испытаний рассчитывались: диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС) и эффективность (ДЭ), прогностическая значимость положительных ($ПЗ^+$) и отрицательных ($ПЗ^-$) результатов.

При оценке решающих правил прогнозирования обострения ГГ начиная с 2015 года было организовано наблюдение за больными с ГГ в Курском областном кожно-венерологическом диспансере с определением момента и факта обострения. Фиксировались факты обострения через день, два и т.д. вплоть до двух недель.

Пациенты без обострения относились к классу ω_0, пациенты с обострением – к классу $\omega_{об}$.

В ходе наблюдений были получены по две таблицы результатов наблюдения для каждого из интервалов с построением гистограмм распределения классов ω_0 и $\omega_{об}$ на шкалах UO и UOZ.

На графиках гистограмм с учетом рекомендаций [17] был определен порог «срабатывания» решающих правил, обеспечивающих минимум ошибки классификации. Относительно порога рассчитывались соответствующие ошибки классификации.

Графики изменения показателей $ПЗ^+$ и $ПЗ^-$ в зависимости от времени наблюдения приведены на рис. 1 (шкала UO) и рис. 2 (шкала UOZ).

Анализ этих графиков показывает, что учет защитных механизмов позволяет повысить качество классификации в среднем на 5%.

При этом хорошо видно, что на восьмой день после начала наблюдений наблюдается стабилизация качества классификации, что помогло выбрать время надежного прогноза T_0=8 дней. Дальнейшие исследования показали, что реальное качество принятия решений выше, чем определенное экспертами, что позволяет рекомендовать полученные математические модели для использования в дерматологической практике.

Полученные в работе решающие правила прогнозирования обострения генитального герпеса позволяют оценивать уверенность перехода пациентов из класса ремиссии в стадию обострения.

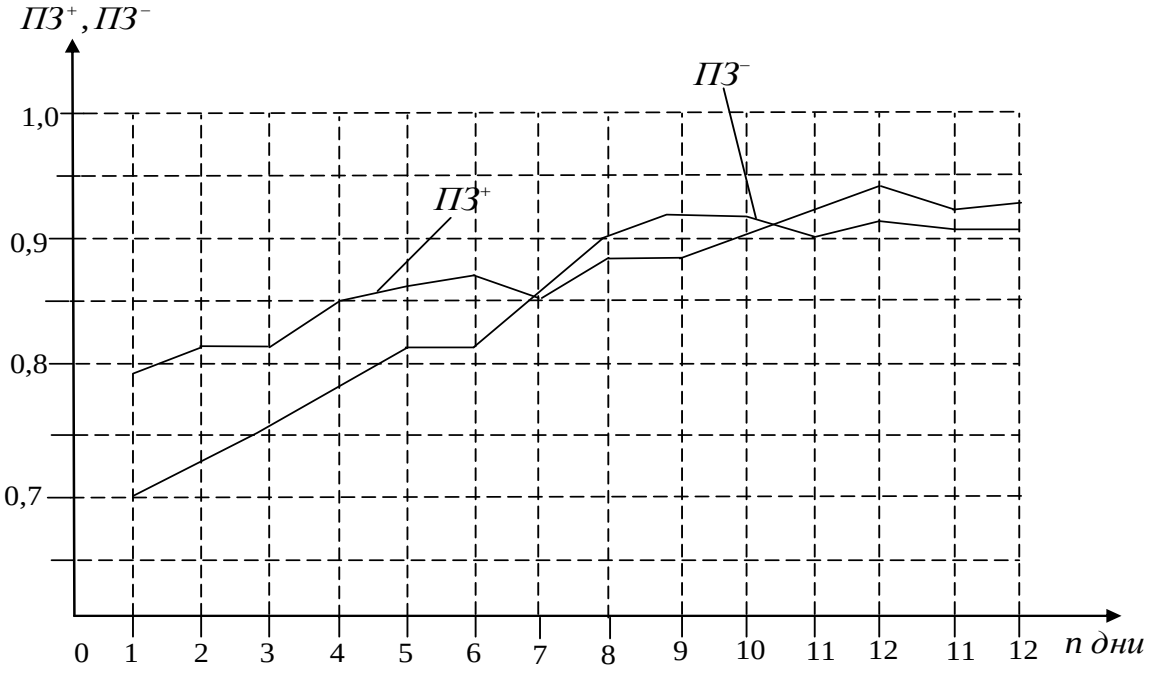


Рис. 1. Динамика показателей $ПЗ^+$ и $ПЗ^-$по шкале UO

Fig. 1. Dynamics of indicators $ПЗ^+$ and $ПЗ^-$ for the UO on a scale

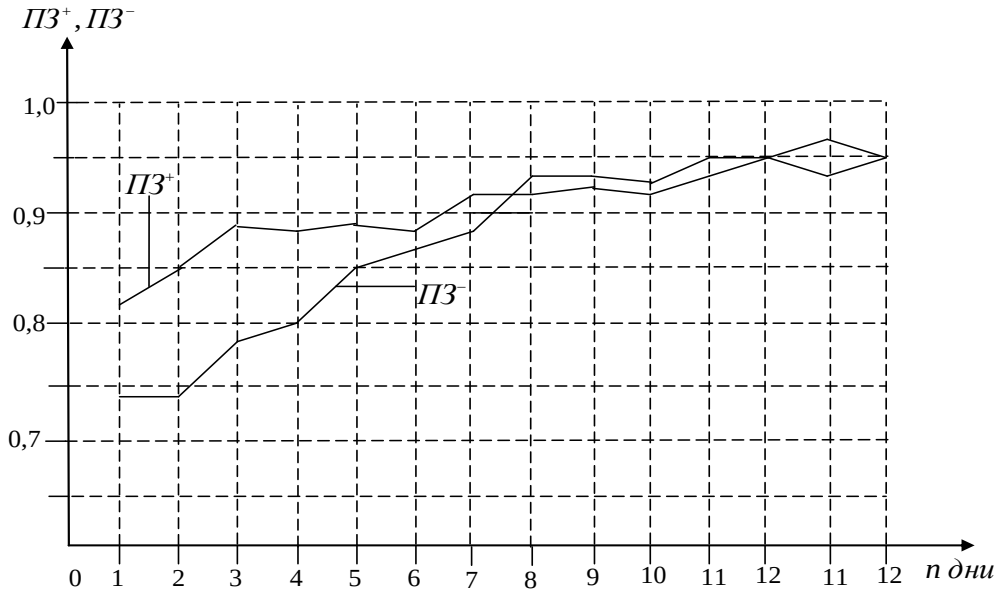


Рис. 2. Динамика показателей ПЗ$^+$ и ПЗ по шкале UOZ

Fig. 2. Dynamics of indicators ПЗ$^+$ and ПЗ for the UOZ on a scale

Используемая в работе методология синтеза гибридных нечетких решающих правил позволяет надежно и оперативно прогнозировать возможные обострения в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных с сильно пересекающейся структурой классов.

Полученная математическая модель позволяет производить рациональный выбор схем профилактики в зависимости от индивидуального состояния пациентов.

Проверка качества работы полученных математических моделей показала, что их можно рекомендовать к практическому использованию врачами дерматовенерологами.

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что использование современных информационных технологий в сочетании с методологией мягких вычислений, в частности с использованием аппарата нечеткой логики принятия решений, позволяет обеспечивать восьмидневный прогноз обострения генитального герпеса с уверенностью не ниже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в медицинскую практику.

Список литературы

1. Лазурина Л.П., Кореневская С.Н., Шуткин А.Н. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека // Известия Юго-Западного го-

сударственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. №6 (57). С. 52-58.

2. Гадалов В.Н., Кореневский Н.А., Снопков В.Н. 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.

3. Емельянов С.Г., Кореневский Н.А., Быков А.В. 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. Конева Л.В., Кореневская С.Н., 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.

5. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С.Н. Кореневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. №5. С. 24-27.

6. Кореневский Н.А., Лазурина Л.П. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии. Курск, 2000. 177 с.

7. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. №1 (289). С.33-35.

8. Кореневский Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореф. ... д-ра техн. наук. СПб., 1993. 32 с.

9. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. №6. С.25-31.

10. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Кореневский, М.В. Артеменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т.13, № 4. С.881-886.

11. Кореневский Н.А., Коптева Н.А., Крупчатников Р.А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сельскохозяйственных рабочих на основе нечеткой логики принятия решений // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4, №7. С. 86-89.

12. Кореневский Н.А., Лазурина Л.П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики. Курск, 2000. 177 с.

13. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоёмкие технологии. 2014. Т.15, №12. С.31-40.

14. Кореневский Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4, №7. С. 128-136.

15. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х.акад., 2012. 231с.

16. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Кореневский, О.И. Филатова, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 4-9.

17. 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.

18. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, А.В. Еремин, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 10-15.

19. Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса): монография / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский [и др.]. Курск, 2011. 123с.

20. Еремин А.В., Лукашов М.И., Кореневский Н.А. Определение степени тяжести генитального герпеса на основе нечетких моделей принятия решений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т. 8, № 4. С. 927-930.

21. Оценка уровня защитных механизмов организма по энергетической сбалансированности меридиан и адаптационному резерву и их влияние на обострение кожных болезней / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, Р.А. Крупчатников, А.В. Еремин // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т.8, №1. С. 236-239.

22. Синтез решающих правил прогнозирования обострения заболеваний на примере генитального герпеса / М.И. Лукашов, А.Г. Устинов, И.И. Хрипина, С.В. Солошенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,

вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. №3. С. 70-80.

23. Лукашов М.И., Яцун С.М., Кореневский Н.А. Компьютерные системы в дерматологии: монография. Курск, 2009. 227 с.

24. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография / С.П. Серегин, О.Н. Воробьева, С.Н. Кореневская / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2015. 166с.

25. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии / С.П. Серегин, С.Д. Долженков, С.Н. Кореневская, Т.Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 3. С.293-297.

26. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevskiy, F. Ionescou, A. Smith // Computer methods in biomechanies and biomedical engineering. 2013. Vol.16, №3. P.302-313.

27. 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 biomechanies and biomedical engineering. 2012. Vol.15, №7. P.681-689.

28. Fuzzy determination of the human’s level of physcho-emotional / N. Korenevskiy, R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescou, E. Al-Kasabeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings 4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam. Ho Chi Minh, 2013. P. 213-216.

29. System for studying specific features of attention and memory / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering. 2010. Vol. 44, № 1. P. 32-35.

References

1. Lazurin L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N., Boytsov A. V. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Application of the theory of measurement of latent variables for formation of space of informative signs in problems of an assessment of a functional state of the person]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstven-*

nogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering, 2014, no. 6 (57), pp. 52-58 (In Russ.).

2. Gadalov V. N., Korenevsky N. Ah., Snopkov V. N. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Mathematical models of reflex systems of the human body and their use for the prediction and diagnosis of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and control in biomedical systems*, 2012, vol.11, no. 2, pp. 515-521 (In Russ.).

3. Emelyanov S. G., Korenevsky N. Ah., Bykov V. Prognozirovanie stepeni tyazhesti razvitiya ishemicheskogo protsessa v serdtse, golovnom mozge i nizhnikh konechnostyakh na osnove nechetkikh modelei [Predicting the severity of the ischemic process in the heart, brain and lower extremities on the basis of indecipherable models]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, no. 9, pp. 4-9 (In Russ.).

4. Koneva L. V., Korenevskaya S. N., Degtyarev S. V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Assessment of the level of psycho-emotional stress and fatigue in terms of indicators characterizing the state of human attention]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol.11, no. 4, pp. 993-1000 (In Russ.).

5. Korenevskaya S.N., Shkatova E. S., Magerovsky M. A., Shutkin A. N. Apparatno-programmnyi kompleks dlya psikhofiziologicheskikh issledovanii na baze platformy ANDROID s AFE-interfeisom [Hardware and software complex for psychophysiological research based on the ANDROID platform with AFE-interface]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical equipment*, 2016, no.5, pp. 24-27 (In Russ.).

6. Korenevsky N.A., Lazurina L. P. Komp'yuternye sistemy rannei diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii [Computer system early diagnostics of organism condition by the methods of reflexology]. Kursk, 2000. 177 p. (In Russ.).

7. Korenevsky N.A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [The use of indecipherable logic decision making for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technology*, 2015, no.1 (289), pp. 33-35 (In Russ.).

8. Korenevsky N.A. *Printsipy i metody postroeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunktsional'nykh modelei. Avtoref. diss. doct. techn. nauk* [Principles and methods of construction of interactive systems of diagnosis and management of human health on the basis of multifunctional models. Abstract of dr. eng. sci. diss.] St. Petersburg, 1993. 32 p. (In Russ.).

9. Korenevsky N.A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Design of decision-making systems on indecipherable network models in the problems of medical diagnosis and forecasting]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2006, no. 6, pp. 25-31 (In Russ.).

10. Korenevsky N.A., Artemenko M. V., Provotorov V. Y., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modelei sistemnykh vzaimosvyazei dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Method of indecipherable decision rules synthesis on the basis of models of system interrelations for the decision of problems of forecasting and diagnostics of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886 (In Russ.).

11. Korenevsky N. A., Kopteva N. A., Krupchatnikov R. A. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika zabolevanii sel'skokhozyaistvennykh rabochikh na osnove nechetkoi logiki prinyatiya reshenii [Forecasting and early diagnosis of diseases of agricultural workers on the basis of indecipherable logic of decision-making]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Voronezh state technical University*, 2008, vol. 4, no. 7, pp. 86-89 (In Russ.).

12. Korenevsky N.A., Lazurina L. P. Energoinformatsionnye modeli refleksodiagnostiki [Energy-model reflexodiagnostic]. Kursk, 2000. 177 p. (In Russ.).

13. Korenevsky N.A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [The synthesis of hybrid ensembles of indecipherable models for the assessment of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii = High technologies*, 2014, vol. 15, no.12, pp. 31-40 (In Russ.).

14. Korenevsky N.A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil dlya otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem po informatsii o geometricheskoi strukture mnogomernykh dannykh [Method of synthesis of indecipherable decision rules for assessing the state of complex systems on the information about the geometric structure of multidimensional data].

Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh state technical University, 2008, vol. 4, no. 7, pp. 128-136 (In Russ.).

15. Korenevsky N. Ah., Serebrovsky V. I., Kopteva N. Ah., Govorukhina T. N. *Prognozirovanie i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei* [Prediction and diagnosis of diseases caused by harmful industrial and environmental factors based on heterogeneous models]. Kursk, 2012. 231 p. (In Russ.).

16. Korenevsky N. A. Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. Kompleksnaya otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya [Complex assessment of the level of psycho-emotional stress]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical radio electronics*, 2009, no. 5, pp. 4-9 (In Russ.).

17. Korenevsky N. A., Shutkin A., Gorbatenko S., Serebrovsky V. I. *Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii* [Evaluation and health management of students on the basis of hybrid intelligent technologies]. Stary Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p. (In Russ.).

18. Lukashov M. I., Korenevsky N.A., Eremin A.V., Filatova O. I. Opredelenie urovnya dlitel'nogo fizicheskogo utomleniya kak faktora riska retsidivov khronicheskikh zabolevanii [Determination of the level of long-term physical fatigue as a risk factor for recurrence of chronic diseases]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2009, no. 5, pp. 10-15 (In Russ.).

19. Lukashov M.I., Korenevskiy N.A., Serebrovskiy V.I. *Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologii dlya prognozirovaniya i diagnostiki infektsionnykh zabolevanii (na primere genital'nogo gerpesa)* [Using of information technologies for prediction and diagnostics of infectious diseases (on the example of genital herpes)]. Kursk, 2011. 123 p. (In Russ.).

20. Eremin A.V., Lukashev M.I., Korenevskiy N.A. Opredelenie stepeni tyazhesti genital'nogo gerpesa na osnove nechetkikh modelei prinyatiya reshenii [Determining the severity of genital herpes based on fuzzy decision-making models]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2009, vol.8, no.4, pp. 927-930 (In Russ.).

21. Lukashov M.I., Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Eremin A.V. Otsenka urovnya zashchitnykh mekhanizmov organizma po energeticheskoi sbalansirovannosti meridian i adaptatsionnomu rezervu i ikh vliyanie na obostrenie kozhnykh boleznei [Assessment of the level of the body's defense mechanisms by the energy balance of the me-

ridian and the adaptation reserve and their influence on the exacerbation of skin diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2009, vol. 8, no.1, pp.236-239 (In Russ.).

22. Lukashov M.I., Ustinov A.G., Hripina I.I., Soloshenko S.V. Sintez reshayushchikh pravil prognozirovaniya obostreniya zabolevanii na primere genital'nogo gerpesa [Synthesis of decisive rules for predicting exacerbation of diseases on the example of genital herpes]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2014, no. 3, pp.70-80 (In Russ.).

23. Lukashov M.I., Yatsun S.M., Korenevskiy N.A. Computer systems in dermatology. Kursk, Kursk State University Publ., 2009. 227 p. (In Russ.).

24. Seregin S. P., Vorobyova O. N., Korenevskaya S. N. Mathematical models of prognosis and prevention of recurrence of myocardial infarctions in the rehabilitation period. Kursk, 2015. 166 p. (In Russ.).

25. Seregin S. P., Dolzhenkov S. D., Korenevsky S. N., Kapitonova T. N. Synthesis of combined indecipherable decision rules for prognostication of postoperative complications in urology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 293-297 (In Russ.).

26. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., 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 biomechanies and biomedical engineering*, 2013, vol.16, no.3, pp.302-313.

27. 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 biomechanies and biomedical engineering*, 2012, vol. 15, no.7, pp.681-689.

28. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Ionescou F., Al-Kasabeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of physcho-emotional. *IFMBE Proceedings "4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam"*. Ho Chi Minh, 2013, pp. 213-216.

29. Korenevskiy N. A., Skopin D.E., Kusmin A.A., Al-Kasasbeh R.T. System for studying specific features of attention and memory. *Biomedical engineering*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 32-35.

Информация об авторах / Information about the Authors

Лукашов Михаил Иванович, врач,
ОБУЗ «Курский кожвендиспансер»,
г. Курск, Российская Федерация

Письменная Екатерина Васильевна, врач,
ОБУЗ «Курский кожвендиспансер»,
г. Курск, Российская Федерация

Олисова Ольга Юрьевна, заведующий кафедрой кожных и венерических болезней им. В.А. Рахманова. Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, г. Москва, Российская Федерация

Стародубцева Лилия Викторовна, доцент кафедры Информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: lilja-74@inbox.ru

Шульга Леонид Васильевич, доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail:kstu-bmi@yandex.ru

Mikhail I. Lukashov, doctor,
OBUZ "Kursk dermatovenerologic dispensary",
Kursk, Russian Federation

Ekaterina V. Pismennaya, doctor,
OBUZ "Kursk dermatovenerologic dispensary",
Kursk, Russian Federation

Olga Yu. Olisova, head of the Department of Skin and Venereal Diseases named after V. A. Rakhmanova. The First Moscow State Medical University named after I. M. Sechenova, ,
Moscow, Russian Federation

Liliya V. Starodubtseva, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail: lilja-74@inbox.ru

Leonid V. Shulga, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail:kstu-bmi@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 57.087

Оценка степени тяжести пиелонефрита по энергетическому разбалансу биологически активных точек

Д. С. Родионов [1] ✉, С. В. Петров [2], Л. П. Лазурина [3]

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[2] Медицинский центр ООО «Авиценна»
ул. Запольная, 47, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[3] ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава России
ул. Карла Маркса, 3, г. Курск, 305041, Российская Федерация

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Целью работы *является исследование диагностических возможностей биологически активных точек, «связанных» с почками, в задаче оценки степени тяжести пиелонефрита.*

Методы*. В работе исследуются диагностические возможности биологически активных точек для решения актуальной задачи урологии по оценке степени тяжести пиелонефрита. Это обусловлено тем, что биологически активные точки меняют свои энергетические характеристики при отсутствии клинических проявлений заболевания и обладают высокой чувствительностью к изменению состояния пациентов. В ходе проведенного разведочного анализа было установлено, что степень тяжести такого заболевания, как пиелонефрит, не имеет четкого описания в соответствующей медицинской литературе, что послужило основанием для выбора основного математического аппарата в виде нечеткой логики принятия решений применительно к рефлексодиагностике.*

Результаты. *С учётом общих рекомендаций по синтезу нечетких правил принятия решений по энергетическим характеристикам (БАТ) было отобрано четыре информативных точки: V53, V54, V22 и V23, для которых были построены функции принадлежности к лингвистической переменной степени тяжести пиелонефрита. В качестве базовой переменной для этих функций использовались относительные отклонения сопротивлений информативных БАТ от своих номинальных значений. Агрегация функций принадлежности осуществлялась с использованием гибридной модификации накопительной функции Е. Шортлифа. В результате математического моделирования и экспертного оценивания было установлено, что уверенность в правильной оценке степени тяжести пиелонефрита с используемой полученной модели составляет 0,45.*

Заключение. *В ходе проведенных исследований было показано, что только по реакции биологически активных точек уверенность в том, что степень тяжести пиелонефрита оценивается достаточно надежно, составляет величину 0,45. Однако, если дополнительно к энергетической реакции биологически активных точек исследовать перекисное окисление липидов и антиокислительную активность, уверенность в правильной классификации возрастает до 0,97, что является хорошим практическим результатом.*

Ключевые слова: *пиелонефрит; степень тяжести; нечеткая логика; функция принадлежности; биологически активные точки.*

© Родионов Д. С., Петров С. В., Лазурина Л. П., 2019

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Родионов Д. С., Петров С. В., Лазурина Л. П. Оценка степени тяжести пиелонефрита по энергетическому разбалансу биологически активных точек // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 129–140.

Статья поступила в редакцию 20.06.2019

Статья подписана в печать 30.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Assessment of the Severity of Pyelonephritis by the Energy Imbalance of Biologically Active Points

Dmitry S. Rodionov [1] ✉, Sergey V. Petrov [2], Lyudmila P. Lazurina [3]

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

[2] Medical center LLC "Avicenna"
Zapolnaya str. 47, Kursk 305040, Russian Federation

[3] Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia
Karla Marksa str. 3, Kursk 305041, Russian Federation

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Abstract

Puprosw of research *is to study the diagnostic capabilities of biologically active points "associated" with the kidneys in the task of assessing the severity of pyelonephritis.*

Methods. *The paper investigates the diagnostic capabilities of biologically active points to solve the urgent problem of urology to assess the severity of pyelonephritis. This is due to the fact that biologically active points change their energy characteristics in the absence of clinical manifestations of the disease and have a high sensitivity to changes in the condition of patients.*

During the conducted exploratory analysis it was found that the severity of such a disease as pyelonephritis does not have a clear description in the relevant medical literature, which served as the basis for the choice of the main mathematical apparatus in the form of fuzzy logic of decision-making in relation to reflexology.

Results. *Taking into account the General recommendations for the synthesis of fuzzy rules for decision-making on energy characteristics (BAT), four informative points were selected: V53, V54, V22 and V23 – for which the functions of belonging to the linguistic variable severity of pyelonephritis were constructed. As a base variable for these functions, the relative deviations of the informative BAHT resistances from their nominal values were used. Aggregation of membership functions was carried out using a hybrid modification of the accumulation function of E. Shortliff.*

As a result of mathematical modeling and expert evaluation, it was found that the confidence in the correct assessment of the severity of pyelonephritis from the obtained model is 0.45.

In the course of the studies it was shown that only by the reaction of biologically active points, the confidence that the severity of pyelonephritis is estimated reliably enough is 0.45. However, if in addition to the energy reaction of biologically active points to investigate lipid peroxidation and antioxidant activity, confidence in the correct classification increases to 0.97, which is a good practical result.

Keywords: *pyelonephritis; severity; fuzzy logic; membership function; biologically active points.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Rodionov D. S., Petrov S. V., Lazurina L. P. Assessment of the Severity of Pyelonephritis by the Energy Imbalance of Biologically Active Points. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 129–140 (In Russ.).

Received 20.06.2019

Accepted 30.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Исследованиями многочисленных отечественных и зарубежных ученых было убедительно показано, что при решении задач прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики целого ряда заболеваний целесообразно использовать показатели, характеризующие энергетику биологически активных точек (БАТ), в частности их энергетический разбаланс, который удобно определять отклонением их электрического сопротивления от номинальных значений [1, 2, 8, 9, 11, 12, 13, 14].

В работах кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета разработаны методы синтеза решающих правил прогнозирования и медицинской диагностики по энергетическим характеристикам БАТ, которые способны принимать надежные решения в условиях нечеткого и неполного представления исходных данных.

В данной работе исследуются диагностические и терапевтические возможности биологически активных точек в решении задач оценки степени тяжести пиелонефрита, что в свою очередь позволит повысить качество оказания медицинской помощи пациентам, страдающим заболеваниями почек.

Материалы и методы

В основу исследований, проводимых в данной работе, положен метод синтеза решающих правил по энергетическому разбалансу БАТ, разработанный на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета [8, 9, 11,12].

В соответствии с этим методом на первом этапе синтеза по известным атласам меридиан, например по работе [1], определяются списки БАТ, имеющие «связь» с исследуемой патологией. Анализ [1] показал, что искомые заболевания почек представлены на точках: V53 (пиелонефрит); V22, V23, V58, R3, R7, VB29, VB39, VC3 (нефрит); V54 (дисфункция почек); VB25, F14 (заболевания почек).

Анализ этого списка позволяет сделать вывод от том, что наиболее информативным по количеству представленных точек является меридиан мочевого пузыря (V).

Наиболее удобными для съема электрических характеристик являются точки: V53, V54, V22 и V23.

Для этих точек в соответствии с рекомендациями [2, 8, 11, 12, 13] из атласа меридиан выписывается список всех ситуаций с целью выбора диагностически значимых точек (ДЗТ) и набора дополнительных информативных признаков.

Для точки V53:

x_{01} – пиелонефрит;

x_1 – метеоризм, понос, запор;

x_2 – затрудненное мочеиспускание;

x_3 – уретрит;

x_4 – цистит;

x_5 – недержание мочи;

x_6 – заболевания женских половых органов;

x_7 – отечность в области наружных половых органов;

x_8 – орхит;

x_9 – боли в области поясницы и позвоночника.

Для точки V54:

x_{02} – дисфункция почек: x_4, x_9;

x_{10} – ишиас;

x_{11} – парез и паралич нижних конечностей.

Для точки V22:

x_{03} – нефрит: x_5;

x_{12} – боли в желудке;

x_{13} – рвота;

x_{14} – энтерит;

x_{15} – невралгия;

x_{16} – отек ног.

Для точки V23: x_{03} – нефрит: x_1, x_5, x_9;

x_{17} – температура;

x_{18} – импотенция;

x_{19} – расстройство менструального цикла;

x_{20} – головокружение;

x_{21} – шум в ушах, глухота.

С учетом того, что пиелонефрит представлен одной точкой, было принято решение при определении ДЗТ двоичную таблицу связей строить относительно двух ситуаций x_{01} и x_{03} (см. табл.).

Таблица. Двоичная таблица связей

Table. Binary Relationship Table

БАТ \ x_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}
V53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
V23	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Анализ таблицы показывает, что выбранные точки не позволяют исключить ситуацию x_5 – недержание мочи, которая исключается простым опросом пациента.

Таким образом, если у пациента нет недержания мочи, то в соответствии с рекомендациями [11, 12] степень тяжести пиелонефрита ST определяется в соответствии с выражением

$$\begin{aligned}&\textit{ЕСЛИ}\ [(\delta R_{V53} \geq 15\%)\ \text{И}\ (\delta R_{V22} \geq 15\%)]\\&\text{ТО}\ \{ST(j+1) = ST(j) + \mu_P(\delta R_{j+1})[1 - ST(j)]\}\\&\text{ИНАЧЕ}\ (ST = 0),\end{aligned} \quad (1)$$

где $ST(j)$ – степень тяжести пиелонефрита, определяемая по электрической реакции БАТ после анализа j точек на их энергетический разбаланс, измеренный по величине отклонения сопротивлений БАТ от их номинальных значений (δR_j); j=1,2,3;

$\mu_P(\delta R_j)$ – функция принадлежности к классу «тяжелый пиелонефрит» с базовой переменной δR_j; $UP(1) = \mu_P(\delta R_{V53})$; $\mu_P(\delta R_2) = \mu_P(\delta R_{V22})$; $\mu_P(\delta R_3) = \mu_P(\delta R_{V23})$; $\mu_P(\delta R_4) = \mu_P(\delta R_{V54})$.

При наличии у пациента недержания мочи нечеткое условие выражения (1) выполняется из-за наличия ситуации x_5. В этом случае доверие пациентов к выражению (1) уменьшается на величину меры недоверия (МНД), определенной на уровне 0,1.

Результаты и их обсуждение

В ходе синтеза математической модели (1) эксперты, пользуясь рекомендациями [3, 4, 5, 6, 7, 10, 13, 17, 18, 19, 20], построили графики функций принадлежности, которые после усреднения по всем экспертам имеют вид, приведенный на рисунке.

Аналитически графики $\mu_P(\delta R_j)$ описываются следующими выражениями:

$$\mu_P(\delta R_{V53}) = \begin{cases} 0, \text{ если } \delta R_{V53} < 15\%, \\ 0,0044\delta R_{V53} - 0,067, \text{ если } 15\% \leq \delta R_{V53} < 60\%, \\ 0,2, \text{ если } \delta R_{V53} \geq 60\%; \end{cases}$$

$$\mu_P(\delta R_{V22}) = \begin{cases} 0, \text{ если } \delta R_{V22} < 15\%, \\ 0,0027\delta R_{V22} - 0,041, \text{ если } 15\% \leq \delta R_{V22} < 70\%, \\ 0,15, \text{ если } \delta R_{V22} \geq 70\%; \end{cases}$$

$$\mu_P(\delta R_{V23}) = \begin{cases} 0, \text{ если } \delta R_{V23} < 15\%, \\ 0,0015\delta R_{V23} - 0,0023, \text{ если } 15\% \leq \delta R_{V23} < 80\%, \\ 0,1, \text{ если } \delta R_{V23} \geq 80\%; \end{cases}$$

$$\mu_P(\delta R_{V54}) = \begin{cases} 0, \text{ если } \delta R_{V54} < 15\%, \\ 0,0013\delta R_{V54} - 0,019, \text{ если } 15\% \leq \delta R_{V54} < 80\%, \\ 0,1, \text{ если } \delta R_{V54} \geq 80\%. \end{cases}$$

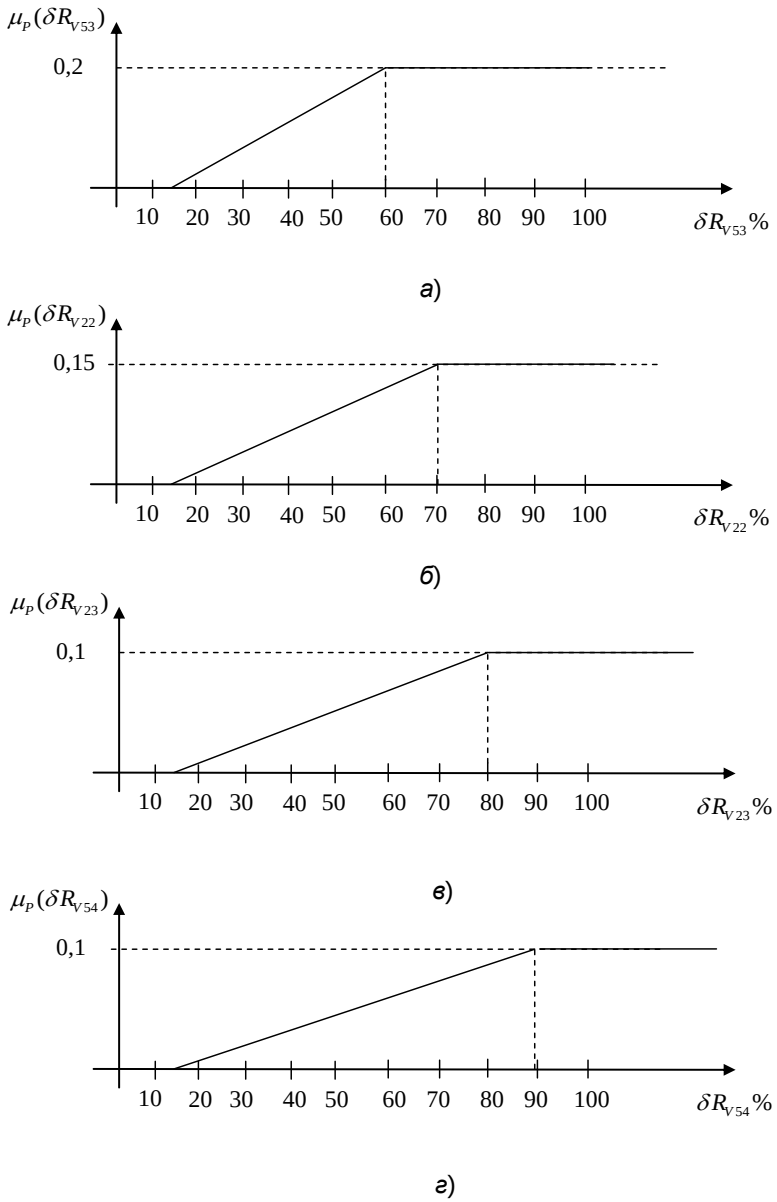


Рис. Графики функций принадлежности к классу «тяжелый пиелонефрит» с базовыми переменными:
а $-\delta R_{V53}$; *б* $-\delta R_{V22}$; *в* $-\delta R_{V23}$; *г* $-\delta R_{V54}$

Fig. Graphs of the functions of belonging to the class of severe pyelonephritis with basic variables:
а $-\delta R_{V53}$; *б* $-\delta R_{V22}$; *в* $-\delta R_{V23}$; *г* $-\delta R_{V54}$

В результате математического моделирования и экспертного оценивания было установлено, что уверенность в правильной оценке степени тяжести пиелонефрита с использованием модели (1) составляет 0,45.

Таким образом, только по энергетической реакции БАТ, связанных с почками, с достаточной степенью достоверности нельзя говорить о надежной оценке степени тяжести исследуемой патологии.

Однако если дополнительно к биологически активным точкам добавить признаки, характеризующие антиокислительную активность и перекисное окисление липидов, так, как это описано в работах [14, 15, 16], следует ожидать получения приемлемых для медицинской практики результатов.

Для проверки этих выводов были сформированы контрольные выборки с пациентами, имеющими различные стадии пиелонефрита. В ходе проведенных статистических испытаний было установлено, что диагностическая эффективность (ДЭ) математической модели, описанной в работах [11, 12], составляет 0,91, а если в эту модель с использованием модифицированной формулы Е. Шортлифа [3, 5, 12, 13] добавить показатель ST, показатель ДЭ возрастает до 0,97, что свидетельствует об улучшении качества принятия решений на 6%.

Выводы

В работе исследовалась возможность использовать энергетический разбаланс биологически активных точек, «связанных» с заболеванием почек, для оценки степени тяжести такого заболевания, как пиелонефрит. В ходе исследований было показано, что только по реакции биологически активных точек уверенность в том, что степень тяжести пиелонефрита оценивается достоверно, составляет величину 0,45. Однако, если дополнительно к энергетической реакции биологически активных точек использовать перекисное окисление липидов и антиокислительную активность, уверенность в правильной классификации возрастает до 0,97, что является хорошим практическим результатом.

Список литературы

1. Гаваа Лувсан. Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии. М.: Наука, 1986. 575 с.

2. 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.

3. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. №1 (289). С. 33-35.

4. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. №6. С.25-31.

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. 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.

7. Метод синтеза нечётких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Кореневский, М.В. Артёменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новиков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т.13, №4. С. 881-886.

8. Кореневский Н.А., Буняев В.В., Яцун С.М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии: монография / Южно-Российский государственный технический университет (НПИ). Новочеркасск: редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика», 2003. 206 с.

9. Кореневский Н.А., Лазурина Л.П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики. Курск, 2000. 177 с.

10. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т.15, №12. С. 31-40.

11. Кореневский Н.А., Крупчатников Р.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для врачей рефлексотерапевтов: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 424 с.

12. 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: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

13. 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.

14. Серегин С.П. Современные информационные технологии в урологии. Курск: ОАО «ИПП Курск», 2009. 364 с.

15. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии / С.П. Серегин, С.Д. Долженков, С.Н. Кореневская, Т.Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 3. С. 293-297.

16. Прогнозирование послеоперационных осложнений при урологических заболеваниях на основе комбинированных нечетких правил / М.С. Чернега, С.Д. Долженков, С.В. Петров, С.В. Харьков, Л.Ю. Чуклиновой // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. №3. С. 63-69.

17. Шуткин А.Н., Федянин В.В., Кореневская С.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Информационные проекты в медицине и педагогике: материалы международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 61-64.

18. Korenevskiy N.A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, is. 1. P. 46-49.

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, is. 4. P. 169-172.

20. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N.A. Korenevskyi, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M.I. Lukashov // Biomedical Engineering. 2009. Vol.43, №4. P.187-190.

References

1. Gavaa Luvsan. *Traditsionnye i sovremennye aspekty vostochnoi refleksoterapii* [Traditional and modern aspects of Eastern reflexology]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 575 p. (In Russ.).

2. Gadalov V. N., Korenevsky N. A., Snopkov V. I. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Mathematical models of reflex systems of the human body and their use for prediction and diagnosis of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol.11, no. 2, pp. 515-521 (In Russ.).

3. Korenevsky N. A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [The use of fuzzy decision logic for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technology*, 2015, no. 1 (289), pp. 33-35 (In Russ.).

4. Korenevsky N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Design of decision-making systems on fuzzy network models in problems of medical diagnostics and forecasting]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2006, no. 6, pp. 25-31 (In Russ.).

5. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and management of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2013, no. 2, pp. 99-103 (In Russ.).

6. Korenevsky N. A. *Printsipy i metody postroeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunktsional'nykh modelei*. Diss. dokt. eng. nauk [Principles and methods of constructing interactive systems for diagnostics and management of human health on the basis of multifunctional models. Doct. Diss.]. Saint-Petersburg, 1993. 32 p. (In Russ.).

7. Korenevsky N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. Ya., Novikov L. A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modelei sistemnykh vzaimosvyazei dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Method of synthesis of fuzzy decision rules on the basis of models of system interrelations for the solution of problems of forecasting and diagnostics of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886 (In Russ.).

8. Korenevsky N. A., Bunyaev V. V., Yatsun S. M. *Komp'yuternye sistemy rannei diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii* [Computer systems of early diagnostics of an organism state by methods of reflexology]. Novocherkassk, Editorial Board of "Izvestiya vuzov. Electrical engineering", 2003. 206 p. (In Russ.).

9. Korenevsky N. A., Lazurina L. P. *Energoinformatsionnye modeli refleksodiagnostiki* [Energy-Informational models of reflexology]. Kursk, 2000, 177 p. (In Russ.).

10. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of teams of hybrid fuzzy models for assessing the state of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii = Science-Intensive technologies*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31-40 (In Russ.).

11. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A. *Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenii dlya vrachei refleksoterapevtov* [Intelligent decision support systems for reflexologists]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 424 p. (In Russ.).

12. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Al-Kasasbeh R. T. *Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modelei* [Theoretical foundations of acupuncture Biophysics with appli-

cations in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network models]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p. (In Russ.).

13. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. *Otsenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii* [Assessment and management of health status of students on the basis of hybrid intellectual technologies]. Stary Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p. (In Russ.).

14. Seregin S. P. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii v urologii* [Modern information technologies in urology]. Kursk, JSC "IPP Kursk" Publ., 2009. 364 p. (In Russ.).

15. Seregin S. P., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Sapitonova T. N. Sintez kombinirovannykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya posleoperatsionnykh oslozhnenii v urologii [Synthesis of combined fuzzy decision rules for predicting postoperative complications in urology]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2012, no. 2, pt.3, pp. 293-297 (In Russ.).

16. Chernega M. S., Dolzhenkov S. D., Petrov S. V., Kharkiv S. V., Chuklinova L. Yu. Prognozirovanie posleoperatsionnykh oslozhnenii pri urologicheskikh zabolevaniyakh na osnove kombinirovannykh nechetkikh pravil [Prediction of postoperative complications in urological diseases based on combined fuzzy rules]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. instruments engineering*, 2014, no. 3, pp. 63-69 (In Russ.).

17. Shutkin A. N., Fedyanin V. V., Korenevskaya S. N. Proektirovanie baz znanii meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil [Designing knowledge bases of medical expert systems using teams of fuzzy rules. Information projects in medicine and pedagogy]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Informatsionnye proekty v meditsine i pedagogike" = Proceedings of the international scientific and practical conference. Kursk*, 2014, pp. 61-64 (In Russ.).

18. Korenevskiy N.A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical engineering*, 2015, vol. 49, is. 1, pp. 46-49.

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. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169-172.

20. Korenevskyi 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.

Информация об авторах / Information about the Authors

Родионов Дмитрий Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru

Dmitry S. Rodionov, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: knsofia@mail.ru

Петров Сергей Вячеславович, кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог, Медицинский центр ООО «Авиценна», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Sergey V. Petrov, Dr. of Sci. (Medical), Obstetrician-gynecologist, Medical Center LLC "Avicenna", Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Лазурина Людмила Петровна, заведующая кафедрой биологической и химической технологии, ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Министерства образования, г. Курск, Россия, e-mail: kafbht@yandex.ru

Lyudmila P. Lazurina, Head of the Department of Biological and Technology, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kursk, Russian Federation, e-mail: kafbht@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 615.47

Нечёткая оценка степени декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения с использованием модели Георга Раша

А. В. Быков [1], Н. А. Кореневский [2] ✉, А. В. Бойцов [3], С. Н. Родионова [2]

[1] Консультативная поликлиника БМУ КОКБ
ул.Сумская, 45а, г.Курск, 305007, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[3] ОАО «Фармстандарт-Лексредства»
ул. 2-я Агрегатная, 1а/18, г. Курск, 305022, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Целью исследования *является повышение качества оказания помощи больным, страдающим ишемией системносвязанных органов сердца, головного мозга и нижних конечностей, которая может закончиться инвалидизацией и смертью.*

Методы. *При выборе методов исследования было показано, что задача классификации степени декомпенсации большого круга кровообращения относится к классу плохоформализуемых задач с нечёткой структурой данных, поэтому в качестве базового аппарата исследований была использована методология синтеза гибридных нечётких решающих правил с использованием теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша, с помощью которой устанавливаются скрытые связи между известными переменными (индикаторными переменными) и переменной, не имеющей явной аналитической связи с индикаторными переменными, но по отношению к которой на понятийном уровне известно, что такая связь может существовать. Эту переменную называют скрытой или латентной.*

Результаты. *В ходе синтеза нечётких решающих правил был обоснован выбор информативных признаков в следующем составе: фракция выброса; разница в объёме стопы; активированное частичное протромбированное время; лодыжечно-плечевой индекс.*

В соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечётких решающих правил в качестве базовых элементов нечётких математических моделей были выбраны функции принадлежности к таким классам степени декомпенсации большого круга кровообращения, как: $\omega_К$ – компенсация; $\omega_С$ – субкомпенсация: $\omega_Д$ – декомпенсация с базовыми переменными по шкалам информативных признаков. Решение о принадлежности к выбранным классам состояний большого круга кровообращения принимается по максимальной величине функции принадлежности.

© Быков А. В., Кореневский Н. А., Бойцов А. В., Родионова С. Н., 2019

Заключение. *Проведённое математическое моделирование и экспертное оценивание полученных нечётких моделей показало, что их уверенность в принятии решений составляет не ниже 0,9.*
Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые математические модели к использованию в практике работы сердечно-сосудистых хирургов и ангиологов.

Ключевые слова: *фракция выброса; разница в объёме стопы; активированное частичное протромбированное время; лодыжечно-плечевой индекс; большой круг кровообращения.*

Финансирование: *Работа выполнена по гранту №19-31-90067 Аспиранты «Математические методы диагностики, прогнозирования и профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе искусственного интеллекта и технологии гибридных нечетких вычислений».*

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Нечёткая оценка степени декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения с использованием модели Георга Раша / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, А. В. Бойцов, С. Н. Родионова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 141–159.

Статья поступила в редакцию 19.06.2019

Статья подписана в печать 25.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Fuzzy Assessment Stepney Decompensation of Regional Hemodynamics of the Systemic Circulation Using the Model Georg Rasch

Alexander V. Bykov [1], Nikolay A. Korenevsky [2] ✉, Anton V. Boytsov [3], Sofia N. Rodionova [2]

[1] Consultative polyclinic BMU KOKB
Sumskaya str. 45a, Kursk, 305007,Russian Federation

[2] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

[3] JSC "Pharmstandard-lexredstva"
2 Agregatnaya str., 1a/18, Kursk 305022, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

Perpose of research. *The aim of the work is to improve the quality of care for patients suffering from ischemia of system-related organs of the heart, brain and lower extremities, which can end in disability and death.*
Methods. *When choosing the research methods, it was shown that the problem of classification of the degree of decompensation of a large circle of blood circulation belongs to the class of poorly formalized problems with a fuzzy data structure, so the methodology of synthesis of hybrid fuzzy solving rules using the theory of measurement of latent variables with the model G was used as the basic research apparatus. Rasha, with the help which are priced hidden ties between*

known variables (indicator variables) and variable, not with explicit analytical ties with indicator variables, but relative to which on conceptual level known, that such a the link can exist. This variable is called hidden or latent.

Results. *During the synthesis of fuzzy decision rules, the choice of informative features in the composition was justified: ejection fraction; difference in the volume of the foot; activated partial prothrombated time; ankle-shoulder index.*

In accordance with the General methodology of synthesis of hybrid fuzzy solving rules as the basic elements of fuzzy mathematical models, the functions of belonging to such classes of the degree of decompensation of a large circle of blood circulation as K - compensation; C - subcompensation; D - decompensation with basic variables on the scales of informative features were chosen. The decision to belong to the selected classes of conditions of the large circle of blood circulation is made by the maximum value of the membership function.

Conclusion. *The conducted mathematical modeling and expert evaluation of the obtained fuzzy models showed that their confidence in decision-making is not less than 0.9.*

The results obtained allow us to recommend the proposed mathematical models for use in the practice of cardiovascular surgeons and angiologists.

Keywords: *ejection fraction; difference in the volume of the foot; activated partial protrombinovoe time; ankle-brachial index; systemic circulation*

Financing: *The Work was carried out under the grant number 19-31-90067 graduate Students "Mathematical methods of diagnosis, prediction and prevention of diseases of the cardiovascular system based on artificial intelligence and hybrid fuzzy computing technology".*

Conflict of Interest: *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Bykov A. V., Korenevsky N. A., Boytsov A. V., Rodionova S. N. Fuzzy Assessment Stepney Decompensation of Regional Hemodynamics of the Systemic Circulation Using the Model Georg Rasch. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 141–159 (In Russ.).

Received 19.06.2019

Accepted 25.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Ишемические поражения сосудов относятся к серьёзным заболеваниям, способным привести к инвалидизации и смерти. Значительное число литературы посвящено исследованию ишемических поражений отдельных органов человека: сердца, головного мозга, нижних конечностей [2, 3, 19].

В то же время различные исследования показывают о тенденциях к появлению и развитию сочетанной ишемической патологии. Например, скандинавские исследования показали, что 50% пациентов с критической ишемической болезнью нижних конечностей умирают в течение 5 лет, причём причиной в 75 случаях послужили инфаркт миокарда и инсульт [2, 3].

Проведённые нами исследования показали, что системное рассмотрение вопросов ишемических заболеваний позволяет назначать более обоснованные схемы профилактики и лечения.

Существенную роль при выборе рациональных схем лечения и профи-

лактики системных ишемических поражений играет информация о состоянии региональной гемодинамики большого круга кровообращения (SRGBK).

С математической точки зрения задача оценки SRGBK относится к классу плохоформализуемых задач с нечётко определяемыми классами состояний, которые в соответствии с рекомендациями [4, 5, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25] целесообразно решать с использованием нечёткой логики принятия решений. Опыт решения задач с аналогичной структурой данных кафедры биомедицинской инженерии (БМИ) ЮЗГУ показал, что из всего многообразия методов, используемых в нечёткой логике, хороших результатов удаётся достичь при использовании методологии синтеза коллективов гибридных нечётких решающих правил [6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 26, 27, 28, 29].

Анализ литературы и разведочный анализ структуры данных показал, что все возможные показатели, которые предоставляет современная медицина для оценки состояния региональной гемодинамики большого круга кровообращения, носят по отношению к целевой функции скрытый (латентный) характер. В этих условиях в соответствии с рекомендациями [1, 30, 31] для оценки информативности показателей, характеризующих SRGBK, следует использовать теорию измерения латентных переменных с моделью Г. Раша.

Материалы и методы

Для оценки степени декомпенсации большого круга кровообращения на экспертном уровне было предложено четыре информативных признака: фракция выброса (ФВБ); разница в объёме стопы (ΔV_{CT}); активированное частичное протромбированное время (АЧТВ); лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ).

Информативная ценность предложенных показателей определялась по модели Г. Раша, для чего была составлена таблица экспериментальных данных для пациентов, имеющих различные стадии декомпенсации (см. табл.).

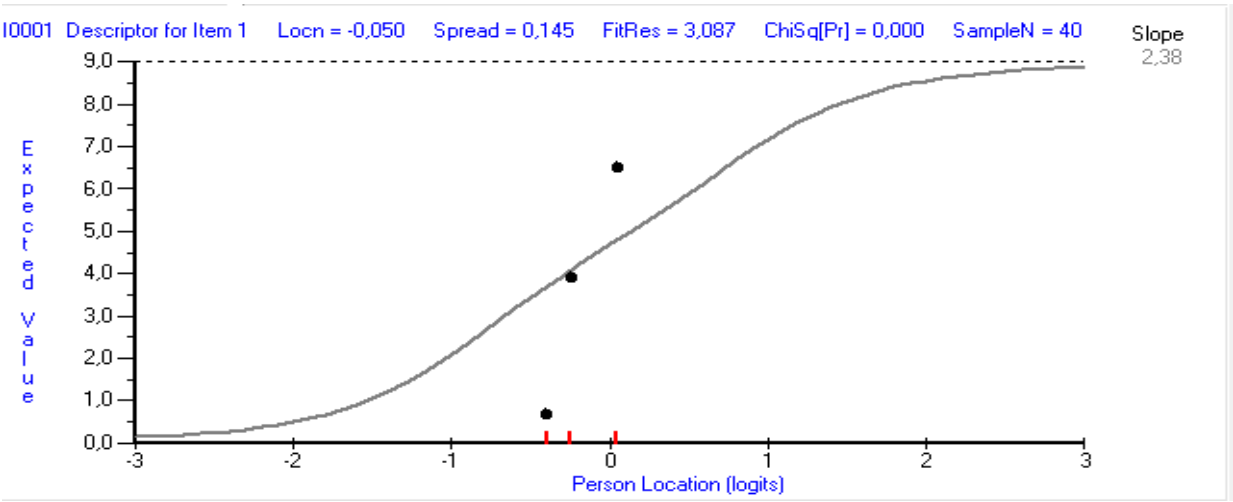
После обработки пакетом RUMM 2020, реализующим модель Г. Раша, были получены графики характеристических кривых (рис. 1) и таблица ранжирования выбранных показателей (индикаторных переменных) по критерию χ^2 (хи-квадрат) (рис. 2).

Анализ характеристических кривых (см. рис. 1) и таблицы соответствия теоретических кривых экспериментальным данным (см. рис. 2) показывает, что у всех индикаторных переменных $\chi^2_{\text{критич.}} Prob = 0$. Это означает, что ни одна переменная не удовлетворяет модели Г.Раша, что не позволяет делать вывод о возможности описания выбранными индикаторными переменными латентной переменной «степень декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения».

Таблица. Показатели степени декомпенсации по выбранной схеме информативных признаков

Table. Indicators of the degree of decompensation according to the selected scheme informative features

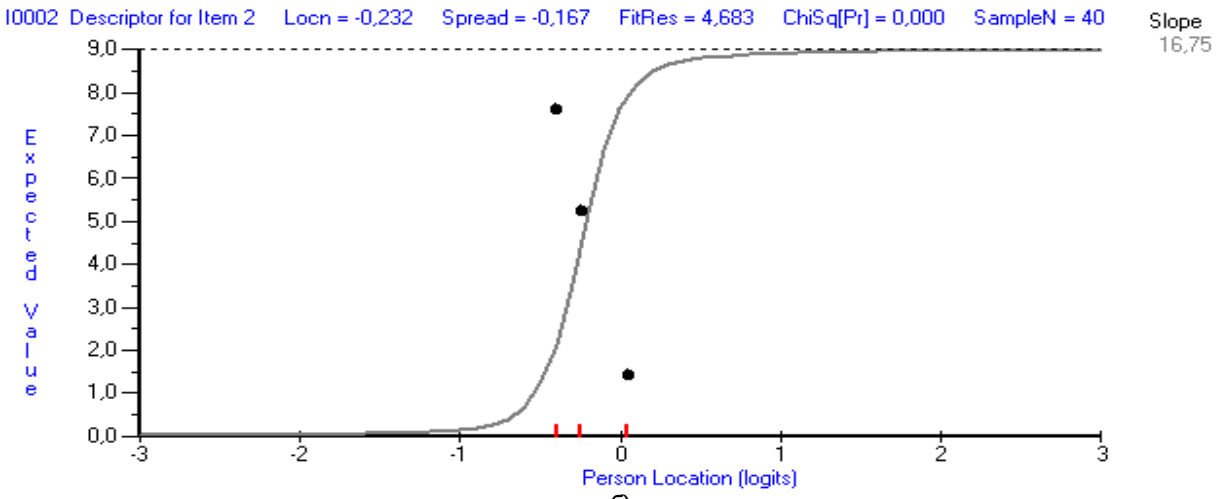
ФВБ	ΔV_{CT}	АЧТВ	ЛПИ	ФВБ	ΔV_{CT}	АЧТВ	ЛПИ
56	0,1	75	0,6	28	1,5	24	0,4
54	0,05	80	0,7	26	1,6	22	0,3
49	0,15	64	0,8	21	1,8	23	0,3
45	0,2	70	0,6	23	2,1	19	0,2
41	0,3	91	0,6	20	2,2	18	0,3
42	0,2	75	0,8	18	1,9	16	0,2
39	0,4	50	0,5	19	2,1	15	0,2
45	0,3	62	0,6	17	2,3	10	0,1
38	0,5	49	0,6	16	1,9	8	0,2
36	0,6	35	0,4	15	2,5	11	0,3
35	1	42	0,5	13	1,8	6	0,2
33	0,8	31	0,6	14	2	7	0,1
39	1,2	28	0,5	10	2,1	3	0,2
33	1,1	25	0,4	8	2,4	5	0,1
31	0,9	32	0,3	7	2,3	6	0,1
29	1,3	41	0,5	8	2,7	4	0,2
33	1,2	33	0,4	6	2,5	3	0,1
32	1,4	29	0,6	5	2,4	2	0,2
29	1,3	28	0,4	4	2,3	2,5	0,1
30	1,5	25	0,3	5	2,6	2	0,1



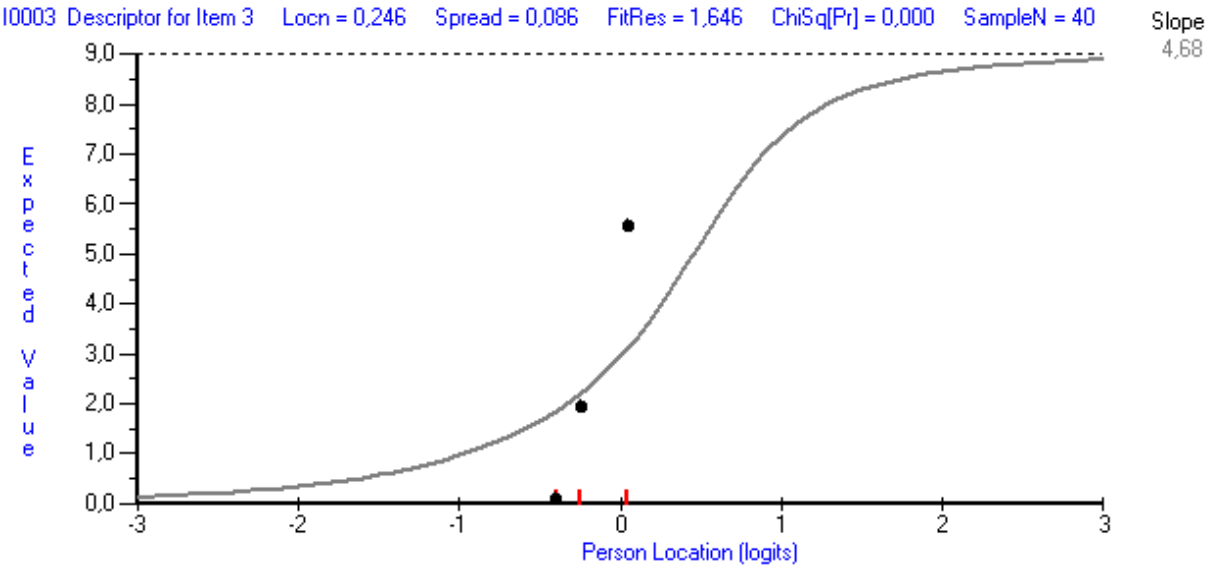
а)

Рис. 1. Графики характеристических кривых для индикаторных переменных : *а* – ФВБ; *б* – ΔVCT; *в* – АЧТВ; *г* – ЛПИ (начало, окончание см. на с. 146)

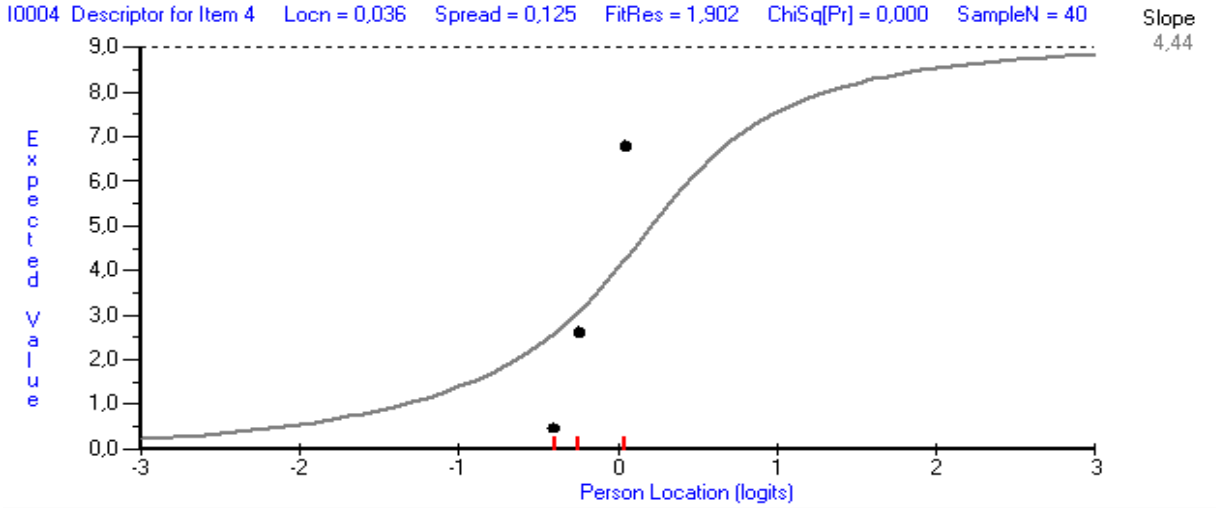
Fig. 1. Graphs of characteristic curves for indicator variables: *a* – FVB; *б* – ст VST; *в* – ACTV; *г* - LPI (for the end, see p. 146)



б)



в)



г)

Рис. 1. Графики характеристических кривых для индикаторных переменных : *а* – ФВБ; *б* – ΔVCT; *в* – АЧТВ; *г* – ЛПИ (окончание, начало см. на с. 145)

Fig. 1. Graphs of characteristic curves for indicator variables: *а* – FVB; *б* – ст VST; *в* – ACTV; *г* – LPI (beginning see p. 145)

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name EXAMPLE4 - Chi Square Probability Order

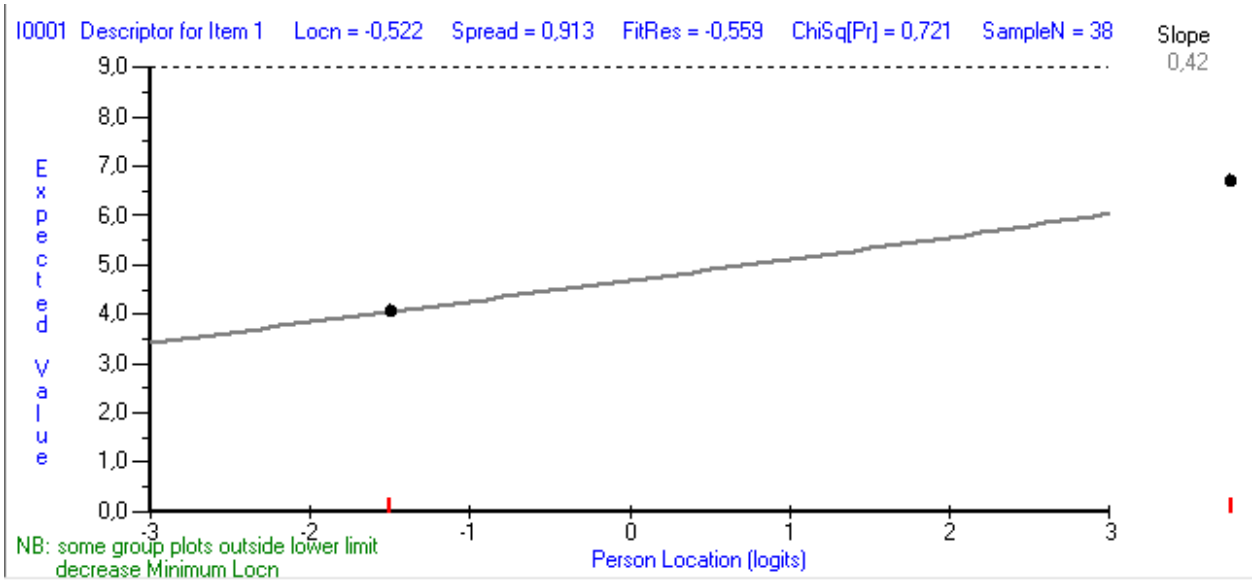
	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
3	3	I0003	Poly	0,246	0,094	1,646	26,25	41,085	2	0,000000
4	4	I0004	Poly	0,036	0,084	1,902	26,25	42,155	2	0,000000
1	1	I0001	Poly	-0,050	0,101	3,087	26,25	62,845	2	0,000000
2	2	I0002	Poly	-0,232	0,046	4,683	26,25	95,416	2	0,000000

Рис. 2. Скриншот таблицы ранжирования индикаторных переменных по критерию χ^2 (хи-квадрат)

Fig.2. Screenshot of the ranking table of indicator variables by criterion χ^2 (Chi-square)

Однако анализ рис. 1,*б* показывает, что экспериментальные данные находятся в перекрёстном положении по отношению к теоретической кривой. В такой ситуации в теории измерения латентных переменных рекомендуется произвести программный реверс индикаторной переменной ΔV_{CT}. В результате этой процедуры меняется взаимоположение экспериментальных данных по отношению к теоретической кривой на 180^0.

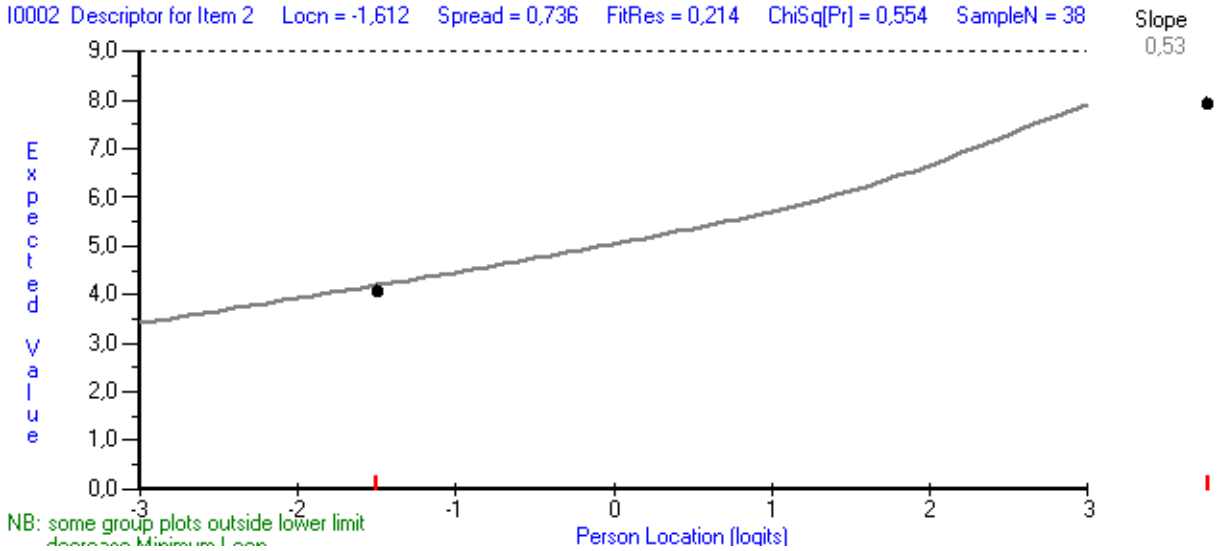
После реверсирования были получены графики характеристических кривых, приведённые на рисунке 3, и таблица ранжирования индикаторных переменных по критерию χ^2 (хи-квадрат), приведённая на рис. 4.



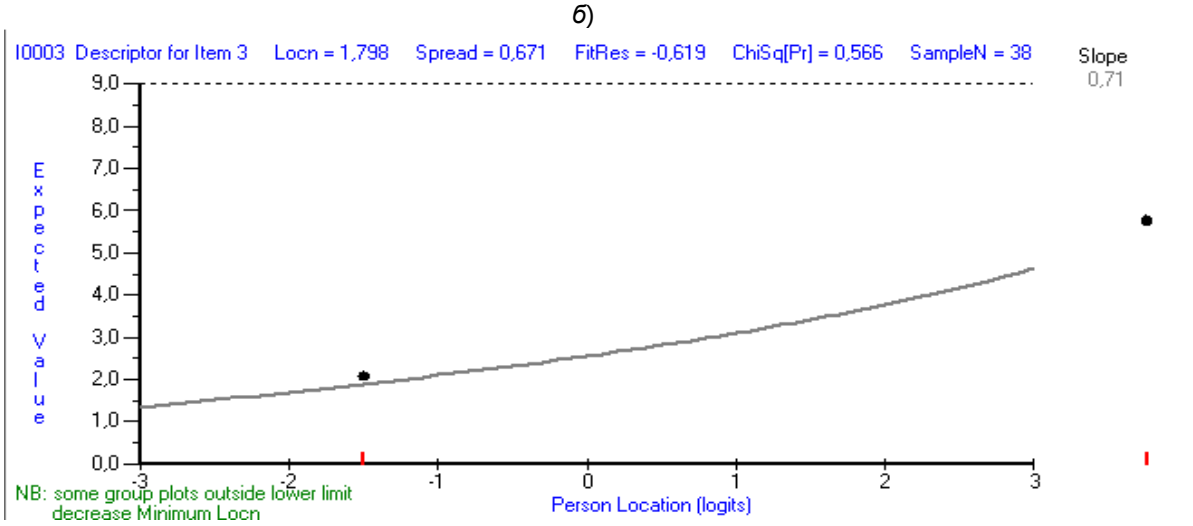
а)

Рис. 3. Графики характеристических кривых для индикаторных переменных : *а* – ФВБ; *б* – ΔVCT; *в* – АЧТВ; *г* – ЛПИ (начало, окончание см. на с. 148)

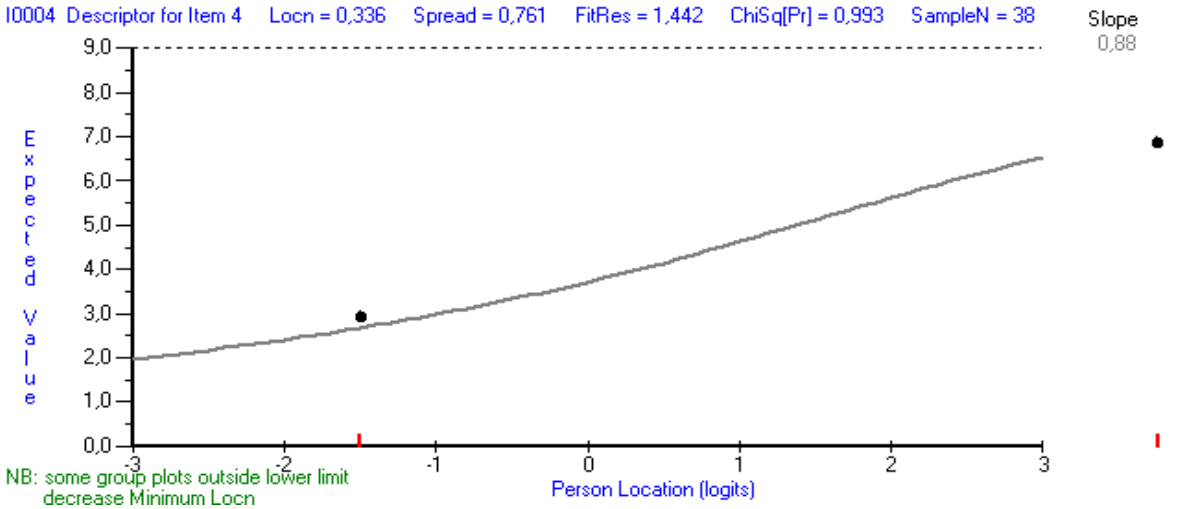
Fig. 3. Graphs of characteristic curves for indicator variables: *а* – FVB; *б* – ст VST; *в* – ACTV; *г* – LPI (for the end, see p. 148)



б)



в)



г)

Рис. 3. Графики характеристических кривых для индикаторных переменных : *а* – ФВБ; *б* – ΔVCT; *в* – АЧТВ; *г* – ЛПИ (окончание, начало см. на с. 147)

Fig. 3. Graphs of characteristic curves for indicator variables: *а* – FVB; *б* – ст VST; *в* – ACTV; *г* – LPI (beginning see p. 147)

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name EXAMPLE6 - Chi Square Probability Order

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
4	4	I0004	Poly	0,336	0,220	1,442	24,75	0,014	2	0,993024
1	1	I0001	Poly	-0,522	0,217	-0,559	24,75	0,653	2	0,721344
3	3	I0003	Poly	1,798	0,222	-0,619	24,75	1,139	2	0,565948
2	2	I0002	Poly	-1,612	0,218	0,214	24,75	1,182	2	0,553802

Рис.4. Скриншот таблицы ранжирования индикаторных переменных по критерию χ^2 (хи-квадрат)

Fig. 4. Screenshot of the ranking table of indicator variables by criterion χ^2 (Chi-square)

Анализ рис. 3 и 4 позволяет сделать вывод о том, что все характеристические кривые хорошо соответствуют данному набору критериев, а для всех индикаторных переменных показатель χ^2 больше 0,05.

Окончательная проверка соответствия индикаторных переменных латентной переменной SRGBK производится по графику соответствия интегрального показателя и значимости индикаторов (рис. 5).

Анализ графика рис. 5 показывает, что средняя значимость индикаторных переменных не отличается от среднего уровня интегрального показателя более чем на 0,5 логит, что позволяет сделать вывод о том, что все введённые индикаторные переменные следует использовать для оценки степени декомпенсации региональной гемодинамики большого круга кровообращения.

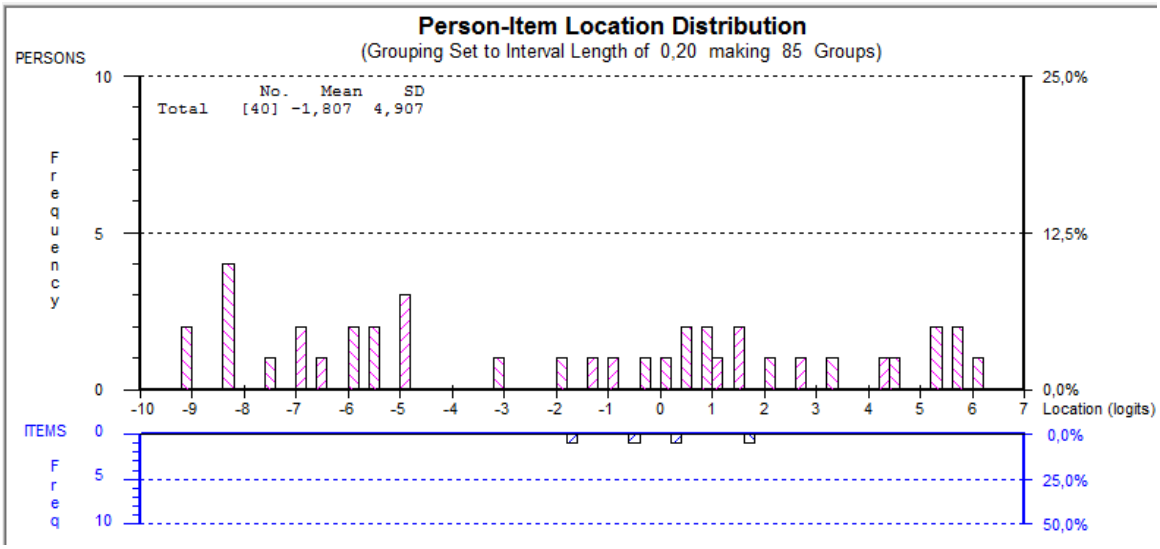


Рис. 5. График распределения интегрального показателя «SRGBK» (вверху) и значимости индикаторов (внизу)

Fig. 5. Distribution of integral indicator "SRGBK" (top)and significance of indicators (bottom)

Результаты и их обсуждение

В ходе разведочного анализа с учётом данных таблицы было установлено, что возможные классы состояний региональной гемодинамики большого круга кровообращения не имеют чётко выраженных границ.

С учётом этого и в соответствии с общей методологией синтеза коллективов гибридных нечётких решающих правил с привлечением высококвалифицированных экспертов определялись функции степени декомпенсации $f_Д(Q_i)$ (i=1,2, 3,4) с базовыми переменными Q_i , определяемыми по выбранным показателям:

$$f_Д(ФВБ) = \begin{cases} 0, \quad если \quad ФВБ < 0{,}15 \\ -0{,}0083ФВБ + 0{,}624, \quad если \quad 15 \le ФВБ < 45 \\ -0{,}025ФВБ + 1{,}375, \quad если \quad 45 \le ФВБ < 55 \\ 0, \quad если \quad ФВБ \ge 55 \end{cases}$$

$$f_Д(\Delta V_{СТ}) = \begin{cases} 0, \quad если \quad \Delta V_{СТ} < 0{,}5 \\ 0{,}2\Delta V_{СТ} - 0{,}1, \quad если \quad 0{,}5 \le \Delta V_{СТ} < 2{,}5 \\ 0{,}4 \quad если \quad \Delta V_{СТ} \ge 2{,}5 \end{cases}$$

$$f_Д(АЧТВ) = \begin{cases} 0{,}25 \quad если \quad АЧТВ < 20 \\ -0{,}0083АЧТВ + 0{,}42, \quad если \quad 20 \le АЧТВ < 50 \\ 0, \quad если \quad 50 \le АЧТВ < 100 \\ 0{,}00125АЧТВ - 0{,}125, \quad если \quad 100 \le ФВБ < 220 \\ 0{,}15, \quad если \quad АЧТВ \ge 220 \end{cases}$$

$$f_Д(ЛПИ) = \begin{cases} 0{,}1 \quad если \quad ЛПИ < 0{,}2 \\ -0{,}25ЛПИ + 0{,}15, \quad если \quad 0{,}2 \le ЛПИ < 0{,}6 \\ 0, \quad если \quad ЛПИ \ge 0{,}6 \end{cases}$$

Общий уровень декомпенсации UD определяется выражением

$$UD(q+1) = UD(q) +$$

$$+f_Д(Q_{i+1})[1 - UD(q)],$$

где $UD(1) = f_Д(ФВБ)$;

$UD(Q_2) = f_Д(\Delta V_{СТ})$;

$UD(Q_3) = f_Д(АЧТВ)$;

$UD(Q_4) = f_Д(ЛПИ)$, показатель UD используется экспертами для выделения трёх классов:

$\omega_К$ – компенсация;

$\omega_С$ – субкомпенсация;

$\omega_Д$ – декомпенсация.

В нечёткой интерпретации эти классы представлены соответствующими функциями принадлежности: $\mu_{\omega_К}(UD)$, $\mu_{\omega_С}(UD)$, $\mu_{\omega_Д}(UD)$.

Графики функций принадлежности этих функций приведены на рисунке 6.

Аналитически графики функций принадлежности, приведённые на рисунке 6, определяются следующими выражениями:

$$\mu_{\omega_K}(\mathrm{UD}) = \begin{cases} 0{,}9, \quad \text{если} \quad \mathrm{UD} < 0{,}2, \\ -9\mathrm{UD} + 2{,}7, \quad \text{если} \quad 0{,}2 \le \mathrm{UD} < 0{,}3, \\ 0, \quad \text{если} \quad \mathrm{UD} \ge 0{,}3, \end{cases}$$

$$\mathrm{f_Д}(\text{АЧТВ}) = \begin{cases} 0, \quad \text{если} \quad U\mathrm{D} < 0{,}2 \quad , \\ 9\mathrm{UD} - 1{,}8, \quad \text{если} \quad 0{,}2 \le U\mathrm{D} < 0{,}3, \\ 0{,}9, \quad \text{если} \quad 0{,}3 \le U\mathrm{D} < 0{,}6, \\ -9\mathrm{UD} + 6{,}3, \quad \text{если} \quad 0{,}6 \le U\mathrm{D} < 0{,}7, \\ 0, \quad \text{если} \quad U\mathrm{D} \ge 0{,}7, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_K}(\mathrm{UD}) = \begin{cases} 0, \quad \text{если} \quad \mathrm{UD} < 0{,}6, \\ 9\mathrm{UD} - 5{,}4, \quad \text{если} \quad 0{,}6 \le \mathrm{UD} < 0{,}7, \\ 0{,}9, \quad \text{если} \quad \mathrm{UD} \ge 0{,}7. \end{cases}$$

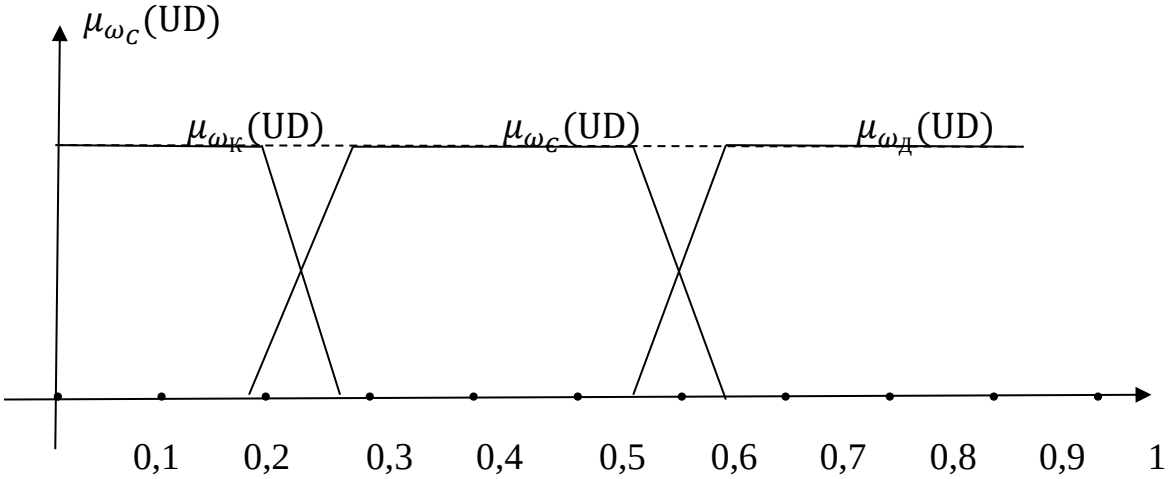


Рис. 6. Графики функций принадлежности к классам $\omega_К$, $\omega_С$, $\omega_Д$

Fig. 6. Graphs of functions belonging to classes $\omega_К$, $\omega_С$, $\omega_Д$

Решение о принадлежности к выбранным классам состояний большого круга кровообращения принимается по максимальной величине функции принадлежности, то есть $\Omega_{\mathrm{UD}} = \max\left\{\mu_{\omega_К}(\mathrm{UD}), \mu_{\omega_C}(\mathrm{UD}), \mu_{\omega_Д}(\mathrm{UD})\right\}$.

При равенстве двух ненулевых функций принадлежности решение принимается в пользу более тяжёлой стадии.

Выводы

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в принимаемых решениях с использованием полученных нечётких моделей превышает величину 0,9. Такой показатель качества позволяет рекомендовать полученные результаты для использования в медицинской практике сосудистых хирургов и ангиологов.

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 путём 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., Емельянов С.Г., Кореневский Н.А. Прогнозирование снятия тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечётких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №9. С. 4-9.

4. Конева Л.В., Кореневская С.Н., Дегтярев С.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека // Системный анализ. 2012. Т.11, №4. С. 993-1000.

5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 312 с.

6. 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.

7. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. №1. С. 33-35.

8. 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.

9. Кореневский Н.А., Рябкова Е.Б. Метод синтеза нечетких решающих правил оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т.7, №8. С.128-137.

10. 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.

11. Кореневский Н.А., Тутов Н.Д., Корженевич И.М. Способы представления разнотипных данных в задачах медицинских и экологических исследований // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 1998. №2. С. 56-63.

12. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. Курск, 2012. 231 с.

13. Метод синтеза нечётких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Кореневский, М.В. Артёменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новиков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т.13, №4. С. 881-886.

14. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.В. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2015. 472 с.

15. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоёмкие технологии. 2014. Т.15, №12. С. 31-39.

16. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечётких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т.XIII, №2. С.6-10.

17. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез нечётких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2. С. 223-227.

18. Серегин С.П., Воробьёва О.Н., Кореневская С.Н. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография. Курск, 2015. 166 с.

19. Сосудистая хирургия. Национальное руководство / под ред. В.С. Савельева, А.И. Кириенко. М.:ГЭОТАР Медиа, 2014. 464 с.

20. Оценка защитных свойств и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / С.В. Харьков, С.Д. Долженков, С.Н. Кореневская, А.Г.Коцарь // Системной анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т.11, №1. С.44-50.

21. Использование гибридных нечётких моделей для оценки степени утомления / А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, А.В. Бойцов, С.Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №2(15). С. 107-118.

22. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N. 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, №7. P. 681-689.

23. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescouc F. Modeling and parameter estimation for operatjr intelligence in man-machine systems // Imternational Journal of Modelling, Identification and Control. 2012. Vol. 15, №1. P. 69-85.

24. Al-Kasasbeh R.T. Prediction of the 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. P. 302-313.

25. Fuzzy determinat of the human's level of psycho-emotioal / N. A. Korenevskyi, R.T. Al-Kasasbeh, F. Ionescouc, M. Al-shamasin, E. Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE proceedings. 2013. Vol.40. P.213-216.

26. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, is. 1. P. 46-49.

27. Korenevskii 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. 2008. Vol. 42, N 2. P. 67-72.

28. Korenevskyi N. A., Gorbatenko S.A., Krupchatnikov R.A. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems // Biomedical Engineering. 2009. Vol.43, № 4. P.187-190.

29. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis / N.A. Korenevskiy, S.V. Degtyarev, S.W. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169-172.

30. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). Chicago: University of Chicago Press, 1980. 199 p.

31. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory // Models and Applications. Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. 689 p.

References

1. Boytsov A.V., Lazurina L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Application of the theory of measurement of latent variables for formation of space of informative signs in problems of an estimation of a functional condition of the person]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering,* 2014, no. 6 (57), pp. 52-58 (In Russ.).

2. Bykov A.V., Ustinov A. G., Khripina I. I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenii ishemii nizhnikh konechnostei putem otsenki funktsional'nogo rezerva organizma [Model of predicting the occurrence of complications of ischemia of the lower extremities by assessing the functional reserve of the organism]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering,* 2015, no. 4 (17), pp. 81-88 (In Russ.).

3. Bykov A.V., Emelyanov S. G., Korenevsky N. A. Prognozirovanie snyatiya tyazhesti razvitiya ishemicheskogo protsessa v serdtse, golovnom mozge i nizhnikh konechnostyakh na osnove nechetkikh modelei [Prediction of relieving the severity of the ischemic process in the heart, brain and lower extremities on the basis of fuzzy models]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical electronics*, 2016, no. 9, pp. 4-9 (In Russ.).

4. Koneva L. V., Korenevskaya S. N., Degtyarev S. V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Assessment of the level of psycho-emotional stress and fatigue according to indicators characterizing the state of human attention]. *Sistemnyi analiz = System analysis*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 993-1000 (In Russ.).

5. Zadeh L. A. *Ponyatie lingvisticheskoi peremennoi i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenii* [The Concept of linguistic variable and its application to approximate decision - making]. Moscow, Mir Publ., 1976. 312 p. (In Russ.).

6. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and management of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-*

Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering, 2013, no. 2, pp. 99-103 (In Russ.).

7. Korenevsky N. A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [The use of fuzzy logic of decision-making for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika = Meditsinskaya Tekhnika*, 2015, no. 1, pp. 33-35 (In Russ.).

8. Korenevsky N. A., Rutskoi R. V., Dolzhenkov S. D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkikh reshayushchikh pravil [Method of forecasting and diagnostics of health status on the basis of fuzzy decision rules collectives]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 905-909 (In Russ.).

9. Korenevsky N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem po informatsii o geometricheskoi strukture mnogomernykh dannykh [The method of synthesis of fuzzy decision rules for assessing the state of complex systems based on information about the geometric structure of multidimensional data]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik Voronezh state technical University*, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 128-137 (In Russ.).

10. Korenevsky N. A. *Printsipy i metody postroeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunktsional'nykh modelei*. Avtoref. diss. eng. nauk. [Principles and methods of construction of interactive systems of diagnostics and management of human health on the basis of multifunctional models. Dr. eng. sci. diss.]. St.Petersburg, 1993. 32 p. (In Russ.).

11. Korenevsky N. A., Tutov N. D., Korzhenevich I. M. Sposoby predstavleniya raznotipnykh dannykh v zadachakh meditsinskikh i ekologicheskikh issledovanii [Ways of presenting different types of data in the problems of medical and environmental research]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering,* 1998, no. 2, pp. 56-63 (In Russ.).

12. Korenevsky N. A., Serebrovsky V. I., Kopteva N. A., Govorukhina T. N. *Prognozirovanie i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei* [Prediction and diagnosis of diseases

caused by harmful industrial and environmental factors on the basis of heterogeneous models]. Kursk, 2012. 231 p. (In Russ.).

13. Korenevsky N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. Ya., Novikov L. A., Korenevsky N. A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modelei sistemnykh vzaimosvyazei dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Method of synthesis of fuzzy decision rules on the basis of models of system interrelations for the solution of problems of forecasting and diagnostics of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886 (In Russ.).

14. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. V. *Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii* [Assessment and management of health of students on the basis of hybrid intellectual technologies]. Stary Oskol, TNT Publ., 2015. 472 p. (In Russ.).

15. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of teams of hybrid fuzzy models of assessment of the state of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31-39 (In Russ.).

16. Korenevsky N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Design of decision-making systems on fuzzy network models in problems of medical diagnostics and forecasting]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii = Bulletin of new medical technologies*, 2006, vol. XIII, no. 2, pp. 6-10 (In Russ.).

17. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkikh klassifikatsionnykh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya meditsinskikh prilozhenii [Synthesis of fuzzy classification rules in a multidimensional space of characteristics for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2012, no. 2, pp. 223-227 (In Russ.).

18. Seregin S. P., Vorobyova O. N., Korenevskaya S. N., eds. *Matematicheskie modeli prognozirovaniya i profilaktiki retsidivov infarktov miokarda v reabilitatsionnom periode* [Mathematical models of prediction and prevention of recurrence of myocardial infarction in the rehabilitation period]. Kursk, 2015. 166 p. (In Russ.).

19. Sosudistaya khirurgiya. Natsional'noe rukovodstvo. [Vascular surgery. National leadership. Short edition]; ed. by V. S. Savelyev, A. I. Kiriyenko. Moscow, GEOTAR Media Publ., 2014. 464 p. (In Russ.).

20. Kharkiv S. V., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Kotsar A. G. Otsenka zashchitnykh svoistv i ikh rol' v zadachakh prognozirovaniya i meditsinskoi diagnostiki [Evaluation of protective properties and their role in the tasks of forecasting and medical diagnostics]. *Sistemnoi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 44-50 (In Russ.).

21. Shutkin A. N., Boytsova E. A., Boytsov A.V., Korenevskaya S. N. Ispol'zovanie gibridnykh nechetkikh modelei dlya otsenki stepeni utomleniya [Use of hybrid fuzzy models to assess the degree of fatigue]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering,* 2015, no. 2 (15), pp. 107-118 (In Russ.).

22. 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.

23. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescouc F., Alshamasin M. Modeling and parameter estimation for operatjr intelligence in man-machine systems. *Imternational Journal of Modelling, Identification and Control*, 2012, vol. 15, no.1, pp. 69-85.

24. Al-Kasasbeh R.T. Prediction of the 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.

25. Korenevskyi N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescouc F., Al-shamasin M., Alkasasbeh E., Smith A.P. Fuzzy determinat of the human's level of psycho-emotioal. *IFMBE Proceedings,* 2013, vol. 40, pp.213-216.

26. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, is. 1, pp. 46-49.

27. Korenevskii N. A. , Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A., Lukashov M.I. Generation of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems. *Biomedical Engineering*, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 67-72.

28. Korenevskyi 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.

29. Korenevskiy N.A., Degtyarev S.V., Seregin S.W., Novikov A.V. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169-172.

30. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword bu Benjamin D. Wright). Chicago, University of Chicago Press Publ., 1980. 199 p.

31. Smith E.V., Smith M.S. Introduction to Rasch Measurement Theory. Models and Applications. Marle Grove, Minnesota, JAM Press Publ., 2004. 689 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Быков Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ КОКБ, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: bikov-av@yandex.ru

Кореневский Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Бойцов Антон Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела информационных технологий, ОАО «Фармстандарт-Лексредства», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: aboitcov@gmail.com

Родионова Софья Николаевна, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru

Alexander V. Bykov, Cand. of Sci. (Medical), Cardiovascular Surgeon, Consultative Polyclinic BMU KOKB, Kursk, Russian Federation, (e-mail: bikov-av@yandex.ru

Nikolay A. Korenevsky, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Anton V. Boytsov, Cand. of Sci. (Engineering), Head of Information Technology Department, JSC "Pharmstandard-lexredstva", Kursk, Russian Federation, e-mail: aboitcov@gmail.com

Sofia N. Rodionova, Post-Graduate Student, Departament of Biomedical Engeneering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail:kstu-bmi@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 615.47

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий

М.А. Мясоедова [1], Л.В.Стародубцева [2] ✉, А.В. Титова [2], Л.В. Шульга [2]

[1] ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова», ул. Карла Маркса, 70, г. Курск, 305021, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Резюме

Целью *исследования является повышение качества принятия решений по прогнозированию и ранней диагностике заболеваний иммунной системы за счет использования адекватных математических моделей, работающих с плохоформализуемой структурой данных.*

Методы*. Для реализации поставленной цели в качестве базового математического аппарата выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, позволяющая получать приемлемое качество прогнозирования и диагностики заболеваний с нечетко определяемой структурой данных, которая хорошо зарекомендовала себя при решении задач с аналогичной структурой данных и типом неопределенности. Выбранный и адаптированный под решаемые задачи метод синтеза гибридных нечетких решающих правил позволяет учитывать мультипликативный эффект воздействия на организм человека электромагнитных полей различной модальности и интенсивности с учетом времени воздействия и других существенных эндогенных и экзогенных факторов риска.*

Результаты. *Полученные математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников предприятий электроэнергетической отрасли кроме воздействия на организм человека интенсивных электромагнитных полей промышленной частоты учитывают факторы риска, порождаемые эргономикой и экологией рабочего места, а также разнообразные индивидуальные факторы риска. В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что полученные модели обеспечивают уверенность в правильном прогнозе появления и развития заболеваний иммунной системы у работников предприятий электроэнергетики не ниже 0,85, а ранней диагностики не ниже 0,92.*

Заключение. *В работе получены нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетической отрасли, где ведущим фактором риска является электромагнитное поле промышленной частоты в сочетании с другими эндогенными и экзогенными факторами риска. Показано, что прогностическая уверенность превышает величину 0,85, а наличие ранних стадий заболеваний иммунной системы у работников предприятий электроэнергетики выше – 0,92, что позволяет рекомендовать полученные результаты в медицинскую практику врачей профпатологов.*

Ключевые слова: *математические модели; иммунная система; ранняя диагностика заболеваний; электроэнергетика.*

© Мясоедова М.А., Стародубцева Л.В., Титова А.В., Шульга Л.В., 2019

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий / М.А. Мясоедова, Л.В.Стародубцева, А.В. Титова, Л.В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 160–172.

Статья поступила в редакцию 13.06.2019

Статья подписана в печать 22.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Mathematical Models for Prediction and Early Diagnosis of Diseases of the Immune System in Workers of Electric Power Companies

Marina A. Myasoedova [1], Lilia V. Starodubtseva [2] ✉, Anna V. Titova [2], Leonid V. Shulga [2]

[1] Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov
Karla Marksa str. 70, Kursk, 305021, Russian Federation

[2] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Abstract

Purpose of research *is to improve the quality of decision - making on the prediction and early diagnosis of diseases of the immune system through the use of adequate mathematical models working with poorly formalized data structure.*

Methods. *To achieve this goal, the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules is chosen as a basic mathematical apparatus.it allows to obtain an acceptable quality of forecasting and diagnosis of diseases with a fuzzy data structure and has proven itself in solving problems with a similar data structure and type of uncertainty.*

The synthesis method chosen and adapted to the tasks to be solved allows to take into account the multiplicative effect of electromagnetic fields of different modality and intensity on the human body, taking into account the time of exposure and other significant endogenous and exogenous risk factors.

Results. *The received mathematical models of forecasting and early diagnostics of diseases of immune system at employees of the enterprises of electric power branch except influence on a human body of intensive electromagnetic fields of industrial frequency consider risk factors generated by ergonomics and ecology of a workplace, and also various individual risk factors. In the course of mathematical modeling and expert evaluation it was shown that the obtained models provide confidence in the correct prognosis of the appearance and development of immune system diseases in employees of electric power enterprises not less than 0.85, and early diagnosis not less than 0.92.*

Conclusion. *The paper presents fuzzy mathematical models of prediction and early diagnosis of immune system diseases in the electric power industry, where the leading risk factor is the electromagnetic field of industrial frequency in combination with other endogenous and exogenous risk factors. It is shown that the prognostic confidence exceeds the value of 0.85, and the presence of early stages of diseases of the immune system in employees of electric power enterprises is higher-0.92, which allows us to recommend the results to the medical practice of professional pathologists.*

Keywords: *mathematical models; immune system; early diagnosis of diseases; power engineering.*

Conflict of interest. *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Myasoedova M. A., Starodubtseva L. V., Titova A. V., Shulga L. V. Mathematical Models for Prediction and Early Diagnosis of Diseases of the Immune System in Workers of Electric Power Companies. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 160–172 (In Russ.).

Received 13.06.2019

Accepted 22.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что воздействие электромагнитных полей промышленной частоты (ЭМППЧ) в сочетании с сопутствующими эндогенными и экзогенными факторами приводит к появлению и развитию целого комплекса профессиональных заболеваний, причем значительное число исследователей указывают на то, что в первую очередь страдают иммунная и нервная система, которые увеличивают риски заболеваний других органов и систем организма человека [1, 2, 6, 8, 9, 10].

Анализ современных подходов к решению проблем повышения качества охраны здоровья путем снижения профессиональных заболеваний в различных отраслях народного хозяйства, включая электроэнергетику, показал, что как в нашей стране, так и за рубежом для анализа профессиональной заболеваемости используют два типа моделей: 1) модели, построенные по гигиеническим критериям на основе сравнения воздействующих факторов риска с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) или предельно допустимыми уровнями (ПДУ); 2) модели, в основу построения которых положены медико-биологические критерии с использованием индекса профессиональной заболеваемости [1, 8, 9].

При этом основная масса исследований связана с анализом имеющейся заболеваемости, по которому достаточно сложно построить надежно «работающие» прогностические модели и модели, позволяющие выявлять ранние стадии профессиональных заболеваний [1,10].

Синтез моделей прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики, обеспечивающей требуемое качество принятия решений, осложняется тем, что используемые факторы риска имеют нечеткую и неполную природу, а исследуемая структура классов обладает значительными областями пересечений, которые с трудом поддаются формализованному описанию [5, 8, 10].

Опыт решения задач с аналогичной структурой классов, описанный в работах [2, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15], позволил в качестве базового математическо-

го аппарата выбрать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП).

В данной работе с использованием этой методологии получены математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников предприятий электроэнергетической отрасли.

Методы исследования

В соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечетких решающих правил базовым элементом прогностических и диагностических математических моделей является функция принадлежности $\mu_\lambda(\mathrm{Z})$ к исследуемому классу состояний ω_λ с базовой переменной Z_λ, которая соответствует фактору риска с номером j, провоцирующему появление и развитие патологии ω_λ [6, 8, 9].

При воздействии электромагнитных полей типа j базовую переменную предлагается определять выражением

$$Z_{\ell_j} = f_{\ell_j}\left(\frac{\mathrm{Q}_j}{\mathrm{Q}_j^{\Pi}}\right)\cdot f_{\ell_j}^{*}\left(t_j\right), \qquad (1)$$

где Q_j – среднее значение характеристик электромагнитного поля частотного диапазона Δf_j (E_j и H_j для электромагнитных полей промышленных и радиочастот;

H_{0_j} – средняя напряженность постоянного магнитного поля земли);

Q_j^{Π} – предельно допустимый уровень напряженности (для геомагнитного поля земли фоновое значение поля равно 35,8 А/м);

t_j – время нахождения человека в зоне действия электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j;

$f_{\ell_j}(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния электромагнитного поля диапазона Δf_j на появление и развитие заболевания ω_ℓ с областью определения [0,…,1];

$f_{\ell_j}^{*}\left(t_j\right)$ – нормировочная функция степени влияния времени нахождения обследуемого под воздействием электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j [9].

При построении графиков функций принадлежности $\mu_{\ell_j}\left(Z_{\ell_j}\right)$ эксперты руководствуются данными литературы, собственными знаниями о частоте заболеваний ω_1, вызываемых действием электромагнитных полей различной модальности, интенсивности и длительности. Механизм построения функций принадлежности типа $\mu_{\omega_\lambda}(Z_{\lambda j})$ достаточно подробно описан в работах [6, 8, 9].

Типовые варианты нормировочных функций и функций принадлежности к исследуемому классу состояний приведены на рисунке.

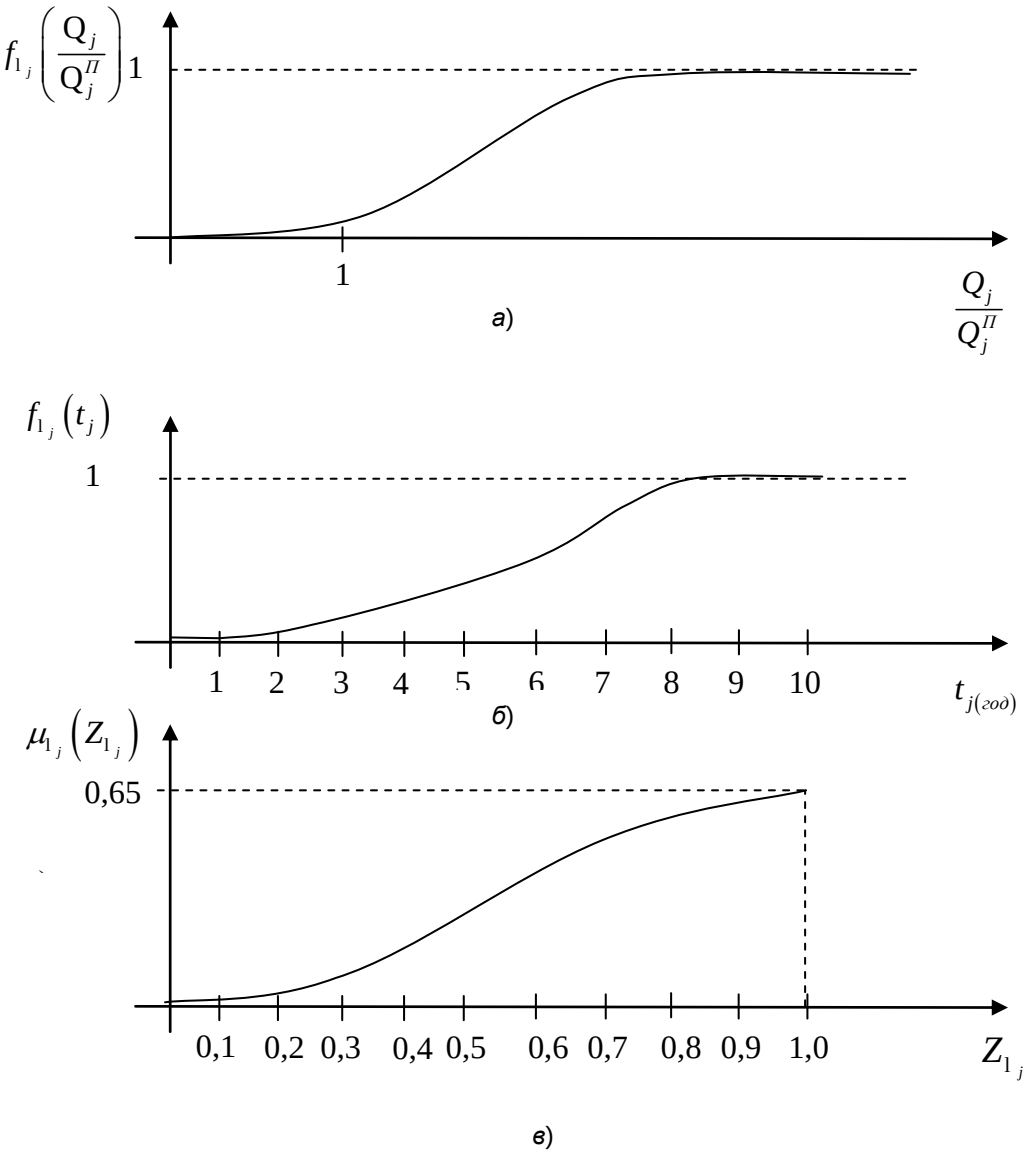


Рис. Варианты типовых нормировочных функций и функций принадлежности:

$$а - f_{\ell_j}\left(\frac{Q_j}{Q_j^{П}}\right);\ б - f_{\ell_j}(t_j);\ в - \mu_{\ell_j}(Z_{\ell_j})$$

Fig. Variants of standard normalization functions and accessory functions:

$$а - f_{\ell_j}\left(\frac{Q_j}{Q_j^{П}}\right);\ б - f_{\ell_j}(t_j);\ в - \mu_{\ell_j}(Z_{\ell_j})$$

Механизмы агрегации $\mu_{\lambda j}(Z_{Cj})$ с другими экзогенными и эндогенными факторами риска (эргономика рабочей зоны электрогенерирующих предприятий, экологическая обстановка, индивидуальные факторы риска и др.) с получением финальных и диагностических решающих правил описаны в работах [7, 8, 9, 10].

Результаты и их обсуждение

В соответствии с общими рекомендациями МСГНРП экспертная группа из восьми высококвалифицированных специалистов, используя метод Делфи, определила аналитические выражения для вычисления базовой переменной по электромагнитному полю промышленной частоты (электрическая напряженность E_{50}) с предельно допустимым уровнем $E_{50}^{П}$:

$$f_{И50}(E_{50}/E_{50}^{П})=\begin{cases}0, \ если\, a<0{,}5,\\ 0{,}33a-0{,}17, \ если\, 0{,}5\le a<3{,}5,\\ ЗС \ если\, a>3{,}5;\end{cases}$$

$$f_{И50}(t)=\begin{cases}0, \ если\, t<1,\\ 0{,}11t-0{,}11, \ если\, 1\le t<10,\\ 1, \ если\, t\ge 10,\end{cases}$$

где $a=(E_{50}/E_{50}^{П})$; ЗС – запрещена работа без защитных средств.

Базовая переменная $Z_{И50}$ определяется выражением (1).

Уверенность в появлении и развитии заболеваний иммунной системы от действия ЭМППЧ описывается функцией принадлежности, определяемой следующей формулой:

$$UEP_{И}=\mu_{И50}(Z_{И50})=\begin{cases}0, \ если\, Z_{И50}<0{,}1,\\ 4{,}8(Z_{И50}-0{,}1)^2, \ если\, 0{,}1\le Z_{И50}<0{,}4,\\ 0{,}6-4{,}8(Z_{И50}-0{,}6)^2, \ если\, 0{,}4\le Z_{И50}<0{,}6,\\ 0{,}6 \ если\, Z_{И50}\ge 0{,}1.\end{cases} \quad (2)$$

Анализ факторов риска предприятий электроэнергетики показал, что наиболее опасными для здоровья работников являются турбинные и котельные отделения тепловых электростанций (ТЭС) с такими факторами риска по отношению к иммунной системе, как фенол, аэрозоли фиброгенного действия, диоксид азота и оксид углерода.

Дополнительным фактором риска является неблагоприятный климат в турбинных отделениях.

Анализ заболеваемости рабочих в цехах ТЭС позволил экспертам составить таблицу коэффициентов уверенности в заболеваниях иммунной системы, в зависимости от профессии и стажа работы, аналогично исследованиям, приведенным в работе [6] (см. табл.).

Уверенность $UVE_{И}$ в появлении и развитии заболеваний иммунной системы у перечисленных в таблице профессий работников ТЭС определяется соответствующим коэффициентом уверенности $КУ_{pq}$, являющимся элементом таблицы 1 [9]:

$$UVE_{И}=КУ_{pq}, \quad (3)$$

где p – номер признака;

q – номер интервала стажа работы.

Таблица. Таблица коэффициентов уверенности по заболеваниям иммунной системы
Table. Table of confidence factors for diseases of the immune system

Производственно профессиональные группы	Схема работы в пределах (до)										
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	>20
1. Машинисты котлов	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
2. Машинисты обходчики котельного оборудования	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
3. Машинисты мельниц	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,4	0,45
4. Машинисты турбин	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
5. Машинисты обходчики турбинного оборудования	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3

В список факторов риска класса ω_{II}, связанных с образом жизни, эксперты включили: частое употребление лекарственных препаратов, нарушающих работу иммунной системы (преимущественно антибиотики и гормональные средства) ($в_1$); хроническая и острая кровопотеря ($в_2$); нарушение менструального цикла ($в_3$); хронические инфекции ЖКТ ($в_4$); хронические инфекции мочеполовой системы ($в_5$); паразитоз ($в_6$); наследственные и приобретенные болезни печени и селезенки ($в_7$); хирургические вмешательства ($в_8$); алиментарный фактор (недоедания, диеты) ($в_9$) [9].

По этой группе признаков в соответствии с рекомендациями [8] уверенность в появлении и развитии заболеваний иммунной системы $UIR_И$ определяется выражением

$$UIR_И=0{,}04\cdot\sum_{i=1}^{q} b_i\,. \qquad (4)$$

Финальная уверенность в появлении и развитии (прогноз) заболеваний иммунной системы определяется выражением [6, 8, 9]:

$$UIF((\rho+1)=UIF(\rho)+Q_{\rho+1}[UIF(\rho)], \qquad (5)$$

где (р) – номер признака; $UIF(1)=Q_1=UEP_И$; $Q_2=UVE_И$; $Q_3=UIR_И$.

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильном прогнозе появления и развития заболеваний иммунной системы у работников ТЭС превышает величину 0,85.

С учетом рекомендации [6] для синтеза математической модели диагностики ранних стадий заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий выбран показатель $UIF_И$ совместно с показателем $UDB_И$, определяемым по энергетической реакции общесистемных биологически активных точек, список которых обоснован в работах [6,7,8].

Согласно рекомендациям [3, 4, 7] показатель $UDB_И$ определяется выражением

ЕСЛИ [($\delta R_{E23} \geq 20\%$) и ($\delta R_{V60} > 20\%$)]

ТО {[($UDB_И(j+1) = UDB_И(j) + \mu_И^{pc}$

(δR_{j+1})[1-$UDB_И(j)$]}

ИНАЧЕ ($UDB_И=0$),

где $UDB_И(1) = \mu_И^{pc}(\delta R_{E23})$; $\delta R_2 = \delta R_{V60}$; $\delta R_3 = \delta R_{E36}$; $\delta R_4 = \delta R_{RP6}$; $\delta R_5 = \delta R_{V40}$; $\delta R_6 = \delta R_{VB20}$; $\mu_И^{pc}(\delta R_{j+1})$ – функция принадлежности к классу $\mu_И^{pc}$ – ранняя стадия патологии иммунной системы.

Функции принадлежности $\mu_И^{PC}(\delta R_j)$ определяются следующими выражениями:

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{E23}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{E23} < 20\% \\ 0{,}008\,\delta R_{E23} - 0{,}16, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{E23} < 70\% \\ 0{,}4, \textit{если} \delta R_{E23} \geq 70\% \end{cases}$$

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{E36}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{E36} < 20\%, \\ 0{,}01125\,\delta R_{E36} - 0{,}225, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{E36} < 60\%, \\ 0{,}45, \textit{если} \delta R_{E36} \geq 60\%; \end{cases}$$

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{RP6}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{RP6} < 20\%, \\ 0{,}017\,\delta R_{RP6} - 0{,}33, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{RP6} < 50\%, \\ 0{,}5, \textit{если} \delta R_{RP6} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{V40}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{V40} < 20\%, \\ 0{,}005\,\delta R_{V40} - 0{,}1, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{V40} < 70\%, \\ 0{,}25, \textit{если} \delta R_{V40} \geq 70\%; \end{cases}$$

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{V60}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{V60} < 20\%, \\ 0{,}01125\,\delta R_{V60} - 0{,}225, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{V60} < 60\%, \\ 0{,}45, \textit{если} \delta R_{V60} \geq 60\%; \end{cases}$$

$$\mu_И^{PC}(\delta R_{VB20}) = \begin{cases} 0, \textit{если } \delta R_{VB20} < 20\%, \\ 0{,}0125\,\delta R_{VB20} - 0{,}25, \textit{если } 20\% \leq \delta R_{VB20} < 60\%, \\ 0{,}5, \textit{если} \delta R_{VB20} \geq 60\%. \end{cases}$$

С учетом (5) и (6) уверенность в наличии ранних стадий заболеваний иммунной системы URI работников, занятых в электроэнергетике, определяется выражением

$$URI = UIF + UDB_И - UIF \cdot UDB_И. \quad (7)$$

Математическое моделирование и экспертный анализ показали, что уверенность в правильном принятии решений по модели (7) превышает величину 0,9.

Выводы

В работе получены нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетической отрасли, подвергающихся воздействию электромагнитного поля промышленной частоты, в сочетании с другими эндогенными и эндогенными факторами риска. Проведенное экспертное оценивание и математическое моделирование показали, что уверенность в прогнозе появления заболеваний иммунной системы превышает величину 0,85, а в наличии ранних стадий – величину 0,92. Такой результат позволяет рекомендовать предложенные математические показатели для использования профильными врачами профпотологами.

Список литературы

1. Вопросы сохранения и укрепления здоровья работающих, состояние профессиональных заболеваний в электроэнергетике: аналитический доклад объединения РаЭл. М., 2008. URL: http//www.rael.elektra.ru.

2. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы, провоцируемых комбинированным воздействием разнородных факторов риска / Т.Н. Говорухина, М.А. Мясоедова, И.Ю. Григорьев, А.В. Поляков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т.18, №2. С.110-116.

3. Кореневский Н.А., Буняев В.А., Крупчатников Р.А. Синтез прогностических и диагностических нечетких решающих правил по электрическим характеристикам проекционных зон для медико-экологических приложений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2009. №4. С.39-46.

4. Кореневский Н.А., Григорьев И.Ю., Разумова К.В. Метод прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний по энергетическому разбалансу меридианных структур организма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, №2. С. 75-90.

5. Кореневский 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 (41). С. 223-227.

6. Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и её влияния на состояние здоровья человека оператора с учетом функционального резерва его организма / Н.А. Кореневский, С.Н. Родионова, Т.Н. Говорухина, М.А. Мясоедова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Вып. 1. URL: https://moit. vivt.ru.

7. Кореневский Н.А., Родионава С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

8. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики / Н.А. Кореневский, М.А. Мясоедова, К.В. Разумова, А.В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. №2. С. 127-143.

9. Математические модели оценки влияния электромагнитных полей на появление и развитие прогностических заболеваний в электроэнергетической отрасли / М.А. Мясоедова, Н.А. Кореневский, Л.В. Стародубцева, М.В. Писарев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии: электронный журнал. Воронеж, 2019. №2(25). URL: https://moit.vivt.ru/?page_id=287&lang=ru.

10. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний в электроэнергетике на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил: монография / В.И. Серебровский, М.А. Мясоедова, В.В. Серебровский, Н.А. Кореневский, К.В. Разумова. Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. акад., 2019. 285 с.

11. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data // Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis. Bucharest, Romania, May 26-29, 2009. P.71-78.

12. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49. P. 46-49.

13. 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, №4. P. 187-190.

14. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Alshamasin M.S., Maksim I. Hibrid fuzzy loqic modellinq and software for erqonomics assessment of biotechnical systems // Int.J. Computer Applications in Technology. 2019. Vol. 60, № 1. P. 12-26.

15. Al-Kasabeh R. T., Korenevskij N., Filist S. Biotehnical monitorinq system for determininq persons health state In polluted environment usinq hubrid decisive riles // Int.J. Modelling. Identification and Control. 2019. Vol. 32, № 1. P. 10-22.

References

1. Analiticheskii doklad ob"edineniya RaEl "Voprosy sokhraneniya i ukrepleniya zdorov'ya rabotayushchikh, sostoyanie professional'nykh zabolevanii v elektroenergetike" [Analytical report of the Association Rael "Issues of preserving and strengthening the health of workers, the state of occupational diseases in the power industry"]. Moscow, 2008. URL: http: // www. rael.elektra. ru.

2. Govorukhina T. N., Myasoedova M. A., Grigoriev I. Yu., Polyakov A.V. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i rannei diagnostiki zabolevanii nervnoi sistemy, provotsiruemykh kombinirovannym vozdeistviem raznorodnykh faktorov riska [Mathematical models of forecasting and early diagnosis of diseases of the nervous system provoked by the combined impact of heterogeneous risk factors]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 110-116 (In Russ.).

3. Korenevsky N. A., Bunyaev V. A., Krupchatnikov R. A. Sintez prognosticheskikh i diagnosticheskikh nechetkikh reshayushchikh pravil po elektricheskim kharakteristikam proektsionnykh zon dlya mediko-ekologicheskikh prilozhenii [Synthesis of prognostic and diagnostic fuzzy decision rules on electrical characteristics of projection zones for medical and environmental applications]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya vuzov. North Caucasus region. Technical Sciences*, 2009, no. 4, pp. 39-46 (In Russ.).

4. Korenevsky N. A., Grigoriev I. Yu., Razumova K. V. Metod prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevanii po energeticheskomu razbolansu meridiannykh struktur organizma [Method of prognosis and diagnosis of occupational diseases by energy imbalance of Meridian structures of the body]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2019, no. 2, pp. 75-90 (In Russ.).

5. Korenevsky N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkikh klassifikatsionnykh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya meditsinskikh prilozhenii [Synthesis of fuzzy classification rules in multidimensional feature space for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2012, no. 2, 41, pp. 223-227 (In Russ.).

6. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Govorukhina T. N., Myasoedova M. A. Nechetkie modeli otsenki urovnya ergonomiki tekhnicheskikh sistem i ee vliyaniya na sos-

toyanie zdorov'ya cheloveka operatora s uchetom funktsional'nogo rezerva ego organizma [Fuzzy models for assessing the level of ergonomics of technical systems and its impact on human health of the operator, taking into account the functional reserve of his body]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies,* 2019, is. 1. URL: https://moit Hm. vivt.ru (In Russ.).

7. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Hripina I.I. *Metodologiya sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya meditsinskikh intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii* [The methodology for the synthesis of a hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent systems for decision support]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p. (In Russ.).

8. Korenevsky N. A., Myasoedova M. A., Razumova K. V., Serebrovsky A.V. Metod sinteza matematicheskikh modelei prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevanii rabotnikov predpriyatii elektroenergetiki [Method of synthesis of mathematical models of forecasting and diagnostics of occupational diseases of employees of electric power enterprises]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2019, no. 2, pp. 127-143 (In Russ.).

9. Myasoedova M. A., Korenevsky N. A., Starodubtseva L. V., Pisarev M. V. Matematicheskie modeli otsenki vliyaniya elektromagnitnykh polei na poyavlenie i razvitie prognosticheskikh zabolevanii v elektroenergeticheskoi otrasli [Mathematical models for assessing the impact of electromagnetic fields on the emergence and development of prognostic diseases in the electric power industry]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, optimization and information technologies*, 2019, no.2(25). URL: https://moet.vivt.ru/?page_id=287lang=ru.

10. Serebrovsky V. I., Myasoedova M. A., Serebrovsky V. V., Korenevsky N. A., Razumova K. V. *Prognozirovanie i rannyaya diagnostika professional'nykh zabolevanii v elektroenergetike na osnove metodologii sinteza gibridnykh nechetkikh reshayushchikh pravil* [Forecasting and early diagnosis of occupational diseases in the power industry based on the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules]. Kursk, 2019. 285 p. (In Russ.).

11. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data. *Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis*. Bucharest, Romania, 2009, pp.71-78.

12. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, pp. 46-49.

13. 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.

14. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Alshamasin M.S., Maksim I. Hibrid fuzzy loqic modellinq and software for erqonomics assessment of biotechnical systems. *Int.J. Computer Applications in Technology*, 2019, vol. 60, no. 1, pp. 12-26.

15. Al-Kasabeh R. T., Korenevskij N., Filist S., Shatalova O., Maedi Salman Alshamasin, Ashraf Adcl Shacadar. Biotehnical monitorinq system for determininq persons health state In polluted environment usinq hubrid decisive riles. *Int.J. Modelling. Identification and Control*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 10-22.

Информация об авторах / Information about the Authors

Мясоедова Марина Анатольевна,
старший преподаватель кафедры
электротехники и электроэнергетики,
Курская государственная сельскохозяйственная
академия имени И. И. Иванова,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Marina A. Myasoedova, Senior
Lecturer of the Department of Electrical
Engineering and Electric Power Engineering,
Kursk State Agricultural Academy named
after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Стародубцева Лилия Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
информационных систем и технологий,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Lilia V. Starodubtseva, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professorat
the Department of Information Systems
and Technologies, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Титова Анна Владимировна, аспирант,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Anna V. Titova, Post-Graduate Student,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Шульга Леонид Васильевич, доктор
медицинских наук, профессор кафедры
охраны труда и окружающей среды,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Leonid V. Shulga, Dr. of Sci. (Medical), Professor
at the Department of Labor Protection and Environment, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

УДК 57.087

Диагностика форм пиелонефрита и оценка степени их тяжести на основе нечетких математических моделей

С. П. Серегин [1], Д. С. Родионов [1] ✉, С. В. Петров [2], Г. В. Сипливый [3]

[1] ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[2] Медицинский центр ООО «Авиценна»
ул. Запольная, 47, г. Курск, 305040, Российская Федерация

[3] ООО «Визави-Универсал»
пр. Дружбы, 1а, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Целью исследования *является синтез нечетких математических моделей диагностики различных форм пиелонефрита с оценкой степени их тяжести на основе нечеткой логики принятия решений с достаточной для медицинской практики точностью.*

Методы. *В ходе разведочного анализа структуры данных о пациентах урологического отделения больницы скорой медицинской помощи г. Курска было установлено, что по собираемым медицинским показателям нельзя определить четкую границу между исследуемыми классами состояний, поэтому в качестве основного математического аппарата была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил. Оценка информативности сорока двух исходных признаков с использованием пакета RUMM2020 в сочетании с методами экспертного оценивания показала, что достаточной для дифференциальной диагностики форм пиелонефрита информативностью обладают три признака: перекисное окисление липидов, антиокислительная активность, количество церулоплазмина в сыворотке крови.*

Результаты. *В пространстве этих признаков были получены нечеткие математические модели, определяющие уверенность в наличии у пациентов гнойной и серозной форм пиелонефрита и класс относительно здоровых людей. Для оценки степени тяжести определенных форм пиелонефрита сформировано пространство информативных признаков в составе: уверенность в появлении и развитии серозной и гнойной форм; энергетический разбаланс биологически активных точек, «связаных» с почками; уровень психоэмоционального напряжения; реографический индекс, рассчитываемый по реограмме, снимаемой в проекции почек; степень тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы; сатурация крови кислородом, определяемая пальцевым датчиком. По этому пространству признаков были получены нечеткие математические модели оценки степени тяжести исследуемых форм пиелонефрита.*

Заключение. *В ходе статистических испытаний на репрезентативной контрольной выборке было установлено, что такие показатели качества классификации, как диагностическая чувствительность, специфичность и эффективность, превышают величину 0,9 при дифференциальной диагностике серозного и гнойного пиелонефрита и оценке степени тяжести этих форм. Практическое применение предложенных в работе метода и моделей позволит повысить качество оказания медицинских услуг пациентам, страдающим заболеваниями почек, и в частности при острых формах пиелонефрита.*

© Серегин С. П., Родионов Д. С., Петров С. В., Сипливый Г. В., 2019

Ключевые слова: *пиелонефрит; серозная форма; гнойная форма; переходный класс; нечеткие математические модели.*

Конфликт интересов: *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

Для цитирования: Диагностика форм пиелонефрита и оценка степени их тяжести на основе нечетких математических моделей / С. П. Серегин, Д. С. Родионов, С. В. Петров, Г. В. Сипливый // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 3. С. 173–191.

Статья поступила в редакцию 01.07.2019

Статья подписана в печать 29.07.2019

Статья опубликована 22.08.2019

Diagnosis of Pyelonephritis Forms and Assessment of Their Severity on the Basis of Fuzzy Mathematical Models

Stanislav P. Seregin [1], Dmitry S. Rodionov [1] ✉, Sergey V. Petrov [2], Gennadij V. Siplivyj [3]

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

[2] Medical center LLC "Avicenna"
Zapolnaya str. 47, Kursk 305040, Russian Federation

[3] LLC Vizavi-Universal,
Druzhby av. 1A, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Abstract

Purpose of research *is to synthesize fuzzy mathematical models of diagnosis of various forms of pyelonephritis with an assessment of their severity on the basis of fuzzy logic of decision - making with sufficient accuracy for medical practice.*

Methods. *During the exploratory analysis of the data structure on patients of the urological Department of the emergency hospital of Kursk, it was found that the collected medical indicators can not determine a clear boundary between the studied classes of conditions, so the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules was chosen as the main mathematical apparatus. Evaluation of the information content of forty-two initial signs using the package RUMM2020 in combination with the methods of expert evaluation showed that sufficient for the differential diagnosis of forms of pyelonephritis information have three signs: lipid peroxidation, antioxidant activity, the amount of ceruloplasmin in serum.*

Results. *In the space of these signs, fuzzy mathematical models were obtained that determine the confidence in the presence of purulent and serous forms of pyelonephritis in patients and the class of relatively healthy people.*

To assess the severity of certain forms of pyelonephritis, a space of informative signs was formed in the composition: confidence in the appearance and development of serous and purulent forms; energy imbalance of biologically active points ("connected" with the kidneys; the level of psycho-emotional tension; rheographic index calculated from the rheogram taken in the projection of the kidneys; the severity of ischemic lesions of the Central hemodynamic system;

blood oxygen saturation determined by a finger sensor. Fuzzy mathematical models for assessing the severity of the studied forms of pyelonephritis were obtained from this feature space.

Conclusion. *In the course of statistical tests on a representative control sample, it was found that such indicators of classification quality as diagnostic sensitivity, specificity and efficiency exceed 0.9 in the differential diagnosis of serous and purulent pyelonephritis and assessment of the severity of these forms.*

The practical application of the proposed method and models will improve the quality of medical services to patients suffering from kidney disease and in particular in acute forms of pyelonephritis.

Keywords: *pyelonephritis; serous form; purulent form; transitional class; fuzzy mathematical models*

Conflict of interest: *The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Seregin S. P., Rodionov D. S., Petrov S. V., Siplivyj G. V. Diagnosis of Pyelonephritis Forms and Assessment of Their Severity on the Basis of Fuzzy Mathematical Models. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, 9(3): 173–191 (In Russ.).

Received 01.07.2019

Accepted 29.07.2019

Published 22.08.2019

***

Введение

Выбор рациональной тактики лечения больных с пиелонефритом в его хронической и острой фазах течения является одной из серьезных проблем современной урологии [23, 25, 26, 27]. Проблема осложняется тем, что протекание болезни почек в условиях нарушений уреодинамики сопровождается развитием осложнений в виде интоксикации, уросепсиса, септического шока, что часто приводит к летальности [22, 27].

Значительного снижения осложнений и летальности при пиелонефрите можно достичь своевременной и точной оценкой форм и степени тяжести протекания исследуемого заболевания, что позволит выбрать адекватные схемы лечения [23, 24, 25, 27].

Проведенный анализ показал, что в современной литературе нет точного определения границ между различными формами пиелонефрита и отсутствуют общепринятые шкалы оценки степени их тяжести.

Анализ структуры данных с использованием общепринятых в медицине признаков, оценивающих состояние пациентов с пиелонефритом, показал, что поставленная в работе задача относится к классу плохоформализуемых задач с нечеткой структурой исследуемых классов состояний.

В этих условиях с учетом рекомендаций [3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 19, 28, 31, 33, 34] в качестве базового математического аппарата исследований была выбрана методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанная на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета [6, 7, 8, 19, 31, 34].

С учетом сказанного целью работы является синтез нечетких математических моделей диагностики различных форм пиелонефрита с оценкой степени их тяжести на основе нечеткой логики принятия решений.

Материалы и методы

Наблюдения проводились в урологическом отделении больницы скорой медицинской помощи г. Курска. В основной группе наблюдался 51 пациент с острым серозным необструктивным пиелонефритом, 39 пациентов с острым гнойным пиелонефритом и 30 пациентов контрольной группы с отсутствующим пиелонефритом.

На начальном этапе исследований высококвалифицированные эксперты для решения задачи диагностики форм пиелонефрита и оценки степени их тяжести выбрали 42 лабораторных показателя (признака).

В ходе проведенного разведочного анализа было установлено, что выбранные признаки имеют латентную (скрытую) связь с исследуемыми классами состояний. При таких условиях для оценки информативной ценности исследуемых показателей в работах [1, 18, 19] рекомендуют использовать теорию измерения латентных переменных с моделью Г. Раша, реализуемую интерактивным пакетом RUMM2020.

Оценка информативности сорока двух исходных признаков с использованием пакета RUMM2020 в сочетании с методами экспертного оценивания показала, что достаточной для дифференциальной диагностики форм пиелонефрита информативностью обладают три признака: перекисное окисление липидов (x_1); антиокислительная активность (x_2); количество церулоплазмина в сыворотке крови (x_3).

Это формальное исследование подтверждается тем, что согласно современным воззрениям решающее значение в развитии ишемических, дистрофических, дегенеративных состояний в организме принадлежит активации процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ). Это, в свою очередь, сопровождается снижением антиокислительной активности (АОА) и повышением расходования биоантиокислителей, следствием чего является снижение способности регулировать липоперексидацию и развитие тканевой альтерации.

Согласно общей методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил основным элементом этих правил является функция принадлежности к исследуемым классам (формам) состояний [6, 14, 15, 16, 19, 31, 34].

Для построения функций принадлежности к формам пиелонефрита по показателям перекисного окисления липидов, определяемому по малоновому диальдегиду в условных единицах, и антиокислительной активности в процентах были выбраны шкалы отклоне-

ний измеряемых показателей от номинальных значений, где в качестве базовых переменных соответствующих функций принадлежности используется относительная разность между номинальными значениями ПОЛ и АОА и их текущими показателями, определяемыми по следующим формулам:

$$\delta x_1 = \frac{x_1^H - x_1^T}{x_1^H};$$

$$\delta x_2 = \frac{x_2^H - x_2^T}{x_2^H} \cdot 100\%,$$

где x_1^H и x_2^H – ПОЛ и АОА, измеренные на репрезентативной группе здоровых людей; x_1^T и x_2^T – ПОЛ и АОА у обследуемых пациентов.

Группе медицинских экспертов, прошедших подготовку по построению функций принадлежности к исследуемым классам состояний (диагнозам, прогнозам), было предложено на шкалах δx_1 и δx_2 построить графики функций принадлежности к классам: здоров $\omega_0 \mu_0(\delta x_1)$ и $\mu_0(\delta x_2)$; серозная $\omega_{СП}$ форма пиелонефрита $\omega_{СП}(\delta x_1)$ и $\omega_{СП}(\delta x_2)$; гнойная $\omega_{ГП}$ форма пиелонефрита $\omega_{ГП}(\delta x_1)$ и $\omega_{ГП}(\delta x_2)$.

На рисунке 1 приведены усредненные по всем экспертным группам графики соответствующих функций принадлежности.

Графики функций принадлежности к классам ω_0, $\omega_{СП}$ и $\omega_{ГП}$ по показателю X_3 – количество целуроплазмина в сыворотке крови приведены на рисунке 2.

В соответствии с рекомендациями [6, 7, 16, 23, 24, 25] оценку уверенности при отсутствии исследуемого заболевания UO, серозного US и гнойного UG пиелонефрита будем определять по следующим формулам:

$$UO(i+1) = UO(i) + \mu_0(x_{i+1})[1 - UO(i)]; \quad (1)$$

$$US(i+1) = US(i) + \mu_{СП}(x_{i+1})[1 - US(i)]; \quad (2)$$

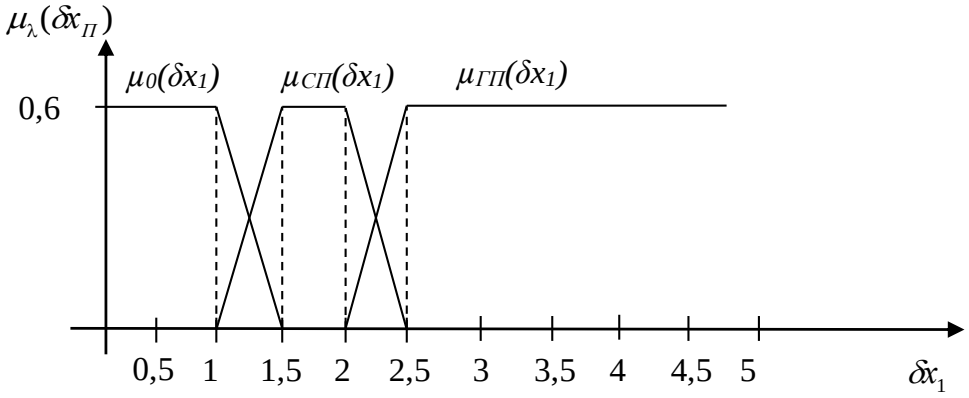
$$UG(i+1) = UG(i) + \mu_{ГП}(x_{i+1})[1 - UG(i)]. \quad (3)$$

Решение о классификации принимается по максимальному значению UO, US или UG:

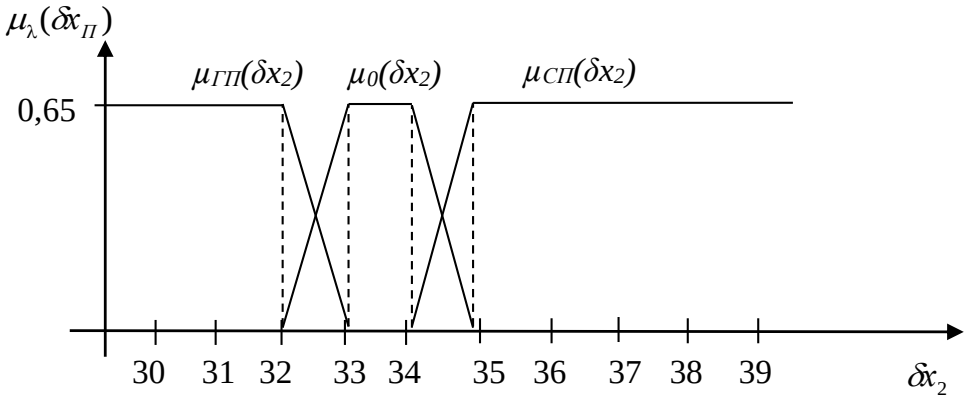
$$\Omega_\ell = \max(UO, US, UG). \quad (4)$$

Диагноз считается подтвержденным, если величины US или UG превышают порог 0,5. При равенстве US и UG решение принимается в пользу гнойного пиелонефрита.

Для оценки степени тяжести определенных форм пиелонефрита на экспертном уровне было принято решение использовать совокупность таких показателей, как: величины US и UG, определяемые по формулам (2) и (3); энергетический разбаланс биологически активных точек (БАТ), «связаных» с почками (ER); уровень психоэмоционального напряжения (YP), характеризующий общее функциональное состояние пациента; реографический индекс (RI), рассчитываемый по реограмме, снимаемой в проекции почек; степень тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы (STC); сатурация крови кислородом (S), определяемая пальцевым датчиком.



а)



б)

Рис. 1. Графики функций принадлежности к классам ω_0, $\omega_{СП}$ и $\omega_{ГП}$ по показателям:

а – $\delta x_П$; *б* – $\delta x_А$; $\ell = 0, СП, ГП$

Fig. 1. Graphs of functions belonging to classes ω_0, $\omega_{СП}$ и $\omega_{ГП}$ by indicators:

а – $\delta x_П$; *б* – $\delta x_А$; $\ell = 0, СП, ГП$

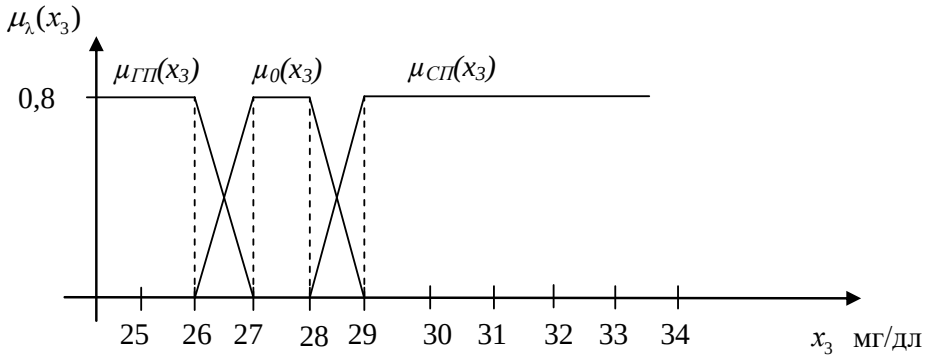


Рис. 2. Графики функций принадлежности к классам ω_0, $\omega_{СП}$ и $\omega_{ГП}$ по показателю X_3

Fig. 2. Graphs of functions belonging to classes ω_0, $\omega_{СП}$ and $\omega_{ГП}$ by indicators X_3

Величина энергетического разбаланса БАТ определяется в соответствии с методом, описанным в работах [2, 11, 13, 19, 29, 30], для точек V_{52} (пиелонефрит); V_{22} (нефрит); V_{23} (нефрит); V_{53} (дисфункция почек).

В соответствии с рекомендациями [2, 11, 13] величина ER определяется выражением

$$\begin{aligned} &ЕСЛИ\ [(\delta R_{V52} > 10\%)\ И\ (\delta R_{V22} > 10\%)] \\ &ТО\ \{ER(j+1) = ER(j) + f_{ER}(\delta R_{j+1})[1 - ER(j)]\} \quad (5) \\ &ИНАЧЕ\ (ER = 0), \end{aligned}$$

где δR_j – величина отклонения электрического сопротивления точки j (j = V22, V23, V53, V54) по отношению к своему номинальному значению;

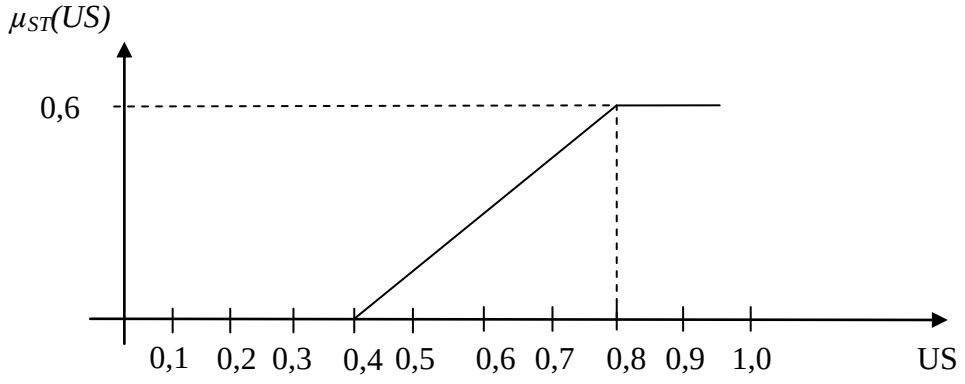
$f_{ER}(\delta R_{j+1})$ – функция уровня энергетического разбаланса точки j+1, определяющая «вклад» этой точки в величину общего энергетического разбаланса, характеризующего степень поражения почки;

$ER(1) = f_{ER}(\delta R_{V22})$.

Уровень психоэмоционального напряжения YP определяется по методикам, описанным в работах [4, 5, 16, 17, 19, 32, 35].

Реографический индекс RI определяется по методикам, принятым в реографии при тетраполярном подключении электродов [20, 21]. Причем пара токовых электродов располагается по проекциям верхней и нижней границ почки. Степень тяжести ишемического поражения центральной гемодинамической системы определяется по методике, описанной в работе [3]. Сатурация крови определяется по общепринятой методике [20, 21].

Используя показатели US, UG, ER, YP, RI, STC и S как базовые переменные, эксперты, пользуясь рекомендациями [15, 16, 19, 28], построили графики функций принадлежности к лингвистической переменной степени тяжести пиелонефрита, приведенные на рисунке 3.



а)

Рис. 3. График функций принадлежности к лингвистической переменной степени тяжести пиелонефрита с базовыми переменными: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (начало, окончание см. на с. 180)

Fig. 3. Graph of functions belonging to the linguistic variable severity of pyelonephritis with basic variables: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (for the end, see p. 180)

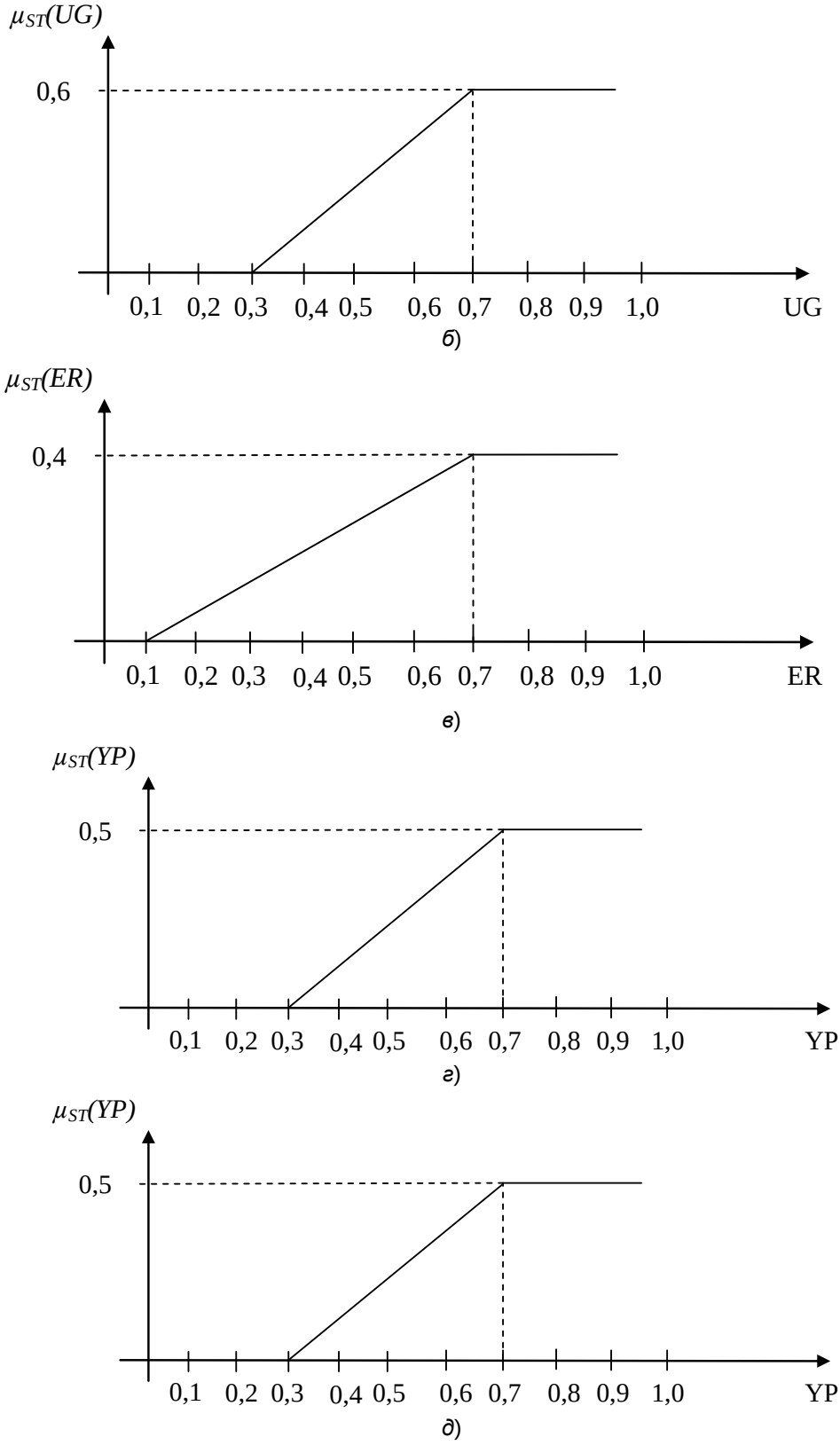


Рис. 3. График функций принадлежности к лингвистической переменной степени тяжести пиелонефрита с базовыми переменными: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (продолжение, начало см. на с. 179)

Fig. 3. Graph of functions belonging to the linguistic variable severity of pyelonephritis with basic variables: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (beginning see p. 179)

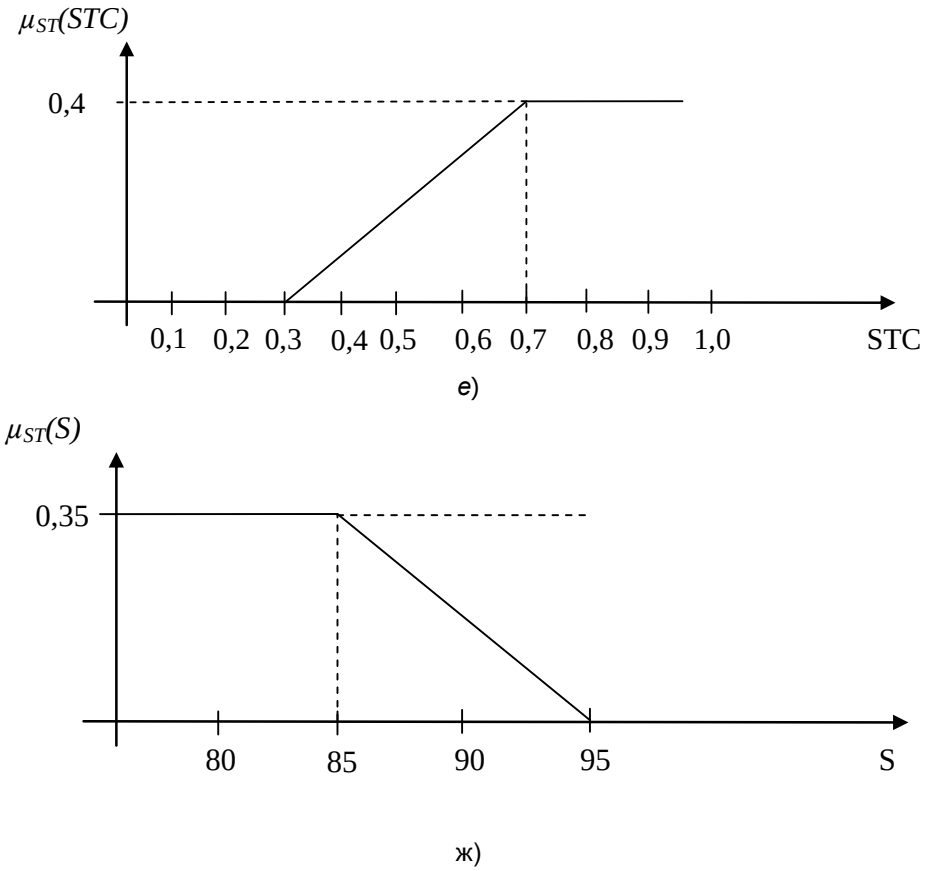


Рис. 3. График функций принадлежности к лингвистической переменной степени тяжести пиелонефрита с базовыми переменными: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (окончание, начало см. на с. 179, 180)

Fig. 3. Graph of functions belonging to the linguistic variable severity of pyelonephritis with basic variables: *а* – US; *б* – UG; *в* – ER; *г* – YP; *д* – RI; *е* – STC; *ж* – S (the end, beginning see p. 179, 180)

Для оценки степени тяжести серозной или гнойной форм пиелонефрита используются продукционные правила следующего вида:

$$ЕСЛИ\ (\Omega_\ell = \omega_{СП})\ TO\ STS; \quad (6)$$

$$ЕСЛИ\ (\Omega_1 = \omega_{ГП})\ TO\ STG. \quad (7)$$

С учетом того, что все выбранные для оценки степени тяжести функции принадлежности при своем увеличении увеличивают степени тяжести исследуемой патологии, в соответствии с рекомендациями [6, 7, 19, 31, 34] величины STS и STG определяются следующими выражениями:

$$STS(i+1) = STS(i) + \mu_{ST}(Q_{i+1})[1 - STS(i)]; \quad (8)$$

$$STG(i+1) = STG(i) + \mu_{ST}(Q_{i+1})[1 - STG(i)], \quad (9)$$

где $STS(1) = \mu_{ST}(US)$;

$STG(1) = \mu_{ST}(UG)$;

$\mu_{ST}(Q_2) = \mu_{ST}(ER)$;

$\mu_{ST}(Q_3) = \mu_{ST}(YP)$;

$\mu_{ST}(Q_4) = \mu_{ST}(RI)$;

$\mu_{ST}(Q_5) = \mu_{ST}(STC)$;

$\mu_{ST}(Q_6) = \mu_{ST}(S)$.

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильной оценке степени тяжести пиелонефрита, определяемая выражениями (8) и (9), превышает величину 0,9.

Полученные в работе математические модели получены при активном участии экспертов, вносящих субъективные погрешности в выбор параметров функций принадлежности. Для объективизации оценки качества предлагаемых решений были сформированы три блока репрезентативных контрольных выборок: по 100 пациентов на каждый класс с точно установленной формой пиелонефрита (класс $\omega_{СП}$, класс $\omega_{ГП}$, класс ω_0 контрольной группы без патологии пиелонефрит).

У всех пациентов измерялись показатели ПОЛ и АОА, которые использовались для контроля правильности «срабатывания» решающих правил (1), (2) и (3).

Результаты

В ходе анализа работы предлагаемых решающих правил рассчитывались такие показатели качества, как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая эффективность (ДЭ).

В ходе контрольных испытаний были получены следующие значения показателей качества.

Для класса $\omega_{СП}$: ДЧ = 0,93; ДС = 0,95; ДЭ = 0,94.

Для класса $\omega_{ГП}$: ДЧ = 0,89; ДС = 0,93; ДЭ = 0,91.

Классификация форм пиелонефрита используется для выбора адекватных схем лечения в соответствии с правилом

$$ЕСЛИ\ (\Omega_1 = СП)\ ТО\ SL_1;$$

$$ЕСЛИ\ (\Omega_1 = ГП)\ ТО\ SL_2,$$

где SL_1 и SL_2 – соответствующие схемы лечения, которые на данном этапе исследований проходят клинические испытания и корректируются.

Величины STS и STG используются для контроля эффективности проведения терапии и коррекции выбираемых схем лечения.

Обсуждение

В ходе экспертного и разведочного анализа структуры данных, описывающих формы и степень тяжести пиелонефрита, было установлено, что решаемая в работе задача имеет нечеткую природу, часто с неполным набором исходных данных. В этих условиях в качестве базового математического аппарата была выбрана нечеткая логика принятия решений.

С использованием этой логики и, в частности, методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил были синтезированы решающие правила дифференциальной диагностики серозных и гнойных форм пиелонефрита и оценки степени их тяжести с приемлемой для практической медицины точностью принятия решений.

Практическое использование приведенных в работе решающих правил позволяет выбирать рациональные схемы лечения, повышая качество оказания медицинской помощи пациентам, страдающим пиелонефритом.

Выводы

Предложенные правила дифференциальной диагностики серозного и гнойного пиелонефрита и оценки степени его тяжести обеспечивают уверенность в принимаемых решениях не хуже 0,9, что подтверждается статистическими испытаниями на репрезентативных контрольных выборках.

Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые решения для использования в медицинской практике врачей-урологов.

Список литературы

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

2. 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.

3. Емельянов С.Г., Кореневский Н.А., Быков А.В. 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. Конева Л.В., Кореневская С.Н., 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.

5. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С.Н. Кореневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. №5. С. 24-27.

6. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. №1 (289). С. 33-35.

7. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. №6. С.25-31.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Кореневский Н.А., Буняев В.В., Яцун С.М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии: монография / Южно-Российский государственный технический университет (НПИ). Новочеркасск: Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика», 2003. 206 с.

12. Кореневский Н.А., Коптева Н.А., Крупчатников Р.А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сельскохозяйственных рабочих на основе нечеткой логики принятия решений // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4, №7. С. 86-89.

13. Кореневский Н.А., Лазурина Л.П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики. Курск, 2000. 177 с.

14. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т.15, №12. С. 31-40.

15. Кореневский Н.А. , Рябкова Е.Б. Метод синтеза нечетких решающих правил оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4, №7. С.128-136.

16. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. Курск: Изд-во Курск. гос. с-х. акад., 2012. 231 с.

17. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Кореневский, О.И. Филатова , М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. №5. С.4-9.

18. 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.

19. 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.

20. Кореневский Н.А., Юлдашев З.М. Приборы, аппараты, системы и комплексы медицинского назначения. Средства регистрации неэлектрических характеристик биообъектов: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 268 с.

21. Кореневский Н.А. Проектирование биотехнических систем медицинского назначения. Средства оценки состояния биообъектов: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2018. 456 с.

22. Пат. 2478968 Рос. Федерация. Способ диагностики различных форм острого пиелонефрита/ Рейс Борис Альбертович (RU), Полуэктов Владимир Леонидович (RU), Морозов Сергей Валентинович (RU), Рейс Альберт Борисович (RU). № 2011116505/15; заявл. 26.04.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. №10.

23. Серегин С.П. Современные информационные технологии в урологии. Курск: ОАО «ИПП Курск», 2009. 364 с.

24. 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.

25. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии / С.П. Серегин, С.Д. Долженков, С.Н. Кореневская, Т.Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 3. С. 293-297.

26. Оксидантный стресс при остром серозном и гнойном пиелонефрите / И.М. Холименко, А.И. Конопля, О.И. Братчиков, Н.А. Быстрова, М.Ю. Маврин, М.Н. Шатохин // Нефрология. 2017. №21 (1). С. 87-94.

27. Математическая оценка диагностической информативности лабораторных показателей при серозном и гнойном пиелонефрите / М.Н. Шатохин, И.М. Холименко, А.И. Конопля, О.И. Братчиков, В.П. Гаврилюк, А.В. Краснов, М.Ю. Маврин // Экспериментальная и клиническая урология. 2016. №4, С. 104-110.

28. Шуткин А.Н., Федянин В.В., Кореневская С.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил // Ин-

формационные проекты в медицине и педагогике: материалы международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 61-64.

29. Al-Kasasbeh R. 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. 2014. Vol. 16, № 3. P.302–313.

30. 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.

31. Korenevskiy N.A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems // Biomedical engineering. 2015. Vol. 49, is. 1. P. 46-49.

32. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. Korenevskyi, R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescou, E. Alkasasbeh, A.P. Smith // IFMBE Proceedings 4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam, 2013. P. 213-216.

33. Korenevskiy N.A., Degtyarev S.V., Seregin S.P. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169-172.

34. Korenevskyi N.A., Gorbatenko S.A., Krupchatnikov R.A. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems // Biomedical Engineering. 2009. Vol.43, № 4. P.187-190.

35. System for Studying Specific Features of Attention and Memory / N.A. Korenevsky, D.E. Skopin, A.A. Kuzmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical Engineering. 2010. Vol. 44, № 1. P. 32-35.

References

1. Lazurina L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N. Primenenie teorii izmereniya latentnykh peremennykh dlya formirovaniya prostranstva informativnykh priznakov v zadachakh otsenki funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka [Application of the theory of measurement of latent variables for the formation of the space of informative features in the problems of assessing the functional state of a person]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2014, no. 6 (57), pp. 52-58 (In Russ.).

2. Gadalov V. N., Korenevsky N. A., Snopkov V. I. Matematicheskie modeli reflektornykh sistem organizma cheloveka i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnos-

tiki zabolevanii [Mathematical models of reflex systems of the human body and their use for prediction and diagnosis of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh= System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol.11, no. 2, pp. 515-521 (In Russ.).

3. Emelyanov S. G., Korenevsky N. A., Bykov A.V. Prognozirovanie stepeni tyazhesti razvitiya ishemicheskogo protsessa v serdtse, golovnom mozge i nizhnikh konechnostyakh na osnove nechetkikh modelei [Predicting the severity of the ischemic process in the heart, brain and lower extremities on the basis of fuzzy models]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2016, no. 9, pp. 4-9 (In Russ.).

4. Koneva L. V., Korenevskaya S. N., Degtyarev S. V. Otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, kharakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka [Assessment of the level of psycho-emotional stress and fatigue on indicators characterizing the state of human attention]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2012, vol.11, no. 4, pp. 993-1000 (In Russ.).

5. Korenevskaya S. N., Shkatova E. S., Magerovsky M. A., Shutkin A. N. Apparatno-programmnyi kompleks dlya psikhofiziologicheskikh issledovanii na baze platformy ANDROID s AFE-interfeisom [Hardware-software complex for psychophysiological research based on the ANDROID platform with AFE-interface]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical equipment*, 2016, no. 5, pp. 24-27 (In Russ.).

6. Korenevsky N. A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [The use of fuzzy decision logic for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical technology*, 2015, no. 1 (289), pp. 33-35 (In Russ.).

7. Korenevsky N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh se-tevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Design of decision-making systems on fuzzy network models in problems of medical diagnostics and forecasting]. *Telekommunikatsii = Telecommunications*, 2006, no. 6, pp. 25-31 (In Russ.).

8. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and state control of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2013, no. 2, pp. 99-103 (In Russ.).

9. Korenevsky N. A. *Printsipy i metody postroeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunktsional'nykh modelei*. Diss.

dokt. eng. nauk [Principles and methods of constructing interactive systems for diagnostics and management of human health on the basis of multifunctional models. Doct. Diss.]. Saint-Petersburg, 1993. 32 p. (In Russ.).

10. Korenevsky N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. N., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil na osnove modelei sistemnykh vzaimosvyazei dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanii [Method of synthesis of fuzzy decision rules based on models of system interrelations for solving problems of forecasting and diagnostics of diseases]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*, 2014, vol.13, no. 4, pp. 881-886 (In Russ.).

11. Korenevsky N. A., Bunyaev V. V., Yatsun S. M. *Komp'yuternye sistemy rannei diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii* [Computer systems of early diagnostics of an organism state by methods of reflexology]. Novocherkassk, 2003. 206 p. (In Russ.).

12. Korenevsky N. A., Kopteva N. A., Krupchatnikov R. A. Prognozirovanie i rannyaya diagnostika zabolevanii sel'skokhozyaistvennykh rabochikh na osnove nechetkoi logiki prinyatiya reshenii [Forecasting and early diagnosis of diseases of agricultural workers on the basis of fuzzy logic of decision-making]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*, 2008, vol. 4, no. 7, pp. 86-89 (In Russ.).

13. Korenevsky N. A., Lazurina L. P. *Energoinformatsionnye modeli refleksodiagnostiki* [Energy-Informational models of reflexology]. Kursk, 2000. 177 p. (In Russ.).

14. Korenevsky N. A. , Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modelei otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of teams of hybrid fuzzy models for assessing the state of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii = Science-Intensive technologies*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31-40 (In Russ.).

15. Korenevsky N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkikh reshayushchikh pravil otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem po informatsii o geometricheskoi strukture mnogomernykh dannykh [The method of synthesis of fuzzy decision rules for assessing the state of complex systems based on information about the geometric structure of multidimensional data]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh state technical University*, 2008, vol. 4, no. 7, pp. 128-136 (In Russ.).

16. Korenevsky N. A., Serebrovsky V. I., Kopteva N. A., Govorukhina T. N. *Prognozirovanie i diagnostika zabolevanii, vyzyvaemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh modelei* [Forecasting and diagnostics of diseases

caused by harmful industrial and environmental factors on the basis of heterogeneous models]. Kursk, 2012. 231 p. (In Russ.).

17. Korenevsky N. A., Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. Kompleksnaya otsenka urovnya psikhoemotsional'nogo napryazheniya [Complex assessment of the level of psycho-emotional tension]. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2009, no. 5, pp. 4-9 (In Russ.).

18. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Boitsova E. A., Dmitrieva V. V. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelei G. Rasha [Assessment and management of health based on G. Rush models]. *Meditsinskaya tekhnika = Medical equipment*, 2015, no. 6, pp. 37-40 (In Russ.).

19. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. *Otsenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii* [Assessment and management of health status of students on the basis of hybrid intellectual technologies]. Stary Oskol: TNT Publ., 2016, 472 p. (In Russ.).

20. Korenevsky N. A., Yuldashev Z. M. *Pribory, apparaty, sistemy i kompleksy meditsinskogo naznacheniya. Sredstva registratsii neelektricheskikh kharakteristik bioob"ektov* [Devices, apparatuses, systems and complexes of medical appointment. Means of registration of non-electric characteristics of biological objects]. Stary Oskol, TNT Publ., 2019. 268 p. (In Russ.).

21. Korenevsky N. A. *Proektirovanie biotekhnicheskikh sistem meditsinskogo naznacheniya. Sredstva otsenki sostoyaniya bioob"ektov* [Design of biotechnical systems for medical purposes. Tools for assessing the state of biological objects]. Stary Oskol: TNT Publ., 2018. 456 p. (In Russ.).

22. Reis B. A. (RU), Poluektov V. L. (RU), Morozov S. V. (RU). Reis A. B. (RU). *Method of diagnosis of various forms of acute pyelonephritis*. Patent RF, no. 2478968, 2013.

23. Seregin S. P. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii v urologii* [Modern information technologies in urolog]. Kursk, JSC "IPP Kursk" Publ., 2009. 364 p. (In Russ.).

24. Seregin S. P., Vorobyova O. N., Korenevskaya S. N., eds. *Matematicheskie modeli prognozirovaniya i profilaktiki retsidivov infarktov miokarda v reabilitatsionnom periode* [Mathematical models of prediction and prevention of recurrence of myocardial infarctions in the rehabilitation period]. Kursk, 2015. 166 p. (In Russ.).

25. Seregin S. P., Dolzhenkov S. D., Korenevskaya S. N., Sapitonova T. N. Sintez kombinirovannykh nechetkikh reshayushchikh pravil dlya prognozirovaniya posleoperatsionnykh oslozhnenii v urologii [Synthesis of combined fuzzy decision rules for predicting postoperative complications in urology]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie =*

Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering, 2012, no. 2, pt.3, pp. 293-297 (In Russ.).

26. Holimenko I. M., Konoplya A. I., Bratchikov O. I., Bystrova N. A., Mavrin M. Yu., Shatokhin M. N. Oksidantnyi ctress pri ostrom seroznom i gnoinom pielonefrite [Oxidant stress in acute serous and purulent pyelonephritis]. *Nefrologiya = Nephrology*, 2017, no. 21 (1), pp. 87-94 (In Russ.).

27. Shatokhin M. N., Holimenko I. M., Konoplya A. I., Bratchikov O. I., Gavrilyuk V.P., Krasnov A.V., Mavrin M. Yu. Matematicheskaya otsenka diagnosticheskoi informativnosti laboratornykh pokazatelei pri seroznom i gnoinom pielonefrite [Mathematical assessment of diagnostic informativeness of laboratory parameters in serous and purulent pyelonephritis]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and clinical urology*, 2016, no. 4, pp. 104-110 (In Russ.).

28. Shutkin A. N., Fedyanin V. V., Korenevskaya S. N. Proektirovanie baz znanii meditsinskikh ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechetkikh pravil [Designing knowledge bases of medical expert systems using teams of fuzzy rules. Information projects in medicine and pedagogy]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Informatsionnye proekty v meditsine i pedagogike" = Proceedings of the international scientific and practical conference*, Kursk, 2014, pp. 61-64 (In Russ.).

29. Al-Kasasbeh R. 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*, 2014, vol. 16, no. 3, pp.302–313.

30. 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.

31. Korenevskiy N.A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical Engineering*, 2015, vol. 49, is. 1, pp. 46-49.

32. Korenevskyi N., Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Ionescou F., Alkasasbeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional. *IFMBE Proceedings "4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam"*, 2013, pp. 213-216.

33. Korenevskiy N.A., Degtyarev S.V., Seregin S.P., Novikov A.V. Use of an Interactive Method for Classification in problems of Medical Diagnosis. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169-172.

34. Korenevskyi 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.

35. Korenevsky N.A., Skopin D.E., Kuzmin A.A., Al-Kasasbeh R.T. System for Studying Specific Features of Attention and Memory. *Biomedical Engineering*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 32-35.

Информация об авторах / Information about the Authors

Серегин Станислав Петрович, доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru

Stanislav P. Seregin, Dr. of Sci. (Medical), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: knsofia@mail.ru

Родионов Дмитрий Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru

Dmitry S. Rodionov, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: knsofia@mail.ru

Петров Сергей Вячеславович, кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог, Медицинский центр ООО «Авиценна», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Sergey V. Petrov, Dr. of Sci. (Medical), Obstetrician-gynecologist, Medical Center LLC "Avicenna", Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Сипливый Геннадий Вячеславович, доктор медицинских наук, доцент, врач-уролог ООО «Визави-Универсал», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sigena2005@yandex.ru

Gennadij V. Siplivyj, Dr. of Sci. (Medical), Associate Professor, Urologist Vizavi-Universal, LLC, Kursk, Russian Federation, e-mail: sigena2005@yandex.ru

К сведению авторов

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

- статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;
- разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа.
- сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);
- лицензионный договор.

3. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами.

4. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

5. **Публикация бесплатная.**

6. 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.

7. 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 (строчные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, список литературы. Авторы, название, аннотация и ключевые слова, список литературы приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200-250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

8. 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.

9. 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.

10. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

11. 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.**

12. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). 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.

13. 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) 22-25-26, 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: **https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/.**