МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Том 7
№ 4 (25)

Курск 2017

2017. Т. 7, № 4 (25)
Научный рецензируемый журнал

Основан в 2011 г.
Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

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

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

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

Редакционная коллегия

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

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 6

Аникина Е. И., Бочанова Н. Н., Малышев А. В.
Учебный контент электронной информационно-образовательной среды университета для довузовской подготовки иностранных граждан 6

Чеснокова А. А., Калуцкий И. В., Спеваков А. Г.
Электронный документооборот: безопасность на этапах внедрения и эксплуатации 13

Усатюк В. С., Егоров С. И.
Устройство для оценки кодового расстояния линейного блочного кода методом геометрии чисел 24

Хасан Абдо Абдуллах Аскар, Панищев В. С., Труфанов М. И.,
Алгоритм сравнения изображений на основе анализа статистических характеристик текстуры 34

Полторацкий С. Н., Панищев В. С.
Метод временной селекции импульсных последовательностей в устройствах обработки импульсных сигналов 41

Корнаев А. В., Корнаева Е. П., Савин Л. А.
Повышение точности численного решения уравнения рейнольдса посредством естественной адаптации сетки в бицилиндрических координатах 49

Мухин И. Е., Дворников М. В., Коптев Д. С.
Подсистема контроля физиологического состояния пилота как одного из звеньев биотехнической системы эргатического типа «пилот – самолет – окружающая среда» 59

Гвоздева С. Н., Иванов В. И., Рудакова М. И.
Применение неинвертирующих интеграторов для формирования образцовых сигналов в преобразователях параметров многоэлементных двухполюсников 70

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

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

Оригинал-макет подготовлен О. А. Леоновой

Подписано в печать 17.11.17. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,2.
Тираж 1000 экз. Заказ 83. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

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

Петрова Т. В., Кузьмин А. А., Шуткин А. Н., Серебровский В. В.
Система поддержки принятия решений для профессионального отбора работников экстремальных профессий с использованием интернет-технологий 79

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 95

Быков А. В.
Прогнозирование возникновения и развития гангрены нижних конечностей на основе нечетких моделей принятия решений.....95

Филатова О. И., Мишустин В. Н., Моновцов И. А. Григорьев Н. Н.
Возможность инструментальной неинвазивной диагностики и мониторирования отечного синдрома при тромбозе вен нижних конечностей с помощью распознающего программно-диагностического комплекса.....104

Быков А. В., Бойцова Е. А., Кореневская С. Н., Стародубцева Л. В.
Выбор и оценка эффективности схем профилактики и лечения при сочетанных ишемических поражениях в условиях доминирующей ишемической патологии головного мозга.....114

Мишустин В. Н., Артеменко М. В., Тимохин А. А.
Решающие диагностические правила определения состояния сосудов ног по частотным характеристикам фотоплетизмограммы.....129

К сведению авторов 139

© Юго-Западный государственный университет, 2017

2017. Volume 7, no 4 (25)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGSS

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

Foundel in 2011.
Publication fregnency: four times a year

Founder: Southwest State University

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

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

Editors

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

CONTENT

INFORMATICS, COMPUTER SCIENCES 6

Anikina E. I., Bochanova N. N., Malyshev A. V.
Learning Content of the University Electronic Informational and Educational Environment for Pre-university Preparation of Foreign Students 11

Chesnokova A. A., Kalutskiy I. V., Spevakov A. G.
Electronic Document Management: the Safety Stages of Implementation and Operation..... 22

Usatjuk V. S., Egorov S. I.
An Apparatus for Estimation of Linear Block Codes Minimum Distance Based on Number Geometry Method 32

Hasan Abdo Abdullah Askar, Panishchev V. S., Truphanov M. I.
Algorithm of Comparison of Images Based on the Analysis of Statistical Characteristics of the Texture 39

Poltoratskiy S. N., Panishchev V. S.
Method of Temporary Selection of Pulse Sequences in Devices for Pulse Signals Processing..... 47

Kornaev A. V., Kornaeva E. P., Savin L. A.
Improvement of Accuracy of the Numerical Solution of the Reinolds Equation by Means of Natural Adaptation of the Grid in Bicyclindrical Coordinates..... 57

Mukhin I. E., Dvornikov M. V., Koptev D. S.
Subsystem of Monitoring Physiological State of Pilot as Any of the Links of the Biotechnical System of the Erguic Type «Pilot – Airplane – Environment»..... 68

Gvozdeva S. N., Ivanov V. I., Rudakova M. I.
Application of Noninverting Integrators for Formation of Sample Signals in Converters of Parameters of Multielement Two-pole Networks 77

Petrova T. V., Kuzmin A. A., Shutkin A. N., Serebrovskiy V. V.
System of Support of Decision Making for Professional Selection of Workers of Extreme Professions with the use of Internet Technologies 92

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

MEDICAL INSTRUMENT MAKING.....95

Bykov A. V.
Predicting the Emergence and Development of Gangrene of the Lower Extremities Based on Fuzzy Decision-making Models 101

Filatova O. I., Mishustin V. N., Monovtsov I. A., Grigoriev N. N.
The Possibility of Instrumental Noninvasive Diagnostics and Monitoring of Fatal Syndrome in Thrombosis of Vene Lower Limbs with a Recognizing Program-diagnostic Complex.....112

Bykov A. V., Boytsova E. A., Korenevskaya S. N., Starodubtseva L. V.
Selection and Evaluation of the Effectiveness of Schemes of Prevention and Treatment with the Concomitant Ischemic Lesions in the Dominant Conditions of Ischemic Brain Pathology 126

Mishustin V. N., Artemenko M. V., Timokhin A. A.
Decisive Diagnostic Rules of Definition of the Condition of Vessels of Legs According to Frequency Characteristics of the Photoplethysmogram.....137

К сведению авторов 139

© Southwest State University, 2017

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 004.91

Е. И. Аникина, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: elenaanikina@inbox.ru)

Н. Н. Бочанова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: nnbochanova@mail.ru)

А. В. Малышев, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alta76@yandex.ru)

УЧЕБНЫЙ КОНТЕНТ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИНОСТРАННЫХ ГРАЖДАН

Важным направлением деятельности современных вузов России является обучение в них иностранных граждан. В настоящее время удельный вес численности иностранных студентов в общей численности студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования, является одним из основных показателей эффективности вузов, что определяет обязательность приема и обучения иностранных граждан в объеме не ниже пороговых значений.

Непременным условием обучения иностранных граждан в российском вузе на русском языке является довузовская подготовка, которая требует интенсивной модернизации и информатизации. В Юго-Западном государственном университете проводится работа по внедрению современных технологий смешанного обучения (blended learning) в довузовскую подготовку иностранных граждан путем создания специализированных адаптационных online-курсов в подсистеме «Учебные курсы ЮЗГУ» электронной информационно-образовательной среды вуза. Учебные материалы для обучения на неродном языке имеют свою специфику, поэтому необходимо целенаправленное проектирование учебного контента информационно-образовательной среды для иностранных граждан.

Довузовская подготовка иностранных граждан в ЮЗГУ проводится с учетом будущего направления подготовки по трем профилям: инженерный, гуманитарный и экономический. Одним из обязательных предметов в программе инженерного профиля является информатика. Авторы статьи предлагают подход к созданию интерактивного учебного контента для иностранных граждан с учетом современной теории обучения на неродном языке средствами системы управления обучением LMS MOODLE (на примере курса информатики для иностранного подготовительного отделения). В статье описана структура и содержание разработанного авторами интерактивного электронного адаптационного online-курса информатики с мультилингвальным словарём базовых терминов и мультилингвальной навигацией.

Ключевые слова: *информационно-образовательная среда университета, учебный контент, академическая адаптация, довузовский этап обучения, обучение на неродном языке, адаптационный курс, смешанное обучение, иностранные студенты, MOODLE.*

Ссылка для цитирования: Аникина Е. И., Бочанова Н. Н., Малышев А. В. Учебный контент электронной информационно-образовательной среды университета для довузовской подготовки иностранных граждан // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 6–12.

***

Важным направлением деятельности современных вузов России является обучение в них иностранных граждан. В настоящее время удельный вес численности иностранных студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования, является одним из основных показателей эффективности вузов, что определяет обязательность приема и обучения иностранных граждан в объеме не ниже пороговых значений.

Предпринимаемые в последнее время усилия по модернизации российской системы образования, реализация приоритетных направлений ее развития обеспечили целый ряд позитивных изменений, среди которых расширение возможностей для обучения иностранных граждан в российских вузах. Образовательный процесс в современном российском вузе реализуется с применением технологий электронного обучения в условиях электронной информационно-образовательной среды вуза [1; 2]. Учебные материалы для обучения на неродном языке имеют свою специфику, что вызывает необходимость целенаправленного проектирования учебного контента информационно-образо-вательной среды для иностранных граждан. Непременным условием обучения иностранных граждан в российском вузе на русском языке является довузовская подготовка, которая требует интенсивной информатизации [3].

Основные стратегические приоритеты международной деятельности Юго-Западного университета напрямую связаны с проблемами, которые сегодня испытывает российское образование. Эти проблемы, в первую очередь демографические и финансовые, заставляют выходить не только за региональные рамки, но и проявлять максимальную активность на рынке образовательных услуг в странах ближнего и дальнего зарубежья, активно включаться в международные проекты, используя конкурентные преимущества нашего университета и региона в целом.

Один из базовых векторов стратегии развития иностранного подготовительного факультета ЮЗГУ – модернизация технологии обучения иностранных граждан с использованием возможностей созданной в университете единой электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) на базе интернет-технологий широкополосного доступа. Одной из основных подсистем ЭИОС ЮЗГУ является подсистема «Учебные курсы ЮЗГУ» (режим доступа https://do.swsu.org/), построенная на платформе управления электронным обучением MOODLE. Данная подсистема обеспечивает реализацию технологий электронного и смешанного обучения [4; 5], которые прочно вошли в повседневную практику организации учебного процесса ЮЗГУ и дополняют традиционные образовательные технологии всех форм обучения по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры.

В Юго-Западном государственном университете организована работа по внедрению технологий электронного и смешанного обучения в довузовскую подготовку иностранных граждан путем создания специализированных адаптационных online-курсов в подсистеме «Учебные курсы ЮЗГУ» электронной информационно-образовательной среды вуза.

Довузовская подготовка иностранных граждан в ЮЗГУ проводится с учетом будущего направления подготовки по трем профилям: инженерный, гуманитарный и экономический. Одним из обязательных предметов в программе инженерного профиля является информатика.

Авторы статьи более 20 лет преподают информатику слушателям иностранного подготовительного отделения ЮЗГУ. За это время сформировался и прошёл проверку временем авторский подход к преподаванию курса информатики в интернациональной иноязычной аудитории, на основе которого было подготовлено учебное пособие в печатной и электронной форме [6; 7], а также разработан адаптационный online-курс в среде дистанционного обучения MOODLE .

В процессе разработки курса были решены нетривиальные задачи, связанные с разработкой особой методики преподавания, с одной стороны, и разработкой содержания и структуры курса, с другой стороны. При этом особое внимание автор уделила направленности курса на академическую адаптацию иностранных граждан [8].

Методика преподавания информатики иностранным гражданам на довузовском этапе имеет ряд специфических особенностей, связанных с тем, что группы слушателей неоднородны по уровню предыдущей подготовки, по базовому языку, по образовательным традициям и по возрасту [9]. В таких неоднородных группах плохо работает традиционная для российских вузов технология проведения лекционных и практических занятий. Выходом из положения является применение технологий смешанного обучения с поддержкой в виде online-курса.

Целью изучения адаптационного курса информатики является освоение основ информатики для последующего осмысленного их использования в дальнейшей учебе в русском вузе. Задача адаптационного курса – донести на занятиях основные понятия информатики на практически незнакомом иностранному слушателю русском языке.

Изучая информатику на довузовском этапе, иностранцы не столько получают знания по предмету, сколько овладевают языковой базой, необходимой для дальнейшего изучения информатики на первом курсе. Поэтому электронный курс информатики направлен на преподавание предмета через русский язык и русского языка через предмет [10]. Даже когда иностранные учащиеся в достаточной мере владеют содержательной стороной информатики, им еще предстоит изучить лексико-терминологический аппарат, без чего невозможно дальнейшее обучение в российском вузе на русском языке. Особенно в начале обучения иностранцы практически не понимают словесных формулировок заданий, связанных с практической работой на компьютере, так как они традиционно содержат большое количество терминов и представляют собой довольно объемные описания требуемых результатов. Чтобы объяснить смысл задания, надо показать будущий результат – к чему надо стремиться. В электронном курсе есть возможность показать скриншоты экранов компьютера с требуемыми результатами работы в изучаемых программных пакетах.

При разработке online-курса информатики использованы следующие элементы курса платформы электронного обучения MOODLE, позволяющие организовать интерактивное взаимодействие с обучаемыми:

– глоссарий;
– лекция;
– задание;
– тест.

Элемент курса Moodle «Глоссарий» был использован для создания мультилингвального толкового словаря базовых терминов информатики. Большинство слушателей иностранного подготовительного отделения ЮЗГУ до приезда в Россию получали образование на английском, французском или испанском языках, поэтому определения базовых терминов в глоссарии включают в себя перевод терминов на английский, французский и испанский языки, а механизм глоссария позволяет организовать поиск по названиям терминов как на русском языке, так и на любом из перечисленных языков.

Особое внимание при разработке online-курса было уделено педагогическому проектированию элементов курса «Лекция» как средству реализации ин-

дивидуального подхода к обучению. «Лекция» как элемент курса MOODLE (в оригинале используется термин «lesson») является элементом, который позволяет сочетать изложение порций материала в виде фрагментов текста с любой мультимедийной поддержкой (звук, видео, изображения) с выполнением пользователем различных видов тестовых заданий.

Слушатели иностранного подготовительного отделения имеют разный опыт и разные достижения в изучении русского языка в процессе изучения информатики, поэтому работа обучаемого с элементом «Лекция» в разработанном online-курсе информатики включает в себя следующие этапы:

– проверка индивидуального владения определенным лексико-грамматическим материалом, необходимым для изучения и понимания очередной порции учебного материала путем выполнения специальных заданий;

– восполнение «пробелов» в индивидуальном знании обучаемого путем выполнения специальных заданий;

– изучение очередной порции учебного материала (чтение фрагментов текста со звуковыми и графическими иллюстрациями);

– проверка понимания очередной порции учебного материала с помощью специальных тестовых заданий.

Элемент курса MOODLE «Задание» позволяет организовать проверку результатов самостоятельной работы обучаемых: обучаемый отправляет результат выполнения индивидуального задания в виде файла на сервер, а преподаватель получает возможность просмотреть и оценить полученные материалы.

Содержание курса информатики разделено на темы (модули). Модули условно разделены на теоретические и технологические. В теоретических модулях происходит изучение теоретического материала адаптационного курса, а в технологических модулях происходит обучение технологии работы с текстовыми процессорами, электронными таблицами и пакетами для подготовки компьютерных презентаций.

Задания в теоретической части представляют собой упражнения, направленные на усвоение лексики и базовых понятий информатики. Задания в технологической части курса – это задания по работе с текстовыми документами, электронными таблицами и компьютерными презентациями.

В результате прохождения тестов и выполнения заданий с отправкой результатов на сервер в процессе прохождения курса формируется *электронное портфолио достижений* обучаемого.

Опыт показывает, что современные слушатели подготовительного отделения ЮЗГУ имеют навыки уверенной работы с офисными пакетами и очень быстро соотносят свои технологические навыки с русифицированной рабочей средой компьютерных классов нашего вуза. Проблема для них заключается в том, что они не знакомы с русскоязычной терминологией, но если им показать внешний вид результата их работы (задание в виде готового документа, электронной таблицы или презентации), то они без проблем самостоятельно выполняют задание. Значительно больший объем учебного времени требуется для изучения языка, чем на приобретение практических навыков.

В теоретической части адаптационного online-курса используются специально подобранные автором адаптированные учебные тексты, лексико-грамматический материал и упражнения для освоения терминологии и базовых понятий информатики. Методические материалы технологической части online-курса разработаны автором и

предназначены для проведения занятий на компьютерах с применением русскоязычных версий свободно распространяемых офисных пакетов Open Office и Libre Office.

Мы отработали на практике следующий «режим» проведения занятий по информатике. Каждое занятие сочетает в себе короткие (по 10–15 минут) объяснения изучаемого материала преподавателем, перед которым и после которого слушатели самостоятельно выполняют задания. Использование на занятиях материалов и технологий электронного курса позволяло использовать визуальные образы для объяснения понятий, моделей, алгоритмов решения задач.

Подготовка иностранных слушателей к самостоятельной работе в компьютерных классах ЮЗГУ является основой для их дальнейшей комфортной и успешной учёбы в университете. Владение современными русифицированными офисными программами необходимо не только для изучения информатики, но и практически всех других дисциплин всех направлений подготовки при подготовке отчетов по лабораторным работам, пояснительных записок к курсовым работам и компьютерных презентаций для публичных выступлений на семинарах и конференциях. Кроме того, во время обучения на территории России иностранные студенты будут постоянно сталкиваться с различными информационными электронными системами, в которых им будут задаваться вопросы на русском языке и им надо будет вводить необходимую информацию с клавиатуры, имеющей русскую раскладку. С этой точки зрения курс информатики на этапе довузовской подготовки выполняет важнейшую функцию по академической и социальной адаптации иностранных граждан к условиям образования и проживания в России.

Применение в учебном процессе иностранного подготовительного отделения технологий смешанного обучения с использованием адаптационных online-курсов работает на повышение эффективности преподавания, а также привлекательности образовательных программ Юго-Западного государственного университета для иностранных граждан.

Список литературы

1. Иванова Е. О. Процесс обучения в информационном пространстве // Инновации в образовании. 2009. № 6. С. 53–67.

2. Китова Е. Т., Скибицкий Э. Г. Информационно-образовательная среда университета – инструментарий повышения уровня подготовки студентов // Инновации в образовании. 2016. № 8. С. 116–125.

3. Организация системы дистанционного обучения для иностранных студентов в университете / А. С. Говорков, А. С. Жиляев, А. Г. Казакова, Д. О. Токарев // Дистанционное и виртуальное обучение. 2016. № 9. С. 29–38.

4. Галустян О. В. Смешанное обучение и его виды в образовательном процессе высшей школы // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. № 3 (117). С. 63–67.

5. Луканина М. В. Теоретический курс через призму смешанного обучения // Российская школа связей с общественностью. 2015. Т. 7. С. 205–213.

6. Аникина Е. И., Павлова Е. В. Информатика: Адаптационный курс. Курск. 2016. С. 88.

7. Аникина Е. И. Электронное учебное пособие для довузовской подготовки иностранных граждан по информатике // Современные проблемы высшего образования: материалы I Все-

российской научно-методической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2016. С. 11–13.

8. Казанцева А. А. Академическая адаптация иностранных студентов в российском вузе // Совет ректоров. 2012. № 10. С. 68–73.

9. Горбунова Т. Н. Особенности методик обучения иностранных слушателей подготовительного отделения информационным технологиям // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. № 2. С. 60–64.

10. Ременцов А. Н., Ременцова Н. А. Дополнительная довузовская подготовка иностранных граждан в условиях неязыковой среды // Теория и методика профессионльного образования. 2015. № 4. С. 50–54.

Поступила в редакцию 26.09.17

UDC 004.91

E. I. Anikina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: elenaanikina@inbox.ru)

N. N. Bochanova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: nnbochanova@mail.ru)

A. V. Malyshev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alta76@yandex.ru)

LEARNING CONTENT OF THE UNIVERSITY ELECTRONIC INFORMATIONAL AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR PRE-UNIVERSITY PREPARATION OF FOREIGN STUDENTS

An important activity of modern higher educational institutions of Russia is training of foreign citizens. Now the specific weight of number of the foreign students studying according to the main educational programs of higher education in the total number of students, is one of key indicators of efficiency of higher educational institutions defining compulsory training of foreign citizens in the quantity not below threshold values.

Indispensable condition of training of foreign citizens in the Russian higher educational institution in Russian language is pre-university preparation, which demands now intensive modernization and using of information technologies. At the Southwest State University work on introduction of modern technologies of the mixed training (blended learning) to pre-university training of foreign citizens by creation of specialized adaptation on-line of courses in a subsystem "Training courses of SWSU" of the electronic information and education environment of higher education institution is carried out. Training materials for training in nonnative language have some important specific features therefore purposeful design of educational content of the information and education environment is necessary for foreign citizens.

Pre-university training of foreign citizens is carried out at SWSU taking into consideration future direction of preparation in three profiles: engineering, humanitarian and economics. One of obligatory objects in the program of the engineering profile is the informatics. Authors of article offer approach to creation of interactive educational content for foreign citizens taking into account the modern theory of training at nonnative language means of a learning management system of LMS MOODLE (on the example of an informatics course for foreign preparatory office). In article the structure and the maintenance of the interactive electronic adaptation online of a course of informatics developed by authors with the multilingual dictionary of basic terms and multilingual navigation is described.

Key words: *informational and educational environment, learning content, academic adaptation, pre-university training, training in non-native language, adaptation course, foreign students, blended learning, MOODLE.*

For citation: Anikina E. I., Bochanova N. N., Malyshev A. V. Learning content of the university electronic informational and educational environment for pre-university preparation of foreign students. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 6–12 (in Russ.).

References

1. Ivanova E. O. Process obucheniya v informacionnom prostranstve. Innovacii v obrazovanii, 2009, no. 6, pp. 53–67.

2. Kitova E. T., Skibickij E. G. Informacionno-obrazovatelnaya sreda universiteta – instrumentarij povysheniya urovnya podgotovki studentov. Innovacii v obrazovanii, 2016, no. 8, pp. 116–125.

3. Govorkov A. S., Zhilyaev A. S., Kazakova A. G., Tokarev D. O. Organizaciya sistemy distancionnogo obucheniya dlya inostrannyh studentov v universitete. Distancionnoe i virtual'noe obuchenie, 2016, no. 9, pp. 29–38.

4. Galustyan O. V. Smeshannoe obuchenie i ego vidy v obrazovatel'nom processe vysshej shkoly. Distancionnoe i virtual'noe obuchenie, 2017, no. 3, pp. 63–67.

5. Lukanina M. V. Teoreticheskij kurs cherez prizmu smeshannogo obucheniya. Rossijskaya shkola svyazej s obshchestvennost'yu, 2015, vol. 7, pp. 205–213.

6. Anikina E.I., Pavlova E.V. Informatika: adaptacionnyj kurs. Kursk, 2016, p. 88.

7. Anikina E. I. Ehlektronnoe uchebnoe posobie dlya dovuzovskoj podgotovki inostrannyh grazhdan po informatike. Sovremennye problemy vysshego obrazovaniya. Materialy I Vserossijskoj nauchno-metodicheskoj konferencii. Kursk, 2016, pp. 11–13.

8. Kazanceva A. A. Akademicheskaya adaptaciya inostrannyh studentov v rossijskom vuze. Sovet rektorov, 2012, no. 10, pp. 68–73.

9. Gorbunova T. N. Osobennosti metodik obucheniya inostrannyh slushatelej podgotovitel'nogo otdeleniya informacionnym tekhnologiyam. Distancionnoe i virtual'noe obuchenie, 2017, no. 2, pp. 60–64.

10. Remencov A. N., Remencova N. A. Dopolnitel'naya dovuzovskaya podgotovka inostrannyh grazhdan v usloviyah neyazykovoj sredy. Teoriya i metodika professionl'nogo obrazovaniya, 2015, no. 4, pp. 50–54.

УДК 004.056.5

А. А. Чеснокова, студентка, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: anita.fishmar@yandex.ru)

И. В. Калуцкий, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kalutskiy_igor@mail.ru)

А. Г. Спеваков, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: aspev@yandex.ru)

ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ: БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЭТАПАХ ВНЕДРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В современном мире информатизация и автоматизация всех сфер жизнедеятельности человека приняли глобальные масштабы. Производительные компьютеры, мобильные устройства сейчас повсюду и практически у каждого, а широкополосный доступ в Интернет, облачные сервисы и социальные сети позволяют получить доступ к нужной информации или поделиться своей практически из любого уголка Земного шара. На фоне этого постепенно значимость документов на бумажных носителях, будь это юридически значимый документ или личная фотография снижается и использование бумажных документов становится менее актуальным. В свою очередь, внедрение цифровых технологии коснулось и рабочей документации любой организации, сейчас почти повсеместно используются системы электронного документооборота (СЭД), которые помогают справиться с возросшим документопотоком организации.

Зачастую некомпетентный подход к внедрению и эксплуатации систем электронного документооборота вместо ожидаемого снижения затрат и повышения удобства работы влечет за собой проблемы, которые связаны прежде всего с рисками разглашения конфиденциальной информации из-за недостаточного внимания к вопросам безопасности электронных документов в организации и всей системы электронного документооборота в целом, что, в свою очередь, может повлечь серьезные убытки для организации.

Статья посвящена изучению принципов защиты информации и новым механизмам по автоматизации документооборота, а также организации данного процесса на виртуальных машинах. В работе также даются релевантные рекомендации по обеспечению безопасности и работоспособности систем электронного документооборота на различных жизненных циклах системы, а также возможные перспективы применения технологии виртуализации в контексте обеспечения информационной безопасности таких систем.

Ключевые слова: *система электронного документооборота, информационная безопасность, виртуальная машина, рекомендации по оптимизации.*

Ссылка для цитирования: Чеснокова А. А., Калуцкий И. В., Спеваков А. Г. Электронный документооборот: безопасность на этапах внедрения и эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 13–23.

***

Внедрение цифровых технологий коснулось рабочей документации любой организации, сейчас почти повсеместно используются системы электронного документооборота (СЭД), которые помогают справиться с возросшим документопотоком организации. Но если обеспечение защиты документов на бумажных носителях сводилось по большому счету к ограничению физического доступа субъектов к документу, то при использовании электронного документооборота вопрос обеспечения безопасности электронных документов стоит довольно остро, причем как при непосредственном использовании какой-либо СЭД, так и на этапе внедрения этой системы в организации.

Главной целью документооборота является информационное обеспечение управленческой деятельности, что позволит компании и предприятиям использовать актуальную, своевременную и корректную информацию. Так,

например, в случае со страховыми компаниями это играет определяющую роль, ведь только при наиболее полном определении всех значимых факторов можно вынести верное решение по страховому случаю, согласовать договор с клиентом или определить суммы выплат.

Необходимо отметить, что электронный документооборот позволяет сэкономить средства и ресурсы за счет следующих факторов:

- высвобождения пространства офиса, необходимого для хранения бумажных документов;
- уменьшения затрат на копирование – бумагу, копировальную технику, расходные материалы;
- сокращения затрат на доставку бумажных документов; экономии рабочего времени сотрудников на операции с документами, как следствие – высвобождение времени на продуктивную деятельность.

Система электронного документооборота в общем виде строится на базе взаимодействия разнообразных модулей, каждый из которых отвечает за определенную функцию (работу с файлами, выполнение процедур и т. д.). Пользователями являются офисные сотрудники, системные администраторы, руководители отделов и иные достаточно квалифицированные специалисты, в список обязанностей которых входит взаимодействие с программным комплексом.

Элементы СЭД в своей совокупности должны обеспечивать:

- постоянное сохранение в неизменном виде циркулирующих документов или файлов, в том случае если обратное не необходимо;
- категоризацию и однозначное определение каждого пользователя, его прав и уровня доступа;
- защиту информации от любых несанкционированных посягательств;
- однозначное определение полномочий, их приоритетность (что позволяет разрешить конфликты относительно спорных ситуаций или задач);
- доказательство подлинности всех данных, наличие ответственных лиц за их предоставление.

Вышеперечисленные принципы соблюдаются за счет использования двух основополагающих средств в организации электронного документооборота – криптографического подхода и установления регламента. Важнейшими механизмами криптографии являются электронная подпись и шифрование.

Существует три вида электронной подписи (ЭП) [1]. В современных СЭД, как правило, реализована поддержка всех видов электронной подписи, описанных в ФЗ №63 «Об электронной подписи».

Для того чтобы система аутентификации СЭД обеспечивала необходимый уровень защищенности, необходимо использование надежных паролей большой длины с включением заглавных и прописных букв, цифр, других символов из таблицы ASCII или даже включения символов из нескольких алфавитов.

В качестве достойной альтернативы обычной парольной аутентификации механизм аутентификации с использование flash-накопителя будет интересен как для рядовых пользователей, так и для представителей малого и среднего бизнеса, такие средства представлены на рынке [2; 3].

Использование программно-аппаратного средства для доступа к ПК снимает с пользователя задачу придумывания и запоминания сложного пароля, позволяет не вводить пароль вручную при каждом входе в систему.

Далее рассмотрим более подробно процесс внедрения системы, необходимые ресурсы (кадровые и финансовые), выявим показатели эффективности документооборота и обеспечения его защиты (рис. 1). Для начала дадим краткую характеристику каждому этапу автоматизации [4].

1. Первая стадия внедрения заключается в комплексном обследовании предприятия. Собираются данные о маршрутах движения документов, сотрудниках и их уровне доступа к информации в зависимости от их квалификации, о структуре организации, управления и функционирования компании, ее специализации.

2. Составляется номенклатура документов организации, различные справочные и сопроводительные материалы. На этом этапе прорабатываются инструкции.

3. На третьей стадии выявляются основные требования заказчика: количество рабочих мест, подлежащих автоматизации, необходимые функции, требующие реализации, и т. д. Вся информация заносится в соответствующие документы.

4. Подготовка ТЗ проекта.

5. Создание необходимых условий для реализации проекта.

6. Инсталляция системы.

7. Опытная эксплуатация, настройка системы с учетом выявленных недочетов.

8. Обучение персонала.

9. Обеспечение информационной безопасности документооборота.

В зависимости от класса и факторов, влияющих на перечисленные выше стадии, внедрение системы может занять от двух недель до года.

Процесс проведения комплексного обследования, а также весь перечень сопутствующей документации представлен на рисунке 2 [5].

Разработка технического задания является важным этапом в проектировании, так как позволяет значительно облегчить (или затруднить) работу создателей над требуемым проектом.

На этапе технического задания необходимо определиться с дальнейшей поддержкой: будет ли осуществляться мониторинг и сервисные работы силами разработчиков или необходимо нанять стороннюю компанию или специалистов.

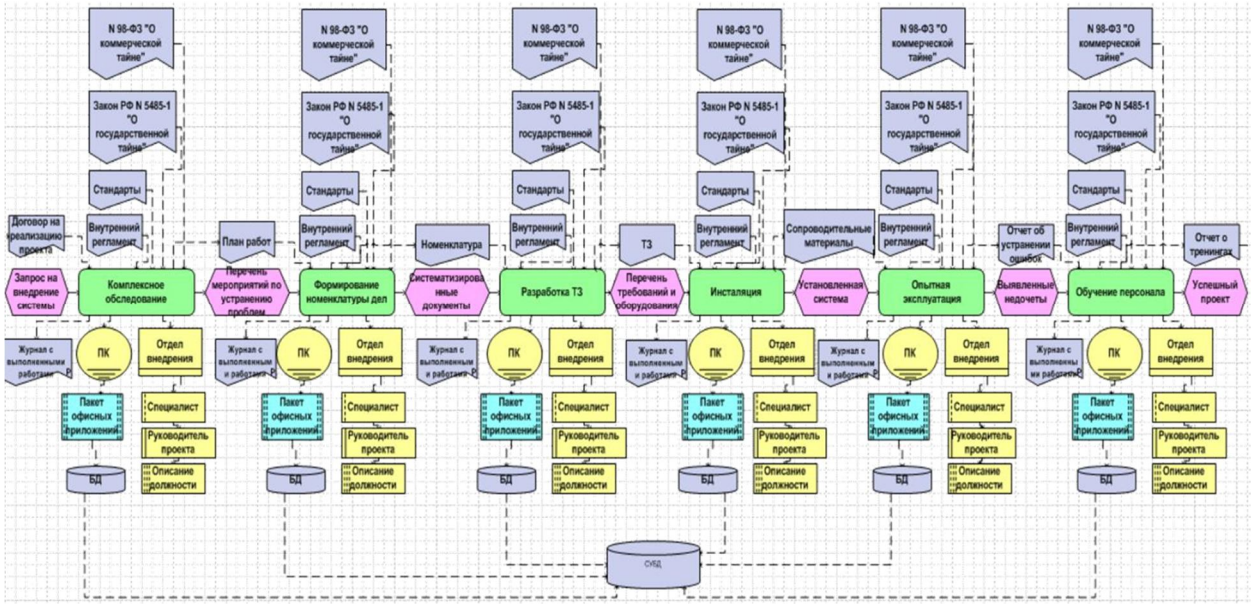


Рис. 1. Совокупность действий по внедрению СЭД

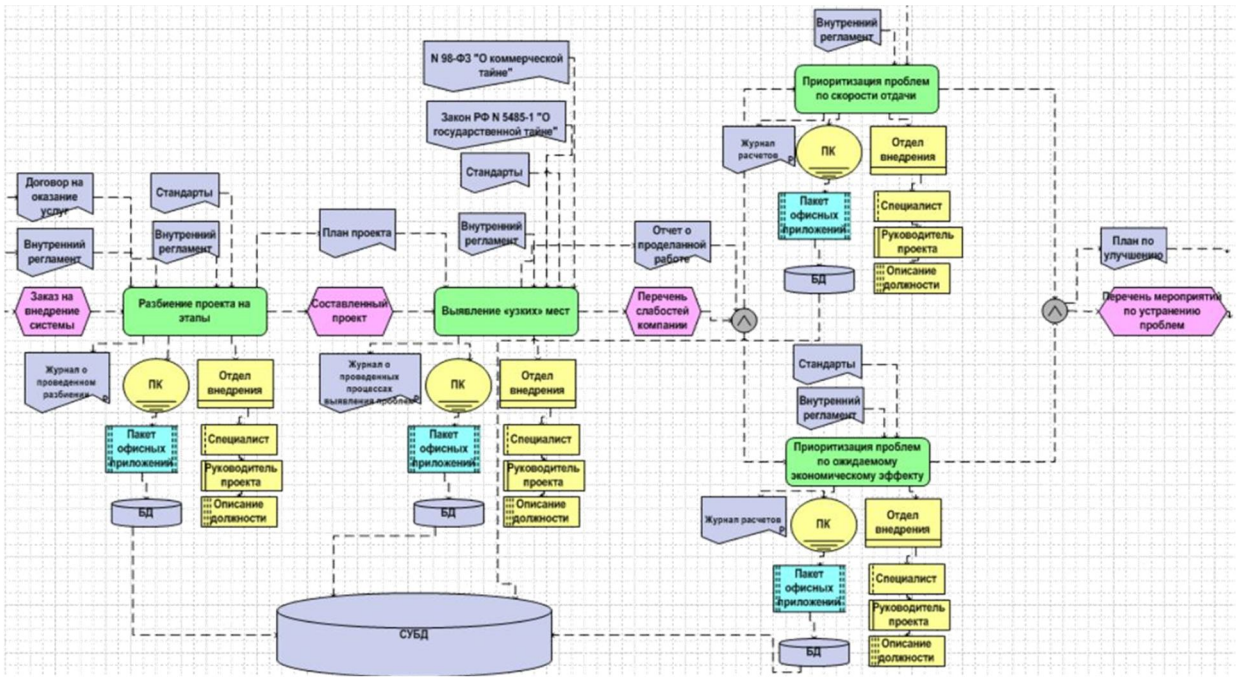


Рис. 2. Комплексное исследование компании

Непосредственно установка выбранного заказчиком программного комплекса: после того как рекомендуемые требования для функционирования СЭД исполнены, происходит внедрение решения [6].

Данный процесс разбивается на несколько этапов. Система устанавливается на сервер компании, затем на рабочие станции (возможен вариант с доступом через браузер). Далее происходит создание баз данных, в которых будет храниться информация. Отдельным этапом можно считать обеспечение информационной безопасности, причем в реальности это может быть как отдельный этап, так и составляющая часть практически всех остальных этапов.

Совершенно иная ситуация наблюдается, когда выбранное решение работает на основе технологии виртуализации.

Виртуализацией называется технология, при которой происходит распределенное использование аппаратного обеспечения при помощи программного обеспечения, то есть на одном физическом оборудовании могут размещаться и работать несколько серверов. Например: два Windows-сервера и один Linux-сервер, работающие на трех разных машинах, можно при помощи виртуализации заставить функционировать на одном сервере. Виртуальная машина эмулирует работу реального компьютера. Технология виртуализации может быть использована для создания виртуальной компьютерной архитектуры и инфраструктуры для широкого круга задач, в том числе и для построения системы защищенного электронного документооборота.

Если для защиты отдельного рабочего места готовых решений более чем предостаточно и выбор чаще всего сводиться к более удобному из объективных или даже субъективных предпочтений, то организация защищенной передачи данных между территориально распределенными рабочими местами, например между головным офисом компании и филиалами, имеет ряд нюансов и порой требует нетривиальных решений. Как один из вариантов можно использовать протокол SSL, который является довольно эффективным решением проблемы защиты пользователь-

ских данных при их распространении по открытым каналам связи. Но без соответствующей практической реализации, в которой будут предусмотрены возможные проблемы, связанные с SSL, данный протокол не способен обеспечить должный уровень защищенности конфиденциальных данных, а также может являться источником повышенной уязвимости системы обмена данными [6]. В этой связи становится актуальным вариант применения шифрования трафика в VPN-сети, развернутой для нужд компании. Шифрование может быть как на прикладном, так и на сетевом уровне, последний вариант с точки зрения надежности и скорости более интересен. В условиях Российской действительности многие компании используют отечественные разработки, такие как ViPNet компании «Инфотекс» [8] и Континент от компании «Код Безопасности» [9], которые позволяют создавать защищенные VPN-сети поверх открытого канала связи с шифрованием трафика внутри защищенной сети.

Представляется также, что определяющим фактором при внедрении СЭД можно назвать создание «единого информационного пространства» (ЕИП), обладающего следующими свойствами:

- возможность пользоваться всеми доступными сетевыми ресурсами локальной вычислительной сети (ЛВС) организации и сети Интернет;
- все действия, выполняемыми специалистами, не должны оказывать негативного влияния на действующие аппаратные и программные ресурсы;
- возможность сохранения текущего состояния ЕИП и возврата к любому предыдущему состоянию;
- наличие инструмента, позволяющего фиксировать (журналировать) действия сотрудников при выполнении заданий для их последующего анализа;
- наличие инструмента, позволяющего администратору системы исправлять ошибочные действия сотрудников.

Анализ программного обеспечения, обеспечивающего электронный документооборот, показывает, что для полноценного обеспечения виртуализации необходимо иметь ЕИП, включающее следующий комплекс средств:

- файловый и СУБД серверы (под управлением WINDOWS) с установленным программным комплексом, обеспечивающим электронный документооборот;
- сервер с установленным центром сертификации;
- почтовый сервер, предоставляющий возможность использования электронной почты для нужд электронного документооборота:
- рабочее место «Канцелярия»;
- рабочее место «Пользователь»;
- рабочее место «Разработчик ПО».

На каждом рабочем месте должно быть установлено следующее ПО: ОС Windows 7 или старше;

- Microsoft Office;
- клиентское программное обеспечение для электронного документооборота.

Указанное ПО абстрагирует операционную систему и приложения от уровня физического оборудования. Полностью такие задачи позволяет решать программное обеспечение компании «VMware» (один из лидеров на рынке программного обеспечения для виртуализации), например ESXi 6.5. Фактически ESXi 6.5 – это гипервизор, разделяющий физический сервер на виртуальные серверы. Он позволяет устанавливать на одном физическом сервере, в зависимости от его вычислительной мощности, от нескольких единиц до нескольких десятков виртуальных серверов под управлением различных операционных систем. Каждый

виртуальный сервер в этом случае будет обладать полным набором свойств физического устройства. Разделение аппаратных ресурсов физического компьютера организовывается так, что абсолютно не влияет на другие виртуальные серверы, установленные на этом же физическом сервере Далее в качестве рабочего примера и будем использовать ESXi 6.5, хотя на рынке присутствуют и другие аналогичные по функциональности решения [10; 11].

В состав сервера виртуальных машин входит распределенный коммутатор, обеспечивающий подключение к ЛВС всех виртуальных машин, созданных на сервере.

Каждой виртуальной машине может быть назначен IP-адрес из диапазона, который используется в рабочей ЛВС, либо из другого диапазона. При назначении IP-адресов из диапазона адресов, не используемых в рабочей ЛВС, а подобная возможность в коммутаторе заложена, можно создать виртуальную вычислительную сеть (ВВС), не влияющую на рабочую ЛВС.

Еще одним полезным свойством рассматриваемого VMware ESXi 6.5 является наличие инструментов «snapshot» и «template».

Snapshot – возможность создавать «мгновенные» снимки состояния виртуальной машины и в дальнейшем загружаться из этого состояния.

Template – возможность сворачивания в эталон виртуальной машины, включая установленную операционную систему, прикладное ПО, драйверы, настройки сети.

Виртуализация – это очень удобное и грамотное решение для работы современного предприятия со множеством задач. Она позволяет распределить задачи между различными серверами, а их администрирование разделить между несколькими сотрудниками, отвечающими каждый за свой сервер. Таким образом создается распределенная IT-инфраструктура предприятия, но сконцентрированная в одном или нескольких физических серверах. Виртуализация помогает более грамотно распределить ресурсы современных многопроцессорных систем, расположив на одном физическом сервере несколько виртуальных машин.

Использование технологий виртуализации для построения сложных вычислительных систем характеризуется следующими особенностями [11; 12]:

1. Низкая цена оборудования из-за использования серверов виртуализации совместно с тонкими клиентами, что позволяет:

- многократно уменьшать объем используемого дискового пространства;
- приобретать клиентам более дешевое оборудование.

2. Оптимизированное ресурсопотребление, в частности – гораздо более экономичный режим использования электроэнергии.

3. Тонкие клиенты отличаются дешевизной.

4. Не обязательно использовать новые дорогостоящие персональные компьютеры, есть возможность использования ПК старых версий в качестве тонких клиентов.

5. Снижение стоимости лицензионного программного обеспечения при использовании виртуализации. Низкая стоимость покупки лицензионного ПО при использовании технологии виртуализации.

6. Снижается время, которое требуется на обслуживание ПО.

7. При создании виртуальной машины используются труднодоступные для вирусов образы, что повышает безопасность.

8. Доступ к виртуальному рабочему столу из любого уголка Земного шара, там, где есть сеть Интернет.

9. Операционная система в виртуальной машине загружается быстрее.

Выделяя преимущества и положительные аспекты от виртуализации документооборота, следует упомянуть и о совершенно новом виде информационных угроз, а значит, и требуемых методиках защиты информации [12; 13]:

- атака на гипервизор с виртуальной машины;
- атака на гипервизор из физической сети;
- атака на диск виртуальной машины;
- атака на средства администрирования виртуальной инфраструктуры;
- атака на виртуальную машину с другой виртуальной машины;
- атака на сеть репликации виртуальных машин;
- неконтролируемый рост числа виртуальных машин.

Для каждой из перечисленных угроз сейчас существует некоторая релевантная методика защиты, нивелирующая полностью или частично риск от её реализации. Перечень угроз и предлагаемых контрмер представлен в таблице.

Атаки на виртуальную среду и варианты противодействия

Параметр риска	Описание	Защита
Атака на гипервизор с виртуальной машины	Нарушитель может совершить НСД к серверу виртуализации	Сертифицированные СЗИ и оргмеры. Своевременная установка обновлений ПО среды виртуализации
Атака на диск виртуальной машины	В «физическом мире», чтобы похитить HDD компьютера, нужно получить к нему непосредственный доступ, вскрыть корпус и демонтировать диск. В виртуальном мире достаточно скопировать файл, содержащий полный образ HDD виртуальной машины	Защита данных виртуальных машин путем разграничения доступа (дискреционного и мандатного) к дискам виртуальных машин, реализуемого сертифицированными СЗИ от НСД и МЭ, контролирующими протоколы и файловые форматы виртуальной инфраструктуры (SCSI, iSCSI, SAS, VMFS, LUN masking и т. п.)
Атака на средства администрирования виртуальной инфраструктуры	Получив доступ к средствам администрирования, нарушитель получает огромные возможности по похищению, уничтожению, искажению любых данных во всей виртуальной инфраструктуре	Защита периметра сети администрирования путем разграничения доступа к серверам виртуальных машин и средствам управления инфраструктуры. Защита может быть реализована комбинированием сертифицированных средств защиты: МЭ и СЗИ от НСД, устанавливаемых на средства администрирования виртуальной инфраструктуры и по периметру сети управления

Окончание табл.

Параметр риска	Описание	Защита
Атака на виртуальную машину с другой виртуальной машины	Виртуальные машины одного физического сервера могут обмениваться трафиком напрямую без участия физических сетевых коммутаторов. Т. о. использование физических МЭ не будет эффективным	Модернизация существующих МЭ, их перенос в виртуальную среду, создание специализированных СЗИ от НСД и МЭ, контролирующих трафик внутри сервера виртуализации
Атака на сеть репликации виртуальных машин	По сети репликации виртуальных машин передаются сегменты их оперативной памяти. Средства виртуализации не осуществляют шифрование этих данных. Возможность перехвата этих данных – прямая угроза безопасности	Сеть репликации должна быть изолирована от остальных сетей оргмерами, либо требуется обязательное использование СКЗИ канала репликации
Неконтролируемый рост числа виртуальных машин	Простота создания и ввода в эксплуатацию виртуальных машин может создать проблемы для безопасности. Часть новых виртуальных машин не получает должного уровня администрирования: не устанавливаются обновления безопасности, не настраиваются в соответствии с политикой безопасности	Требуется организация централизованного процесса управления жизненным циклом виртуальных машин, регламентированное управление назначением прав, централизованный механизм установки обновлений на виртуальные машины

Иначе говоря, уровни защиты данных в СЭД, работающей посредством технологии виртуализации, можно представить так, как показано на рисунке 3 [5].

В рамках данной работы были предложены рекомендации по реализации проекта внедрения электронной системы документооборота с применением технологии виртуализации. Особо уделено внимание аспектам обеспечения информационной безопасности на этапах внедрения и эксплуатации систем электронного документооборота.

Рис. 3. Уровни защиты информации в виртуальной СЭД

Необходимо отметить, что исследуемый вопрос является актуальным, так как с течением времени все больше компаний используют СЭД для оптимизации собственной деятельности, одновременно с этим не всегда достигая максимального эффекта от внедрения данных систем, в том числе из-за недостаточного внимания к вопросам защиты информации.

Были проведены исследования рынка СЭД, выявлены наиболее популярные подходы к реализации и внедрению систем, описаны средства и методы, применяемые в решениях по обеспечению безопасности электронного документооборота. Исходя из ключевых параметров были подобраны решения для обеспечения безопасности и сохранности данных.

На основе анализа, охватывающего большое число областей функционирования рассмотренных систем, следует вывод о необходимости и возможности применения составленных рекомендаций в реальной организации.

Список литературы

1. Швецов С. А. Электронная подпись как фактор эффективности электронной коммерции: монография. 1-е изд. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. С. 5–68.

2. Ричард Э. Смит. Аутентификация: от паролей до открытых ключей Authentication: From Passwords to Public Keys First Edition. М.: Вильямс, 2002. С. 432. ISBN 0-201-61599-1.

3. Таныгин М. О., Типикин А. П. Методы аутентификации устройств защиты информации и управляющих программных средств // Телекоммуникации. 2005. № 9. С. 37–42.

4. Этапы внедрения СЭД [Электронный ресурс]. URL: http://www.mdi.ru/articles/el-docs/managment-buisness-processes/etapyi-vnedreniya-sed (дата обращения: 30.05.2017).

5. Август-Вильгельм Шеер. ARIS-моделирование бизнес-процессов: монография. 3-е изд. М.: Вильямс, 2009. С. 100–224.

6. Системы электронного документооборота [Электронный ресурс]. URL: https://sites.google.com/site/upravleniezn aniami/tehnologii-upravlenia-znaniami/ sistemy-elektronnogo-dokumentooborota (дата обращения: 07.06.2015).

7. Конфиденциальное делопроизводство и защищенный электронный документооборот: монография / Н. Н. Куняев [и др.]. 2-е изд. М.: Логос, 2014. С. 8–500.

8. Инфотекс – ViPNet CUSTOM [Электронный ресурс]. URL: http://expo-itsecurity.ru/company/infotecs/products/ 9195/ (дата обращения: 07.06.2017).

9. Код безопасности [Электронный ресурс]. URL: https://www.securitycode.ru/ (дата обращения: 07.06.2017).

10. Особенности использования СЭД в органах государственной власти [Электронный ресурс]. URL: http:// spbit.ru/news/n83086/ (дата обращения: 09.06.2017).

11. Калуцкий И. В., Федорова А. С. Безопасность IT-сферы при внедрении технологии виртуализации // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 332–336.

12. Калуцкий И.В., Рудак И. И., Типикина А. В. Технологии виртуализации для защиты электронного документооборота // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: сборник

материалов XII Международной научно-технической конференции. Курск, 2015. С. 155–157.

13. Калуцкий И. В., Шумайлова В. А. Проблемы ведения конфиденциального электронного документооборота в коммерческой организации и пути их решения // Новая наука: современное состояние и пути развития: международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. Стерлитамак, 2016. С. 155–157.

Поступила в редакцию 26.09.17

UDC 004.056.5

A. A. Chesnokova, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: anita.fishmar@yandex.ru)

I. V. Kalutskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kalutsky_igor@mail.ru)

A. G. Spevakov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: aspev@yandex.ru u)

ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT: THE SAFETY STAGES OF IMPLEMENTATION AND OPERATION

In the modern world computerization and automation of all spheres of human life has taken a global dimension. Productive computers, mobile devices are now everywhere and in almost everyone, and broadband Internet access, cloud services and social networks allow you to access the desired information or share their from almost every corner of the globe. Against this background, gradually the importance of paper-based documents, whether legally binding document or personal photograph, and decreases the use of paper documents is becoming less relevant. In turn, the introduction of digital technologies has affected the working documentation of any organization, now almost universally used systems of electronic document management (EDMS), which help to cope with the increased flow of documents of the organization.

Often incompetent approach to the implementation and operation of electronic document management systems is expected to reduce costs and improve ease of operation entails problems that are associated primarily with the risk of disclosure of confidential information due to insufficient attention to security issues of electronic documents in organizations and the entire system of electronic document circulation in General, which in turn may lead to serious losses for the organization.

The article is devoted to the study of the principles of protection of information and new mechanisms for automation of document flow and organization of this process on the virtual machines. The paper also provides relevant recommendations to ensure the security and efficiency of electronic document management systems at different life cycles of the system and possible prospects of application of virtualization technology in the context of ensuring information security of such systems.

Key words: *electronic document management system, information security, virtual machine optimization recommendations.*

For citation: Chesnokova A. A., Kalutskiy I. V., Spevakov A. G. Electronic Document Management: the Safety Stages of Implementation and Operation. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 13–23 (in Russ.).

References

1. Shvecov S. A. Ehlektronnaya podpis' kak faktor ehffektivnosti ehlektronnoj kommercii. 1th ed. Moscow, LAP Lambert Academic Publishing, 2014, pp. 5–68.

2. Richard Eh. Smit. Autentifikaciya: ot parolej do otkrytyh klyuchej Authentication: From Passwords to Public Keys First Edition. Moscow, Vil'yams Publ., 2002, pp. 432. ISBN 0-201-61599-1.

3. Tanygin M. O., Tipikin A. P. Metody autentifikacii ustrojstv zashchity informacii i upravlyayushchih programmnyh sredstv. Telekommunikacii, 2005, no. 9, pp. 37–42.

4. Ehtapy vnedreniya SEHD [Ehlektronnyj resurs]. URL: http://www.mdi.ru/articles/el-docs/managment-buisness-processes/etapyi-vnedreniya-sed (accessed 30.05.2017).

5. Avgust-Vil'gel'm Sheer. ARIS-modelirovanie biznes-processov. 3th ed. Moscow, Vil'yams Publ., 2009, pp. 100–224.

6. Sistemy ehlektronnogo dokumentooborota [Ehlektronnyj resurs]. URL: https://sites.google.com/site/upravleniezn aniami/tehnologii-upravlenia-znaniami/sistemy-elektronnogo-dokumentooborota (accessed 07.06.2015).

7. Kunyaev N. N., eds. Konfidencial'noe deloproizvodstvo i zashchishchennyj ehlektronnyj dokumentooborot. 2th ed. Moscow, Logos Publ., 2014, pp. 8–500.

8. Infoteks – ViPNet CUSTOM [Ehlektronnyj resurs]. URL: http://expo-itsecurity.ru/company/infotecs/prod-ucts/9195/ (accessed 07.06.2017).

9. Kod bezopasnosti [Ehlektronnyj resurs]. URL: https://www.securitycode.ru/ (accessed 07.06.2017).

10. Osobennosti ispol'zovaniya SEHD v organah gosudarstvennoj vlasti [Ehlektronnyj resurs]. URL: http:// spbit.ru/news/n83086/ (accessed 09.06.2017).

11. Kaluckij I. V., Fedorova A. S. Bezopasnost' IT-sfery pri vnedrenii tekhnologii virtualizacii. Infokommunikacii i informacionnaya bezopasnost'. Sostoyanie, problemy i puti resheniya. Materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Kursk, 2014, pp. 332–336.

12. Kaluckij I.V., Rudak I. I., Tipikina A. V. Tekhnologii virtualizacii dlya zashchity ehlektronnogo dokumentooborota. Optiko-ehlektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii. Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Kursk, 2015, pp. 155–157.

13. Kaluckij I. V., Shumajlova V. A. Problemy vedeniya konfidenci-al'nogo ehlektronnogo dokumentooborota v kommercheskoj organizacii i puti ih resheniya. Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. Mezhdunarodnoe nauchnoe periodicheskoe izdanie po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Sterlitamak, 2016, pp. 155–157.

УДК 511.9+681.391

В. С. Усатюк, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: L@lcrypto.com)

С. И. Егоров, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sie58@mail.ru)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ КОДОВОГО РАССТОЯНИЯ ЛИНЕЙНОГО БЛОЧНОГО КОДА МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИИ ЧИСЕЛ

В статье изложен метод оценки кодового расстояния линейного блочного кода. Метод предусматривает вложение кода в решетку, приведение и ортогонализацию базиса решетки и поиск кратчайшего вектора в решетке. Число ненулевых координатных компонент в кратчайшем векторе соответствуем искомому кодовому расстоянию.

Самым вычислительно сложным этапом метода является поиск кратчайшего вектора в решетке, использующий алгоритм Каннана–Финке–Поста. В статье предложена аппаратно-ориентированная модификация этого алгоритма. Ключевой особенностью предложенной модификации алгоритма Каннана–Финке–Поста является параллельное выполнение всех мультипликативных операций, требующих наибольших временных затрат: расчетов нормы вектора, частичных сумм и величин их изменения во время перебора координатных компонент.

Авторами предложено устройство для оценки кодового расстояния, реализующее модифицированный алгоритм Каннана–Финке–Поста. Предложенное устройство представляет собой быстродействующий сопроцессор, подключаемый к шине PCI-Express персональной ЭВМ. Устройство получает на вход верхнюю оценку кодового расстояния, коэффициенты Грама–Шмидта и ортогонализированный базис решетки. На выходе выдает величину кодового расстояния и кодовое слово наименьшего веса. Приведены: структурная схема устройства для оценки кодового расстояния, схема блока вычисления частичной суммы l_i, схема блока модификации координатных компонент искомого кратчайшего вектора x_i, схема блока модификации значений координатных компонент вектора линейных комбинаций c'_i и x'_i.

Проведено экспериментальное сравнение быстродействия предложенного устройства поиска кратчайшего вектора и программной реализации поиска для LDPC-кодов разных длин. Предложенное устройство демонстрирует 33-кратное ускорение работы алгоритма поиска кратчайшего вектора в решетке по сравнению с программной реализацией.

Ключевые слова: *определение кодового расстояния, поиск кратчайшего вектора, метод Каннана–Финке–Поста.*

Ссылка для цитирования: Усатюк В. С., Егоров С. И. Устройство для оценки кодового расстояния линейного блочного кода методом геометрии чисел // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 24–33.

***

Введение

В процессе построения новых помехоустойчивых кодов [1] необходимо оценивать их дистантные свойства, самым важных из которых является минимальное кодовое расстояние. Нахождение минимального кодового расстояния для произвольных кодов является NP-полной задачей, а поиск эффективных алгоритмов ее решения – открытая проблема в теории кодирования.

Для решения этой задачи в [2] был предложен метод, основанный на алгоритмах геометрии чисел. Метод предполагает вложение кода в решетку и последующий поиск кратчайшего вектора в полученной приведенной решетке. Наиболее вычислительно сложной частью метода является поиск кратчайшего вектора в решетке, для реализации которого используется метод Каннана–Финке–Поста [3; 4].

В данной работе предлагается аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке и быстродействующий сопроцессор, реализующий предложенный алгоритм.

1. Оценка кодового расстояния линейного блочного кода

Предварительно введем небходимые определения и обозначения из геометрии чисел.

Определение 1

Пусть базис $B = \{b_1, ..., b_n\}$ задан линейно-независимыми векторами в R^m, где R^m – m-мерное пространство вещественных чисел.

Тогда под решеткой будем понимать множество целочисленных линейных комбинаций этих векторов:

$$L(b_1, ..., b_n) = \left\{ \sum_{i=1}^{n} x_i b_i : (x_1, ..., x_n) \in Z^n \right\},$$

где Z^n – n-мерное целочисленное пространство,

m и n – размерность и ранг решетки соответственно, $m \geq n$.

Определение 2

Решетки, у которых размерность и ранг равны, называются полными решетками.

Определение 3

Пусть L – решетка ранга n. i-м соответствующим минимумом, где $i = 1, 2, ..., n$, называется точная нижняя граница радиусов замкнутых шаров с центром в нуле, содержащих i-линейно независимых векторов решетки L:

$$\lambda_i(L) = \inf\left\{ r \mid \dim\left(span\left(L \cap B(0,r) \right) \right) \geq i \right\},$$

где $B(0,r) = \left\{ x \in R^m \mid \|x\| \leq r \right\}$ – замкнутый шар, радиуса r с центром в нуле.

Длине кратчайшего вектора в решетке L соответствует $\lambda_1(L)$, что приводит нас непосредственно к формулировке задачи поиска кратчайшего и короткого векторов в решетке.

Определение 4

Задача поиска короткого вектора (Δ-short vector problem, $SVP_\gamma(m)$): Пусть дана m-мерная решетка $L(B)$ ранга n и вещественное $\Delta > 1$.

Требуется найти нетривиальный вектор, в Δ раз больший кратчайшего вектора в решетке: $\bar{b} \in L : \|\bar{b}\| \leq \Delta \cdot \lambda_1(L)$.

При $\gamma = 1$ решается задача *поиска кратчайшего вектора в решетке,* при $\gamma > 1$ – короткого вектора.

Определение 5

Константой Эрмита называется величина γ_m, заданная следующим выражением:

$$\gamma_m = \sup_L \left\{ \frac{\lambda_1(L)^2}{(\det L)^{\frac{2}{m}}} \mid L - \text{полная} \right\}.$$

Использование теоремы о соответствующих минимумах Минковского, с одной стороны, и леммы о норме кратчайшего вектора в решетке дает соответственно верхнюю и нижнюю оценки длины кратчайшего вектора в решетке [5]:

$$\min_{i=1}^{m} \left\| b_i^{\perp} \right\| \leq \lambda_1(L) \leq \sqrt{\gamma_m} \det(L)^{\frac{1}{m}},$$

где $b_i^{\perp}$ – ортогональный вектор, полученный из базиса одним из QR-методов разложения матрицы базиса решетки: Грама–Шмидта, поворота Гивенса или преобразования Хаусхолдера [6–8].

Минимальное кодовое расстояние линейного блочного кода равняется минимальному весу кодового слова. Метод для определения минимального веса слова, основанный на поиске кратчайшего вектора в решетке, предложен в [2].

В соответствии с этим методом выполняется следующая последовательность действий.

I. Вложение кода G в решетку B_c. Для этого $n-k$ подпространств базиса решетки B_c масштабируются некоторой константой N, чтобы расстояние Хэмминга между кодовыми словами отобразилось в евклидово расстояние между векторами кодовых слов решетки. Это осуществляется на основе порождающей матрицы

$$B_c^T = \begin{pmatrix} N \cdot G & I_k \\ N \cdot q \cdot I_n & 0^{n \times k} \end{pmatrix},$$

где $G \in F_q^{k \times n}$ – порождающая матрица кода;

q – количество символов;

I_k – единичная матрица;

B_c^T – транспонированный базис решетки.

В случае систематического кода $G = (I_k \mid P), P \in F_q^{k \times n-k}$ масштабирующий коэффициент N равен 1.

Легко убедится, что полученная решетка является решеткой не полной, $rank(B_c) = k$.

II. Приведение базиса решетки. Для этого выполняется поиск короткого базиса решетки методом Коркина–Золотарева [10], дающий в результате некоторый набор векторов малого веса.

III. Ортогонализация базиса решетки B_c с целью получения ортогонального базиса решетки и коэффициентов Грама–Шмидта.

Ортогонализация базиса по Граму-Шмидту выполняется следующим образом:

$$b_1^{\perp} = b_1, b^{\perp}{}_i = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} \mu_{i,j} b_j^{\perp}, i = 2,3,...,m,$$

где $\mu_{i,j}$ – коэффициенты Грама–Шмидта, вычисляемые по формуле

$$\mu_{i,j} = \frac{\langle b_i, b_j^{\perp} \rangle}{\langle b_j^{\perp}, b_j^{\perp} \rangle} = \frac{\langle b_i, b_j^{\perp} \rangle}{\left\| b_j^{\perp} \right\|^2}.$$

Коэффициенты Грама–Шмидта образуют верхнюю треугольную матрицу с $m \times (m-1)/2$ ненулевыми элементами.

IV. Поиск кратчайшего вектора в решетке. После чего в решетке ищется вектор с минимальным числом отличных от нуля координатных компонент. Для этого используется метод Каннана–Финке–Поста (КФП).

Метод КФП поиска кратчайшего вектора представляет собой вариант метода ветвей и границ и заключается в переборе линейных комбинаций базисных векторов решётки, дающих вектор с нормой, ограниченной сверху некоторым положительным числом A, которое может уменьшаться в процессе поиска.

Поиск кратчайшего вектора в решетке является самой вычислительно сложной частью предложенного в [2] метода оценки минимального кодового расстояния. Для повышения быстродействия процедуры оценки минимального кодового расстояния его целесообразно реализовывать аппаратно.

2. Аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке

На рисунке 1 представлен алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке B_c^T, удобный для аппаратной реализации. Алгоритм реализует метод Каннана–Финке–Поста.

На вход алгоритма подаются: оценка нормы кратчайшего вектора A, ортогонализованный базис решетки $b_i^{\perp}$ и коэффициенты Грама–Шмидта $\mu_{i,j}$.

Оценка нормы A кратчайшего вектора следует из определения 5:

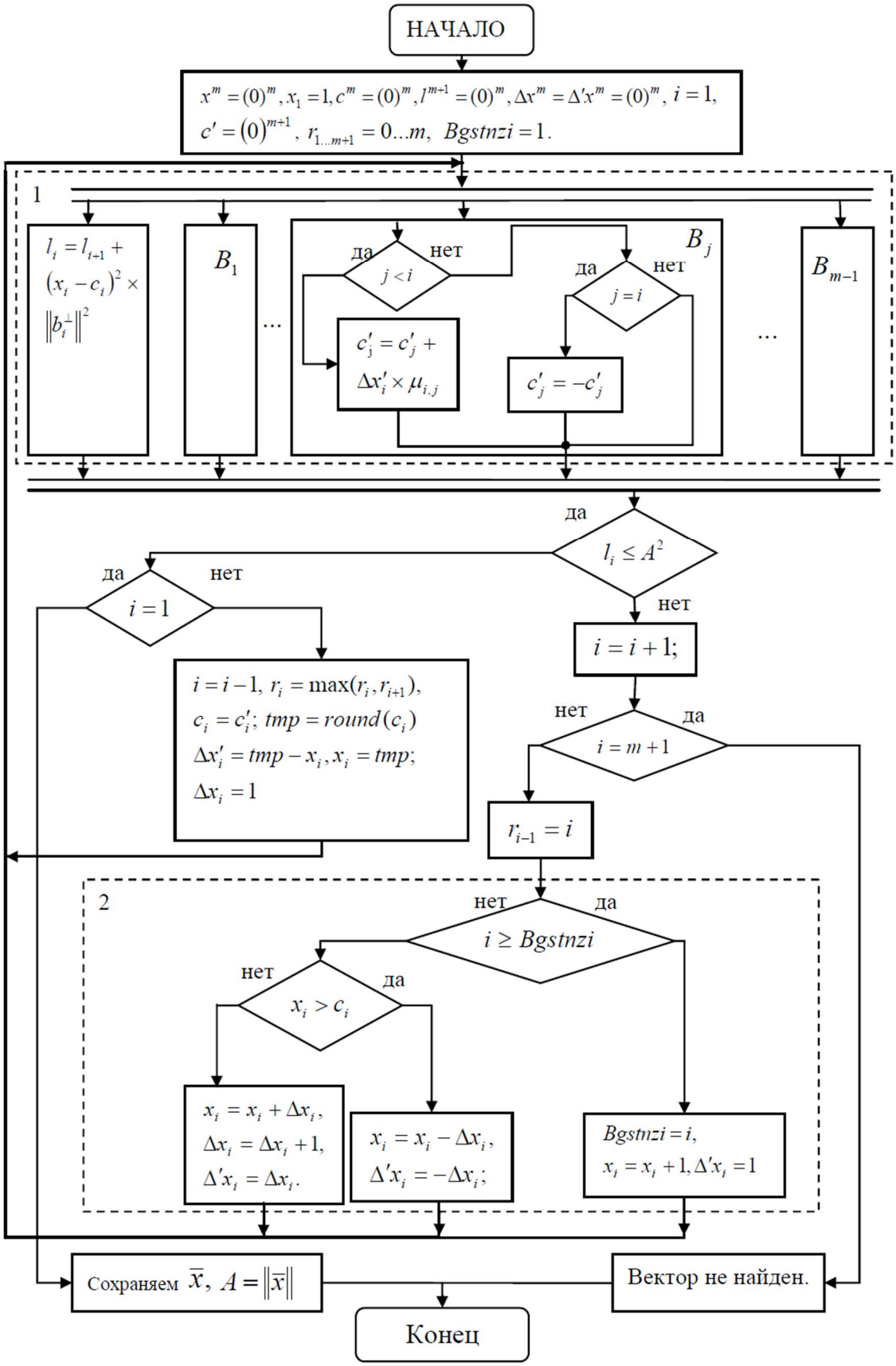


Рис. 1. Аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке

$$A = \sqrt{\gamma_m}\,\det(L)^{\frac{1}{m}}.$$

При ее вычислении используют приближение константы Эрмита

$$\gamma_m \le \frac{2}{\pi}\Gamma\left(2+\frac{m}{2}\right)^{\frac{2}{m}},$$

где Γ – гамма-функция [9].

Каждый базисный вектор решетки может быть выражен через ортогональные векторы следующим образом:

$$b_i = \sum\nolimits_{j=1}^{i} \mu_{i,j} b_j^{\perp},\ 2 \le i \le m,\ 1 \le j < i \le m.$$

Координаты кратчайшего вектора решетки x_i удовлетворяют следующей системе неравенств [3; 4]:

$$\begin{cases} x_m^2 \left\| b_m^{\perp} \right\|^2 \le A^2, \\ \left(x_{m-1} + \mu_{m,m-1} x_m\right) \left\| b_{m-1}^{\perp} \right\|^2 \le A^2 - x_m^2 \left\| b_m^{\perp} \right\|^2, \\ \dots \\ \left(x_1 + \sum\nolimits_{i=2}^{m} x_i \mu_{i,j}\right)^2 \left\| b_1^{\perp} \right\|^2 \le A^2 - \sum\nolimits_{j=2}^{m} l_j, \end{cases}$$

где $l_j = \left(x_j + \sum\nolimits_{i=j+1}^{m} x_i \mu_{i,j}\right)^2 \left\| b_j^{\perp} \right\|^2$.

Представленный алгоритм находит решение этой системы в виде вектора (x_1, x_2,…,x_m). Особенностью алгоритма является одновременное (параллельное) выполнение всех мультипликативных операций (умножений), требующих наибольших временных затрат при аппаратной реализации (см. блок 1 на рис. 1).

Умножения используются при расчете частичных сумм

$$l_i = l_{i+1} + \left(x_i - c_i\right)^2 \times \left\| b_i^{\perp} \right\|^2 \qquad (1)$$

и величин изменения c_j во время перебора координатных компонент:

$$c'_j = c'_j + \Delta x'_i \times \mu_{i,j}. \qquad (2)$$

Перебор координатных компонент вектора (x_1, x_2,…, x_m) осуществляется при помощи зигзагообразного обхода Шнора (см. блок 2 на рис. 1) [10].

3. Структурно-функциональная организация устройства для оценки кодового расстояния

Структурная схема устройства для оценки кодового расстояния, реализующая предложенный алгоритм, приведена на рисунке 2.

Устройство содержит интерфейс с шиной PCI-E хост-компьютера, блок модификации c'_i и x'_i, блок модификации x_i, блок вычисления l_i и блок управления.

Интерфейсный блок предназначен для загрузки в разработанное устройство оценки квадрата нормы искомого вектора A^2, коэффициентов Грама–Шмидта $\mu_{i,j}$ и квадратов норм ортогонализованного базиса решетки $\left\| b_i^{\perp} \right\|^2$, предварительно вычисленных в хост-компьютере. Также интерфейсный блок передает в хост-компьютер найденный кратчайший вектор.

Блок вычисления частичных сумм l_i приведен на рисунке 3. Он вычисляет значения l_i в соответствии с уравнением (1), сравнивает его с оценкой нормы A^2 и в зависимости от результата сравнения формирует один из управляющих сигналов *inc* или *dec*.

Сигналы *inc* и *dec* соответствуют увеличению (*inc*) или уменьшению (*dec*) индекса текущей координатной компоненты i. Они определяют направления сдвига регистров, хранящих l_i, $\left\| b_i^{\perp} \right\|^2$, c_i, x_i, обеспечивая тем самым правильный выбор элементов из последовательности.

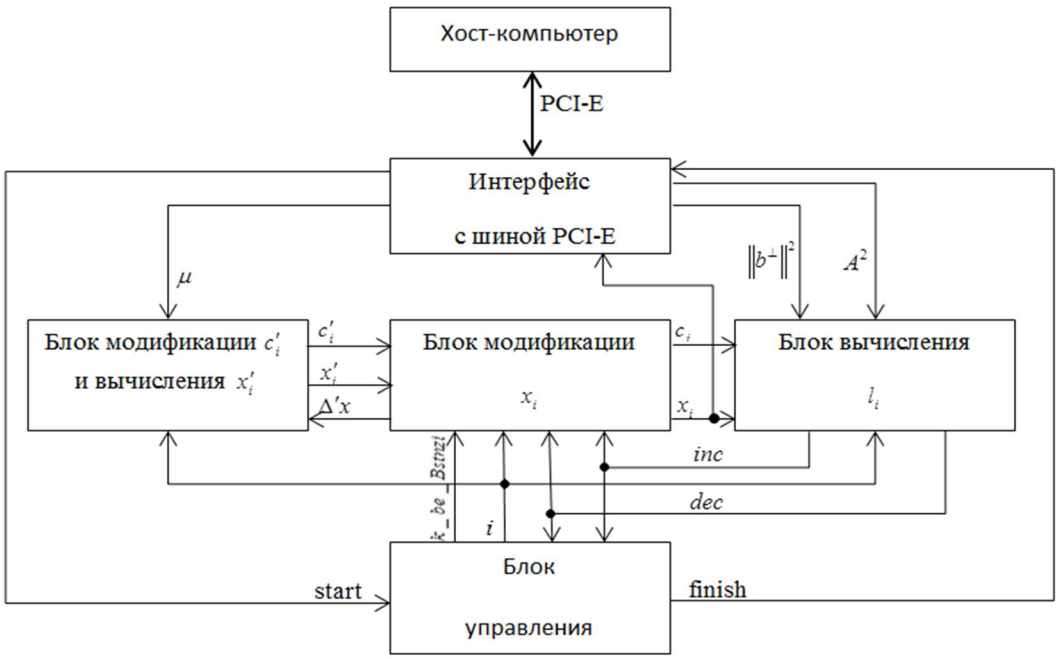


Рис. 2. Структурная схема устройства для оценки кодового расстояния

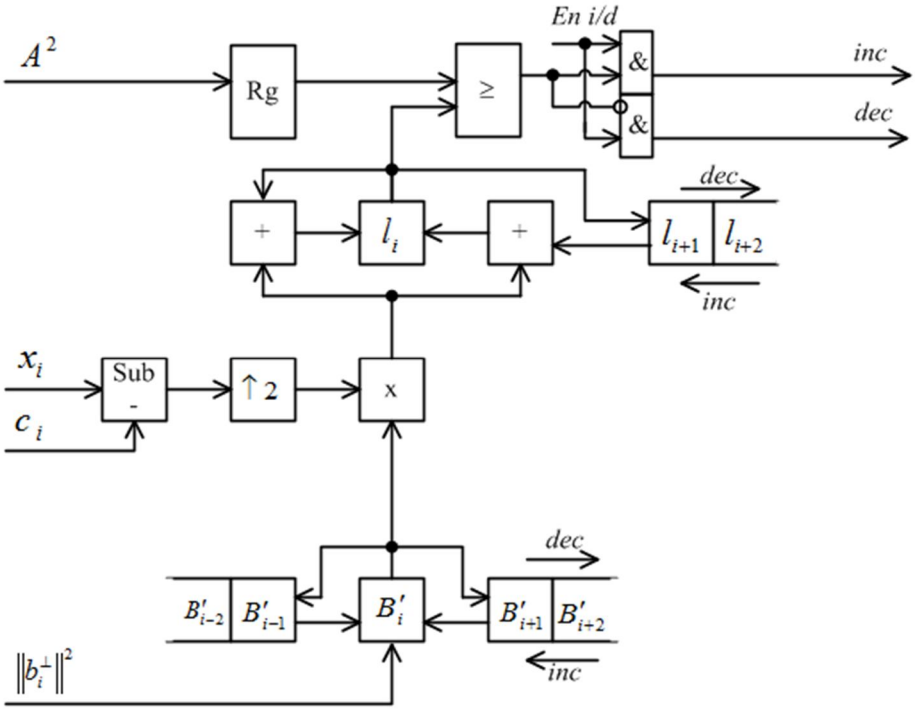


Рис. 3. Блок вычисления l_i

Блок модификации c'_i и x'_i приведен на рисунке 4. Он реализует вычисления, описанные в блоках $B_1 - B_{m-1}$ алгоритма, кроме того, вычисляет значение x'_i. Блок содержит память RAM для хранения коэффициентов Грама–Шмидта $\mu_{i,j}$ разрядностью p бит. Объем RAM составляет $m*(m-1)*p$ бит.

Значения c'_j ($j = 1,\ldots, m-1$) хранятся в регистрах Rg и меняются следующим образом:

$$c'_j = c'_j + \Delta x'_i \times \mu_{i,j}.$$

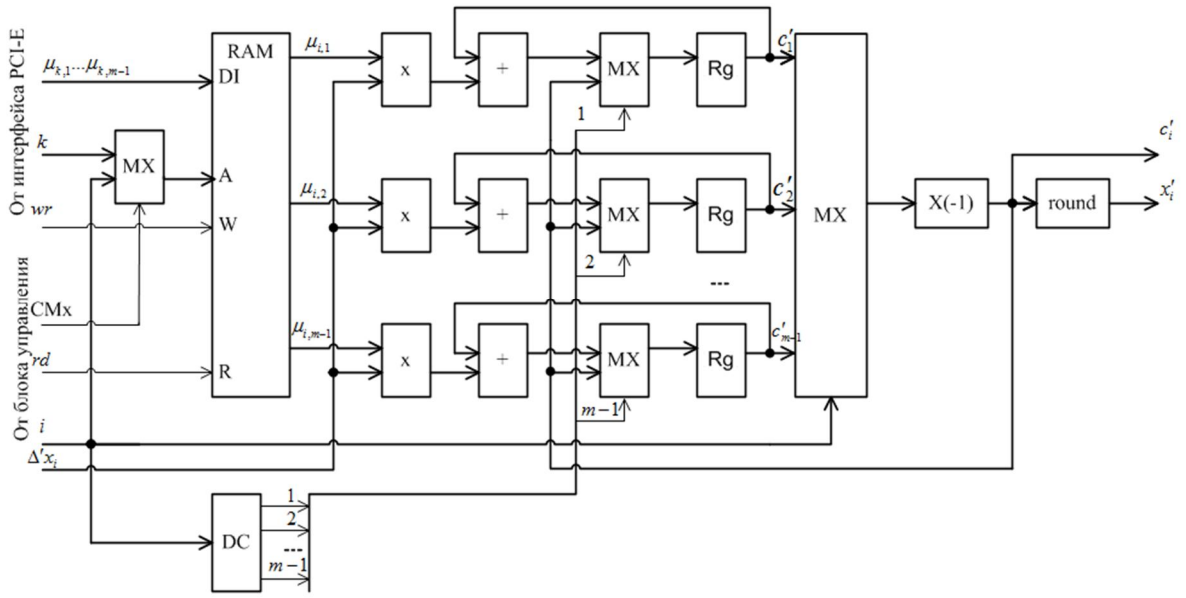


Рис. 4. Блок модификации c_i' и x_i'

Блок модификации x_i осуществляет изменение координатных компонент искомого вектора в процессе зигзагообразного обхода, а также возвращает непосредственно координаты искомого кратчайшего вектора в решетке (рис. 5).

В предложенном устройстве все умножения (требующие наибольших временных затрат) осуществляются параллельно (см. блок 1 алгоритма на рис. 1). Это обеспечивает высокую производительность устройства.

Устройство было синтезировано для FPGA Virtex 7 Ultrascale (xc7vx485tffg1930-2L) с тактовой частотой 250 МГц.

Для сравнения выполнялась программная реализация поиска кратчайшего слова по методу КФП на ПЭВМ (AMD Phenom 965/8 Gb DDR2-800). В таблице приведено сравнение по быстродействию предлагаемого устройства и программной реализации поиска.

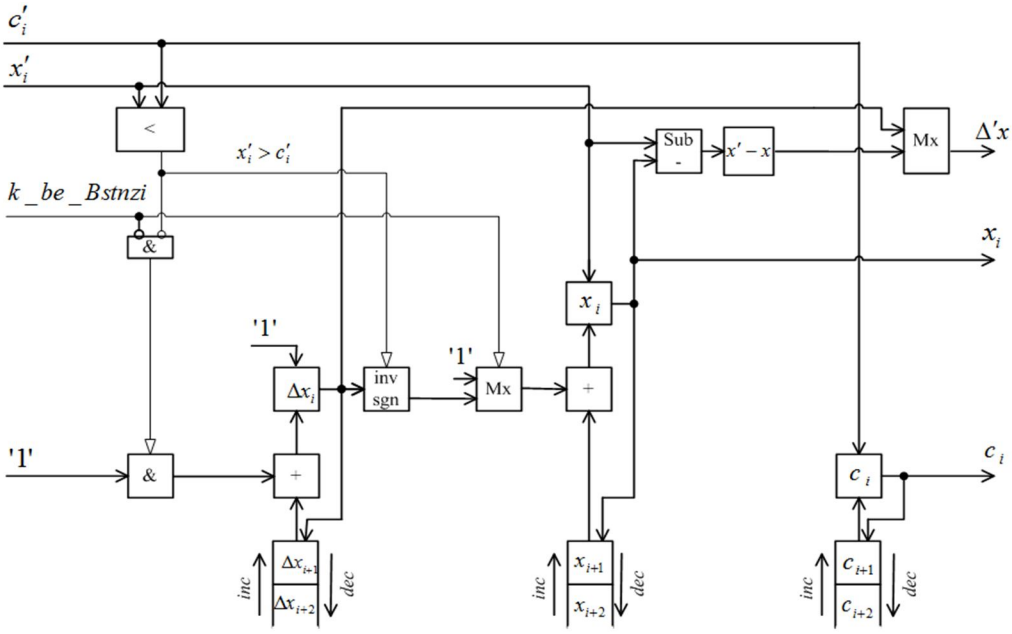


Рис. 5. Блок модификации x_i

Сравнение быстродействия поиска слов минимального веса предлагаемым устройством и программной реализацией

Параметры \ Длина кода (m)	64	128	256	512
Число циклов работы устройства	491919167	$236 \cdot 10^9$	$486 \cdot 10^9$	$1005 \cdot 10^9$
Время поиска слов предлагаемым устройством, с	9.84	4720	9720	20100
Время поиска слов программной реализацией, с	333.68	156011	329925	681946

Исследование проводилось для LDPC-кодов со скоростью 1/2 и длиной m = 64, 128, 256, 512.

Заключение

В работе представлен удобный для распараллеливания аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кодового слова минимального веса. Представленный алгоритм имплементирован в виде устройства оценки кодового расстояния, обладающего высоким быстродействием.

Выигрыш по быстродействию представленного устройства по сравнению с программной реализацией составляет примерно 33 раза для LDPC-кодов длиной 64,128, 256, 512 и скоростью 1/2.

Список литературы

1. Усатюк В. С., Егоров С. И. Построение квазициклических недвоичных низкоплотностных кодов на основе совместной оценки их дистантных свойств и спектров связности // Телекоммуникации. 2016. № 8. С. 32–40.

2. Усатюк В. С. Определение кодового расстояния недвоичного LDPC-кода блочным методом Коркина-Золотарева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 3. С. 76–85.

3. Kannan R. Improved Algorithms for Integer Programming and Related Lattice Problems // In Proceedingss of the Fifteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, USA. ACM, 1983. P. 193–206.

4. Fincke U., Pohst M. Improved Methods for Calculating Vectors of Short Length in a Lattice, Including a Complexity Analysis // Mathematics of computation. 1985. № 170(44). P. 463–471.

5. Minkowski H. Generalisation de la theorie des fractions continues // Ann. de lEcole Norm. (3), 13:2 (1896).

6. Runger G., Schwind M. Comparison of Different Parallel Modified Gram-Schmidt Algorithms // J.C. Cunha and P.D. Medeiros (Eds.): Euro-Par 2005, LNCS 3648, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, pp. 826–836.

7. Bischof C. H., Van Loan C. The WY representation for products of Householder matrices // SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing. 1987. Vol. 8, N 1. P. 2–13.

8. Götze J., Schwiegelshohn U. A square root and division free givens rotation for solving least squares problems on systolic arrays // SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing. 1991. Vol. 12, is. 4. P. 800–807.

9. Kitaoka Yoshiyuki. Arithmetic of quadratic forms // Cambridge Tracts in Mathematics. 106. Cambridge University Press, 1993. 269 p.

10. Усатюк В. С. Реализация параллельного алгоритма поиска кратчайшего вектора в блочном методе Коркина–Золотарева // ПДМ. Приложение. 2013. № 6. С. 130–131.

Поступила в редакцию 16.10.17

UDC 511.9+681.391

V. S. Usatjuk, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: L@Lcrypto.com)

S. I. Egorov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: sie58@mail.ru)

AN APPARATUS FOR ESTIMATION OF LINEAR BLOCK CODES MINIMUM DISTANCE BASED ON NUMBER GEOMETRY METHOD

The article describes the method to enumerate code distance of linear block code. It based on Kannan's embedding technique (lattice code construction), lattice reduction, QR-decomposition and shortest vector enumerating using Schnorr-Euchner modification of the Kannan-Finke-Post method. Number of non-zero positions defines code distance of embedded code.

The most computation difficult part is finding of the shortest vector. In article proposed hardware oriented implementation of the Kannan-Finke-Post method. A main property of the proposed method is a simultaneous calculation of multiplication operations for: norm vector, partial sum and variables changes under a depth first search in a search tree.

In article represented hardware implementation of proposed hardware oriented Kannan-Finke-Post method. It's coprocessor which is installed in PCI-Express socket. From host CPU's the device receives Gram–Schmidt coefficients, orthogonal lattice basis estimated by QR-decomposition (Householder transformation), upper bound on code distance (for QC-LDPC estimated by Mackay-Vontobel-Smarandache-Butler-Siegel method). Device outputs lowest weight vector and its hamming distance. Article contain a block diagram of the proposed code distance enumerating device, sheet of the partial sum calculation unit l_i, sheets of the coordinate component modification for: enumerated shortest vector x_i, c_i' and x_i' units.

This article provides the performance comparison between software and hardware implementation of code distance estimation for different LDPC-code length. The proposed device achieved a speed-up gain of up to 33 times comparing to software implementation.

Key words: *code distance measure, shortest vector problem, Kannan-Fink-Post method.*

For citation: Usatjuk V. S., Egorov S. I. An Apparatus for eStimation of Linear Block Codes Minimum Distance Based on Number Geometry Method. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 24–33 (in Russ.).

References

1. Usatyuk V. S., Egorov S. I. Postroenie kvaziciklicheskih nedvoichnyh nizkoplotnostnyh kodov na osnove sovmestnoj ocenki ih distantnyh svojstv i spektrov svyaznosti. Telekommunikacii, 2016, no. 8, pp. 32–40.

2. Usatyuk V. S. Opredelenie kodovogo rasstoyaniya nedvoichnogo LDPC-koda blochnym metodom Korkina-Zolotareva. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 3, pp. 76–85.

3. Kannan R. Improved Algorithms for Integer Programming and Related Lattice Problems. In Proceedingss of the Fifteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, USA. ACM, 1983, pp. 193–206.

4. Fincke U., Pohst M. Improved Methods for Calculating Vectors of Short Length in a Lattice, Including a Complexity Analysis. Mathematics of computation, 1985, no. 170(44), pp. 463–471.

5. Minkowski H. Generalisation de la theorie des fractions continues. Ann. de lEcole Norm. (3), 13:2 (1896).

6. Runger G., Schwind M. Comparison of Different Parallel Modified Gram-Schmidt Algorithms. J. C. Cunha and P. D. Medeiros, eds.: Euro-Par 2005, LNCS 3648, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, pp. 826–836.

7. Bischof C. H., Van Loan C. The WY representation for products of Householder matrices. SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing, 1987, vol. 8, no. 1, pp. 2–13.

8. Götze J., Schwiegelshohn U. A square root and division free givens rotation for solving least squares problems on systolic arrays. SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing, 1991, vol. 12, is. 4, pp. 800–807.

9. Kitaoka Yoshiyuki. Arithmetic of quadratic forms. Cambridge Tracts in Mathematics. 106. Cambridge University Press, 1993, 269 p.

10. Usatyuk V. S. Realizaciya parallel'nogo algoritma poiska kratchajshego vektora v blochnom metode Korkina–Zolotareva. PDM. Prilozhenie, 2013, no. 6, pp. 130–131.

УДК 004.9

Хасан Абдо Абдуллах Аскар, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: abdo.hasan@mail.ru)

В. С. Панищев, канд. техн. наук, Центр информационных технологий в проектировании РАН (e-mail: gskunk@yandex.ru) (Одинцово, Россия)

М. И. Труфанов, канд. техн. наук, Центр информационных технологий в проектировании РАН (Одинцово, Россия)

АЛГОРИТМ СРАВНЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТУРЫ

Рассмотрена задача поиска похожих на предъявляемое изображений. Для решения задачи реализован статистический подход к анализу текстур на изображениях. Для генерации идентификаторов изображений используются статистические характеристики изображения, сравнение двух изображений осуществляется путем расчета расстояния между идентификаторами. Для реализации описания текстуры разработаны: алгоритм вычисления характеристики текстур и алгоритм сравнения изображений. Алгоритм вычисления характеристики изображений вычисляет статистические характеристики, определяемые по гистограмме яркости всего изображения или его области. Вычисляются шесть основных характеристик изображений, средняя яркость изображения, дисперсия, дескриптор относительной гладкости, однородность, третий момент и средняя энтропия. Расчет характеристик выполняется отдельно по каждому цветовому каналу (R, G, B).

Сравнение изображений осуществляется на основе среднего значения коэффициента каждой характеристики. После расчета разности между каждой характеристикой выделенного изображения и значениями каждой соответствующей характеристики текущего изображения по модулю и деления полученного значения на максимальную разность, соответствующую текущей характеристике для каждого основного цвета (R, G, B) отдельно, каждое полученное значение от этой операции умножается на среднее значение соответствующего коэффициента текущей характеристики. Далее суммируются все полученные значения для всех характеристик по всем основным цветам текущего изображения и сумма делится на количество цветов. После выполняется сортировка полученных значений по возрастанию и рассчитывается, насколько отличается каждое изображение от выделенного.

Экспериментальное моделирование разработанных алгоритмов показало высокую эффективность поиска изображений с ярко выраженной структурой.

Ключевые слова: *обработка изображений, текстурный анализ, сравнение изображений.*

Ссылка для цитирования: Хасан Абдо Абдуллах Аскар, Панищев В. С., Труфанов М. И. Алгоритм сравнения изображений на основе анализа статистических характеристик текстуры // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 34–40.

***

В настоящее время задачи поиска изображений широко востребованы: поиск в базе данных всех изображений, похожих на предъявляемое изображение, поиск оригинала изображения по некоторому искаженному варианту, поиск отдельного фрагмента в большом объеме цифровых изображений и ряд других. Проведенный анализ показал, что для генерации идентификаторов изображений используют статистические характеристики изображения, а похожесть двух изображений оценивают путем нахождения расстояния между векторами, вычисленного по некоторой метрике [1–3]. Для генерации идентификатора изображения выполняется анализ распределения цветов, текстур и формы областей изображения или классификация объектов [4–7].

В соответствии с формулами, представленными в [8; 9; 10], были разработаны и реализованы алгоритмы для описания текстуры на базе статистиче-

ского подхода. Для реализации описания текстуры были разработаны соответствующие алгоритмы: алгоритм вычисления характеристики текстур и алгоритм сравнения изображений.

Алгоритм вычисления характеристики изображений (рис. 1) должен вычислять статистические характеристики, определяемые по гистограмме яркости всего изображения или его области.

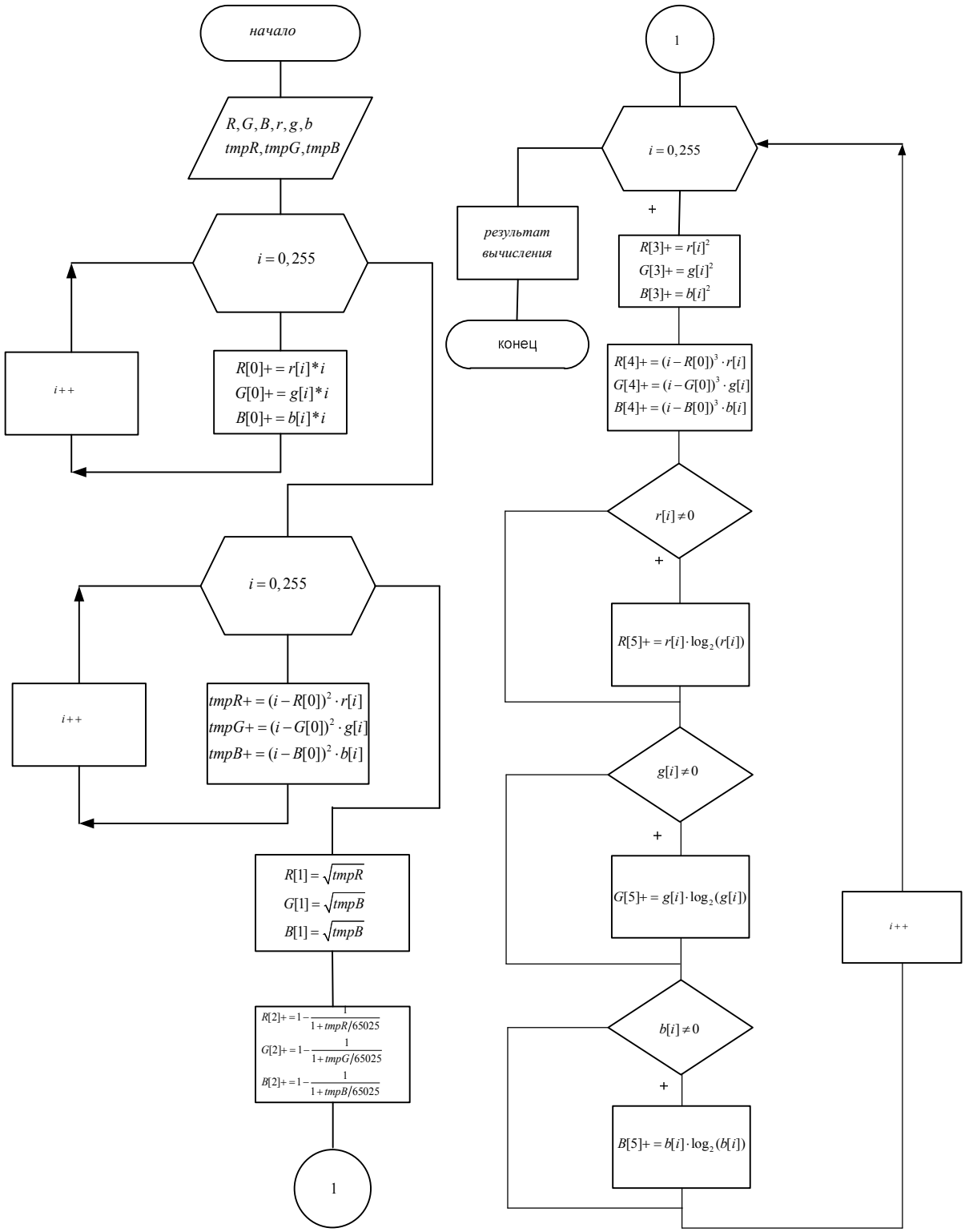


Рис. 1. Алгоритм вычисления характеристики текстур

Вычисляются шесть основных характеристик изображений, средняя яркость изображения, дисперсия, дескриптор относительной гладкости, однородность, третий момент и средняя энтропия [2; 3; 9]. В завершение выводятся таблицы, содержащие все значения характеристик каждого изображения по каждому цвету.

В алгоритме введены следующие обозначения:

$R[0]$, $G[0]$ и $B[0]$ – средняя яркость изображения (красный, зелёный и синий цвет);

tmpR, *tmpG*, и *tmpB* – дисперсия;

$R[2]$, $G[2]$ и $B[2]$ – дескриптор относительной гладкости;

$R[3]$, $G[3]$ и $B[3]$ – однородность;

$R[4]$, $G[4]$ и $B[4]$ – третий момент;

$R[5]$, $G[5]$ и $B[5]$ – энтропия;

$r[i]$, $g[i]$, и $b[i]$ – случайные величины, соответствующие яркости элементов изображения.

Работа алгоритма сравнения изображений начинается с вычисления среднего значения коэффициента каждой характеристики для всех исходных изображений путем деления каждого коэффициента на сумму всех коэффициентов. Затем находим максимальную разность между значениями каждой характеристики выбранного (выделенного) изображения (Sample) и значениями каждой характеристики всех остальных изображений по модулю для каждого из основных цветов (*R*, *G* и *B*) отдельно и сохраняем ее в переменных *NR*, *NG* и *NB* соответственно. Потом определяем, насколько отличается каждое изображение от выделенного нами изображения. Это можно осуществить следующим образом.

Сначала находим среднее значение разности между каждой характеристикой выделенного изображения и значениями каждой соответствующей характеристики текущего изображения по модулю и делим его на максимальную разность, соответствующую текущей характеристике (*NR*, *NG* и *NB*). Для каждого основного цвета отдельно. Затем умножаем каждое полученное значение от этой операции на среднее значение соответствующего коэффициента текущей характеристики. После этого суммируем все полученные значения для всех характеристик по всем основным цветам текущего изображения и делим эту сумму на 3 – количество цветов. И так для каждого остального изображения.

После этого происходит сортировка полученных значений по возрастанию. По формуле (6) можно рассчитать, насколько (в процентах) отличается каждое изображение от выделенного.

Сравнение изображений по статическим характеристикам осуществляется с помощью следующих формул.

Формула для суммирования характеристики изображения по красному цвету:

$$tmp = \sum_{j=1}^{6} k[j] \cdot \frac{|SR[j] - R[j]|}{NR[j]}, \qquad (1)$$

где $SR[j]$ – характеристики выделенного изображения (Sample) для красного цвета, а $j = 0\ldots6$ – номер текущей характеристики;

$R[j]$ – характеристики текущего изображения, с которым происходит сравнение для красного цвета;

$NR[j]$ – максимальная разность между значениями характеристики всех изображений для красного цвета;

$k[j]$ – среднее значение коэффициента текущей характеристики.

Формула для вычисления среднего значения коэффициентов характеристик:

$$k[j] = \frac{X_j}{\sum_{j=1}^{6} X_j}, \quad (2)$$

где X_j – коэффициент текущей характеристики;

$$NR = \max\left|SR - R[i]\right|. \quad (3)$$

Формула для суммирования характеристики изображения по зелёному цвету:

$$tmp = \sum_{j=1}^{6} k[j] \cdot \frac{\left|SG[j] - G[j]\right|}{NG[j]}, \quad (4)$$

где $SG[j]$ – характеристики выделенного изображения (Sample) для зелёного цвета, а j = 0…6 – номер текущей характеристики;

$G[j]$ – характеристики текущего изображения, с которым происходит сравнение для зелёного цвета;

$NG[j]$ – максимальная разность между значениями характеристики всех изображений для зелёного цвета;

$k[j]$ – среднее значение коэффициента текущей характеристики;

$$NG = \max\left|SG - G[j]\right|. \quad (5)$$

Формула для суммирования характеристики изображения по синему цвету:

$$tmp = \sum_{j=1}^{6} k[j] \cdot \frac{\left|SB[j] - B[j]\right|}{NB[j]}, \quad (6)$$

где $SB[j]$ – характеристики выделенного изображения (Sample) для синего цвета, а j = 0…6 – номер текущей характеристики;

$B[j]$ – характеристики текущего изображения, с которым происходит сравнение для синего цвета;

$NB[j]$ – максимальная разность между значениями характеристики всех изображений для синего цвета;

$k[j]$ – среднее значение коэффициента текущей характеристики;

$SR[6]$ – характеристика выбранного изображения по красному цвету;

$SG[6]$ – характеристика выбранного изображения по зелёному цвету;

$SB[6]$ – характеристика выбранного изображения по синему цвету;

NR, NG, и NB – максимальная разность между выбранным изображением и остальными изображениями;

$R[i]$ – текущая изображения по красному цвету;

$B[i]$ – текущая изображения по зелёному цвету;

$G[i]$ – текущая изображения по синему цвету;

$tmp[i]$ – динамический массив;

itmp – переменные для хранения номера отличающего изображения;

sample – признак выбранного изображения;

logic – признак: было выбрано изображение или нет;

$k[i]$ – массив для хранения процентов каждого коэффициента характеристики, входящего в сравнение.

$$NB = \max\left|SB - B[i]\right|. \quad (7)$$

После этого суммируем *tmp* красного, зелёного и синего цвета и делим *tmp* на три.

Данные алгоритмы были реализованы на языке программирования C++ [9].

Пример работы программы представлен на рисунке 2 (осуществлялся поиск фрагмента изображения). В процессе моделирования использовались изображения с ярко выраженными текстурными участками.

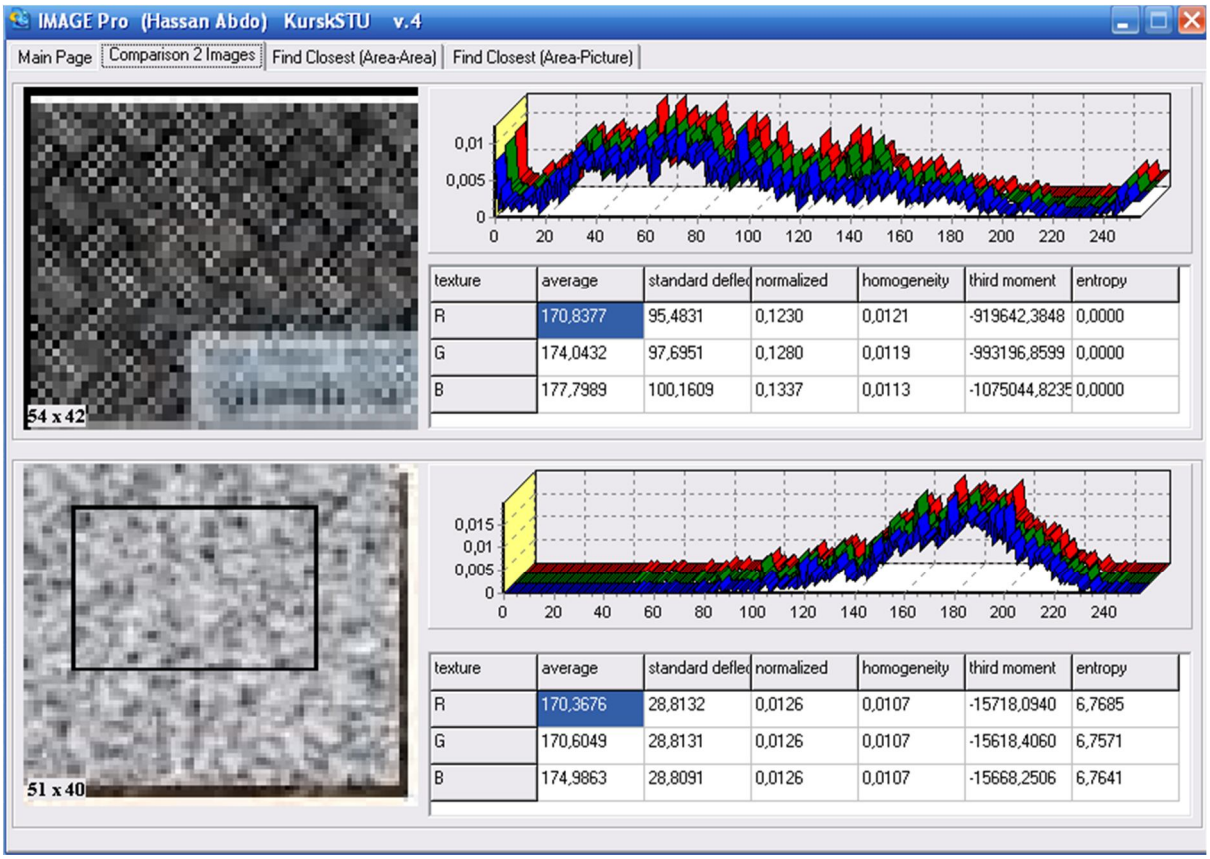


Рис. 2. Пример работы программы, реализующей разработанные алгоритмы

По результатам экспериментального моделирования разработанных алгоритмов процент найденных схожих изображений превышает 90%.

Список литературы

1. Color- and Texture-Based Image Segmentation Using EM and Its application to Image Querying and Classification [Electronic resource] / C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, J. Malik. URL:http://elib.cs. berkeley. edu/papers/-1997.

2. Sasi Kumar Patra, Jagannadha Raju, Maruthuperumal S. Texture Analysis Using Statistical and Structural Approaches // International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology. 2013. Vol. 3, is. 1. P. 267–274.

3. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 2002.

4. Kalle Karu, Anil K. Jain, Rund M. Bolle. Is there any texture in the image? // Pattern Recognition. 1996. Vol. 29, N 9. P. 1437–1446.

5. Neelima Bagri, Punit Kumar Johari. A Comparative Study on Feature Extraction using Texture and Shape for Content Based Image Retrieval // International Journal of Advanced Science and Technology. 2015. Vol. 80. P. 41–52. URL: http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2015.80.04.

6. Materka A., Strzelecki M. Texture Analysis Methods – A Review / Technical University of Lodz, Institute of Electronics, COST B11 report. Brussels, 1998. URL: http://www.eletel.p.lodz.pl

7. Laine A., Fan J. Texture Classification by Wavelet Packet Signatures // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1993. Vol. 15, N 11. P. 1186–1191.

8. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition), by C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P. Wang (eds.). World Scientific Publishing Co., 1998. P. 207–248.

9. Shapiro L., Stockman G. Computer Vision // Prentice Hall. 2001. 617 p.

10. Хасан А. А., Панищев В. С., Решетникова В. П. Анализ текстурных признаков на изображениях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. №2. С. 102–107.

Поступила в редакцию 09.09.17

UDC 004.9

Hasan Abdo Abdullah Askar, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: abdo.hasan@mail.ru)

V. S. Panishchev, Candidate of Engineering Sciences, DITC RAN (Odinzovo, Rossiya) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

M. I. Truphanov, Candidate of Engineering Sciences, DITC RAN (Odinzovo, Rossiya)

ALGORITHM OF COMPARISON OF IMAGES BASED ON THE ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE TEXTURE

Key words: *image processing, textural analysis, image comparison.*

The problem of finding similar images is presented. To solve the problem, a statistical approach to the analysis of textures in images is implemented. To generate image identifiers, the statistical characteristics of the image are used, the comparison of the two images is performed by calculating the distance between the identifiers. To implement the description of the texture developed: the algorithm for calculating the characteristics of textures and the algorithm for comparing images. The algorithm for calculating the image characteristics calculates the statistical characteristics determined by the histogram of the brightness of the entire image or its area. Six basic characteristics of the images are calculated, the average brightness of the image, the variance, the descriptor of relative smoothness, homogeneity, the third moment, and the average entropy. The calculation of the characteristics is performed separately for each color channel (R, G, B).

The images are compared based on the average value of the coefficient of each characteristic. After calculating the difference between each characteristic of the selected image and the values of each corresponding characteristic of the current image modulo and dividing the resulting value by the maximum difference corresponding to the current characteristic for each base color separately, each value obtained from this operation is multiplied by the average value corresponding coefficient of the current characteristic. Further, all the obtained values for all characteristics are summarized for all the main colors of the current image and the sum is divided by the number of colors. After that, the obtained values are sorted in ascending order and calculated how different each image from the selected percentage is.

Experimental modeling of the developed algorithms has shown a high efficiency of searching for images with a pronounced structure.

For citation: Hasan Abdo Abdullah Askar, Panishchev V. S., Truphanov M. I. Algorithm of Comparison of Images Based on the Analysis of Statistical Characteristics of the Texture. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 3(24), pp. 34–40 (in Russ.).

Reference

1. Carson C., Belongie S., Greenspa H., Malik J. Color- and Texture-Based Image Segmentation Using EM and Its application to Image Querying and Classification. URL: http://elib.cs.berkeley.edu/papers/-1997.

2. Sasi Kumar Patra, Jagannadha Raju, Maruthuperumal S. Texture Analysis Using Statistical and Structural Ap-

proaches. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 2013, vol. 3, is. 1, pp. 267–274.

3. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 2002.

4. Kalle Karu, Anil K. Jain, Rund M. Bolle. Is there any texture in the image? Pattern Recognition, 1996, vol. 29, no. 9, pp. 1437–1446.

5. Neelima Bagri, Punit Kumar Johari. A Comparative Study on Feature Extraction using Texture and Shape for Content Based Image Retrieval. International Journal of Advanced Science and Technology, 2015, vol. 80, pp. 41–52. URL: http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2015.80.04.

6. Materka A., Strzelecki M. Texture Analysis Methods – A Review, Technical University of Lodz, Institute of Electronics, COST B11 report, Brussels, 1998. URL: http://www.eletel.p.lodz.pl.

7. Laine A., Fan J. Texture Classification by Wavelet Packet Signatures, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, vol. 15, no. 11, pp. 1186–1191.

8. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition). C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P. Wang (eds.), World Scientific Publishing Co., 1998, pp. 207–248,

9. Shapiro L., Stockman G. Computer Vision. Prentice Hall, 2001. 617 p.

10. Khasan A. A. Panishchev V. S., Reshetnikova V.P Analiz teksturnykh priznakov na izobrazheniyakh. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2014, no. 2, pp. 102–107.

УДК 621.37

С. Н. Полторацкий, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: merlinserg46@gmail.com)

В. С. Панищев, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

МЕТОД ВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В УСТРОЙСТВАХ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрена проблематика применения простейших селекторов в устройствах обработки импульсных сигналов. Известные методы и устройства селекции обладают рядом существенных недостатков. На практике выборка, как правило, состоит из нескольких последовательностей, принадлежащих разным источникам. Цель селекции заключается в том, чтобы на основе анализа импульсных параметров выборки восстановить максимальное число индивидуальных последовательностей.

Предложен метод временной селекции по импульсным характеристикам, позволяющий выделять априорно неизвестные детерминированные импульсные последовательности из смешанных выборок с помощью процедур построения гистограммы разности и поиска по временным параметрам. Приведено математическое описание данных процедур, а также алгоритм, реализующий описанный метод. Приход каждого импульса в последовательности рассматривается как отдельное событие. Периоды повторения импульсов являются исходными данными для построения гистограммы разности. Обнаружение периода последовательности происходит на основе заданного порогового критерия. Последовательность с обнаруженным периодом удаляется из выборки, после чего процедура повторяется до достижения критерия окончания селекции.

На основе метода разработана тестовая программа для ЭВМ. Представлены результаты ее контрольного тестирования, подтверждающие эффективность метода. Контрольному тестированию подвергалась выборка, состоящая из шести перемеженных последовательностей с различными периодами. Предложенный метод селекции целесообразно использовать в подсистеме анализа и обработки смешанных импульсных последовательностей для повышения достоверности селекции импульсных последовательностей в смешанных выборках. По результатам селекции выделенные импульсные последовательности в дальнейшем будут подвергаться независимой обработке. Алгоритм может быть реализован на аппаратном уровне.

Ключевые слова: *параметры сигналов, импульсные последовательности, автокорреляционная функция, гистограмма, селекция.*

Ссылка для цитирования: Полторацкий С. Н., Панищев В. С. Метод временной селекции импульсных последовательностей в устройствах обработки импульсных сигналов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 41–48.

***

В настоящее время при построении устройств обработки импульсных сигналов возникает необходимость выполнить отбор импульсов по измеренным характеристикам, параметрам. Такой отбор называют селекцией, а устройства, выполняющие эту задачу, – селекторами [1].

В простейшем случае мгновенные импульсные параметры (несущая частота, длительность, амплитуда) постоянны, а диапазон их возможных значений известен. Но параметры часто изменяются от импульса к импульсу по детерминированному закону, образуя повторяющийся кадр из нескольких значений. Выделять такие последовательности без ошибок в случае их перемеживания, когда заранее неизвестны их число и характеристики, проблематично. Одним из подходов к разрешению ситуации является использование для целей селекции мгновенных импульсных параметров. Такой тип селекции (моноимпульсный) основывается на анализе одного параметра без учета взаимосвязи параметров.

В известных устройствах [2; 3] реализованы подобные селекторы по амплитуде, частоте и длительности импульсов, работающие по принципу полосовых фильтров по параметрам. Известные методы [4–9] селекции импульсов по временному положению и по частоте повторения ориентированы на заранее известные параметры одного сигнала.

Однако при наличии в смеси импульсных последовательностей нескольких сигналов с изменяющимися параметрами однозначно разделить их по мгновенным параметрам не всегда удается. В этом случае необходим переход к анализу времени прихода импульсов (ВПИ), без которого решить задачу селекции не представляется возможным. Поэтому подход на основе анализа ВПИ положен в основу дальнейшего рассмотрения.

Обозначим длину выборки из n импульсов, как N интервалов длительностью t, а событие, связанное с приходом каждого импульса, в виде дельта-функции, т. е. значением 1 или 0 на соответствующем интервале времени (рис. 1). Информация о длительности и амплитуде импульса не учитывается.

В этом случае i-ю последовательность Y_i с постоянным периодом повторения импульсов (ППИ), равным T_i, начальным временем t_i и числом импульсов в выборке n_i, можно записать в виде

$$Y_i = \sum_{i=0}^{N} y_i\left(r\Delta t\right),$$

где

$$y_i\left(r\Delta t\right) = \begin{cases} 1 \text{ при } r\Delta t = aT_i + t_i,\ 0 \le a \le n_i, \\ 0 \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

r, a, T_i, t_i, n_i – положительные целые числа.

На практике выборка, как правило, состоит из нескольких последовательностей, принадлежащих разным источникам. В этом случае результирующую выборку W, являющуюся функцией логического ИЛИ над x последовательностями, можно представить следующим образом:

$$W = \sum_{i=1}^{x} Y_i = \sum_{r=0}^{x} f_x\left(r\Delta t\right),\ \ Y_i \in f_x\left(r\Delta t\right),$$

где

$$f_x\left(r\Delta t\right) = \begin{cases} 1, \text{ если } y_1\left(r\Delta t\right) \cup y_2\left(r\Delta t\right) \cup \ldots \cup y_x\left(r\Delta t\right) = 1, \\ 0, \text{ если } y_1\left(r\Delta t\right) \cup y_2\left(r\Delta t\right) \cup \ldots \cup y_x\left(r\Delta t\right) = 0. \end{cases}$$

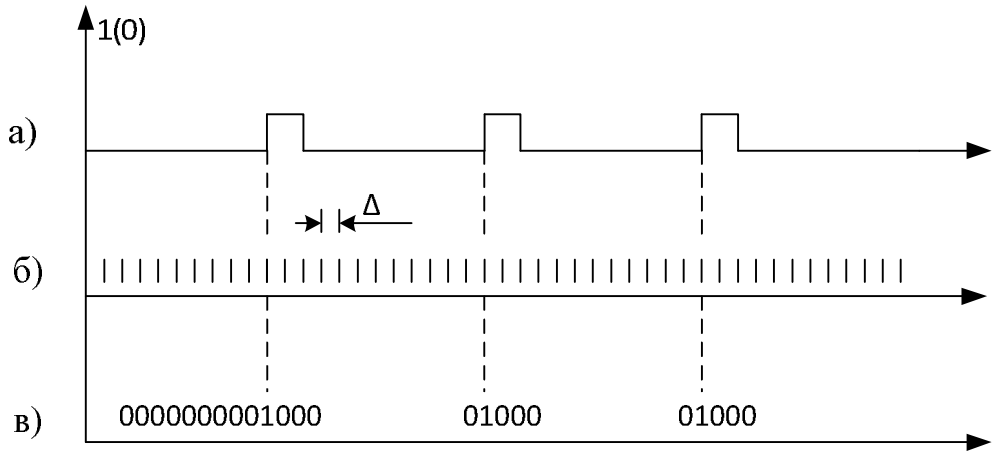


Рис. 1. Последовательность импульсов с постоянным ППИ: *а* – импульсы исходной выборки; *б* – измерительные импульсы; *в* – значение дельта-функции

Цель селекции состоит в том, чтобы на основе анализа ВПИ выборки W восстановить максимальное число индивидуальных последовательностей. Для реализации алгоритма потребуются две процедуры: построение гистограммы разностей и поиск по ВПИ.

Построение гистограммы разностей является процедурой простейшего обнаружения временного периода первоначальной последовательности. При этом каждое значение ВПИ вычитается из последующего и подсчитывается число интервалов, кратное этим разностям. Число вычислений, необходимых для полного анализа выборки из E событий, примерно равно:

$$\sum_{i=0}^{E} i \cong \frac{E^2}{2}, \text{ где } 1 \ll E \ll N.$$

На рисунке 2 показаны смешанный сигнал и гистограмма для смешанного сигнала с периодом T.

Формально построение гистограммы основывается на вычислении функции автокорреляции:

$$y(d) = \sum_{r=0}^{N} W(r\Delta t) W((r-d)\Delta t),$$

где d – величина временной задержки импульсов последовательности.

Последовательность с постоянным периодом повторения импульсов (ППИ) можно легко идентифицировать по результату вычисления функции автокорреляции для d-кратных ППИ, если соответствующим образом задать пороговое значение $y(d)$, при превышении которого последовательность считается обнаруженной. В этом случае правильный выбор порога оказывается критическим фактором использования гистограммы.

Таким образом, при построении гистограммы разности не учитывается информация о временной структуре последовательности, а подсчитывается число парных событий, разделенных данным ППИ. Процедура не требует больших временных затрат.

Процедура поиска по ВПИ достоверно обнаруживает структуру импульсной последовательности. Сущность процедуры состоит в том, что в начале задается последовательность с известным ППИ в качестве исходной выборки. Затем последовательно производится ее корреляционный анализ с исходной выборкой.

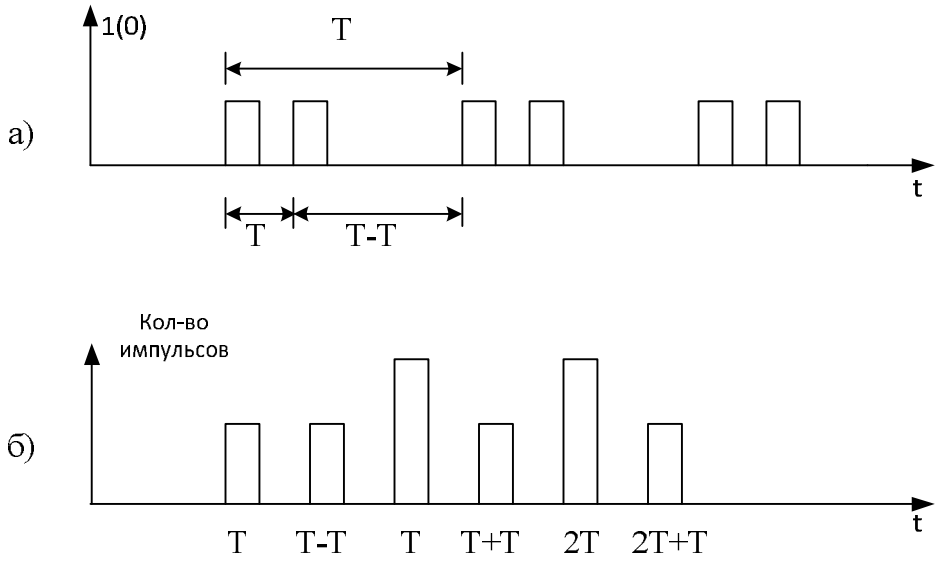


Рис. 2. Пример сигнала: *а* – смешанный сигнал; *б* – гистограмма для смешанного сигнала

Процедура поиска включает в себя три шага.

1. Задается импульсная последовательность:

$$D_p = \sum_{r=0}^{N} y_p\left(r\Delta t\right).$$

2. Вычисляется значение функции корреляции заданной последовательности с исходной выборкой:

$$Y = \sum_{r=0}^{N}\left[y_p\left(r\Delta t\right)W\left(r\Delta t\right)\right].$$

3. Значение функции определяется из уравнения

$$t_p + aT_p = t_i + bT_i,\ t \neq p.$$

По максимуму корреляционной функции принимается решение, что заданная последовательность принадлежит выборке.

Шаги 1-3 повторяются для других значений ППИ.

Для последовательности с ППИ, равным T дискрет, число моментов времени (ВПИ), для которых вычисляется корреляция, составляет N/T. Полагая, что ППИ и начало последовательности могут принимать значения соответственно от 1 до N и от 1 до T, поиск всех возможных последовательностей требует $N^N/T*T - N^2$ повторений процедуры поиска.

Обычно поиск ограничивают рамками множества реальных значений ППИ, которое составляет лишь малое подмножество всех возможных значений. С этой целью из выборки произвольно выбирается пара соседних импульсов и предсказывается интервал до следующего импульса селектируемой последовательности. Далее последовательность сравнивается с выборкой с учетом допуска на погрешности измерений ВПИ. Если последовательность с данным интервалом обнаружена, она удаляется из выборки, в противном случае процесс поиска повторяется с другими интервалами.

На рисунке 3 показан пример последовательности, из которой выбрана пара событий и спрогнозирована последовательность с постоянным стробом.

Схема алгоритма временной селекции, объединяющего процедуры построения гистограммы разности и поиска по ВПИ, представлена на рисунке 4.

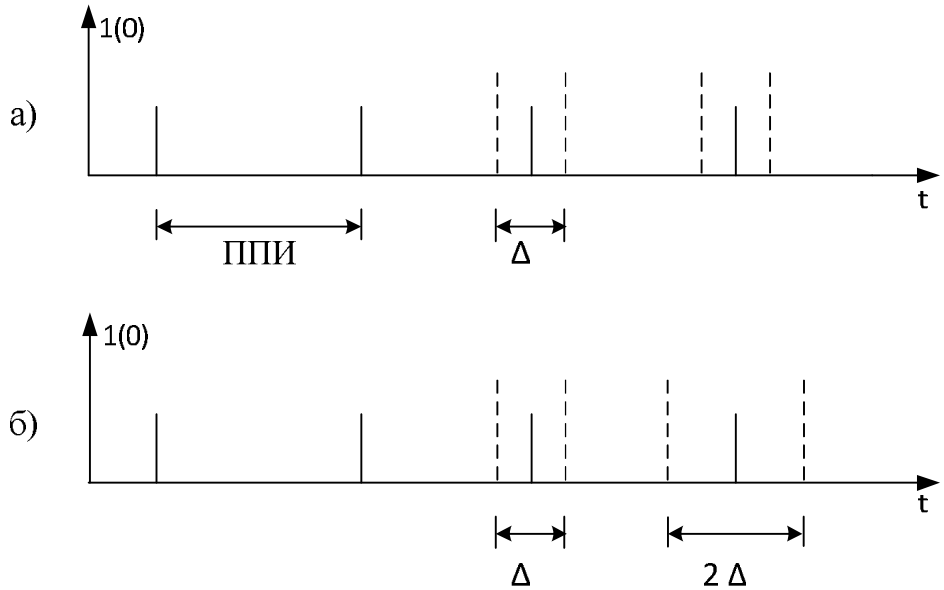


Рис. 3. Предполагаемая (*а*) и реальная (*б*) последовательность

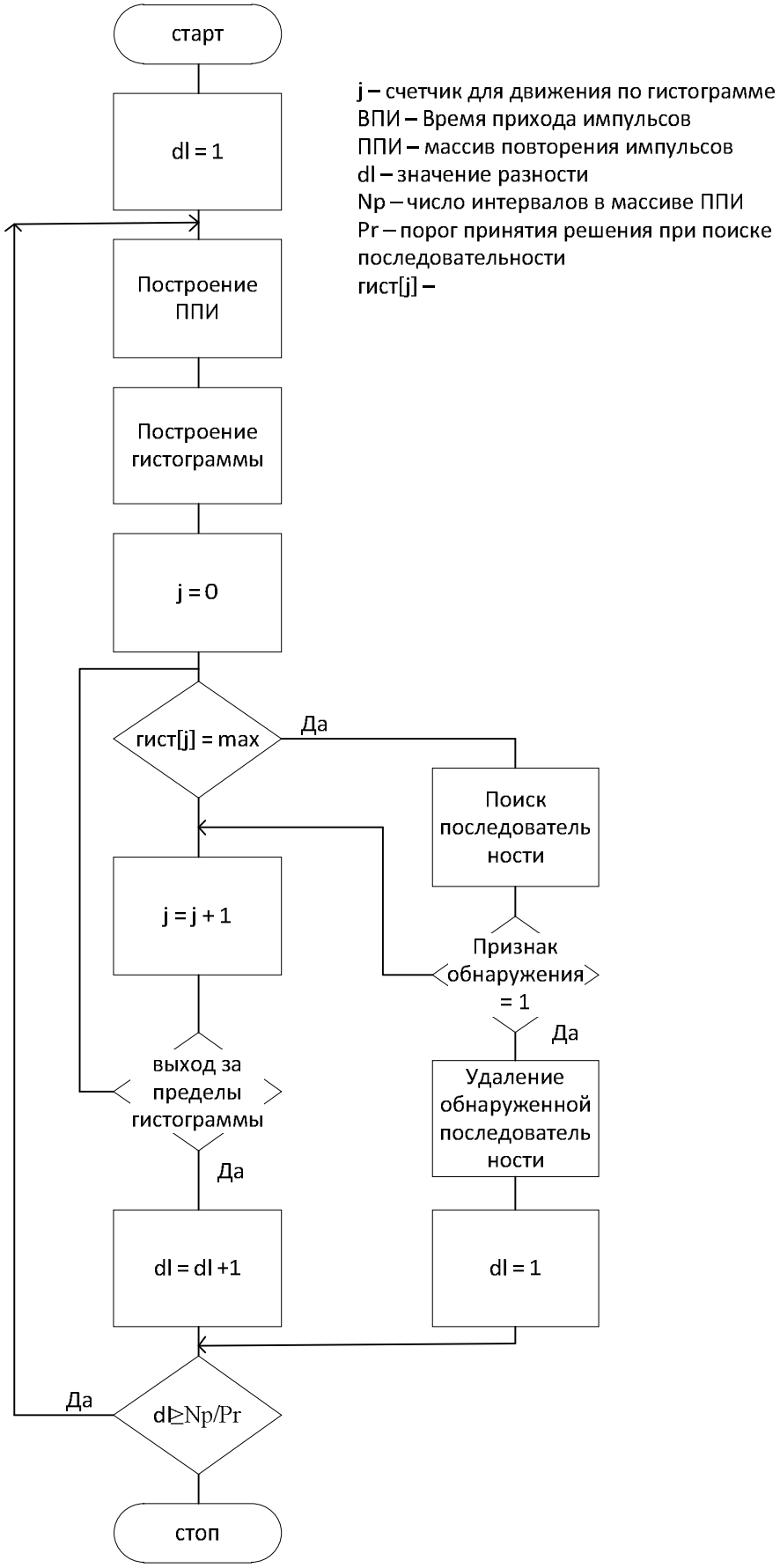


Рис. 4. Алгоритм временной селекции

Суть метода состоит в следующем. На первом шаге после построения массива ППИ формируется массив значений гистограммы по разностям между соседними ВПИ исходной выборки. Назовем эту гистограмму и уровень разности – первыми.

В результате построения гистограммы получаем массив полигонов гистограммы, характеризующихся минимальным, максимальным и средним значениями ППИ, а также амплитудой (количеством таких ППИ). Затем для амплитуд, превышающих выбранный порог, сравнивается величина амплитуды полигонов ППИ с порогом. Если результат превышает порог, поиск последовательности происходит с ППИ, соответствующим выбранному среднему значению. Если последовательность не обнаружена, формируется массив значений гистограммы по разностям между 1-м ВПИ и 3-м, 2-м и 4-м (уровень разности – второй) и т. д.

Уровень разности увеличивается пока не произойдет обнаружение или пока не будет достигнуто пороговое значение разности (определяется на основе априорных знаний об источнике импульсов). При обнаружении последовательности ее импульсы удаляются из исходной выборки, что облегчает дальнейшую обработку, а гистограмма (уровень разности) обнуляется.

Для проверки работоспособности и тестирования метода была реализована программа на языке C++ и подобраны неоднородные выборки [10].

Результаты тестовой оценки процедур и метода селекции представлены в таблице.

Тестовая выборка включала в себя 6 перемеженных последовательностей: две простые и четыре составные с числом интервалов в кадре, равным 3, 5, 7, 4 соответственно. Из результатов исследования следует, что предложенный метод позволяет повысить достоверность выделения импульсных последовательностей в тех случаях, когда традиционные подходы дают ошибочные решения.

Таким образом, метод временной селекции функционально объединяет процедуры построения гистограммы разности и поиска по ВПИ, которые выполняются на каждом уровне разности.

Достоверность селекции импульсных последовательностей в смешанных выборках повышается путем использования метода временной селекции. Предложенный метод селекции целесообразно использовать в подсистеме анализа и обработки смешанных импульсных последовательностей.

Результаты тестирования процедур и метода селекции

	Процедура/метод		
	Гистограмма	Поиск по ВПИ	Метод временной селекции
Эффективность (правильные обнаружения/ число ошибок)	4/2	5/1	6/0

Для повышения быстродействия выделения импульсных последовательностей целесообразно перейти от программной реализации метода селекции к реализации ее на микропроцессорах семейства TMS.

Список литературы

1. Браммер Ю. А., Пащук И. Н. Импульсные и цифровые устройства. М.: Высш. шк., 2003. 351 с.

2. Полторацкий С. Н. Построение устройств измерения параметров импульсов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. Курск, 2015. С. 287–289.

3. Пат. 2592730 Российская Федерация, МПК G 01R 29/00. Устройство измерения амплитудно-временных и частотных параметров сигналов / Дурнев С. Л., Полторацкий С. Н. Опубл. 2016.

4. Пат. 2219653 Российская Федерация, МПК H03K5/26, G06G7/25. Селектор временных интервалов / Андреев Д. В. Опубл. 2003.

5. Пат. 2235418 Российская Федерация, МПК H03K5/19. Селектор импульсной последовательности / Смирнов Д. Ф., Карапетян С. Л., Юрков М. Г., Глухов А. А. Опубл. 2004.

6. Patent 4924501 United States, МПК H04M 3/22, H04M 3/42. Dial pulse selection / David S. Cheeseman, Arthur J. Wright. 1990.

7. Patent 3573493 United States, МПК H03K 5/20. Selection circuit for selecting pulses from a pulse sequence in dependence on the inetrpulse interval therebetween / Gerhard Kamin. 1968.

8. Patent 3733475 United States, МПК G06f 7/52, H03k 29/00. Digital pulse sequence divider / Jochen Haeusler, Wolfgang Wagnerberger. 1973.

9. Patent 3916253 United States, МПК H05B 37/02. Pulse distribution system / William A. Driscoll. 1975.

10. Бурилич И. Н., Журавлева Е. В., Скрипкина Е. В. Задача проверки однородности двух независимых выборок // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 1(18). С. 62–66.

Поступила в редакцию 06.10.17

UDC 621.37

S. N. Poltoratskiy, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: merlinserg46@gmail.com)

V. S. Panishchev, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

METHOD OF TEMPORARY SELECTION OF PULSE SEQUENCES IN DEVICES FOR PULSE SIGNALS PROCESSING

The perspective of use of the simplest selectors in processing devices of pulse signals is considered. The known methods and devices of selection possess a row of essential shortcomings. In practice selection, as a rule, consists of several sequences belonging to different sources. The purpose of selection is in that on the basis of the analysis of impulse sample characteristics to recover the maximum number of the personal sequences.

The method of temporal selection on pulse responses allowing to select a priori unknown determined impulse sequences from the mixed selections by means of procedures of creation of the histogram of a difference and search in temporal parameters is offered. The mathematical description of these procedures and also the

algorithm realizing the described method is provided. Arrival of each pulse to the sequences is considered as a separate event. Pulse repetition cycles are basic data for creation of the histogram of a difference. Detection of the period of the sequence happens on the basis of the given threshold criterion. The sequence with the found period is deleted from selection then the procedure repeats before achievement of criterion of the end of selection.

On the basis of a method the test program is developed for a computer. The results of its control testing confirming efficiency of a method are provided. The selection consisting of six relow-flow sequences with different periods was exposed to control testing. It is expedient to use the offered method of selection in a subsystem of the analysis and processing of the mixed impulse sequences for increase in reliability of selection of the impulse sequences in the mixed selections. By results of selection the selected impulse sequences will be exposed further to independent processing. The algorithm can be realized at the hardware level.

Key words: *parameters of signal, pulse sequences, autocorrelation function, histogram, selection.*

For citation: Poltoratskiy S. N., Panishchev V. S. Method of temporary selection of pulse sequences in devices for pulse signals processing. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 41–48 (in Russ.).

Reference

1. Brammer Yu. A., Pashchuk I. N. Impul'snyye i tsifrovyye ustroystva. Moscow, Vyssh. shk., 2003. 351 p.

2. Poltoratskiy S. N. Postroyeniye ustroystv izmereniya parametrov impul'sov. Optiko-elektronnyye pribory i ustroystva v sistemakh raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazheniy i simvol'noy informatsii. Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Kursk, 2015, pp. 287–289 (in Russian).

3. Durnev S. L., Poltoratskiy S. N. Ustroystvo izmereniya amplitudno-vremennykh i chastotnykh parametrov signalov. Patent RF, no. 2592730, 2016.

4. Andreyev D. V. Selektor vremennykh intervalov. Patent RF, no. 2219653, 2003.

5. Smirnov D. F., Karapetyan S. L., Yurkov M. G., Glukhov A. A. Selektor impul'snoy posledovatel'nosti. Patent RF, no. 2235418, 2004.

6. David S. Cheeseman, Arthur J. Wright. Dial pulse selection. Patent United States, no. 4924501, 1990.

7. Gerhard Kamin. Selection circuit for selecting pulses from a pulse sequence in dependence on the inetrpulse interval therebetween. Patent United States, no. 3573493, 1968.

8. Jochen Haeusler, Wolfgang Wagnerberger. Digital pulse sequence divider. Patent United States, no. 3733475, 1973.

9. William A. Driscoll. Pulse distribution system. Patent United States, no. 3916253, 1975.

10. Burilich I. N., Zhuravleva Ye. V., Skripkina E. V. Zadacha proverki odnorodnosti dvukh nezavisimykh vyborok. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 1(18), pp. 62–66.

УДК 519.6, 532.5

А. В. Корнаев, канд. техн. наук, доцент, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (Орёл, Россия) (e-mail: rusakor@inbox.ru)

Е. П. Корнаева, канд. физ.-мат. наук, доцент, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (Орёл, Россия) (e-mail: lenoks_box@mail.ru)

Л. А. Савин, д-р техн. наук, профессор, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева (Орёл, Россия) (e-mail: savin@ostu.ru)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ РЕЙНОЛЬДСА ПОСРЕДСТВОМ ЕСТЕСТВЕННОЙ АДАПТАЦИИ СЕТКИ В БИЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

Уравнение Рейнольдса имеет ряд важных технических приложений в гидродинамике. В частности, оно используется для исследования течений вязких сред в тонких кольцевых каналах применительно к подшипникам жидкостного трения и уплотнениям. В данной работе представлен вывод обобщенного уравнения Рейнольдса для случая течения вязкой сжимаемой среды в зазоре между двумя цилиндрами с учетом возможного изменения вязкости в окружном, осевом и радиальном направлении, а плотности в окружном и осевом направлении. Отличительной особенностью является то, что вывод обобщенного уравнения Рейнольдса выполнен в бицилиндрических координатах. Такой выбор координат упрощает задание граничных условий и пределов интегрирования благодаря совпадению изоповерхностей координат с поверхностями цилиндров, а также создает условия естественной адаптации расчетной сетки при дискретизации расчетной области благодаря переменности коэффициентов Ламе. Для предложенной математической модели разработан алгоритм численного решения на основе метода конечных разностей и программа его реализации. Программа построена по принципам, сочетающим подходы структурного и объектно-ориентированного программирования. Модули программы образуют иерархическую структуру по уровням модели исследуемого объекта, а наиболее сложная часть программы по расчету полей термомеханических величин образована по принципу наследуемых классов. Проверка разработанных моделей и тестирование программы осуществлялись сравнением результатов численных решений с известным аналитическим решением для случая двухмерного течения несжимаемой ньютоновской жидкости между несоосными цилиндрами условно бесконечной длины. Результаты показали повышение точности численного решения и положительное действие эффекта естественной адаптации сетки в бицилиндрических координатах.

Ключевые слова: *уравнение Рейнольдса, бицилиндрические координаты, метод конечных разностей, поле давлений, коэффициент трения, объектно-ориентированное программирование.*

Ссылка для цитирования: Корнаев А. В., Корнаева Е. П., Савин Л. А. Повышение точности численного решения уравнения Рейнольдса посредством естественной адаптации сетки в бицилиндрических координатах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 49–58.

***

Введение

Течение вязкой несжимаемой жидкости в наиболее общем виде описывается уравнением Навье-Стокса. Однако решение этого уравнения даже численными методами достаточно сложно из-за его нелинейности. В случае исследования течения жидкости в тонком канале еще одной сложностью является дискретизация области, так как приблизительно равный по всем направлениям дискретный шаг требует значительного количества разбиений. Поэтому в подобных задачах наиболее распространено использование уравнения Рейнольдса.

С точки зрения прикладной гидродинамики проблема повышения точности численного решения уравнения Рейнольдса и уменьшения размерности расчетной сетки особенно актуальна в решении задач нелинейной динамики

роторных систем с подшипниками жидкостного трения и бесконтактными уплотнениями. Поэтому одной из основных предпосылок вывода обобщенного уравнения Рейнольдса в бицилиндрических координатах была гипотетическая возможность естественной адаптации расчетной сетки в направлении окружной координаты.

Концептуальная модель и математическая модель

Рассматривается напорно-сдвиговое течение (рис. 1) вязкой жидкости в тонком кольцевом канале, образованном двумя несоосными цилиндрами, внешний неподвижен, а внутренний вращается с некоторой угловой скоростью в установившемся режиме. Ось внутреннего цилиндра смещена параллельно оси внешнего на некоторую величину эксцентриситета. Жидкость подается в канал под известным давлением p_0 с одного торца и вытекает с противоположного под давлением p_1.

Процесс течения вязкой жидкости описывается уравнениями несжимаемости и Навье-Стокса [1]. Рассматриваются течения в тонких кольцевых каналах применительно к подшипникам жидкостного трения и щелевым гидродинамическим уплотнениям с малым относительным радиальным зазором, для которых справедливы допущения О. Рейнольдса [2]. В таком случае проекции уравнения Навье-Стокса значительно упрощаются и обычно записываются в декартовой системе координат [1] без учета криволинейности области течения. Для аналогичных допущений уравнения Навье-Стокса и неразрывности можно записать в бицилиндрических координатах [3].

Отличительной особенностью бицилиндрических координат является то, что изоповерхностями одной из координат являются цилиндры со смещенными центрами. Поэтому в бицилиндрических координатах область течения между несоосными цилиндрами имеет форму прямоугольного параллелепипеда $\beta_i^- \le \beta_i \le \beta_i^+$, что упрощает задание граничных условий и пределов интегрирования (рис. 1).

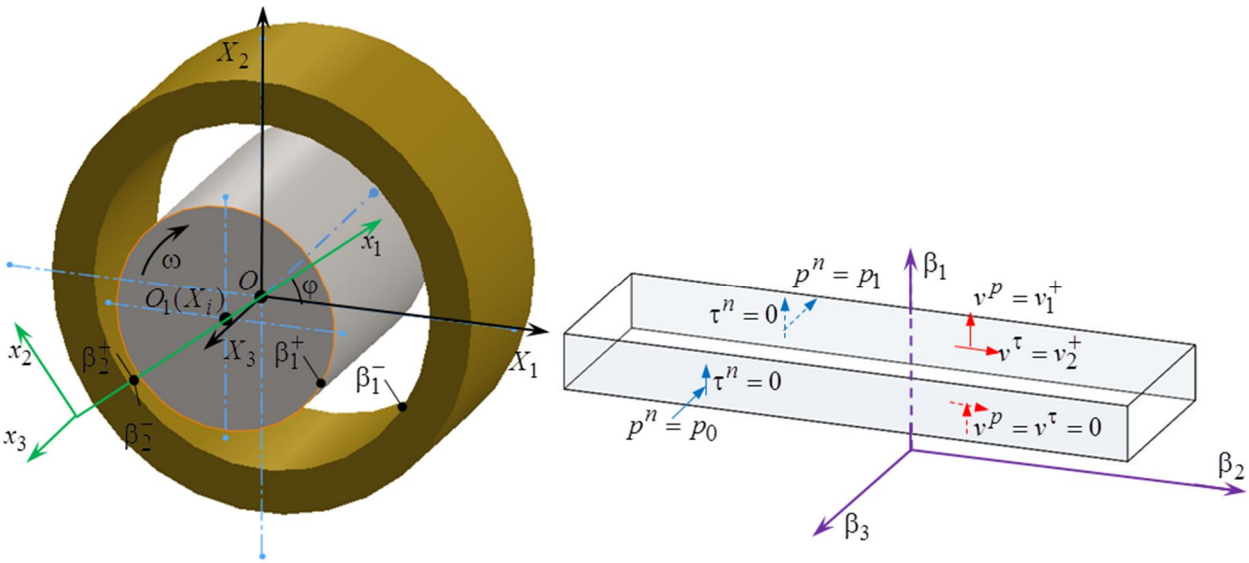


Рис. 1. Область течения в кольцевом канале и ее отображение в бицилиндрических координатах

С учетом допущений Рейнольдса и правил выполнения дифференциальных операций в криволинейных координатах [4], проекции уравнения Навье-Стокса преобразуются к следующему виду:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial p}{\partial \beta_1} = 0, \\ \dfrac{\partial p}{\partial \beta_2} = \dfrac{1}{H^2}\dfrac{\partial}{\partial \beta_1}\left[\mu H^2 \dfrac{\partial}{\partial \beta_1}\left(\dfrac{v_2}{H}\right)\right], \\ \dfrac{\partial p}{\partial \beta_3} = \dfrac{1}{H^2}\dfrac{\partial}{\partial \beta_1}\left[\mu \dfrac{\partial v_3}{\partial \beta_1}\right], \end{cases} \quad (1)$$

где β_i – радиальная, окружная и осевая бицилиндрические координаты соответственно ($i = 1, 2, 3$);

$H = H(\beta_1, \beta_2)$ – функция коэффициента Ламе.

Граничные условия для компонент скорости примут вид

$$\beta_1 = \beta_1^- : \quad \vec{v} = 0,$$
$$\beta_1 = \beta_1^+ : \quad \vec{v} = \left[\left[v_1^+ \quad v_2^+ \quad 0\right]\right],$$

где $v_i^+ = v_i^+(\beta_2)$ – компоненты скорости поверхности шипа (см. рис. 1).

Граничные условия для функции давления определяются как давление слива и подачи по осевой координате, а по окружной справедливо условие периодичности:

$$\begin{aligned} &\beta_3 = \beta_3^- : \quad p = p_0, \\ &\beta_3 = \beta_3^+ : \quad p = p_1, \\ &p(0, \beta_3) = p(2\pi, \beta_3), \\ &\frac{\partial p}{\partial \beta_1}(0, \beta_3) = \frac{\partial p}{\partial \beta_1}(2\pi, \beta_3). \end{aligned} \quad (2)$$

С учетом первого уравнения второе и третье уравнения (1) можно проинтегрировать по β_1:

$$\begin{aligned} &\mu H^2 \frac{\partial}{\partial \beta_1}\left(\frac{v_2}{H}\right) = \frac{\partial p}{\partial \beta_2} f_0 + C_1; \\ &\mu \frac{\partial v_3}{\partial \beta_1} = \frac{\partial p}{\partial \beta_3} f_0 + D_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где $f_0 = f_0(\beta_1, \beta_2) = \int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1} H^2 d\beta_1$ – дополнительная функция;

$C_1 = C_1(\beta_2, \beta_3)$, $D_1 = D_1(\beta_2, \beta_3)$ – постоянные интегрирования.

Следует отметить, что величины $\mu \dfrac{\partial}{\partial \beta_1}\left(\dfrac{v_2}{H}\right)$ и $\dfrac{\mu}{H}\dfrac{\partial v_3}{\partial \beta_1}$, которые несложно выразить из (2), являются компонентами девиатора напряжений s_{12} и s_{13} соответственно.

Повторное интегрирование (2) по радиальной координате с учетом граничных условий дает следующие выражения для двух компонент скоростей:

$$\begin{aligned} &\frac{v_2}{H} = \frac{\partial p}{\partial \beta_2} f_1 + C_1 f_2; \\ &v_3 = \frac{\partial p}{\partial \beta_3} f_3 + D_1 f_4, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$f_1(\beta_i) = \int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1} \frac{f_0}{\mu H^2} d\beta_1,$$

$$f_2(\beta_i) = \int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1} \frac{d\beta_1}{\mu H^2},$$

$$f_3(\beta_i) = \int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1} \frac{f_0}{\mu} d\beta_1,$$

$$f_4(\beta_i) = \int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1} \frac{d\beta_1}{\mu},$$

$$C_1(\beta_2, \beta_3) = \frac{v_2^+}{f_2^+ H^+} - \frac{\partial p}{\partial \beta_2}\frac{f_1^+}{f_2^+},$$

$$D_1(\beta_2, \beta_3) = -\frac{\partial p}{\partial \beta_3}\frac{f_3^+}{f_4^+},$$

$$f_i^+(\beta_2, \beta_3) = f_i(\beta_1^+, \beta_2, \beta_3),$$

$$H^+(\beta_2) = H(\beta_1^+, \beta_2).$$

Уравнение неразрывности в скалярной форме с учетом правила опре-

деления дивергенции в криволинейных координатах [4] примет следующий вид:

$$H^2\frac{\partial\rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho v_1 H)}{\partial\beta_1}+\frac{\partial(\rho v_2 H)}{\partial\beta_2}+$$
$$+\frac{\partial(\rho v_3 H^2)}{\partial\beta_3}=0.$$

Интегрирование по координате β_1 в интервале $\beta_1^-\le\beta_1\le\beta_1^+$ с учетом кинематических граничных условий и выражений для скоростей, а также с учетом особенности второго слагаемого: $\int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1^+}\frac{\partial(\rho v_1 H)}{\partial\beta_1}d\beta_1=\rho v_1^+H^+$, при неизменности плотности по толщине приведет уравнение неразрывности к обобщенному уравнению Рейнольдса для случая нестационарного течения вязкой сжимаемой среды сложной реологии, записанному в бицилиндрических координатах:

$$\frac{\partial}{\partial\beta_2}\left[\rho\frac{\partial p}{\partial\beta_2}\left(F_1-\frac{f_1^+}{f_2^+}F_2\right)\right]+$$
$$+\frac{\partial}{\partial\beta_3}\left[\rho\frac{\partial p}{\partial\beta_3}\left(F_3-\frac{f_3^+}{f_4^+}F_4\right)\right]= \qquad (5)$$
$$=-\frac{\partial}{\partial\beta_2}\left(\rho\frac{v_2^+}{f_2^+H^+}F_2\right)-\rho v_1^+H^+-\frac{\partial\rho}{\partial t}f_0^+,$$

где $F_i(\beta_2,\beta_3)=\int\limits_{\beta_1^-}^{\beta_1^+}H^2 f_i d\beta_1\ \ (i=1,...,4)$.

Решением обобщенного уравнения Рейнольдса (5) определяется поле давлений.

Интегрированием поля давлений можно найти компоненты результирующей гидродинамической силы[1]:

$$P_1=\int\limits_{\beta_3^-}^{\beta_3^+}\int\limits_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}H^+p\cos(\gamma)\,d\beta_2 d\beta_3;$$
$$P_2=\int\limits_{\beta_3^-}^{\beta_3^+}\int\limits_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}H^+p\sin(\gamma)\,d\beta_2 d\beta_3, \qquad (6)$$

где γ – угол положения окрестности точки β_i на поверхности шипа в координатах X_j (см. рис. 1).

Компоненты девиатора напряжений можно выразить из (4):

$$s_{12}=\frac{\partial p}{\partial\beta_2}\frac{f_0}{H^2}+\frac{C_1}{H^2};$$
$$s_{13}=\frac{\partial p}{\partial\beta_3}\frac{f_0}{H}+\frac{D_1}{H}. \qquad (7)$$

Зная касательное напряжение s_{12} (7) на поверхности шипа, можно найти результирующий момент силы трения:

$$M=r\int\limits_{\beta_3^-}^{\beta_3^+}\int\limits_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}(s_{12}H)\Big|_{\beta_1=\beta_1^+}d\beta_2 d\beta_3=$$
$$=r\int\limits_{\beta_3^-}^{\beta_3^+}\int\limits_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}\frac{1}{H^+}\left(\frac{\partial p}{\partial\beta_2}\left(f_0-\frac{f_1^+}{f_2^+}\right)+\frac{v_2^+}{f_2^+H^+}\right)\Bigg|_{\beta_1=\beta_1^+}d\beta_2 d\beta_3. \qquad (8)$$

Дискретная математическая модель и программа расчета

Обобщенное уравнение Рейнольдса (5) в математической модели (5), (2) представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных, решение которого определяется численно.

Для построения дискретного аналога (5) в каждой точке расчетной области выполняется аппроксимация производных первого и второго порядка центральными разностями вида [5]:

$$\frac{\partial p}{\partial\beta}\approx\frac{p^{i+1}-p^{i-1}}{2\Delta\beta},\ \frac{\partial^2 p}{\partial\beta^2}\approx\frac{p^{i+1}-2p^i+p^{i-1}}{(\Delta\beta)^2}.$$

Тогда дискретный аналог уравнения Рейнольдса можно записать в форме

$$\Lambda p=b, \qquad (9)$$

[1] Вклад касательных напряжений на поверхности шипа в результирующую силу считается незначительным.

где Λ – матрица коэффициентов при неизвестных;

p – матрица неизвестных;

b – матрица значений правых частей дискретных уравнений.

Матричное уравнение (9) можно решить одним из известных методов [5].

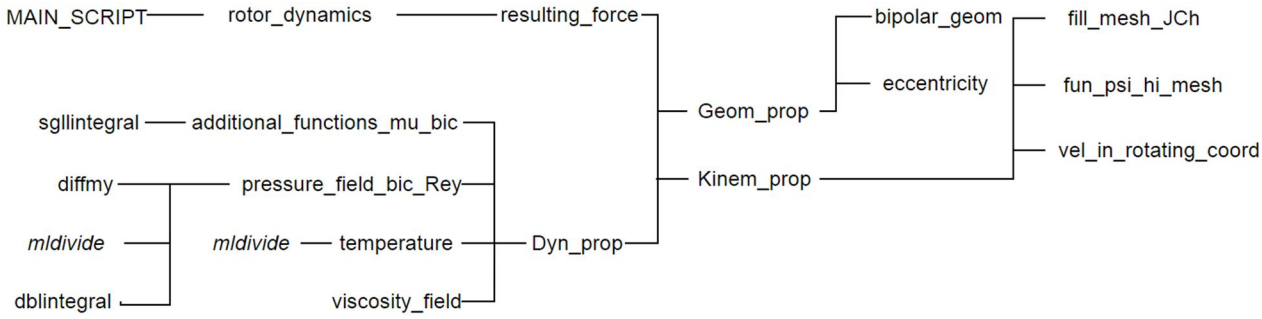
На основе дискретной математической модели решения обобщенного уравнения Рейнольдса была разработана программа расчета основных характеристик течения среды в зазоре между вращающимися цилиндрами. Использовался язык программирования GNU Octave [6], совместимый с более известным языком программирования MATLAB [7]. Среды программирования MATLAB и GNU Octave содержат ряд встроенных функций, в том числе символьного решения алгебраических уравнений, решения систем линейных алгебраических уравнений и многие другие. В настоящее время обе среды программирования развивают направление объектно-ориентированного программирования, что позволяет упростить написание сложных программ и увеличить быстродействие их выполнения [8].

Основным назначением разработанной программы является расчет полей давлений и касательных напряжений на поверхности вращающегося цилиндра, а также интегральных характеристик: результирующей гидродинамической силы, силы трения, расхода и других. С функциональной точки зрения программа – это среда для проблемно-ориентированного программирования на MATLAB-подобном открытом языке GNU-Octave, представляющая пользователю структурированный открытый код с возможностью наращивания функциональных возможностей программы.

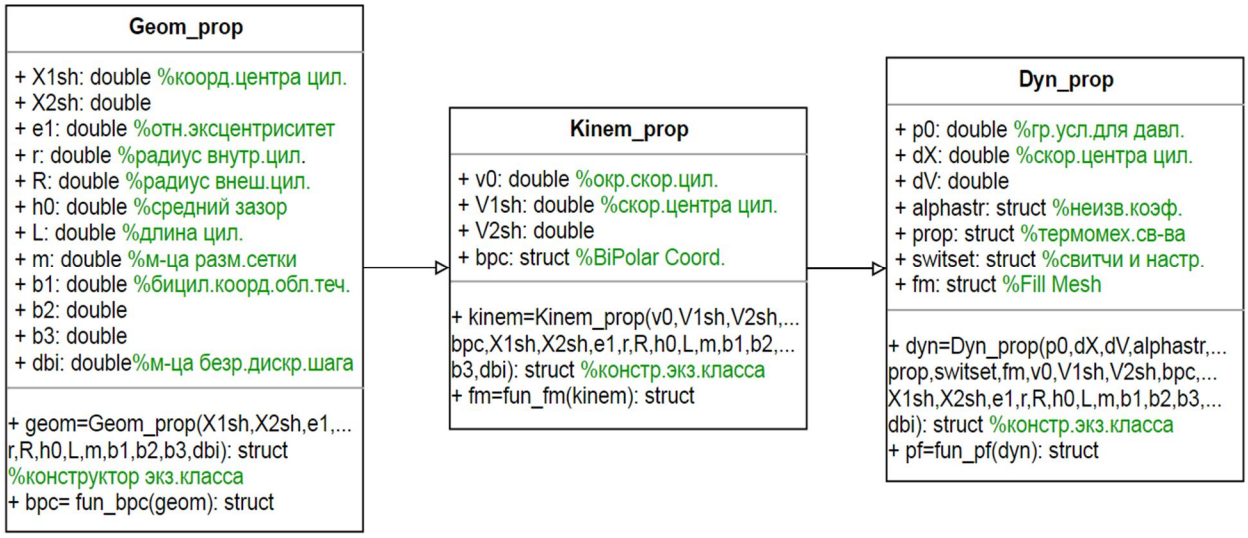
Иерархическая структура программы представлена на рисунке 2, *а*. В основном скрипт-файле «MAIN_SCRIPT» задаются исходные данные и настройки расчета, вызываются классы и функции, в том числе встроенные функции среды программирования, выводятся результаты расчета в графическом и текстовом виде. Для наращивания функциональных возможностей программы в структуре предусмотрена возможность решения задач динамики (функция «rotor_dynamics»), учета неоднородности вязкости среды («additional_function_mu») и неизотермичности течения («temperature»). Функция «resulting_force» предназначена для расчета результирующих гидродинамических сил.

Основой программы являются три класса: «Geom_prop», «Kinem_prop», «Dyn_prop». Классы взаимодействуют по принципу наследования (рис. 2, *б*). В них производится расчет геометричеких параметров в бицилиндрических координатах («bipolar_geom», «eccentricity»), кинематических параметров, в том числе полей скоростей для точного решения задачи Жуковского-Чаплыгина о плоском течении («fill_mesh_JCh», «fun_psi_hi_mesh», «vel_in_rotating_coord»), а также динамических параметров, в том числе полей давлений решением обобщенного уравнения Рейнольдса («pressure_field_bic_Reya»).

Используются дополнительные функции численного дифференцирования и интегрирования на основе аппроксимации полиномом второй степени («diffmy», «sglintegral», «dblintegral»), а также встроенная функция решения системы линейных алгебраических уравнений («mldivide»).



а



б

Рис. 2. Структура программы: *а* – схема иерархии; *б* – диаграмма классов

Вызов и запуск программы осуществляется открытием и запуском расчета для файла «MAIN_SCRIPT» в одной из сред программирования (MATLAB или GNU Octave). Системные требования определяются требованиями используемой среды программирования. В качестве входных данных задаются размеры области течения, скорость и положение внутреннего цилиндра, свойства сплошной среды, а также настройки параметров решения и вывода результатов расчета. Вывод результатов осуществляется в текстовой форме матриц полей давлений, скоростей и других величин, а также в графической форме, в том числе анимационной для представления векторных полей скоростей по толщине слоя сплошной среды.

Тестирования программы и обсуждение результатов

Эффект естественной адаптации расчетной сетки достаточно продемонстрировать для случая двухмерного течения среды, которое соответствует течению между двумя условно бесконечно длинными цилиндрами. Поэтому тестирование разработанной математической модели и программы осуществлялось сравнением численных решений задачи о двумерном течении вязкой несжимаемой жидкости в зазоре между несоосными цилиндрами с известным аналитическим решением Жуковского-Чаплыгина [9].

На рисунке 3 показан эффект естественной адаптации шага сетки, который виден по сгущению линий эпюры давлений на стенке внутреннего цилиндра в области малого зазора при увеличении эксцентриситета. Справедливо предположить, что уменьшение шага в области малого зазора и, как следствие, области резкого изменения давления должно положительно сказаться на точности расчета.

В качестве условий тестовой задачи были приняты следующие. Рассматривалось течение несжимаемой жидкости постоянной вязкости $\mu = 0.0111$ Па·с в зазоре между неподвижным и вращающимся с постоянной скоростью $n = 1000$ об/мин цилиндром с различным относительным эксцентриситетом $e/h_0 = 0.1...0.9$. Радиус вращающегося цилиндра $r = 2$ см, средний зазор $h_0 = 69...170$ мкм.

Численные решения были получены для модели (9) с видоизмененными граничными условиями:

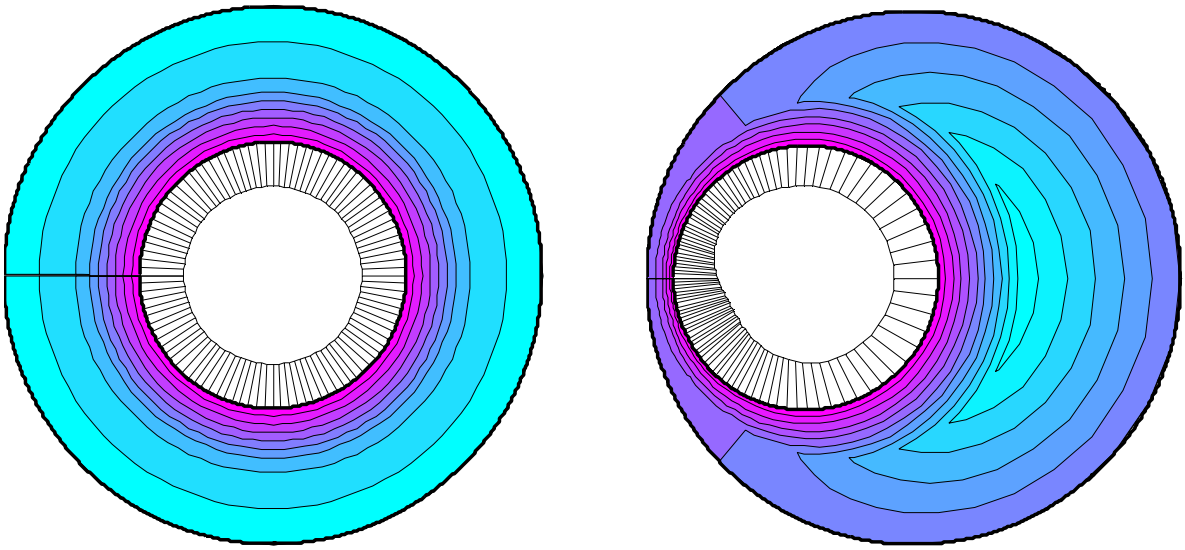
$$p(-\pi) = p(\pi) = 1 \text{ МПа}.$$

Изменения обусловлены необходимостью понизить мерность течения с трехмерного до двухмерного. Использовалось различное количество разбиений m по направлению окружной координаты.

Для сравнения дополнительно были получены численные решения на регулярной сетке для известного обобщенного уравнения Рейнольдса, записанного в декартовых координатах [2]. Оба численных решения сравнивались с точным аналитическим решением Жуковского-Чаплыгина [9].

На рисунке 4 представлены результаты сравнения точности численного решения обобщенного уравнения Рейнольдса в бицилиндрических и декартовых координатах.

Определялась относительная погрешность δ_f расчета коэффициента трения $f = M/(rP_2)$ с учетом (6) и (8).



а *б*

Рис. 3. Линии тока жидкости и эпюры давлений с естественной адаптацией шага сетки: *а* – при $e \to 0$; *б* – при *e* = 0,9

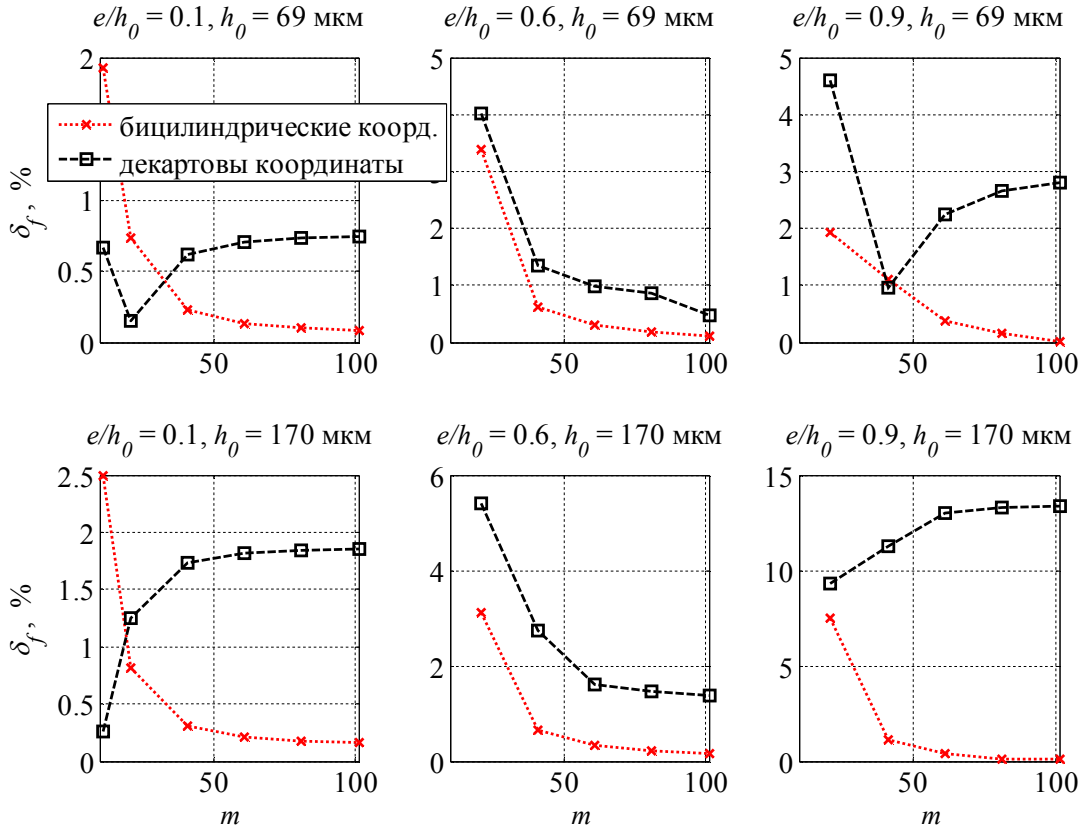


Рис. 4. Сравнение точности численного решения уравнения Рейнольдса в бицилиндрических и декартовых координатах

Из результатов видно, что при малых и средних относительных эксцентриситетах e/h_0 погрешность в целом сравнима. С ростом величины относительного эксцентриситета точность численного решения в бицилиндрических координатах становится выше во всем исследуемом диапазоне размерности сетки $10^1 \le m \le 10^2$. При большом относительном эксцентриситете $e/h_0 = 0.9$ точность численного решения в бицилиндрических координатах становится существенно выше.

С ростом среднего зазора h_0 или безразмерного геометрического параметра h_0/r преимущество применения бицилиндрических координат становится более существенным. Так, при $e/h_0 = 0.9$, $h_0 = 170$ мкм и $m = 10^2$ погрешность расчета коэффициента трения для численного решения уравнения Рейнольдса в бицилиндрических и декартовых координатах составила 0.1% и 13.4% соответственно.

Можно заключить, что полученное обобщенное уравнение Рейнольдса в бицилиндрических координатах по сравнению с известным обобщенным уравнением Рейнольдса в декартовых координатах наилучшим образом описывает геометрию области течения сплошной среды в канале между несоосными цилиндрами и позволяет повысить точность численного интегрирования за счет эффекта естественной адаптации расчетной сетки в области сужения канала. Полученное обобщенное уравнение Рейнольдса может быть применено для решения задач о квази-

стационарном неизотермическом течении сред сложной реологии.

Авторский вклад

А.В. Корнаев вывел обобщенное уравнение Рейнольдса в бицилиндрических координатах с учетом переменных теплофизических свойств среды, разработал алгоритм и программу реализации решения уравнения. Е.П. Корнаева сформировала концептуальную модель, разработала численную модель и блок программы численного решения уравнения Рейнольдса. Л.А. Савин осуществлял постановку задач и выполнял общее руководство проведенной научной работой.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта № 14.Z56.17.1643-МК по Гранту Президента РФ.

Список литературы

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 870 с.
2. Hori Yukio. Hydrodynamic Lubrication. Hardcover, 2006. 250 p.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. 832 с.
4. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М.: Наука, 1965. 424 с.
5. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы: учебное пособие для физ.-мат. специальностей вузов. 2-е изд. М.: Физматлит, 2002. 630 с.
6. GNU Octave [Электронный ресурс]. URL: http://www.gnu.org/software/octave (дата обращения: 18.11.2017).
7. Object-Oriented Programming. MATLAB R2017a. Massachusetts: The MathWorks Inc, 2017. 838 p.
8. MATLAB [Электронный ресурс]. URL: https://matlab.ru/products/ MATLAB.
9. Слёзкин Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955. 520 с.

Поступила в редакцию 10.10.17

UDC 519.6, 532.5

A. V. Kornaev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: rusakor@inbox.ru)

E. P. Kornaeva, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: lenoks_box@mail.ru)

L. A. Savin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: savin@ostu.ru)

IMPROVEMENT OF ACCURACY OF THE NUMERICAL SOLUTION OF THE REINOLDS EQUATION BY MEANS OF NATURAL ADAPTATION OF THE GRID IN BICYCLINDRICAL COORDINATES

The Reynolds equation has a number of important technical applications in hydrodynamics. In particular, it is used to study viscous fluid flows in a thin annular channels in fluid friction bearings and seals. In this paper we present the deduction of the generalized Reynolds equation for the case of a viscous compressible medium flowing in the gap between two cylinders, taking into account possible changes in viscosity in the circumferential, axial and radial directions, and density in the circumferential and axial directions. A distinctive feature is that the derivation of the generalized Reynolds equation is performed in bicylindrical coordinates. This choice of coordinates simplifies the specification of boundary conditions and integration limits due to the coincidence of the isosurfaces of coordinates with the surfaces of the cylinders. It is also creates conditions for the natural adaptation of the computational grid for the discretization of the computational region due to the variability of the Lame coefficients. For the proposed mathematical model, an algorithm for numerical solution based on the

method of finite differences and a program for its implementation have been developed. The program is built on principles that combine approaches of structural and object-oriented programming. The modules of the program form a hierarchical structure according to the levels of the model of the object under study, and the most complex part of the program for calculating the fields of thermomechanical quantities is formed by the principle of inherited classes. Verification of the developed models and testing of the program was carried out by comparing the results of numerical solutions with the known analytical solution for the case of a two-dimensional flow of an incompressible Newtonian fluid between two eccentric cylinders of conditionally infinite length. The results showed an increase in the accuracy of the numerical solution and the positive effect of the natural grid adaptation effect in bicylindrical coordinates.

Key words: *Reynolds equation, bicylindrical coordinates, finite difference method, pressure field, friction coefficient, object-oriented programming.*

For citation: Kornaev A. V., Kornaeva E. P., Savin L. A. Improvement of Accuracy of the Numerical Solution of the Reinolds Equation by Means of Natural Adaptation of the Grid in Bicyclindrical Coordinates. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 49–58 (in Russ.).

References

1. Lojcyanskij L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza. Moscow, Drofa Publ., 2003, 870 p.
2. Hori Yukio. Hydrodynamic Lubrication. Hardcover, 2006. 250 p.
3. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i inzhenerov. Moscow, Nauka Publ., 1974, 832 p.
4. Kochin N. E. Vektornoe ischislenie i nachala tenzornogo ischisleniya. Moscow, Nauka Publ., 1965. 424 p.
5. Bahvalov N. S., Zhidkov N. P., Kobel'kov G. M. Chislennye metody. 2th ed. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002. 630 p.
6. GNU Octave [Ehlektronnyj resurs]. URL: http://www.gnu.org/software/octave (accessed 18.11.2017).
7. Object-Oriented Programming. MATLAB R2017a. Massachusetts: The MathWorks Inc, 2017. 838 p.
8. MATLAB [Ehlektronnyj resurs]. URL: https://matlab.ru/products/ MATLAB.
9. Slyozkin N. A. Dinamika vyazkoj neszhimaemoj zhidkosti. Moscow, Gos. izd-vo tekhniko-teoreticheskoj literatury, 1955. 520 p.

УДК 629.7.015

И. Е. Мухин, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор, заместитель генерального конструктора по инвестиционным проектам, АО «Авиаавтоматика» им. В. В.Тарасова» (Курск, Россия)

М. В. Дворников, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский испытательный центр авиационно-космической медицины и военной эргономики (Москва, Россия)

Д. С. Коптев, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: koptev@mail.ru)

ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА КАК ОДНОГО ИЗ ЗВЕНЬЕВ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭРГАТИЧЕСКОГО ТИПА «ПИЛОТ – САМОЛЕТ – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

В течение последнего десятилетия международная организация гражданской авиации (ИКАО) активно занималась разработкой и последующей реализацией новых высокоэффективных методик для решения задач по обеспечению безопасности полётов воздушных судов. Основными положениями новых методик, направленных на достижение общей безопасности воздушного движения, являются такие, как: приведение средств безопасности полётов к общим стандартам, организация взаимодействия между средствами обеспечения безопасности воздушных судов по обмену полётной информацией, поиск ресурсов для создания воздушного аэропланирования.

Однако на сегодняшний день весьма актуальной становится работа по осуществлению мониторинга физиологического состояния пилота в режиме полёта как наиболее слабого звена в биотехнической системе эргатического типа «пилот – самолёт – окружающая среда». В настоящее время в авиационной медицине существует целый ряд исследовательских средств, с помощью которых производится регистрация психофизиологических характеристик пилота на борту самолета, а затем их апостериорная обработка для определения воздействия полётных нагрузок и механизмов самолета на организм пилота.

Целью статьи является разработка концепции и метода контроля физиологического состояния пилота в процессе полёта с возможностью послеполётного анализа. Физиологический контроль обеспечивает возможность получения количественных оценок психофизиологического состояния пилота. В качестве примеров параметров, наиболее часто используемых в практике авиационной эргономики, в статье рассмотрены частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД) и уровень кислорода в крови.

Рассмотренные в статье методики регистрации и последующей оценки состояния пилота имеют техническую реализацию в виде аппаратно-программных средств для автоматической обработки психофизиологической информации. Особенностью функционирования предложенного в статье модуля является синхронизация записанных параметров пилота с бортовым временем воздушного судна.

Ключевые слова: *система управления безопасностью полётов, пилот, система «человек – машина», контроль физиологических параметров пилота.*

Ссылка для цитирования: Мухин И. Е., Дворников М. В., Коптев Д. С. Подсистема контроля физиологического состояния пилота как одного из звеньев биотехнической системы эргатического типа «пилот – самолет – окружающая среда» // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 59–69.

***

С 14 ноября 2013 г. на законодательном уровне в РФ в соответствии с требованиями международной организации гражданской авиации (ИКАО) официально действуют требования 101-й поправки по обеспечению безопасности полетов воздушных судов (ВС). Это означает, что любая организация, ответственная за типовую конструкцию или изготовление ВС, должна внедрить

систему управления безопасностью полетов (СУБП), которая бы выполняла следующие функции:

– определение рисков безопасности полетов;

– обеспечение принятия коррективных действий, необходимых для поддержания согласованного уровня безопасности полетов;

– осуществление постоянного мониторинга и регулярной оценки уровня безопасности полетов;

– повышение общей эффективности СУБП [1].

Тенденция развития современной гражданской авиации идет по пути создания высокоскоростных и маневренных самолетов за счёт увеличения мощности двигательных агрегатов и реализации сложных систем управления безопасности полетов и навигации. При этом эволюционное развитие самого человека начинает отставать от технических возможностей новой авиационной техники в плане эффективного и быстрого управления ею, а также выполнения боевых задач и противодействия большим перегрузкам при маневрах самолета.

СУБП должна включать в себя процессы, направленные на существенное снижение влияния человеческого фактора в авиационных происшествиях как минимум на 80% в течение 5–6 лет и прогнозирование отказов авиационной техники. Одним из важнейших аспектов СУБД является мониторинг состояния воздушного судна и пилота как сложной антропологической системы «человек – машина», а также регулярная оценка уровня безопасности полетов. Другим немаловажным экономическим аспектом является снижение затрат на эксплуатацию ВС, которое базируется на принципах эксплуатации по техническому состоянию и интегрированной логистической поддержки эксплуатации ВС.

Рассмотрим эти аспекты применительно к авиации. Формально-логическая схема интеграции этих аспектов представлена на рисунке 1.

Безусловно, реализация такой концепции ввиду ее многообразия и сложности должна носить поэтапный характер с постепенным наращиванием функциональной насыщенности и завершенности [2].

Рис. 1. Формально-логическая схема взаимодействия систем диагностики текущего состояния ВС и пилота с системами долговременного прогнозирования и интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации ВС

В настоящей работе предлагаются к рассмотрению научно-технические пути по разработке и внедрению системы диагностики физиологического состояния пилота в режиме полёта как одного из самых слабых звеньев биотехнической системы эргатического типа «пилот – самолет – окружающая среда». Целью статьи является разработка концепции и метода контроля физиологического состояния пилота в процессе полета с возможностью послеполетного анализа.

Данный вид контроля обеспечивает возможность получения количественных оценок психофизиологического состояния пилота. В качестве примеров параметров, наиболее часто используемых в авиационной эргономике, можно привести частоту сердечных сокращений (пульс), частоту дыхания (ЧД), а также уровень кислорода в крови.

Стоит отметить, что система мониторинга физиологического состояния пилота неразрывно связана с системами диагностики текущего состояния воздушного судна и логистической поддержки. Комплекс из этих трёх систем представляет собой единую сложную систему «человек – машина», формально-логическая схема которой представлена на рисунке 1.

В настоящее время в авиационной медицине существует целый ряд диагностических средств, с помощью которых производится снятие и регистрация указанных выше характеристик пилота, а затем их апостериорная обработка на земле для определения воздействия нагрузок полета и механизмов самолета на организм пилота.

Полеты на современных высокоскоростных самолетах гражданской авиации, а также маневренных истребителях сопровождаются интенсивным воздействием на организм пилота комплекса неблагоприятных факторов.

К их числу относят интенсивную рабочую нагрузку, большие и длительные перегрузки (5–12 ед.) с высоким градиентом нарастания, угловые ускорения, периоды околонулевых и отрицательных перегрузок продолжительностью до 30 с, перепад барометрического давления, шумы, вибрации, кратковременное кислородное голодание, выход за границы температурного диапазона, излучение и нарушение работы системы обеспечения жизнедеятельности [3].

Одновременное и последовательное воздействие этих факторов на организм может сопровождаться нарушением функционального состояния, развитием утомления и переутомления, параксизмальными расстройствами сознания, нарушениями зрительного восприятия, а также снижением уровня активности, бдительности и качества профессиональной деятельности, вплоть до полной потери профессиональной работоспособности.

Существенное влияние на состояние организма пилота оказывают пилотажные перегрузки и рабочая нагрузка по пилотированию самолетом.

Пилотажные перегрузки возникают при маневрах с ускорениями более 5 единиц и темпом нарастания от 1 до 12 единиц в секунду. При этом у пилота могут наблюдаться нарушения зрительного восприятия и параксизмальные расстройства сознания, приводящие к потере сознания и работоспособности, порой даже внезапно, без зрительных расстройств – серой, черной или красной пелены (рис. 2).

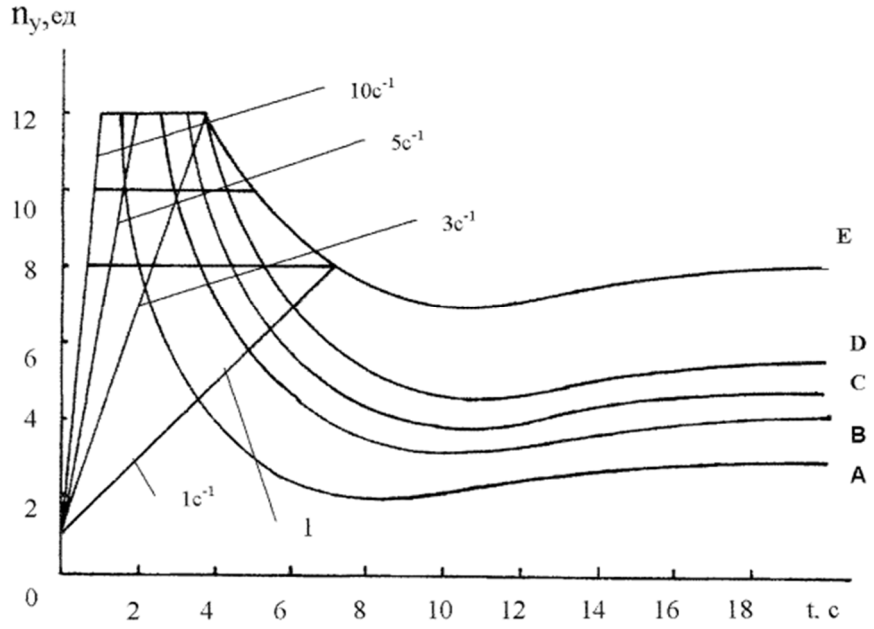


Рис. 2. Законы изменения нормальных перегрузок, предельно переносимых пилотом: A – 100%-ное зрение; B – 50%-ное зрение, «серая пелена»; C – 0% зрения, «чёрная пелена»; D – потеря сознания; E – «серая пелена» со средствами защиты

Вводу в вираж для самолёта соответствует кривая 1 с темпом нарастания перегрузки 1 единица в секунду. Тогда при отсутствии у пилота средств защиты (кривая 8), на 5-й секунде перегрузочного полета наступает первая сигнальная фаза расстройства зрения, так называемая «серая пелена», сопровождающаяся ухудшением периферийного зрения до 50% (сужение поля зрения), при этом перегрузка составляет 6 единиц. Далее на 5,5-й секунде наступает «черная пелена» – потеря центрального зрения, а на 6-й секунде происходит потеря сознания при перегрузке 7,2 единицы. Период бессознательного состояния составляет примерно 15 секунд. Момент восстановления сознания характеризуется конвульсиями и амнезией (потерей памяти). В течение следующих 10–15 секунд пилот находится в состоянии смятения и дезориентации [4].

Основная рабочая нагрузка (второй фактор), которая воздействует на пилота во время полета, определяется внешней боевой обстановкой, сложностью маневров, дефицитом времени на принятие решений, контролем и работой по управлению самолетом. Вся эта работа по пилотированию самолетом приводит организм пилота к состоянию напряженности, которое может вызвать стрессовые реакции и привести в дальнейшем к полному истощению энергоресурсов его организма.

При пилотировании самолетом состояние напряженности организма пилота обусловлено действиями как физических нагрузок, так и ряда эмоциогенных факторов.

Напряженность от физической нагрузки определяется степенью нагрузки на мышечную систему пилота. Выполнение мышечной работы требует повышения энергозатрат его организма, при котором устанавливается необходимый уровень функционирования с помощью кислородотранспортирующей системы. Необходимость увеличения поступления кислорода достигается возрастанием частоты дыхательных циклов (ЧД) и его минутного объема (МОД), при этом возрастает и работа

сердечной мышцы, увеличивается частота сердечных сокращений (ЧСС), обеспечивающая с помощью кровообращения транспорт кислорода к тканям мышечной структуры.

Физические нагрузки приводят к напряженности организма пилота, который имеет дело с управлением современным самолетом при помощи специальных устройств управления, объединяющих одновременно несколько функций и снабженных соответствующими сервоустройствами для снижения усилий противодействия. Поэтому эта доля напряженности в современных самолетах сведена к минимуму и на данном типе самолета для всех пилотов примерно одна и та же.

Основная доля напряженности, которая существенно воздействует на организм пилота, приходится на эмоциогенные факторы. По характеру напряженности эмоциогенные факторы подразделяются на операционную и эмоциональную напряженность.

Операционная напряженность характеризует степень сложности работы, выполняемой пилотом, и определяется характером и значением информационной нагрузки. Этот вид напряженности частично прогнозируем и зависит от боевых задач и этапов полета [5].

Эмоциональное напряжение характеризует роль эмоций в психическом регулировании действий пилота. Этот вид напряженности обусловливает создание необходимого функционального фона для эффективной реализации процессов высшей нервной деятельности организма в полете и зависит от индивидуальных волевых качеств пилота, его готовности и умения активно преодолевать отрицательные эмоции, сохранять самообладание и выдержку при внезапном усложнении летной обстановки.

Таким образом, во время напряженной деятельности регуляция вегетативных функций организма направлена на поддержание гомеостатического равновесия систем организма, при этом адаптационные процессы протекают с потреблением внутренней, рассеянной в организме энергии. При наличии ее запаса пилот может выполнять пилотирование самолета в напряженном режиме. По мере расхода этой энергии организм переходит в состояние повышенной напряженности, и в случае ее полного израсходования в организме наступает состояние истощения [4; 5].

В рамках контроля общего физиологического состояния пилота во время полета целесообразно разработать автономный модуль контроля пульса, частоты дыхания и уровня насыщенности кислородом крови пилота. На последнем параметре хотелось бы остановиться подробнее.

В космической и авиамедицине весьма важным показателем организма является количество гемоглобина в эритроцитах крови, переносящих кислород (сатурация кислорода в крови). Методы диагностики, позволяющие оценить это количество, носят обобщенное название методов оксиметрии. В последние 20–25 лет наибольшее распространение получили оптические спектрофотометрические методы ввиду простоты их реализации, дешевизны, достаточно высокой точности, а также возможности проводить неинвазивные измерения без отрыва от профессиональной деятельности. На сегодняшний день основой оптической оксиметрии является фотометрия [6].

Основным энергетическим уравнением фотометрии является простейшее уравнение баланса энергии при падении света на какую-либо поверхность или среду:

$$\Phi o_\lambda = \Phi \alpha_\lambda + \Phi r_\lambda + \Phi \tau_\lambda, \qquad (1)$$

где Φo_λ – поток излучения с длиной волны света λ, падающий на поверх-

ность исследуемого объекта; α, *r* и τ – соответственно поток, поглощаемый средой, отраженный ею в полупространство источника и пропущенный насквозь.

Нормировка (1) на $Фо_\lambda$ приводит к определению основных фотометрических параметров среды распространения излучения и уравнению связи между ними:

$$\alpha_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1, \qquad (2)$$

где $\alpha_\lambda = \frac{Ф\alpha_\lambda}{Фо_\lambda}$; $r_\lambda = \frac{Фr_\lambda}{Фо_\lambda}$; $\tau_\lambda = \frac{Ф\tau_\lambda}{Фо_\lambda}$ – соответственно спектральные коэффициенты поглощения, отражения и пропускания для материала среды.

В общем случае эти коэффициенты являются функцией длины волны λ, характеризуют оптико-физические свойства материала (вещества), из которого состоит исследуемый объект [6; 7].

Поток в среде без рассеяния распространяется прямолинейно и ослабляется средой по известному экспоненциальному закону Бугера–Ламберта–Бира, так что суммарный коэффициент поглощения излучения в среде без рассеяния определяется уравнением, записанным в следующей форме:

$$\alpha_\lambda = 1 - r_\lambda - e^{-\mu_\alpha(\lambda)\cdot x}, \qquad (3)$$

где $$\mu_\alpha(\lambda) = C \cdot \varepsilon(\lambda) \qquad (4)$$

называется погонным (транспортным) коэффициентом поглощения излучения, являющимся функцией длины волны λ;

ε(λ) – коэффициент молярной (погонной) экстинкции вещества (также зависит от выбранной λ);

С – молярная (погонная) концентрация вещества на единице длины пути луча;

x – длина пути излучения в образце вещества.

Измерения гемоглобина крови в авиамедицине в большинстве случаев проводят в проходящем свете и определяют оптическую плотность вещества в кювете *D*(λ) для выбранной длины волны λ в сравнении со стандартными образцами оптической плотности, а затем по соотношению (4) вычисляют коэффициент пропускания света τ(λ) через слой биоптата:

$$D(\lambda) = \lg\left(1/\tau(\lambda)\right). \qquad (5)$$

На основе классического экспоненциального закона

$$\tau(\lambda) = e^{-\mu_a(\lambda)\cdot x} \qquad (6)$$

и соотношения (4) при *x* = 1 см (размер стандартной фотометрической кюветы), а также известном табличном значении ε(λ) искомого вещества определяют молярную (погонную) концентрацию С этого вещества в кювете.

Оптические измерения в неинвазивной оксиметрии, направленные на определение уровня сатурации крови, можно проводить как в отраженном, так и в прошедшем свете.

Схемы реализации данных методов приведены на рисунке 3.

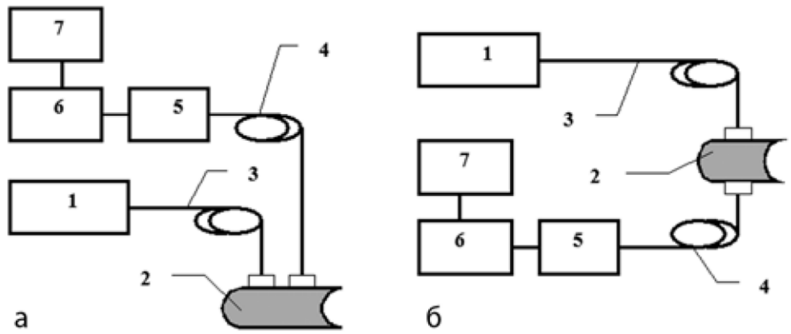


Рис. 3. Варианты реализации методов неинвазивной оптической оксиметрии в отраженном (*а*) и прошедшем (*б*) свете

В общем случае в приборе (оксиметре) излучение от источников света 1 доставляется к обследуемому органу 2 через оптическое волокно 3. С помощью приемного оптического жгута 4 регистрируемые световые потоки доставляются в блок регистрации излучения 5. Этот блок содержит, как правило, оптические фильтры и набор фотоприёмников на разные длины волн. Далее полезный электрический сигнал проходит аналоговую обработку (усиление, фильтрацию) в электронном блоке 6, оцифровывается и передается в компьютер 7 для дальнейшей математической обработки (реализации вычислений) [8].

Современные электронные технологии позволяют создавать сверхминиатюрные, обладающие низким энергопотреблением сенсоры, способные считывать целый комплекс физиологических характеристик пилота с использованием вышеописанных методов оптической оксиметрии, а также накапливать полученную информацию и участвовать в её обмене посредством беспроводной коммуникации.

Принцип работы автономного модуля приведен на рисунке 4.

Функциональная схема устройства автономного модуля представлена на рисунке 5.

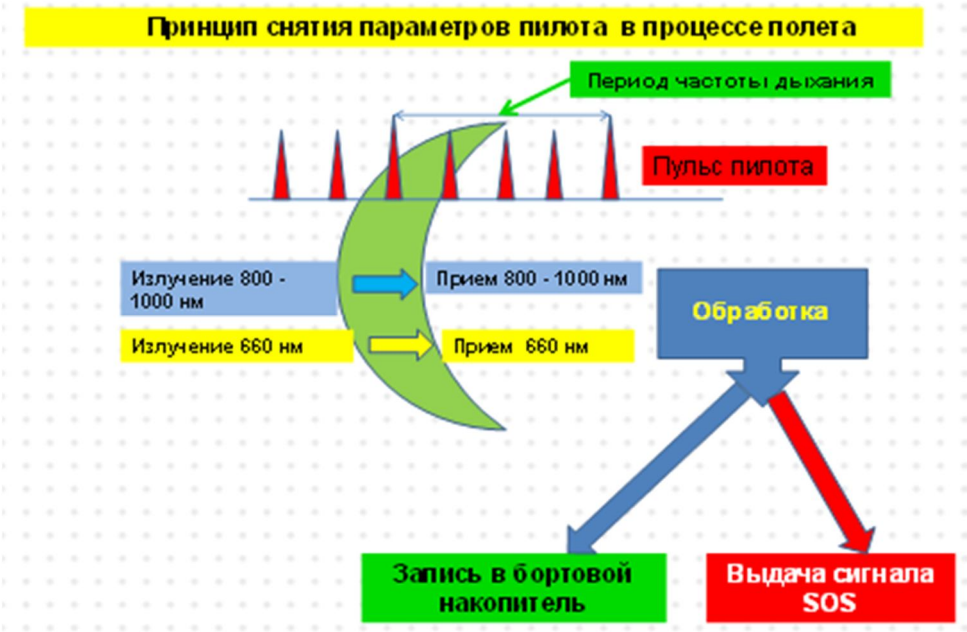


Рис. 4. Принцип работы автономного модуля контроля частоты дыхания и пульса у пилота в режиме полета на основе фотоплетизмографического метода

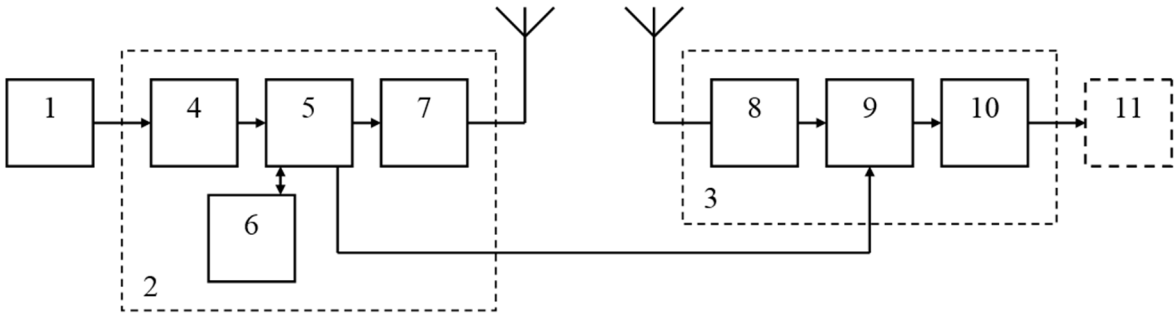


Рис. 5. Функциональная схема устройства для оперативного медицинского контроля пилота

Данное устройство содержит датчик (1), измерительный блок (2), состоящий из входных цепей (4), выделяющих и фильтрующих сигнал датчика, контроллера (5), кодирующего, обрабатывающего и сохраняющего в энергонезависимой памяти (6) полученный электрический сигнал, радиопередатчика (3), выдающего обработанные данные в эфир. Приёмный блок 3 состоит из радиоприемника (8), выделяющего электрический сигнал из эфира, контроллера (9), декодирующего выделенный сигнал, и моста USB-UART (10), являющегося портом ввода-вывода персонального или бортового компьютера. Контроллер (5) измерительного блока (2) связан также защищенной проводной помехоустойчивой связью с контроллером (9) приемного блока (3) [9].

Устройство работает следующим образом. Электрический сигнал датчика 1 усиливается и фильтруется от помех входными цепями 4. Полученный электрический сигнал обрабатывается в контроллере 5, в котором предварительно прошит идентификатор устройства. Результаты измерений (вместе с идентификатором) записываются в энергонезависимую память 6 и посылаются в эфир радиопередатчиком 7. Полезный сигнал из эфира выделяется радиоприемником 8 и передается в микроконтроллер 9, где происходит декодирование сигнала. Мост USB-UART 10 является портом ввода-вывода персонального или бортового компьютера, куда отправляются данные, декодированные микроконтроллером 9. В случае необходимости, передача данных дублируется передачей с контроллера 5 измерительного блока 2 на контроллер 9 приемного блока 3 по защищенному проводному помехоустойчивому каналу [9].

Персональный или бортовой компьютер производит дальнейшую обработку, хранение и визуализацию данных в соответствии с установленным на него программным обеспечением.

По сравнению с известными аналогами устройство позволяет значительно повысить надежность сбора и хранения собираемой информации за счет использования дополнительной энергонезависимой памяти и возможности дублирования передачи данных по защищенному проводному помехоустойчивому каналу.

Особенностью функционирования этого модуля является синхронизация записанных параметров пилота с бортовым временем ВС. Это позволит проводить послеполетный анализ степени физической готовности пилота и осуществлять выдачу медицинских рекомендаций по улучшению его физического состояния .

Схема размещения автономного модуля приведена на рисунке 6.

Таким образом, предлагаемые в данной статье технические решения по созданию системы контроля физиологического состояния пилота могут быть реализованы практически на всех воздушных судах гражданской авиации. Устройства, базирующиеся на методах оптической оксиметрии, могут быть достаточно полезно применимы в современной авиамедицине в целом и СУБП в частности.

Основным достоинством системы наряду с определением важнейших показателей состояния здоровья пилота в режиме бортового времени, миниатюризацией и компактностью будет и то, что каждый человек-оператор теперь сможет иметь профессиональную историю полетов – персональный профиль оператора [10].

Рис. 6. Размещение автономного модуля на борту вертолета

Данное обстоятельство даст возможность проанализировать деятельность пилота в режиме полёта, выявить возникающие на судне ситуации, к которым пилот оказывается наиболее уязвимым, имеет психологическую и эмоциональную неустойчивость.

Список литературы

1. Мухин И. Е. Системы прогнозирования и диагностики технического состояния жизненно важных узлов и агрегатов летательных аппаратов // Аэрокосмическое обозрение. 2015. №5. С. 26–27.

2. Мухин И. Е. Концептуальные подходы к созданию информационно-логистической поддержки авиационной техники // Актуальные проблемы и перспективные направления развития комплексов авиационного оборудования: сборник научных статей III Всероссийской научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения» / ВУНЦ ВВС ВВА им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина. Воронеж, 2016. С. 121–123.

3. Экспериментально-психологическое исследования в авиации и космонавтике / Г. Т. Береговой, Н. Д. Завалова, Б. Ф. Ломов, В. А. Пономаренко. М.: Наука, 1978. 303 с.

4. Chris Buiioch. Cockpit Automation and Workland reduction // Interavia. 1982. N 3. P. 263–264.

5. Рыжов В. Н., Сальницкий В. П. Методика оценки уровня психологической напряженности у оператора // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1983. № 5. С. 83–85.

6. Рогаткин Д. А. Физические основы оптической оксиметрии // Медицинская физика. 2012. № 2. С. 97–113.

7. Рогаткин Д. А. Об особенности в определении оптических свойств мутных биологических тканей и сред в расчетных задачах медицинской неинвазивной спектро- и фотометрии // Медицинская техника. 2007. № 2. С. 10–16.

8. Рогаткин Д. А., Лапаева Л. Г. Перспективы развития неинвазивной спектрофотометрической диагностики в медицине // Медицинская техника. 2003. № 4. С. 31–36.

9. Патент на полезную модель «Устройство для оперативного медицинского контроля» МПК A61B5/00, A61B 5/024, A61B 5/18.

10. Кулешов С. В. Цифровой биометрический браслет контроля функционального состояния оператора // Научное приборостроение. 2011. Т. 21, № 2. С. 63–66.

Поступила в редакцию 23.10.17

UDC 629.7.015

I. E. Mukhin, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, Professor, Deputy General Designer for Investment Projects AO «Aviavtomatika», them. V. V. Tarasov (Kursk, Russia)

M. V. Dvornikov, Leading Researcher of the Research and Testing Center for Aerospace Medicine and Military Ergonomics (Moscow, Russia)

D. S. Koptev, Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: koptev@mail.ru)

SUBSYSTEM OF MONITORING PHYSIOLOGICAL STATE OF PILOT AS ANY OF THE LINKS OF THE BIOTECHNICAL SYSTEM OF THE ERGUIC TYPE «PILOT – AIRPLANE – ENVIRONMENT»

During the last decade, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has been actively engaged in the development and subsequent implementation of new highly effective techniques for solving the problems of ensuring the safety of aircraft flights. The main provisions of the new methods aimed at achieving general air traffic safety are such as: bringing the safety means of flights to common standards, organizing interaction between means of ensuring the safety of aircraft by exchanging flight information, searching for resources for creating airborne aeronautics.

However, today the work on monitoring the physiological state of the pilot in the flight mode as the weakest link in the biotechnical system of the ergatic type "pilot – aircraft – environment" is becoming very relevant. Currently in aviation medicine, there are a number of research tools that help to record the psychophysiological characteristics of the pilot on board the aircraft, and then their a posteriori processing to determine the impact of flight loads and self-flight mechanisms on the pilot's organism.

The purpose of the article is to develop a concept and method for monitoring the physiological state of the pilot during the flight with the possibility of post-flight analysis. Physiological control provides the possibility of obtaining quantitative estimates of the psychophysiological state of the pilot. As an example of the parameters most often used in the practice of aviation ergonomics, the article considers the heart rate (heart rate), respiration rate (BH) and oxygen level in the blood.

The methods of registration and subsequent evaluation of the pilot's condition considered in the article have a technical implementation in the form of hardware and software for the automatic processing of psychophysiological information. A feature of the module proposed in the article is the synchronization of the recorded parameters of the pilot with the onboard time of the aircraft.

Key words: *flight safety management system, pilot, man-machine system, control of the physiological parameters of the pilot.*

For citation: Mukhin I. E., Dvornikov M. V., Koptev D. S. Subsystem of Monitoring Physiological State of Pilot as any of the Links of the Biotechnical System of the Erguic Type «Pilot – Airplane – Environment». Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 59–69 (in Russ.).

References

1. Muhin I. E. Sistemy prognozirovaniya i diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya zhiznenno vazhnyh uzlov i agregatov letatel'nyh apparatov. Aehrokosmicheskoe obozrenie, 2015, no. 5, pp. 26–27.

2. Muhin I. E. Konceptual'nye podhody k sozdaniyu informacionno-logisticheskoj podderzhki aviacionnoj tekhniki.

Aktual'nye problemy i perspektivnye napravleniya razvitiya kompleksov aviacionnogo oborudovaniya. Sbornik nauchnyh statej III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Akademicheskie Zhukovskie chteniya» / VUNC VVS VVA im. professora N. E. Zhukovskogo i Yu. A. Gagarina. Voronezh, 2016, pp. 121–123.

3. Beregovoj G. T., Zavalova N. D., Lomov B. F., Ponomarenko V. A. Ehksperimental'no-psihologicheskoe issledovaniya v aviacii i kosmonavtike. Moscow, Nauka Publ., 1978. 303 p.

4. Chris Buiioch. Cockpit Automation and Workland reduction. Interavia, 1982, no. 3, pp. 263–264.

5. Ryzhov V. N., Sal'nickij V. P. Metodika ocenki urovnya psihologicheskoj napryazhennosti u operatora. Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya medicina, 1983, no. 5, pp. 83–85.

6. Rogatkin D. A. Fizicheskie osnovy opticheskoj oksimetrii. Medicinskaya fizika, 2012, no. 2, pp. 97–113.

7. Rogatkin D. A. Ob osobennosti v opredelenii opticheskih svojstv mutnyh biologicheskih tkanej i sred v raschetnyh zadachah medicinskoj neinvazivnoj spektro- i fotometrii. Medicinskaya tekhnika, 2007, no. 2, pp. 10–16.

8. Rogatkin D. A., Lapaeva L. G. Perspektivy razvitiya neinvazivnoj spektrofotometricheskoj diagnostiki v medicine. Medicinskaya tekhnika, 2003, no. 4, pp. 31–36.

9. Patent na poleznuyu model' «Ustrojstvo dlya operativnogo medicinskogo kontrolya» MPK A61V5/00, A61B 5/024, A61B 5/18.

10. Kuleshov S. V. Cifrovoj biometricheskij braslet kontrolya funkcional'nogo sostoyaniya operatora. Nauchnoe priborostroenie, 2011, vol. 21, no. 2, pp. 63–66.

УДК 681.586.76

С. Н. Гвоздева, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: svetka-gvozdeva@yandex.ru)

В. И. Иванов, канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: viva37@mail.ru)

М. И. Рудакова, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: rudakova1995@list.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕИНВЕРТИРУЮЩИХ ИНТЕГРАТОРОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВЫХ СИГНАЛОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

Задача параметрической идентификации линейных двухполюсных электрических цепей заключается в определении значений электрических параметров (R, L, C) элементов объекта с известной схемой замещения. Одно из направлений теории и техники решения этой задачи связано с использованием обобщенных параметров системной функции многоэлементных двухполюсников (МДП). Для возбуждения двухполюсника используются импульсы напряжения или тока, имеющие форму степенной функции времени. Реакция измерительной схемы содержит импульсы тока или напряжения степенной формы с показателями степени, начиная от степени тестового сигнала и до нуля.

В зависимости от размерности тестового и выходного сигналов системная функция может быть комплексным сопротивлением, проводимостью или передаточной характеристикой. В данной работе рассматривается устройство преобразования обобщенных параметров комплексной проводимости на примере четырехэлементного МДП. Тестовым сигналом, возбуждающим двухполюсник, служат импульсы напряжения кубической формы. Выходной сигнал содержит импульсы тока третьей, второй, первой и нулевой степени, причем амплитудные значения выходных импульсов определяются обобщенными параметрами проводимости МДП Y_0, Y_1, Y_2 и Y_3. Измерение Y-параметров осуществляется путем уравновешивания каждой составляющей тока МДП компенсирующими сигналами соответствующей формы, генерируемыми формирователями образцовых источников.

К формирователям образцовых импульсов напряжения предъявляются строгие требования точности формы, стабильности, синхронности с тестовыми сигналами. Для получения образцовых импульсов степенной формы наиболее часто используются операции n-кратного интегрирования или дифференцирования. В статье предлагается использовать неинвертирующие интеграторы с заземленными конденсаторами. Приводится описание интегратора. Разработан алгоритм уравновешивания и аналитические выражения для вычисления Y-параметров. Особое внимание уделено процедуре определения модифицированных параметров МДП с коротким замыканием между полюсами на постоянном токе через индуктивный элемент.

Ключевые слова: *многоэлементные двухполюсники, обобщенные параметры, преобразователь параметров, степенной импульс, образцовые сигналы.*

Ссылка для цитирования: Гвоздева С. Н., Иванов В. И., Рудакова М. И. Применение неинвертирующих интеграторов для формирования образцовых сигналов в преобразователях параметров многоэлементных двухполюсников // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 70–78.

***

Алгоритм параметрической идентификации многоэлементных двухполюсников (МДП), основанный на методе обобщенных параметров, предусматривает унифицированную процедуру преобразования выходных сигналов измерительной схемы (ИС) в набор величин, из которых можно определить электрические параметры элементов схемы замещения. Измерения обобщенных параметров системной функции объекта идентификации наиболее точно можно осуществить способом компенсации составляющих сигнала ИС образцовыми сигналами соответствующей формы.

В частности, если тестовый сигнал представляет собой последовательность импульсов напряжения степенного вида

$$u_{\text{дп}}(t)=\frac{U_m t^n}{t_{\text{и}}^n},$$

то ток двухполюсника будет содержать $n+1$ составляющих:

$$i_{\text{дп}}(t)=\sum_{k=0}^{n}\frac{n!Y_k U_m t^{n-k}}{(n-k)!t_{\text{и}}^n}. \qquad (1)$$

Например, у четырехэлементного МДП ток имеет вид

$$i_{\text{дп}}(t)=\frac{Y_0 U_m t^3}{t_{\text{и}}^3}+\frac{3Y_1 U_m t^2}{t_{\text{и}}^3}+ +\frac{6Y_2 U_m t}{t_{\text{и}}^3}+\frac{6Y_3 U_m}{t_{\text{и}}^3}. \qquad (2)$$

Обобщенные параметры комплексной проводимости Y_0, Y_1, Y_2 и Y_3 содержат информацию об электрических параметрах элементов МДП (R, C, L).

Они определяются с помощью рекуррентных выражений [1, 2]:

$$Y_0=\frac{b_0}{a_0};\quad Y_1=\frac{b_1-a_1Y_0}{a_0};\quad Y_2=\frac{b_2-a_2Y_0-a_1Y_1}{a_0};\quad Y_3=\frac{b_3-a_3Y_0-a_2Y_1-a_1Y_2}{a_0} \qquad (3)$$

где a_0, a_1, a_2,… – коэффициенты полинома знаменателя;

b_0, b_1, b_2,… – коэффициенты полинома числителя операторной функции комплексной проводимости $Y(p)$ двухполюсника.

Для измерения Y-параметров компенсационным способом необходимо иметь набор источников образцовых сигналов – импульсов кубической, квадратичной, линейно изменяющейся и прямоугольной формы. Один из вариантов схемы формирования образцовых сигналов основан на трехкратном интегрировании прямоугольных импульсов. Обычно используются инвертирующие интеграторы на операционных усилителях с резистором во входной цепи и конденсатором в цепи обратной связи [3–5].

Однако передаточная характеристика такого интегратора

$$H(p)=\frac{K_{\text{OY}}}{\left(1+p\left(K_{\text{OY}}+1\right)T\right)}$$

отличается от требуемой характеристики интегратора $H(p)=1/pT$. Это вносит погрешность измерений. Кроме того, схема имеет большое выходное сопротивление.

Предлагается использовать неинвертирующий интегратор с заземленным конденсатором, схема которого представлена на рисунке 1.

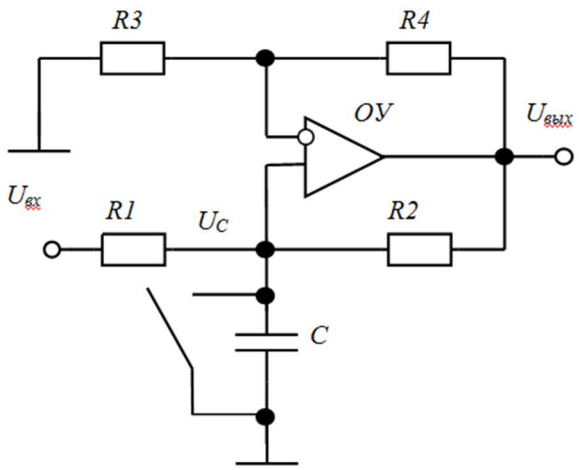


Рис 1. Схема неинвертирующего интегратора

На конденсаторе вырабатывается напряжение

$$u_{\text{C}}(t)=\frac{1}{C}\int_0^t i_{\text{C}}dt,$$

которое усиливается операционнным усилителем:

$$u_{\text{вых}}=K_u u_{\text{C}},$$

где $K_u = \dfrac{(R_3 + R_4)}{R_3}$.

Ток конденсатора состоит из двух составлющих:

$$i_C = \frac{u_{вх} - u_C}{R_1} + \frac{u_{вых} - u_C}{R_2}.$$

Чтобы ток конденсатора не зависел от выходного напряжения, коэффициент K_u должен удовлетворять следующему условию:

$$\frac{u_{вых}}{R_2} = \frac{u_C}{R_1} + \frac{u_C}{R_2}.$$

Учитывая равенство $u_{вых} = K_u u_C$, получаем

$$\frac{K_u u_C}{R_2} = \frac{u_C}{R_1} + \frac{u_C}{R_2}$$

или

$$\frac{R_3 + R_4}{R_3} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

Для симметрии входных цепей ОУ целесообразно это условие усилить:

$$R_3 = R_1; \quad R_4 = R_2.$$

Таким образом, ток конденсатора определяется только входным напряжением:

$$u_{вых}(t) = \frac{K_u}{R_1 C} \int_0^t u_{вх}(t)\, dt. \qquad (4)$$

Схема преобразователя параметров четырехэлементного МДП приведена на рисунке 2.

На вход первого каскада интегратора подаются прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой U_0, на выходе формируются импульсы линейно изменяющегося напряжения

$$u_1 = \frac{K_u U_1 t}{T_1} \qquad (5)$$

с амплитудой $U_1 = \dfrac{K_u U_0 t_и}{T_1}$,

где $T_1 = R_1 C_1$.

На выходе второго каскада вырабатываются импульсы квадратичной формы

$$u_2(t) = \frac{K_u^2 U_0 t^2}{2 T_1 T_2} \qquad (6)$$

с амплитудой $U_2 = \dfrac{K_u^2 U_0 t_и^2}{2 T_1 T_2}$.

На выходе третьего интегратора импульсы имеют кубичную форму

$$u_3(t) = \frac{K_u^3 U_0 t^3}{6 T_1 T_2 T_3} \qquad (7)$$

с амплитудой $U_3 = \dfrac{K_u^3 U_0 t_и^3}{6 T_1 T_2 T_3}$.

Импульсы напряжения u_0, u_1, u_2 и u_3 используются для формирования компенсирующих токов с помощью преобразователей «напряжение – ток» ПНТ 1 … ПНТ 4 с регулируемой проводимостью прямой передачи G_0, G_1, G_2, G_3 соответственно.

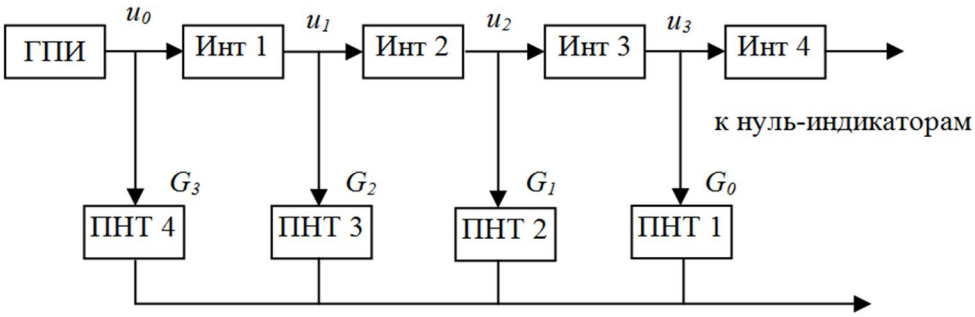


Рис 2. Схема преобразования обобщенных параметров четырехэлементных двухполюсников

Уравновешивание амплитуд кубичных составляющих токов осуществляется регулировкой проводимости G_0 преобразователя ПНТ 1:

$$\frac{Y_0 U_3 t^3}{t_и^3} = \frac{G_0 U_3 t^3}{t_и^3},$$

что позволяет определить Y-параметр с нулевым индексом:

$$Y_0 = G_0 . \qquad (8)$$

Из условия уравновешивания квадратичных составляющих токов

$$\frac{3Y_1 U_3 t^2}{t_и^3} = \frac{G_1 U_2 t^2}{t_и^3}$$

находим параметр Y_1:

$$Y_1 = \frac{G_1 T_3}{K_и}. \qquad (9)$$

Компенсация линейной составляющей тока МДП достигается при условии

$$\frac{6Y_2 U_3 t}{t_и^3} = \frac{G_2 U_1 t}{t_и^3},$$

из которого следует

$$Y_2 = \frac{G_2 T_2 T_3}{K_и^2}. \qquad (10)$$

Из условия уравновешивания прямоугольных составляющих токов

$$\frac{6Y_3 U_3}{t_и^3} = \frac{G_3 U_0}{t_и^3}$$

определяем параметр Y_3:

$$Y_3 = \frac{G_3 T_1 T_2 T_3}{K_и^3}. \qquad (11)$$

В качестве примера рассмотрим четырехэлементный двухполюсник, представленный на рисунке 3.

Электрические параметры элементов МДП:

R_1 = 3кОм; R_2 = 2 кОм;

C_1 = 4 нФ; L_1 = 5 мГн.

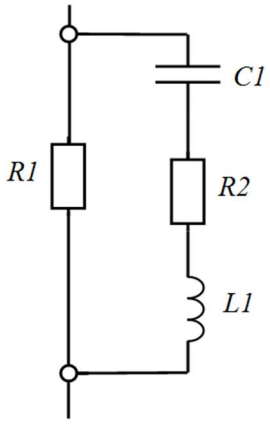


Рис. 3. Схема четырехэлементного двухполюсника

Расчетные значения обобщенных параметров проводимости:

$$Y_0 = \frac{1}{R_1} = 0,333333 \text{ мСм};$$

$$Y_1 = C_1 = 4 \text{ мСм} \cdot \text{мкс};$$

$$Y_2 = R_2 C_1^2 = 32 \text{ мСм} \cdot \text{мкс}^2;$$

$$Y_3 = C_1\left(R_2 C_1 - \frac{L_1}{R_2}\right) = 176 \text{ мСм} \cdot \text{мкс}^3.$$

Параметры устройства:

T_1 = 100 мкс; T_2 = 50 мкс; T_3 = 30 мкс.

Ниже приведены расчетные и фактические значения проводимости прямой передачи преобразователей ПНТ и погрешности измерений.

Элемент МДП	Расчетное значение	Фактическое значение	Погрешность измерения
R1	G_0 = 0,33333(3)	G_0 = 0,333333	0
C1	G_1 = 0,26666(6)	G_1 = 0,266666	0
R2	G_2 = 0,08533(3)	G_2 = 0,085334	0,00117%
L1	G_3 = 0,009386	G_3 = 0,009345	0,4%

Особенности измерения параметров МДП с коротким замыканием между полюсами на постоянном токе

Если между выводами двухполюсника включен индуктивный элемент, в операторном изображении проводимости $Y(p)$ свободный член a_0 будет равен нулю. Пример схемы такого МДП показан на рисунке 4.

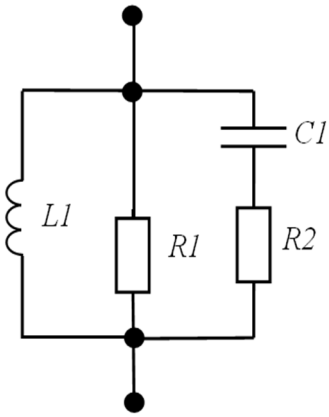


Рис 4. Схема МДП с коротким замыканием на постоянном токе

Операторное изображение проводимости двухполюсника имеет вид

$$Y(p)=\frac{R_1+p(L_1+R_1R_2C_1)+p^2(R_1+R_2)L_1C_1}{pR_1L_1+p^2R_1R_2L_1C_1}.$$

Так как свободный член a_0 в знаменателе выражения $Y(p)$ равен нулю, применение формул (3) для определения обобщенных Y-параметров невозможно. В этом случае используют модифицированную функцию проводимости МДП [7–10]

$$Y*(p)=\frac{b_0+pb_1+p^2b_2+...}{a_1+pa_2+p^2a_3...},$$

а обобщенные параметры вычисляют по следующим формулам:

$$Y_{-1}^*=\frac{b_0}{a_1};\ Y_0^*=\frac{b_1-a_2Y_{-1}^*}{a_1};$$

$$Y_1^*=\frac{b_2-a_3Y_{-1}^*-a_2Y_0^*}{a_1};$$

$$Y_2^*=\frac{b_3-a_4Y_{-1}^*-a_3Y_0^*+a_2Y_1^*}{a_1}.$$

Так, для двухполюсника, схема замещения которого изображена на рисунке 4, операторное изображение модифицированной функции проводимости имеет вид

$$Y^*(p)=$$

$$=\frac{R_1+p(L_1+R_1R_2C_1)+p^2(R_1+R_2)L_1C_1}{R_1L_1+pR_1R_2L_1C_1}\cdot$$

Обобщенные параметры проводимости модифицированной модели МДП:

$$Y_{-1}^*=\frac{1}{L};\ Y_0^*=\frac{1}{R};$$

$$Y_1^*=C_1;\ Y_2^*=-R_2C_1^2.$$

При воздействии на двухполюсник импульса напряжения n-й степени $u_{\text{дп}}(t)=\frac{U_m t^n}{t_{\text{и}}^n}$ реакция представляет сумму импульсов тока степенной формы с показателями от $(n+1)$ до нуля:

$$i_{\text{дп}}(t)=\sum_{k=-1}^{n}\frac{n!Y_k^*U_m t^{n-k}}{(n-k)!t_{\text{и}}^n}. \qquad (13)$$

Так как старший показатель степени импульса тока на единицу выше степени тестового сигнала, необходимо предусмотреть источник компенсирующего тока $(n+1)$-й степени.

Для четырехэлементного МДП достаточно квадратичного тестового сигнала $u_{\text{дп}}(t)=\frac{U_m t^2}{t_{\text{и}}^2}$. При этом импульс тока МДП содержит четыре составляющих:

$$i_{\text{дп}}(t)=\frac{Y_{-1}^*U_2t^3}{3t_{\text{и}}^2}+\frac{Y_0^*U_2t^2}{t_{\text{и}}^2}+$$

$$+\frac{2Y_1^*U_2t}{t_{\text{и}}^2}+\frac{2Y_2^*U_2}{t_{\text{и}}^2}.$$

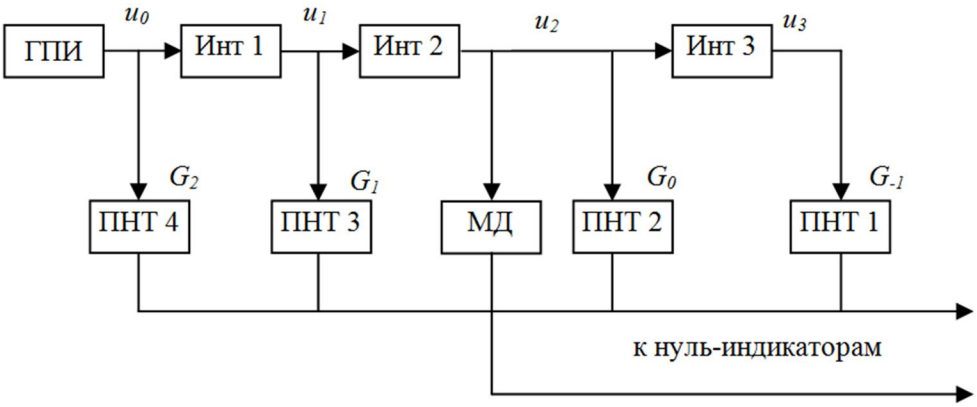


Рис. 5. Схема преобразования модифицированных параметров четырехэлементных двухполюсников

Объект измерения следует подключить к выходу второго каскада интегратора (рис. 5), а напряжение третьего интегратора использовать для компенсации кубичной составляющей тока двухполюсника регулировкой параметра G_{-1} преобразователя ПНТ 1:

$$\frac{Y_{-1}^{*}U_2t^3}{t_и^2}=\frac{G_{-1}U_3t^3}{t_и^2}.$$

Из этого условия равновесия определяют Y-параметр с индексом минус 1:

$$Y_{-1}^{*}=\frac{G_{-1}K_u}{T_3}. \qquad (14)$$

Квадратичные составляющие токов МДП и второго каскада интегратора уравновешивают регулировкой параметра G_0 преобразователя ПНТ 2:

$$\frac{Y_0^{*}U_2t^2}{t_и^2}=\frac{G_0U_2t^2}{t_и^2}.$$

Из полученного выражения баланса можно определить Y-параметр с нулевым индексом

$$Y_0^{*}=G_0. \qquad (15)$$

Источником сигнала, компенсирующего линейную составляющую тока МДП, служат импульсы линейно изменяющегося напряжения на выходе первого интегратора, к которому подключен преобразователь ПНТ 3 с регулируемым параметром проводимости G_1:

$$\frac{2Y_1^{*}U_2t}{t_и^2}=\frac{G_1U_1t}{t_и^2}.$$

Из условия компенсации линейного тока определяется Y-параметр с индексом 1:

$$Y_1^{*}=\frac{G_1T_2}{K_u}. \qquad (16)$$

Для компенсации постоянной составляющей тока МДП используется напряжение U_0 на выходе генератора прямоугольных импульсов, к которому подключен преобразователь ПНТ 4 с регулируемой проводимостью G_2.

Из условия компенсации тока $\frac{2Y_2^{*}U_2}{t_и^2}=\frac{G_2U_0}{t_и^2}$ определяется параметр проводимости Y_2:

$$Y_2^{*}=\frac{G_2T_1T_2}{K_u^2}. \qquad (17)$$

После уравновешивания тока МДП и компенсационного тока вычисляются электрические параметры элементов двухполюсника:

$$L_1=\frac{1}{Y_{-1}^{*}};\ R_1=\frac{1}{Y_0^{*}};\ C_1=Y_1^{*};\ R_2=\frac{Y_2^{*}}{\left(Y_1^{*}\right)^2}.$$

Применение неинвертирующих интеграторов с заземленными конденсаторами для формирования образцовых импульсов степенной формы позволило

повысить точность преобразования обобщенных параметров двухполюсников. Даже на четвертом параметре погрешность измерений для различных вариантов схем МДП не превышает 0,5%.

Список литературы

1. Иванов В. И., Титов В. С., Голубов Д. А. Применение обобщенных параметров измерительной цепи для идентификации многоэлементных двухполюсников // Датчики и системы. 2010. № 8. С. 43–45.

2. Иванов В. И. Теория и применение обобщенных параметров RLC-двухполюсников: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2013. 136 с.

3. Иванов В. И., Титов В. С. Модели алгоритмов и устройств параметрической идентификации многоэлементных RLC-датчиков на основе обобщенных параметров двухполюсников. Ч. 1 // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 128–135.

4. Иванов В. И. Модели алгоритмов и устройств параметрической идентификации многоэлементных RLC-датчиков на основе обобщенных параметров двухполюсников. Ч. 2 // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 136–142.

5. Иванов В. И., Титов В. С., Голубов Д. А. Преобразователь параметров многоэлементных двухполюсников с уравновешиванием токов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 2. С. 73–78.

6. Гвоздева С. Н., Иванов В. И. Применение интеграторов и дифференциаторов для формирования компенсирующих сигналов в преобразователях обобщенных параметров RLC-двухполюсников // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. 2017. № 7. С. 194–196.

7. Иванов В. И., Титов В. С., Петров А. С. Преобразователи параметров многоэлементных двухполюсников с коротким замыканием и разрывом цепи между полюсами на постоянном токе // Измерительная техника. 2014. № 3. С. 58–61.

8. Иванов В. И., Титов В. С. Преобразование параметров многоэлементных RLC-двухполюсников с коротким замыканием и разрывом цепи между полюсами на постоянном токе // Датчики и системы. 2014. № 9. С. 26–32.

9. Иванов В. И., Клюев А. Л. Идентификация пассивных двухполюсников с коротким замыканием между полюсами на постоянном токе // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 2. С. 24–28.

10. Балашов А. В., Гвоздева С. Н. Измеритель Z-параметров пассивных многоэлементных двухполюсников // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 7. С. 605–611.

Поступила в редакцию 13.10.17

UDC 681.586.76

S. N. Gvozdeva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: svetka-gvozdeva@yandex.ru)

V. I. Ivanov, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: viva37@mail.ru)

M. I. Rudakova, Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: rudakova1995@list.ru)

APPLICATION OF NONINVERTING INTEGRATORS FOR FORMATION OF SAMPLE SIGNALS IN CONVERTERS OF PARAMETERS OF MULTIELEMENT TWO-POLE NETWORKS

The task of parametric identification of the two-pole electrical circuits consists in determination of values of electrical parameters (R, L, C) object elements with the known equivalent circuit. One of the directions of the theory and technique of the decision of this task is connected to use of the generalized parameters of system function of the multielement two-pole networks (MTPN). For excitation of the two-pole network the pulses of tension or current having the form of a power function of time are used. Response of the measuring circuit contains pulses of current or voltage of power form with exponents, beginning from a level of a test signal and up to zero.

Depending on dimensionality of test and output signals system function can be the complex resistance, conductivity or transfer characteristic. In this operation the conversion device of the generalized parameters of complex admittance on the example of four-element is considered by MTPN. The test signal exciting the two-pole network is the voltage pulses of the cubic form. The output signal contains pulses of current of the third, second, first and zero level, and amplitude values of output pulses are defined by the generalized parameters of conductivity of MTPN Y_0, Y_1, Y_2 and Y_3. Measurement Y parameters is carried out by equilibrating of each component of current of TIR by the compensating signals of the appropriate form generated by generators of sample sources.

Strict requirements of accuracy of the form, stability, synchronism with test signals are imposed to generators of sample pulses of tension. For exemplary pulse power forms are most often used operations n times integration or differentiation. In the article it is proposed to use non-inverting integrators with grounded capacitors. The description of the integrator is provided. The algorithm of equilibrating and analytical expressions is developed for computation Y parameters. Special attention is paid to the procedure of determination of the modified MTPN parameters with short circuit between poles on a direct current through the inductive element.

Key words: *multielement two-pole networks, the generalized parameters, transformer of parameters, degree pulse, sample signals.*

For citation: Gvozdeva S. N., Ivanov V. I., Rudakova M. I. Application of Noninverting Integrators for Formation of Sample Signals in Converters of Parameters of Multielement two-pole Networks. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 70–78 (in Russ.).

References

1. Ivanov V. I., Titov V. S., Golubov D. A. Primenenie obobshchennyh parametrov izmeritel'noj cepi dlya identifikacii mnogoehlementnyh dvuhpolyusnikov. Datchiki i sistemy, 2010, no. 8, pp. 43–45.

2. Ivanov V. I. Teoriya i primenenie obobshchennyh parametrov RLC-dvuhpolyusnikov. Kursk, Jugo-Zap. gos. un-t Publ., 2013. 136 p.

3. Ivanov V. I., Titov V. S. Modeli algoritmov i ustrojstv parametricheskoj identifikacii mnogoehlementnyh RLC-datchikov na osnove obobshchennyh parametrov dvuhpolyusnikov. Pt. 1. Izv. vuzov. Priborostroenie, 2015, vol. 58, no. 4, pp. 128–135.

4. Ivanov V. I. Modeli algoritmov i ustrojstv parametricheskoj identifikacii mnogoehlementnyh RLC-datchikov na osnove obobshchennyh parametrov

dvuhpolyusnikov. Pt. 2. Izv. vuzov. Priborostroenie, 2015, vol. 58, no. 4, pp. 136–142.

5. Ivanov V. I., Titov V. S., Golubov D. A. Preobrazovatel' parametrov mnogoehlementnyh dvuhpolyusnikov s uravnoveshivaniem tokov. Izv. vuzov. Priborostroenie, 2012, vol. 55, no. 2, pp. 73–78.

6. Gvozdeva S. N., Ivanov V. I. Primenenie integratorov i differenciatorov dlya formirovaniya kompensiruyushchih signalov v preobrazovatelyah obobshchennyh parametrov RLC-dvuhpolyusnikov. Mnogoyadernye processory, parallel'noe programmirovanie, PLIS, sistemy obrabotki signalov, 2017, no. 7, pp. 194–196.

7. Ivanov V. I., Titov V. S., Petrov A. S. Preobrazovateli parametrov mnogoehlementnyh dvuhpolyusnikov s korotkim zamykaniem i razryvom cepi mezhdu polyusami na postoyannom toke. Izmeritel'naya tekhnika, 2014, no. 3, pp. 58–61.

8. Ivanov V. I., Titov V. S. Preobrazovanie parametrov mnogoehlementnyh RLC-dvuhpolyusnikov s korotkim zamykaniem i razryvom cepi mezhdu polyusami na postoyannom toke. Datchiki i sistemy, 2014, no. 9, pp. 26–32.

9. Ivanov V. I., Klyuev A. L. Identifikaciya passivnyh dvuhpolyusnikov s korotkim zamykaniem mezhdu polyusami na postoyannom toke. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 24–28.

10. Balashov A. V., Gvozdeva S. N. Izmeritel' Z-parametrov passivnyh mnogoehlementnyh dvuhpolyusnikov. Izv. vuzov. Priborostroenie, 2016, vol. 59, no. 7, pp. 605–611.

УДК 004.891

Т. В. Петрова, соискатель, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (Санкт-Петербург, Россия) (e-mail: pata@ya.ru)

А. А. Кузьмин, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ku3bmin@gmail.com)

А. Н. Шуткин, канд. физ.-мат. наук, докторант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: SFilist@gmail.com)

В. В. Серебровский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: SFilist@gmail.com)

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОТБОРА РАБОТНИКОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОФЕССИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассмотрены вопросы построения систем поддержки принятия решений по прогнозированию профессиональной пригодности работников экстремальных профессий. Показано, что при оценке профессиональной пригодности в процессе принятия решения необходимо обрабатывать сложноструктурируемые и разнотипные данные, получаемые от специалистов в различных областях знаний: психологов, биологов, врачей, специалистов по автоматизированным системам обработки данных медицинского назначения. Объединить эти знания можно, только используя компьютерные технологии. В статье предлагается одна из возможных структур системы поддержки принятия решений, осуществляющая такое объединение. В системе выделено четыре сегмента, в которых принимаются автономные решения по профессиональной пригодности с возможностью последующей их интеграции в соответствии с выбранными весами решений, принимаемых в выделенных сегментах.

Каждый сегмент имеет трехуровневую структуру и состоит из формирователя методов, автономных агентов и агрегатора. Формирователь методов формирует пространство информативных признаков для данного метода и определяет методы их обработки посредством интеллектуальных агентов второго уровня. Сегменты контролируют адаптационный потенциал, здоровье, психологический портрет и виртуальный поток кандидата, причем виртуальный поток определяется латентными переменными, которые не представляется контролировать доступными тестами.

Структурная схема проблемно-ориентированной системы поддержки принятия решений при тестировании профпригодности работников экстремальных профессий функционально состоит из трех подсистем: подсистемы знаний, подсистемы принятия решений и подсистемы интернет-тестирования. Координацию между этими подсистемами осуществляют ЛПР и специалист по программному обеспечению. Подсистема интернет-тестирования позволяет ЛПР осуществлять асинхронное и инвариантное от времени тестирование различных социальных групп кандидатов, разнесенных географически. Охватывая обширные регионы, интернет-тестирование позволяет реализовать различные подходы к мета-анализу данных, а также создавать базы данных кандидатов для последующего обучения решающих модулей.

Исследованы требования к программному обеспечению веб-сервиса и пути создания его программных модулей. Представлен прототип возможной реализации.

Ключевые слова: *прогнозирование профессиональной пригодности работников экстремальных профессий, системы поддержки принятия решений, интернет-технологии, веб-сервис, программное обеспечение.*

Ссылка для цитирования: Система поддержки принятия решений для профессионального отбора работников экстремальных профессий с использованием интернет-технологий / Т. В. Петрова, А. А. Кузьмин, А. Н. Шуткин, В. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 79–94.

***

Введение

Проблема профессиональной пригодности, ее оценки и формирования занимает в науке особое место не только в связи с ее большой практической значимостью, но и необходимостью

ориентации и использования результатов фундаментальных исследований в области общей, когнитивной, социальной, дифференциальной психологии, медицине труда и т. д. Наиболее остро проблема определения и прогноза профессиональной пригодности встает в экстремальных условиях деятельности человека. Перечень профессий, предъявляющих к человеку значительные, экстремальные требования (с экстремальными условиями работы), в последнее время неуклонно растет. Для этих профессий особо тщательный профотбор необходим. Его отсутствие может привести не только к частым ошибкам в работе, малой производительности труда, но и к возможным человеческим жертвам, причинению вреда здоровью работника и окружающих. При этом достаточно часто встает вопрос не только о профессиональном отборе, а также и динамическом сопровождении медико-психологического состояния сотрудников данных подразделений.

Результаты анализа средств профотбора, учитывающих особенности работы в экстремальных ситуациях, свидетельствуют о необходимости использования интеллектуальной информационной поддержки принятия решений. Для поддержки принятия решения по профпригодности работника в настоящее время широкое распространение получили тестирующие системы, основанные на использовании современных компьютерных технологий [5–11]. С их помощью проверяется уровень знаний, осуществляется подбор квалифицированных кадров, проводится сертификация персонала, производится анализ способностей человека и др. Бурное развитие компьютерных и телекоммуникационных средств, а также создание всемирной сети Интернет позволило использовать персональный компьютер не только как помощника в работе и научных вычислениях, но и как инструмент оценки способностей и состояния здоровья кандидата, проходящего профотбор.

В то же время разработанные к настоящему времени подходы в определении профессиональной пригодности и профессиональной успешности к различным видам деятельности показывают, что применяемые методы и алгоритмы контроля оценки направлены на решение узкоспециализированных задач лишь психологического и психофизиологического отбора. При этом наблюдается неполнота решения проблемы профотбора на основе достижений современных интеллектуальных технологий, связанная с отсутствием единой методологии синтеза таких систем, учитывающей неполноту и нечеткость информации как об объекте управления, так и о лице, принимающем решение (ЛПР). Решение этой проблемы может быть найдено в развитии методологии проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений по профессиональному отбору (СППРПРО).

В связи с этим на основе интеграции системных принципов и общенаучных подходов к построению сложных многоуровневых систем актуальна разработка методологических основ для построения СППРПРО для оценки состояния здоровья и профессиональной пригодности работников экстремальных профессий. Это позволит с помощью новых современных методов исследования повысить точность и достоверность оценивания медицинских и личностных показаний к выбранной сфере деятельности [2, 3].

Структура СППР

За основу структуры системы поддержки принятия решений (СППР) по прогнозированию профессиональной пригодности работников экстремальных профессий взята иерархическая

динамическая структура с блоками, организованными на основе принципов автономного интеллектуального агента [1]. Структурно-функциональная организация такой СППР представлена на рисунке 1, где СППР представлена как трехуровневая иерархическая система.

СППР работает с двумя потоками данных, которые поступают от исследуемого объекта – человека. Первый поток данных формируется путем анкетирования по определенным методикам, которые задаются ЛПР через блок ввода методик, посредством которого осуществляется управление блоком стартовых анкет.

В качестве базиса системы выделим второй уровень. Здесь имеются четыре группы автономных интеллектуальных агентов. Агент первой группы определяет адаптационный потенциал, то есть способность кандидата адаптироваться к ситуациям внешней среды, характерным для данного вида деятельности. Второй агент прогнозирует профессиональные заболевания кандидата, характерные для данного вида профессиональной деятельности. Третий агент определяет соответствие психологического портрета кандидата выбранному виду деятельности. Четвертый агент реализует виртуальный поток [2].

Третий иерархический уровень обеспечивает интеллектуальных агентов второго уровня методами и методиками тестирования соответствующих ракурсов профессиональной пригодности, а первый иерархический уровень агрегирует решения интеллектуальных агентов второго уровня.

Система поддержки принятия решения (СППР) по своей сути является компьютерной программой, а следовательно, состоит из интерфейсной части, блока обработки информации (правила, по которым формируется результат, алгоритмы обработки данных), блока хранения данных.

Структурная схема СППР для профессионального отбора работников экстремальных профессий представлена на рисунке 2.

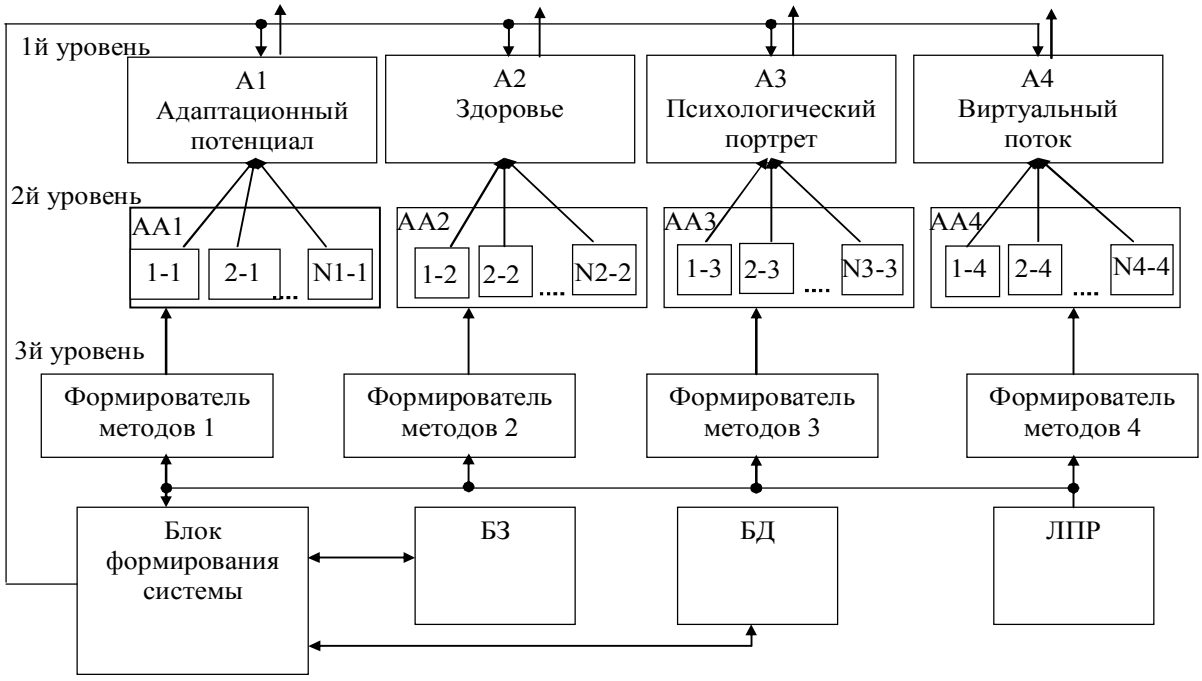


Рис. 1. Структурно-функциональная организация СППР для прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий

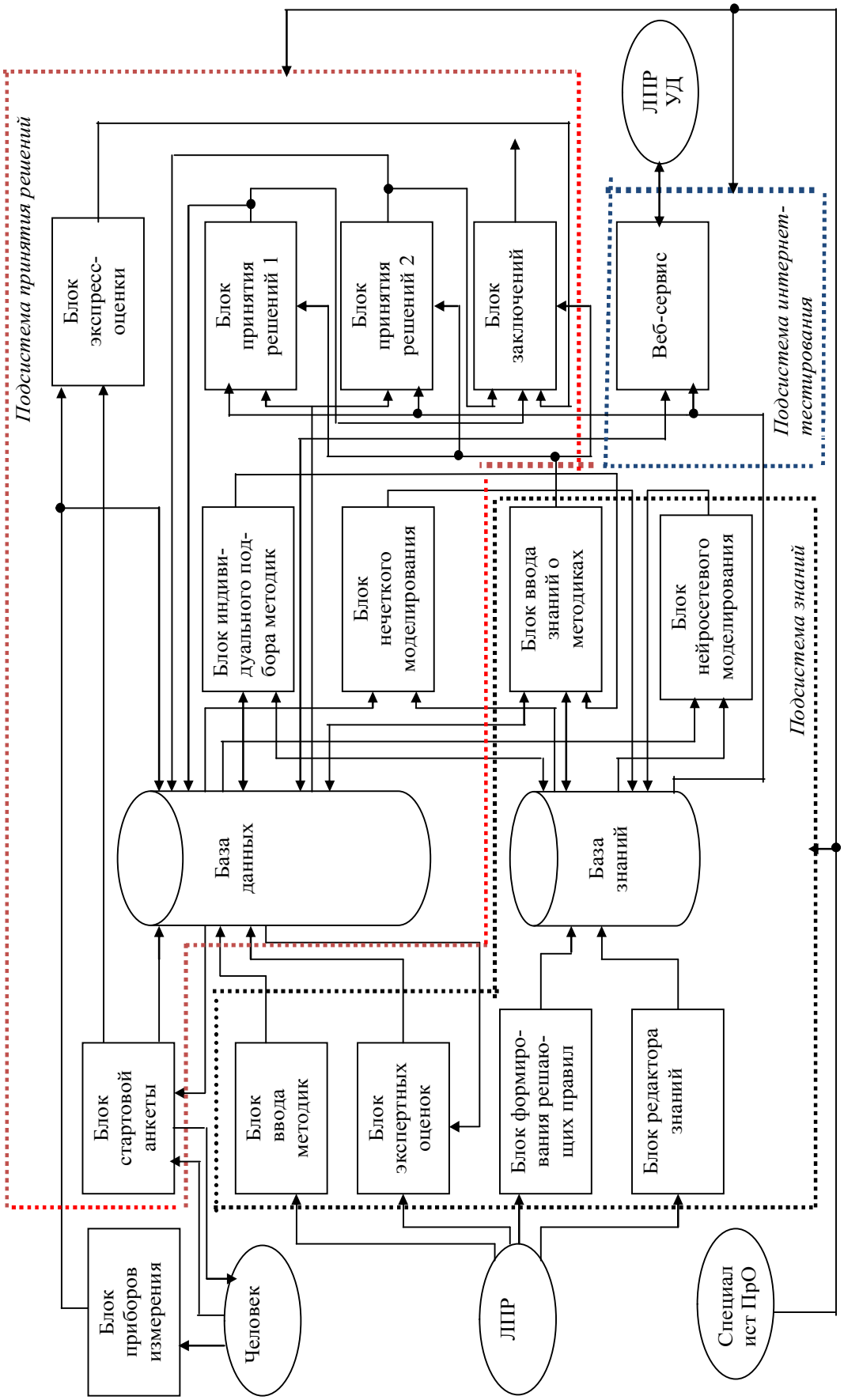


Рис. 2. Структурная схема проблемно-ориентированной системы поддержки принятия решений при тестировании профпригодности работников экстремальных профессий

СППР функционально состоит из трех подсистем: подсистемы знаний, подсистемы принятия решений и подсистемы интернет-тестирования.

Координацию между этими подсистемами осуществляют ЛПР и специалист по программному обеспечению.

Второй поток данных формируется посредством блока приборов измерения и представляет собой объективные данные о состоянии анатомо-функциональных систем организма человека. Таким образом, в базе данных формируется файл данных, отражающий как состояние анатомо-функциональных систем организма человека, так и психологические характеристики тестируемого.

Синтез решающих правил осуществляется на основе анализа обучающих выборок. Решающие правила хранятся в базе знаний СППР. Тестирование может осуществляться по одной методике или по нескольким методикам. Для этого блок ввода знаний о методиках сообщает блокам принятия решений программу тестирования. В соответствии с выбранной методикой в блок стартовой анкеты поступают соответствующие опросники. Результаты анкетирования записываются в базу данных. После окончания тестирования данные из базы данных поступают в блоки принятия решений. В структуре СППР предусмотрено три блока принятия решений в соответствии со структурой, приведенной на рисунке 1.

Для экспресс-диагностики используется блок экспресс-оценки. В этом случае данные тестирования попадают не в базу данных, а непосредственно на решающие модули, включенные в блок экспресс-оценки. Туда же непосредственно попадают данные от приборов измерения.

Отличительной особенность экспресс-анализа является то, что при принятии решения используется только одна анкета и минимум инструментальных исследований.

Веб-сервис

Программное обеспечение подсистемы интернет-тестирования (веб-сервис) обеспечивает интернет-тестирование удаленного пользователя, то есть удаленное взаимодействие СППР с ЛПР и кандидатами.

При интернет-тестировании веб-сервис взаимодействует не только с базой-данных СППР, но и с базой знаний, что позволяет использовать методы обработки данных и решающие правила, предназначенные для обработки таблиц экспериментальных данных, заполненных в результате взаимодействия с удаленным пользователем. Каждой таблице экспериментальных данных соответствовал определенный метод ее анализа, а каждой группе аналогичных таблиц экспериментальных данных (построены по принципу тест – решающее правило) соответствовал свой мета-метод.

Кроме того, у удаленного пользователя имеется возможность доступа к таблицам экспериментальных данных и возможности редактировать записи базы данных, то есть добавлять свои таблицы экспериментальных данных, свои методы и свои мета-методы. При этом не ставилась задача в обеспечении единой координации исследований. По существу каждый удаленный пользователь может выполнять как пассивные функции: наполнение базы данных таблицами экспериментальных данных и методами их обработки, так и использовать все информационные ресурсы веб-сервиса для решения своей конкретной задачи [10].

Модуль удаленного взаимодействия с пользователем представляет набор скриптов на языке Java и требует для работы установленного веб-сервера интерпретатор Java и СУБД MySQL. Сервер СУБД и веб-сервер могут быть установлены на разных компьютерах.

Для создания продукта применялся фреймворк Spring [12], язык Java для программирования основной функциональной части. Для доступа к данным применяется драйвер mysql-connector-java, используемый в пуле c3p0. Для создания шаблонов страниц использовался шаблонизатор thymeleaf [13].

Программный модуль предназначен для обеспечения сетевыми функциями системы обработки таблиц экспериментальных данных (ТЭД). Сетевые функции предоставляются пользователю по схеме запрос-ответ.

Основные запросы клиента могут быть следующих видов:

– обработка ТЭД (загрузка, хранение, получение и др.), полученных в ходе клинической практики пользователя;

– ведение списка пациентов, у которых необходимо определить склонности к работе в экстремальных условиях;

– обработка информации о тестах и методики тестирования, которые могут быть использованы;

– ведение списка тестов.

Основные ответы от сервера клиенту веб-сервиса могут быть следующих видов:

– получение информации о тестах профпригодности работников МЧС;

– ведение списка тестируемых;

– ведение списка тестов, которые могут быть использованы для тестирования профпригодности работников;

Результаты

На основе вышеперечисленных требований рзработано программное обеспечение веб-сервиса с блочной структурой, представленной на рисунке 3.

Блочная структура отражает логическую структуру программного обеспечения и связи между модулями программного обеспечения.

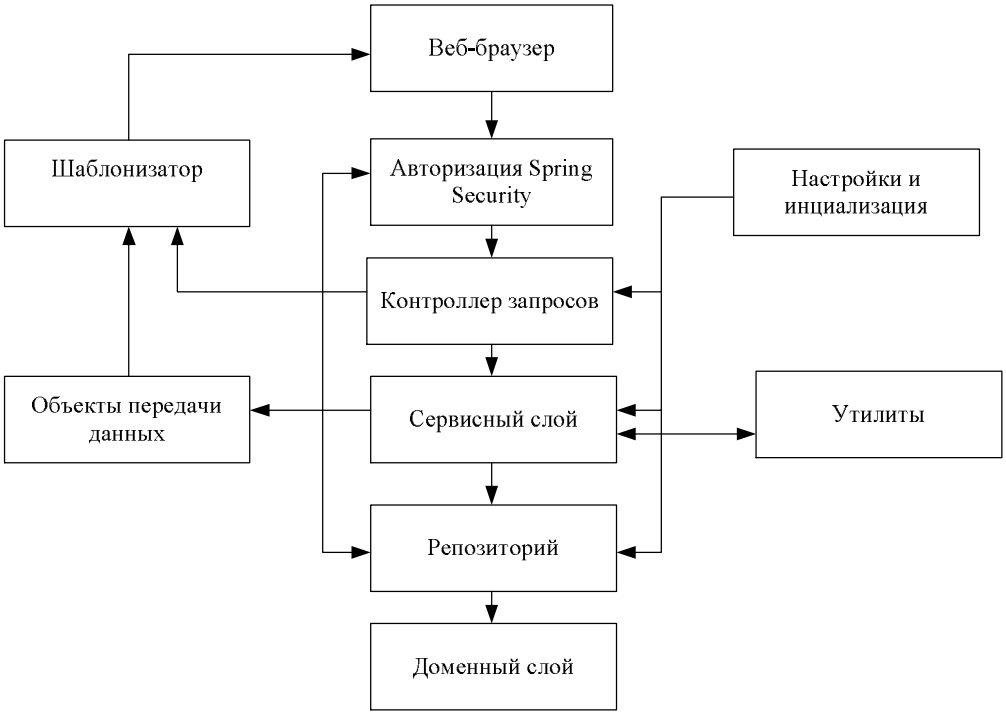


Рис. 3. Структура программного обеспечения веб-сервиса

Программное обеспечение состоит из следующих логических блоков:

– контроллер запросов;
– сервисный слой;
– репозиторий;
– доменный слой;
– утилиты;
– объекты передачи данных.

Все запросы, поступающие из внешней среды, перенаправляются в блок авторизации Security, который является частью фреймворка Spring. Работа в системе неавторизованных пользователей запрещена. Пользователям будет предложено зарегистрироваться или войти в систему, используя свой логин и пароль.

Контроллер запросов, обрабатывающий http-запросы пользователя, перенаправляет эти запросы на уровень бизнес-логики и формирует ответы пользователю в виде параметров модели представлений. Ответы формируются шаблонизатором на основе библиотеки thymeleaf [13].

Контроллер запросов изменяет параметры представлений или напрямую, или с помощью объектов передачи данных из модуля объектов передачи данных.

Блок описания объектов передачи данных выполняет функции сериализации данных в/из слоя представлений, необходим для маршалинга данных.

Сервисный слой необходим для реализации бизнес-логики, обработки и трансляции передаваемых данных с уровня представлений на уровень данных.

Пакет описания репозиториев служит для хранения сущностей, необходим для формирования интерфейсов доступа к данным предметной области посредством стандартных JPA-интерфейсов с формированием CRUD-модели хранения данных.

Блок доменного уровня сущностей необходим для представления сущностей предметной области в таблицах реляционной базы данных с указанием взаимосвязей между сущностями.

Блок утилит содержит процедуры маппинга (проецирования) данных из сервисного слоя в слой репозиториев и обратно, классов задания ролей в базе данных, а также некоторых вспомогательных классов, имплементирующих различные сервисные процедуры.

Блок настройки и инициализации необходим для настройки параметров приложения. Содержит следующие процедуры:

1. Процедура инициализации контекста приложения – необходима для настройки параметров многоязыковой поддержки и загрузки файлов, подключения основных компонент и сборки каркаса приложения, а также определения параметров окружения и места хранения статических ресурсов.

2. Процедура настройки параметров доступа к базе данных – необходима для конфигурации драйверов подключения к базе данных, настройки пула драйверов подключения, настройки менеджера персистентности, запуска менеджера транзакций.

3. Процедура инициализации секьюрити-менеджера – необходима для настройки уровней доступа, списка защищаемых контроллеров, определения точки входа в приложение и страниц авторизации.

4. Процедура настройки параметров шаблонизатора – необходима для задания путей шаблонов представлений, указания типа продукта шаблонизации и параметров кэша.

Веб-сервис включает следующие элементы:

– персональный компьютер;
– базу данных удаленного пользователя (сегмент в базе данных СППР);

– программный модуль для формирования принятия решений (зеркальное отражение блоков принятия решений в подсистеме принятия решений);

– программный модуль агрегирования решений (зеркальное отражение блока заключений в подсистеме принятия решений).

Проведя работу по оценке необходимой мощности вычислительных средств для решения поставленных задач, были предложены рекомендации по выбору персонального компьютера. Персональный компьютер рекомендуется использовать со следующими параметрами:

– от 3 Гб оперативной памяти, например память 8 шт. Kingston ValueRAM <KVR16R11D8/8> DDR-III DIMM 8Gb <PC3-12800> ECC Registered with Parity CL11;

– процессор семейства x86-64 с частотой не ниже 1 ГГц, например 2 шт. CPU Intel Xeon E5-2630 V2 2.6 GHz/6core/1.5+15Mb/80W/7.2 GT/s LGA2011;

– жесткий диск объемом не менее 30 Гб, например 2 шт. HDD 2 Tb SATA 6Gb/s Western Digital RE <WD2000FYYZ> 3.5" 7200rpm 64Mb.

Рекомендуемая программная конфигурация приведена ниже:

– виртуальная машина Java v7;

– СУБД MySQL v5;

– программная платформа MATLAB R2014a;

– веб-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer как программы-клиенты пользователей.

После выбора конфигурации программной платформы обоснуем выбор операционной системы.

Выбор программной платформы обусловливает выбор операционной системы. Отметим, что из-за кроссплатформенности частей выбранная программная платформа может быть запущена как на операционной системе из ряда Windows, так и на операционной системе из ряда Linux. Причем как на серверных операционных системах, так и на пользовательских операционных системах. Главное требование – это поддержка протокола TCP/IP и возможность запуска приведенной программной конфигурации, чему удовлетворяют все вышеприведенные семейства операционных систем.

Для администрирования СУБД рекомендуется установить на сервер phpMyAdmin.

Для корректной работы программного обеспечения необходимо, чтобы были выполнены следующие условия: доступность сервера через сеть Internet, а также должна быть развернута СУБД и создана база данных. Если в базе данных первоначально не было необходимых таблиц, то JPA-менеджер создаст необходимые таблицы и связи между ними.

Сформируем входные данные программного обеспечения.

К входным данным программного обеспечения относят:

– базовый URL-адрес сервера;

– адрес сервера баз данных;

– имя базы данных;

– имя пользователя базы данных и его пароль;

– максимально допустимый размер загружаемых файлов.

Данные, поступающие от пользователей:

– Ф. И. О.;

– логин;

– пароль;

– данные об используемых тестах;

– данные о тестируемых;

– данные о методах принятия решений (решающих правилах).

Все запросы от пользователей отправляются по протоколу http. Форматы запросов приведены далее.

Адрес и поля запроса «Вход в систему» представлены на рисунке 4.

Для выхода из системы необходимо направить get-запрос по адресу /logout.

На рисунке 5 представлены поля и адрес запроса «Регистрация в системе».

Для получения списка используемых тестов необходим get-запрос на адрес /medications/get.

Для создания описания нового теста используется POST-запрос на адрес /medications/create. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 6.

Адрес - /login
Имя пользователя
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" j_username\"
Пароль
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" j_password\"

Рис. 4. Адреса и поля запроса «Вход в систему»

Адрес - / /signup

Имя
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" firstName\"

Фамилия
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" lastName\"

Логин
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" username\"

Пароль
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" password\"

Пароль еще раз
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" repassword\"

Рис. 5. Поля и адрес запроса «Регистрация в системе»

Адрес - /medications/create

Наименование
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"name \"

Описание
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"description \"

Тип
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"type \"

Рис. 6. Адрес и поля запроса для создания описания нового теста или метода

Для редактирования описания нового метода используется GET-запрос на адрес /medications/ edit. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 7.

Для удаления описания нового теста используется GET-запрос на адрес /medications/ delete. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 8.

Для получения списка применяемых тестов используется get-запрос на адрес / prescriptions /get.

Для создания нового метода используется POST-запрос на адрес / prescriptions /create.

Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 9.

Для редактирования метода используется GET-запрос на адрес / prescriptions / edit. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 10.

```
Адрес - /medications/ edit
Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 7. Адрес и поля запроса «редактирование существующего описания нового метода»

```
Адрес - /medications/ delete
Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 8. Адрес и поля запроса «удаление существующего теста»

```
Адрес - / prescriptions /create
Доза
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" doze \"
Описание
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"description \"
пациент
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"patient _id\"
Лекарство
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" medication _id\"
```

Рис. 9. Адрес и поля запроса «создание нового метода»

```
Адрес - / prescriptions / edit

Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 10. Адрес и поля запроса «редактирование существующего метода»

Для удаления метода используется GET-запрос на адрес / prescriptions / delete. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 11.

Для получения списка описания кандидатов используется get-запрос на адрес / patients /get.

Для создания нового описания пациента используется POST-запрос на адрес / patients /create.

Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 12.

Для редактирования описания пациента используется GET-запрос на адрес / patients / edit. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 13.

Для удаления описания пациента используется GET-запрос на адрес / patients / delete. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 14.

```
Адрес - / prescriptions / delete

Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 11. Адрес и поля запроса «удаление существующего лекарственного назначения»

```
Адрес - / patients /create
Имя
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" firstname \"
Фамилия
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" lastname \"
Отчество
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" middlename \"
Дата рождения
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" birth \"
Пол
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" male \"
```

Рис. 12. Адрес и поля запроса «создание нового описания пациента»

```
Адрес - / patients / edit
Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 13. Адрес и поля запроса «редактирование существующего описания пациента»

```
Адрес - / patients / delete

Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"
```

Рис. 14. Адрес и поля запроса «удаление существующего описания пациента»

Для создания нового описания обучающей выборки используется POST-запрос на адрес / pictures /create. Для загрузки файла обучающей выборки на сервер используется POST-запрос на адрес / pictures /upload с параметром MultipartFile. Адрес и поля запроса для создания нового описания обучающей выборки приведены на рисунке 15.

Для редактирования описания обучающей выборки используется GET-запрос на адрес / pictures / edit. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 16.

Для удаления описания обучающей выборки используется GET-запрос на адрес / pictures / delete. Адрес и поля этого запроса приведены на рисунке 17.

Адрес - / pictures /create

Имя
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" name \"

Локатор ресурса
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" url \"

Путь к файлу
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" path \"

Пациент
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\" patient_id \"

Рис. 15. Адрес и поля запроса «создание нового описания обучающей выборки»

Адрес - / pictures / edit

Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"

Рис. 16. Адрес и поля запроса «редактирование существующего описания изображения»

Адрес - / pictures / delete

Идентификатор
ContentTypeHeader - text/plain
ContentDispositionHeader - form-data; name=\"id \"

Рис. 17. Адрес и поля запроса «удаление существующего описания обучающей выборки»

Сформулируем требования к выходным данным программного обеспечения.

К выходным данным программы можно отнести следующее:

– html-страницы, содержащие информацию по запросу пользователя;

– файлы обучающих выборок и файлы ТЭД;

– ответы системы в случае возникновения ошибок.

В случае возникновения ошибок возвращаются следующие сообщения с соответствующими кодами HTTP-ответа (отличным от 200):

- Ошибка запрета доступа error.access.denied. Сообщение: «Доступ не разрешен. У вас недостаточно прав для доступа!».
- Ошибка неверного запроса пользователя error.BadRequest. Сообщение: «Неправильный запрос. Проверьте данные».
- Внутренняя ошибка сервера error.InternalServerError. Сообщение: «Внутренняя ошибка сервера».
- Недопустимые данные error.WrongData. Сообщение: «Проверьте вводимые данные».
- Неправильный логин или пароль status.login.failure. Сообщение: «Не могу войти. Проверьте имя и пароль!».
- Совпадение логина status.signup. invalid.username.duplicate. Сообщение: «Такой логин уже занят!».
- Несоответствие паролей на форме ввода пользователя status.signup. invalid.password.notmatching. Сообщение: «Пароли не соответствуют друг другу!».

Выводы

Разработанная подсистема интернет-тестирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий включает набор логических блоков, отличающийся их функциональным взаимодействием. Подсистема позволяет лицу, принимающему решение, осуществлять тестирование профпригодности через Интернет посредством доступа к базе знаний и базе данных системы поддержки принятия решений, а также к инструментальным средствам создания блоков принятия решений.

Список литературы

1. Алгоритмы метаанализа эффективности диагностических и терапевтических решений на основе мониторинга суррогатных маркеров, получаемых по результатам анализа сложноструктурируемых изображений / А. Г. Курочкин, А. А. Кузьмин, С. А. Филист [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 4(21). С. 41–55.

2. Позин А. О., Филист С. А., Шуткин А. Н. Адаптируемые к структуре данных классификаторы в задачах прогнозирования профессиональных заболеваний // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Второй Всерос. науч.-практ. конф. / Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 161–164.

3. 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.

4. Филист С. А., Волков И. И., Емельянов С. Г. Метод классификации сложных объектов на основе анализа структурных функций медленных волн // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 4. С. 6–11.

5. Филист С. А., Уварова В. В., Шуткин А. Н. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных // Вопросы ра-

диоэлектроники. Серия «Общетехническая» (ОТ). 2015. Вып. 7. С. 102–110.

6. Гибридные многоагентные классификаторы в биотехнических системах диагностики заболеваний и мониторинге лекарственных назначений / А. Н. Шуткин, М. А. Ефремов, О. В. Шаталова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 42–48.

7. Шуткин А. Н., Бойцова Е. А., Кореневская С. Н. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 2(15). С. 107–118.

8. Использование технологии мягких вычислений для оценки защитных свойств организма / А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, Л. П. Лазурина [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 2(15). С. 62–72.

9. Шуткин А. Н. Методология синтеза нечетких гибридных решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых образовательным процессом // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 6(314). С. 122–129.

10. Нейросетевые модели для метаанализа медико-экологических данных / А. Н. Шуткин, А. Г. Курочкин, В. В. Протасова [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. № 6. С. 48–54.

11. Структурно-функциональная модель для мониторинга влияния управляющих воздействий на функциональное состояние самоорганизующихся систем / А. Н. Шуткин, П. С. Кудрявцев, В. В. Протасова [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии: научно-технический журнал. 2015. № 2(30). С. 105–119.

12. Spring documentation [Электронный ресурс] / Pivotal Software, Inc. – Электрон. дан. – 2015. URL: http://spring.io/docs, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

13. Using Thymeleaf [Электронный ресурс] / THYMELEAF Team. – Электрон. дан. – 2014. – URL: http://www.thymeleaf.org/ doc/tutorials/2.1/ usingthymeleaf.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

Поступила в редакцию 12.10.17

UDC 004.891

T. V. Petrova, St. Petersburg State University of Civil Aviation (St. Petersburg, Russia) (e-mail: Efremov_ma@mail.ru)

A. A. Kuzmin, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ku3bmin@gmail.com)

A. N. Shutkin, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: SFilist@gmail.com)

V. V. Serebrovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: SFilist@gmail.com)

SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION MAKING FOR PROFESSIONAL SELECTION OF WORKERS OF EXTREME PROFESSIONS WITH THE USE OF INTERNET TECHNOLOGIES

The article discusses the construction of decision support systems for forecasting the professional suitability of workers in extreme professions. It is shown that when assessing professional suitability in the decision-

making process, it is necessary to process complex structured and heterogeneous data obtained from specialists in various fields of knowledge: psychologists, biologists, doctors, specialists in automated data processing systems for medical purposes. Combine this knowledge can only be using computer technology. The article proposes one of the possible structures of a decision support system that implements such a combination. Four segments are allocated in the system, in which autonomous decisions on professional suitability are made, with the possibility of their subsequent integration in accordance with the selected decision weights taken in the selected segments.

Each segment has a three-level structure and consists of a method generator, autonomous agents, and an aggregator. The method generator forms the space of informative attributes for this method and determines the methods of their processing by means of second-level intelligent agents. Segments control the adaptation potential, health, psychological portrait and virtual flow of the candidate, and the virtual flow is determined by latent variables that are not controlled by available tests.

The structural scheme of the problem-oriented decision support system for testing the proficiency of workers in extreme professions functionally consists of three subsystems: the knowledge subsystem, the decision making subsystem and the Internet testing subsystem. Coordination between these subsystems is carried out by a decision maker, and a software specialist. The Internet testing subsystem allows LPR to perform asynchronous and time-invariant testing of various social groups of candidates geographically dispersed. Covering the vast regions, Internet testing allows you to implement various approaches to meta-analysis of data, as well as create candidate databases for subsequent training of decision modules.

The requirements to the web service software and ways to create its software modules are examined. A prototype of a possible implementation is presented.

Key words: *forecasting professional suitability of workers in extreme professions, decision support systems, Internet technologies, web services, software.*

For citation: Petrova T. V., Kuzmin A. A., Shutkin A. N., Serebrovskiy V. V. System of support of decision making for professional selection of workers of extreme professions with the use of internet technologies. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 79–94 (in Russ.).

References

1. Kurochkin A. G., Kuz'min A. A., Filist S. A., eds. Algoritmy metaanaliza ehffek-tivnosti diagnosticheskih i terapevticheskih reshenij na osnove monitoringa surrogatnyh markerov, poluchaemyh po rezul'tatam analiza slozhnostrukturiruemyh izobrazhenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 4(21), pp. 41–55.

2. Pozin A. O., Filist S. A., Shutkin A. N. Adaptiruemye k strukture dannyh klassifikatory v zadachah prognozirovaniya professional'nyh zabolevanij. Iskusstvennyj intellekt v reshenii aktual'nyh social'nyh i ehkonomicheskih problem XXI veka. Sb. st. po materialam Vtoroj Vseros. nauch.-prakt. konf. Permskij gos. nac. issled. un-t. Perm', 2017, pp. 161–164.

3. Filist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibridnaya nejronnaya set' s makrosloyami dlya medicinskih prilozhenij. Nejrokomp'yutery. Razrabotka i primenenie, 2014, no. 6, pp. 35–39.

4. Filist S. A., Volkov I. I., Emel'yanov S. G. Metod klassifikacii slozhnyh ob"ektov na osnove analiza strukturnyh funkcij medlennyh voln. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2012, no. 4, pp. 6–11.

5. Filist S. A., Uvarova V. V., Shutkin A. N. Strukturno-funkcional'naya model' meta-analiza mediko-ehkologicheskih dannyh. Voprosy radioehlektroniki. Seriya «Obshchetekhnicheskaya» (OT), 2015, is. 7, pp. 102–110.

6. Shutkin A. N., Efremov M. A., Shatalova O. V., eds. Gibridnye mnogoagentnye klassifikatory v biotekhnicheskih sistemah diagnostiki zabolevanij i monitoringe lekarstvennyh naznachenij. Nejrokomp'yutery: razrabotka, primenenie, 2015, no. 6, pp. 42–48.

7. Shutkin A. N., Bojcova E. A., Korenevskaya S. N. Ispol'zovanie gibridnyh nechetkih modelej dlya ocenki stepeni

utomleniya. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 2(15), pp. 107–118.

8. Shutkin A. N., Bojcova E. A., Lazurina L. P., eds. Ispol'zovanie tekhnologii myagkih vychislenij dlya ocenki zashchitnyh svojstv organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 2(15), pp. 62–72.

9. Shutkin A. N. Metodologiya sinteza nechetkih gibridnyh reshayushchih pravil dlya resheniya zadach prognozirovaniya i rannej diagnostiki zabolevanij, provociruemyh obrazovatel'nym processom. Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2015, no. 6(314), pp. 122–129.

10. Shutkin A. N., Kurochkin A. G., Protasova V. V., eds. Nejrosetevye modeli dlya meta-analiza mediko-ehkologicheskih dannyh. Nejrokomp'yutery: razrabotka, primenenie, 2015, no. 6, pp. 48–54.

11. Shutkin A. N., Kudryavcev P. S., Protasova V. V., eds. Strukturno-funkcional'naya model' dlya monitoringa vliyaniya upravlyayushchih vozdejstvij na funkcional'noe sostoyanie samoorganizuyushchihsya system. Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. nauchno-tekhnicheskij zhurnal, 2015, no. 2(30), pp. 105–119.

12. Spring documentation [Ehlektronnyj resurs] / Pivotal Software, Inc. – Ehlektron. dan. – 2015. URL: http:// spring.io/docs, svobodnyj. – Zagl. s ehkrana. – Yaz. angl.

13. Using Thymeleaf [Ehlektronnyj resurs] / THYMELEAF Team. – Ehlektron. dan. – 2014. – URL: http://www. thymeleaf.org/ doc/tutorials/2.1/ usingthymeleaf.pdf, svobodnyj. – Zagl. s ehkrana. – Yaz. angl.

УДК 616.5-002.4

А. В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ КОКБ (Курск, Россия) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГАНГРЕНЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества оказания помощи больным, страдающим критической ишемией нижних конечностей, переходящей в гангрену, которая может закончиться ампутацией и даже смертью. В ходе проведенных исследований было показано, что задача прогнозирования возникновения и развития гангрены нижних конечностей относится к классу плохоформализуемых задач с нечеткой структурой данных, что послужило основанием для выбора в качестве базового аппарата исследований методологии синтеза гибридный нечетких решающих правил. В ходе синтеза нечетких решающих правил был обоснован выбор информативных признаков, получаемых в ходе опросов и осмотров, инструментальных и лабораторных методов исследования. В качестве базовых элементов нечетких решающих правил получены функции принадлежности к классу «высокий риск развития гангрены», которые агрегируются в нечеткое правило оценки уверенности в том, что у пациента разовьется гангрена нижних конечностей. На шкале уверенности в развитии гангрены эксперты определили вторичные функции принадлежности к таким прогнозируемым классам состояний пациента, как: I – низкая уверенность в развитии гангрены; II – средняя уверенность в развитии гангрены; III – высокая уверенность в развитии гангрены; IV – очень высокая уверенность в развитии гангрены. Решение о классификации принимается по максимальному значению прогностических функций принадлежности.

Проведенное математическое моделирование и экспертное оценивание полученных нечетких моделей показало, что их прогностическая уверенность составляет не менее 0,9. Это же качество прогнозирования было подтверждено в ходе статистических испытаний на контрольных выборках объемом 100 человек на каждый класс по таким показателям, как диагностическая специфичность, чувствительность и эффективность, а также прогностическая значимость положительных и отрицательных результатов.

Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые математические модели к использованию в практике работы сердечно-сосудистых хирургов и ангиологов.

Ключевые слова: *гангрена, нечеткие модели, ишемия нижних конечностей, тромбоз, анемия, прогнозирование развития гангрены.*

Ссылка для цитирования: Быков А. В. Прогнозирование возникновения и развития гангрены нижних конечностей на основе нечетких моделей принятия решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 95–102.

***

Одной из важнейших задач рационального выбора тактики ведения больных с критической ишемией нижних конечностей является возможность оценки возникновения ишемических осложнений в виде гангрены.

С математической точки зрения исследуемая задача относится к классу плохоформализуемых задач прогнозирования, которые рекомендуется решать с использованием современных математических методов, информационных и интеллектуальных технологий [4; 9; 13–18].

Анализ различных методов прогнозирования осложнений нижних конечностей показывает, что известные методы не решают задачи с приемлемой для медицинской практики точностью прогнозирования развития гангрены нижних конечностей.

Это во многом определяется сложностью аналитического описания процессов, сопровождающих появление и развитие гангрены, поскольку и потенциальные информативные признаки, и прогнозируемые состояния нижних конечностей имеют нечеткую и неполную структуру данных.

В данной работе предлагается для решения задачи синтеза математической модели прогнозирования возникновения и развития гангрены нижних конечностей использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, ориентированных на решение плохоформализуемых задач со сложной структурой данных [5–15; 19; 21–24].

На первом этапе синтеза искомых решающих правил в соответствии с рекомендациями [1–3; 5–7; 20–23] высококвалифицированные эксперты решают задачу выбора пространства информативных признаков с учетом опыта работ по получению решающих правил для прогнозирования и диагностики хронической ишемии нижних конечностей.

Проведя анализ результатов наблюдений за больными с развивающейся гангреной нижних конечностей, эксперты выбрали следующую группу показателей:

X_1 – критерии качества жизни (КЖ);

X_2 – инструментальные методы исследования;

X_3 – лабораторные показатели;

X_4 – данные температуры тела;

X_5 – характеристика сердечно-сосудистой системы;

X_6 – характеристика дыхательной системы.

В результате проведенной по методу Делфи экспертизы предложенный перечень был признан наиболее полным, и по каждому из них эксперты по шкале с диапазоном [0,1] дали свои заключения по информативности. Средние величины значений экспертной информативности приведены в таблице.

Для формализованного описания первого показателя (X_1 – качество жизни) эксперты определили шкалу в виде системы градаций:

X_1 КЖ

а) ограничение дистанции безболевой ходьбы (менее 20 метров)	1
б) боль при любой физической нагрузке, но без болей в покое	3
в) боль в покое через 5 часов сна	4
г) боль в покое через 2 часа сна	5
д) постоянная боль без отека стопы	6
е) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов	7
ж) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов, акроцианоз стопы	8
з) постоянная боль, отек стопы с гиперемией кожных покровов, акроцианоз, трофическая язва стопы	10

Показатель X_2 (инструментальные методы исследования) представляется традиционно измеряемыми в медицине показателями с непрерывными шкалами: лодыжечно-плечевой индекс (Y_1 = ЛПИ) и реографический индекс (Y_2 = РИ).

Средние значения экспертной информативности прогностических признаков

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Экспертная уверенность	0,27	0,33	0,25	0,4	0,8	0,54

Показатель X_3 (лабораторные показатели) эксперты определили таким набором признаков, как СОЭ отдельно у мужчин (м) и женщин (ж), наличие лейкоцитоза, тромбоза и анемии.

Показатель X_4 определяется естественной температурной шкалой.

Характеристика сердечно-сосудистой системы (X_5) представлена частотой сердечных сокращений ЧСС = Y_5; артериальным давлением АД; показателем аритмии (АР).

Характеристика дыхательной системы (X_6) определяется частотой дыхательных движений (ЧДД).

В соответствии с общей моделью синтеза гибридных нечетких решающих правил на втором этапе определяются вид и параметры функций принадлежности $\mu_{\omega 1}(X_i)$ [5; 6; 9; 16] к классу «высокий риск появления гангрены нижних конечностей».

На этом этапе каждому из введенных показателей и признаков определены следующие функции принадлежностей и правила для их получения:

$$\mu_{\omega 1}(X_1) = 0{,}025X_1 + 0{,}05;$$

$$\mu_{\omega 1}(X_2) = \mu_{\omega 1}(Y_1) + \mu_{\omega 1}(Y_2) - \mu_{\omega 1}(Y_1) \cdot \mu_{\omega 1}(Y_2);$$

$$\mu_{\omega 1}(Y_1) = \mu_{\omega 1}(\text{ЛПИ}) = \begin{cases} 0{,}3, \text{ если } Y_1 < 0{,}1; \\ -0{,}333Y_1 + 0{,}333, \text{ если } -0{,}1 \le Y < 1{,}0; \\ 0, \text{ если } Y_1 \ge 1{,}0; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 2}(Y_2) = \mu_{\omega 2}(\text{РИ}) = \begin{cases} 0{,}2, \text{ если } Y_2 < 0{,}025; \\ -0{,}205Y_2 + 0{,}205, \text{ если } -0{,}025 \le Y_2 < 1{,}0; \\ 0, \text{ если } Y_2 \ge 1{,}0. \end{cases}$$

Функция принадлежности к классу ω_1 по признаку X_3 заменяется комбинированным нечетким правилом следующего вида:

ЕСЛИ [(СОЭ (М) < 10) ИЛИ (СОЭ (Ж) < 15], ТО $\mu_{\omega 1}(X_3) = 0$.

ЕСЛИ [(СОЭ (М) ≥10) ИЛИ (СОЭ (Ж) ≥ 15], ТО

$$[\mu_{\omega 1}(X_3) = \mu_{\omega 1}(a_1) + \mu_{\omega 1}(a_2) + \mu_{\omega 1}(a_3) - \mu_{\omega 1}(a_1) \cdot \mu_{\omega 1}(a_2) - \mu_{\omega 1}(a_1) \cdot \mu_{\omega 1}(a_3) - \mu_{\omega 1}(a_2) \cdot \mu_{\omega 1}(a_3) + \mu_{\omega 1}(a_1) \cdot \mu_{\omega 1}(a_2) \cdot \mu_{\omega 1}(a_3)],$$

$$\text{где } \mu_{\omega 1}(a_1) = \begin{cases} 0, \text{ если лейкоцитоз отсутствует;} \\ 0{,}025, \text{ если присутствует лейкоцитоз.} \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 1}(a_2) = \begin{cases} 0, \text{ если тромбоз отсутствует;} \\ 0{,}015, \text{ если есть тромбоз.} \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 1}(a_3) = \begin{cases} 0, \text{ если анемия отсутствует;} \\ 0{,}01, \text{ если есть анемия.} \end{cases}$$

В этих выражениях СОЭ (М) и СОЭ (Ж) означают числовые значения СОЭ для мужчин и женщин соответственно:

$$\mu_{\omega 1}(X_4) = \begin{cases} 0{,}2, \text{ если } X_4 < 36; \\ -0{,}333X_4 + 12{,}2, \text{ если } 36 \le X_4 < 36{,}6; \\ 0{,}286X_4 - 10{,}46, \text{ если } 36{,}6 \le X_4 < 38; \\ 0{,}4, \text{ если } X_4 \ge 38. \end{cases}$$

Для признака X_5 с учетом рекомендаций по синтезу гибридных нечетких решающих правил функция принадлежности $\mu_{\omega 1}(X_5)$ определяется тремя агрегирующими решающими правилами:

$$\mu_{\omega 1}(X_5) = \mu_{\omega 1}(\text{ЧСС}) + \mu_{\omega 1}(\text{АД}) + \mu_{\omega 1}(\text{АР}) - \mu_{\omega 1}(\text{ЧСС}) \cdot \mu_{\omega 1}(\text{АД}) - \mu_{\omega 1}(\text{ЧСС}) \cdot \mu_{\omega 1}(\text{АР}) - \mu_{\omega 1}(\text{АД}) \cdot \mu_{\omega 1}(\text{АР}) + \mu_{\omega 1}(\text{ЧСС}) \cdot \mu_{\omega 1}(\text{АД}) \cdot \mu_{\omega 1}(\text{АР}),$$

$$\text{где } \mu_{\omega 1}(Y_5) = \mu_{\omega 1}(\text{ЧСС}) = \begin{cases} 0{,}1, \text{ если ЧСС} < 40; \\ -0{,}01\text{ЧСС} + 0{,}5, \text{ если ЧСС} < 50; \\ 0, \text{если } 50 \le \text{ЧСС} < 90; \\ 0{,}02\text{ЧСС} - 1{,}8, \text{ если } 90 \le \text{ЧСС} < 100; \\ 0{,}2, \text{ если ЧСС} \ge 100. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 1}(\text{АД}) = \begin{cases} 0{,}1, \text{ если АД} < 100; \\ -0{,}005\text{АД} + 0{,}6, \text{ если } 100 \le \text{АД} < 120; \\ 0, \text{если } 120 \le \text{АД} < 140; \\ 0{,}015\text{АД} - 2{,}1, \text{ если } 140 \le \text{АД} < 160; \\ 0{,}3, \text{ если АД} \ge 160. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 1}(\text{АР}) = \begin{cases} 0, \text{ если аритмия отсутствует}; \\ 0{,}008 \text{ при наличии аритмии}. \end{cases}$$

$$\mu_{\omega 2}(X_6) = \mu_{\omega 1}(X_4) = \mu_{\omega 1}(\text{ЧДД}) = \begin{cases} 0{,}04, \text{ если ЧДД} < 12; \\ -0{,}02\text{ЧДД} + 0{,}28, \text{ если } 12 \le \text{ЧДД} < 14; \\ 0, \text{если } 14 \le \text{ЧДД} < 18; \\ 0{,}045\text{ЧДД} - 0{,}81, \text{ если } 18 \le \text{ЧДД} < 20; \\ 0{,}09, \text{ если ЧДД} \ge 20. \end{cases}$$

С учетом того, что каждый из выделенных показателей (базовая переменная для соответствующей функции принадлежности) увеличивает уверенность в том, что у обследуемого разовьется гангрена нижних конечностей, базовая прогностическая модель согласно рекомендациям [5; 6; 20–23] описывается итерационной формулой вида

$$UO(q + 1) = UO(q) + \mu_{\omega 1}(X_{i+1})[1 - UO(q)], \quad (1)$$

где q – номер итерации; $UO(1) = \mu_{\omega 1}(X_1)$.

На четвертом этапе синтеза по шкале UO эксперты выделили четыре уровня уверенности в развитии гангрены:

I – низкая уверенность в развитии гангрены: UO < 0,25;

II – средняя уверенность в развитии гангрены UO $0{,}25 \le 40 < 0{,}55$;

III – высокая уверенность в развитии гангрены UO $0{,}55 \le 40 < 0{,}7$;

IV – очень высокая уверенность в развитии гангрены UO > 0,7.

Представляя каждый уровень уверенности развития гангрены соответствующей функцией принадлежности: $\mu_H(UO)$; $\mu_C(UO)$; $\mu_B(UO)$; $\mu_O(UO)$, и переходя к нечеткой интерпретации прогнозирования искомой ситуации, получаем прогностический график, приведенный на рисунке.

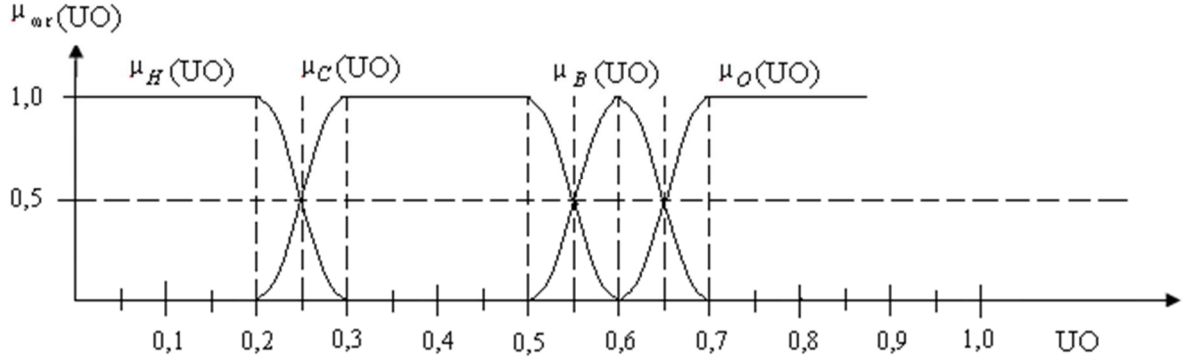


Рис. Графики функций принадлежности, классифицирующих уровень уверенности в развитии гангрены

Решение о классификации принимается по величине максимального значения $\mu_{\omega r}(UO)$, то есть

$$UO_r = \max[\mu_H(UO), \mu_C(UO), \mu_B(UO), \mu_O(UO)]. \quad (2)$$

Проведенное математическое моделирование и экспертное оценивание показали, что правилу (2) можно доверять с уверенностью не ниже 0,9. Такой результат позволяет рекомендовать полученные результаты в медицинскую практику.

Список литературы

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

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

3. Быков А. В., Кореневский Н. А., Емельянов С. Г. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 4–9.

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

6. 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.

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. Медицин-

ское приборостроение. 2013. № 2. С. 99–103.

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 для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 8. С. 128–136.

10. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н. А. Кореневский, М. В. 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. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

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

13. 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.

14. 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.

15. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных нечетких моделей / Н. А. Кореневский, В. И. Серебровский, Н. А. Коптева, Т. Н. Говорухина; Курская государственная сельскохозяйственная академия. Курск, 2012. 231 с.

16. Тутов Н. Д., Кореневский Н. А., Корженевич И. М. Способы представления разнотипных данных в задачах медицинских и экологических исследований // Известия Юго-Западного государственного университета. 1998. № 2. С. 56–63.

17. Distributed Barrier synchronization procedure with the dynamic limitation of the coordinating signal propagation area / A. A. K. H. Abu-Ein, I. V. Zotov, H. M. D. A. M. Hatamleh, D. E. Skopin // International Review on Computers and Software. 2012. Vol. 7, N 3. P. 991–995.

18. 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, N 7. P. 681–689.

19. 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 biomechanics and biomedical engineering. 2013. Vol. 16, N 3. P. 302–313.

20. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems // Biomedical engineering. 2015. Vol. 49. P. 46–49.

21. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation

of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems // Biomedical engineering. Springer New York. 2008. Vol. 42, N 2. P. 67–72. ISBN 0006-3398 (print) 1573-8256 (Online).

22. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems / N. A. Korenevskiy, S. A. Gorbatenko, R. A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical engineering. 2009. Vol. 43, N 4. P. 187–190.

23. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevskiy, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical engineering. 2013. Vol. 47, N 4. P. 169–172.

24. System for studying specific features of attention and memory / N. A. Korenevskiy, D. E. Skopin, A. A. Kuzmin, R. T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering. 2010. Vol. 44, N 1. P. 32–35.

25. Kursk S. M., Rasras R. J., Skopin D. The artificial neural network based approach for mortality structure analysis // American Journal of Applied Sciences. 2006. N 3. P. 1698.

26. Heart rate extraction from vowel speech signals / A. Mesleh, D. Scopin, S. Baglikov, A. Quteishat // Journal of Computer Science and Technology. 2012. Vol. 27, N 6. P. 1243.

27. Automated detection of artifacts in electroencephalography signals using a linear prediction model / R. Taha Al-Kassasbeh, M. Alshamasin, D. E. Skopin, O. Barbarawi, V. V. Geppener // Biomedical engineering. 2009. Vol. 43, N 1. P. 31–35.

Поступила в редакцию 22.09.17

UDC 616.5-002.4

A. V. Bykov, Candidate of Medical Sciences, cardiovascular surgeon, Consultative polyclinic of the BMU of Kursk region clinical hospital (Kursk, Russia) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

PREDICTING THE EMERGENCE AND DEVELOPMENT OF GANGRENE OF THE LOWER EXTREMITIES BASED ON FUZZY DECISION-MAKING MODELS

The work is devoted to the urgent problem of improving the quality of care for patients suffering from critical ischemia of the lower limbs, passing into gangrene, which can result in amputation and even death. In the course of the studies it was shown that the task of predicting the origin and development of gangrene of the lower extremities belongs to the class of poorly formalizable problems with an indistinct data structure, which served as the basis for choosing as the basic apparatus of research the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules. During the synthesis of fuzzy decisive rules, the selection of informative signs obtained during surveys and examinations, instrumental and laboratory methods of investigation was justified. As the basic elements of fuzzy decision rules, the functions of belonging to the class of high risk of gangrene development are obtained, which are aggregated into an unclear rule of confidence assessment that the patient will develop gangrene of the lower limbs. On a scale of confidence in the development of gangrene, experts determined the secondary functions of belonging to such predictable classes of patient conditions as: I – low confidence in gangrene development; II – moderate confidence in the development of gangrene; III – high confidence in the development of gangrene; IV – very high confidence in the development of gangrene. The decision to classify is taken based on the maximum value of prognostic membership functions.

The performed mathematical modeling and expert evaluation of the fuzzy models obtained showed that their predictive confidence is at least 0.9. The same quality of forecasting was confirmed during statistical tests on control samples of 100 persons per class for such indicators as diagnostic specificity, sensitivity and efficiency, as well as prognostic significance of positive and negative results.

The results obtained make it possible to recommend the proposed mathematical models for use in the practice of cardiovascular surgeons and angiologists.

Key words: *gangrene, fuzzy models, lower limb ischemia, thrombosis, anemia, prognosis of gangrene development.*

For citation: Bykov A. V. Predicting the Emergence and Development of Gangrene of the Lower Extremities Based on Fuzzy Decision-making Models. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 95–102 (in Russ.).

References

1. Bykov A. V., Ustinov A. G., Hripina I. I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenij ishemii nizhnih konechnostej putem ocenki funkcional'nogo rezerva organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4(17), pp. 81–88.

2. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Ustinov A. G. Nechetkij algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoj bolezni konechnostej dlya razlichnyh ehtapov vedeniya pacienta. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 2(19), pp. 142–155.

3. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Emel'yanov S. G. Prognozirovanie stepeni tyazhesti razvitiya ishemicheskogo processa v serdce, golovnom mozge i nizhnih konechnostyah na osnove nechetkih modelej. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2016, no. 9, pp. 4–9.

4. Gadalov V. N., Korenevskij N. A., Snopkov V. N. Matematicheskie modeli reflektornyh sistem organizma cheloveka i ih ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2012, vol. 11, no. 2, pp. 515–521.

5. Korenevskij N. A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya medicinskih ehkspertnyh system. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 1, pp. 33–35.

6. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovskij V. I. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij. Staryj Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p.

7. Korenevskij N. A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskih system. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 99–103.

8. Korenevskij N. A., Ruckoj R. V., Dolzhenkov S. D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkih reshayushchih pravil. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 905–909.

9. Korenevskij N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil dlya ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem po informacii o geometricheskoj strukture mnogomernyh dannyh. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 128–136.

10. Korenevskij N. A., Artemenko M. V., Provotorov V. Ya., Novikova L. A. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvyazej dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881–886.

11. Korenevskij N. A. Proektirovanie nechetkih reshayushchih setej, nastraivaemyh po strukture dannyh dlya zadach medicinskoj diagnostiki. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 12–20.

12. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnyh nechetkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnyh system. Naukoemkie tekhnologii, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31–39.

13. Korenevskij N. A. Principy i metody postroeniya interaktivnyh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunkcional'nyh modelej. Avtoref. dr. eng. sci. diss. St. Petersburg, 1993. 32 p.

14. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A., Dmitrieva V. V. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelej G. Rasha. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 6, pp. 37–40.

15. Korenevskij N. A., Serebrovskij V. I., Kopteva N. A., Govoruhina T. N. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemyh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami, na osnove geterogennyh nechetkih modelej. Kursk, 2012. 231 p.

16. Tutov N. D., Korenevskij N. A., Korzhenevich I. M. Sposoby predstavleniya raznotipnyh dannyh v zadachah medicinskih i ehkologicheskih issledovanij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 1998, no. 2, pp. 56–63.

17. Abu-Ein A. A. K. H., Zotov I. V., Hatamleh H. M. D. A. M., Skopin D. E. Distributed Barrier synchronization procedure with the dynamic limitation of the coordinating signal propagation area. International Review on Computers and Software, 2012, vol. 7, no. 3, pp. 991–995.

18. 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.

19. 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 biomechanics and biomedical engineering, 2013, vol. 16, no. 3, pp. 302–313.

20. Korenevskiy N. A. Application of fuzzy logic for decision-making in medical expert systems. Biomedical engineering, 2015, vol. 49, pp. 46–49.

21. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems. Biomedical engineering. New York, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 67–72. ISBN 0006-3398 (print) 1573-8256 (Online).

22. Korenevskiy N. A., Gorbatenko S. A., Krupchatnikov R. A., Lukashov M. I. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems. Biomedical engineering, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 187–190.

23. 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, no. 4, pp. 169–172.

24. Korenevskiy 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.

25. Kursk S. M., Rasras R. J., Skopin D. The artificial neural network based approach for mortality structure analysis. American Journal of Applied Sciences, 2006, no. 3, pp. 1698.

26. Mesleh A., Scopin D., Baglikov S., Quteishat A. Heart rate extraction from vowel speech signals. Journal of Computer Science and Technology, 2012, vol. 27, no. 6, p. 1243.

27. Al-Kassasbeh R. Taha, Alshamasin M., Skopin D. E., Barbarawi O., Geppener V. V. Automated detection of artifacts in electroencephalography signals using a linear prediction model. Biomedical engineering, 2009, vol. 43, no. 1, pp. 31–35.

УДК 616.147-005.6-089

О. И. Филатова, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mishustina.rita@yandex.ru)

В. Н. Мишустин, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

И. А. Моновцов, канд. мед. наук, доцент, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия) (e-mail: moni-1@yandex.ru)

Н. Н. Григорьев, д-р мед. наук, профессор, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия) (e-mail: meg200683@mail.ru)

ВОЗМОЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИРОВАНИЯ ОТЕЧНОГО СИНДРОМА ПРИ ТРОМБОЗЕ ВЕН НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ РАСПОЗНАЮЩЕГО ПРОГРАММНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время актуальной является задача разработки неинвазивных автоматизированных комплексов для бесконтактной диагностики различных заболеваний, основанных на распознавании изображений исследуемых объектов. В статье рассмотрены задачи разработки неинвазивных методов, основанных на безконтактной диагностике тромбозов вен нижних конечностей. Целью исследования явилось улучшение результатов диагностики тромбоза вен нижних конечностей путем динамического контроля за отечным синдромом. На первом этапе проводили неинвазивную скрининговую диагностику тромбоза глубоких вен нижних конечностей (голени и стопы) по своей оригинальной методике. С этой целью проводили измерение соотношения размеров контуров мягких тканей голени на рентгенограмме в прямой проекции между горизонтальными рентгеноконтрастными метками до и после наложения на нижнюю треть бедра и подколенную ямку компрессионной манжеты с давлением 40 мм рт. ст. для прекращения кровотока по подкожным венам голени. Если размер контура мягких тканей на рентгенограмме после компрессии увеличился, диагностируем тромбоз глубоких вен голени. На втором этапе диагностики был использован способ диагностики венозного тромбоза и устройство для его осуществления. Разработанное диагностирующее оптико-электронное устройство для быстрой диагностики тромбоза глубоких вен нижних конечностей работает на принципе сравнения площадей изображений мягких тканей голени до пережатия поверхностных вен (S_1) и после пережатия (S_2), что отражает выраженность отека. Комплекс имеет двухуровневую архитектуру. На нижнем уровне находится бинокулярное устройство, выполняющее ввод и предобработку изображений. На верхнем уровне располагается управляющая ПЭВМ, содержащая программное обеспечение для обработки полученной информации, постановки диагноза, организации диалога с пользователем посредством графического интерфейса и конфигурирования комплекса. Предложенный комплекс был использован для диагностики венозных окклюзионных тромбозов и тромбофлебитов у 55 больных, у 20 больных был выявлен тромбоз подколенной вены и у 35 – берцовых вен.

Ключевые слова: *неинвазивная диагностика, программно-диагностический комплекс, отечный синдром, тромбоз вен, нижние конечности.*

Ссылка для цитирования: Возможность инструментальной неинвазивной диагностики и мониторирования отечного синдрома при тромбозе вен нижних конечностей с помощью распознающего программно-диагностического комплекса / О. И. Филатова, В. Н. Мишустин, И. А. Моновцов, Н. Н. Григорьев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 104–113.

***

Актуальность исследования

При отсутствие адекватной профилактики доказанная частота возникновения тромбоза глубоких вен у больных, которым выполнили эндопротезирование, достигает 40–60% [2]. Некоторые авторы [4] считают, что частота наиболее опасного в плане эмбологенности проксимального венозного тромбоза у пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава составляет более 15%, а после эндопротезирования коленного – 55–70%, другие у 252 больных после тотального эндопроте-

зирования коленного и тазобедренного суставов выполнили рутинную флебографию нижних конечностей, которая выявила, что частота венозного тромбоза после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава составила 32% (16% – дистальный тромбоз, 16% – проксимальный тромбоз) [5]. После тотальной артропластики коленного сустава дистальный венозный тромбоз выявлен в 55% случаев, а проксимальный – в 16%.

Частота тромбоза глубоких вен нижних конечностей при эндопротезировании тазобедренного сустава, по данным некоторых исследователей [6], составляет 64–77%.

Тромбоэмболия легочной артерии, являющаяся следствием венозного тромбоза, остаётся основной причиной летальности у данной категории больных [3; 4]. При этом у 70–80% из них клинический диагноз ТЭЛА не устанавливается, поскольку в большинстве случаев венозный тромбоз протекает бессимптомно [5]. Более того, большинство клинически значимых тромбоэмболий происходит уже после выписки пациентов из стационара [6]. При этом нередко массивная ТЭЛА возникает внезапно и является первым проявлением ТГВ.

В настоящее время актуальной является задача разработки автоматизированных комплексов для бесконтактной диагностики различных заболеваний, основанных на распознавании изображений исследуемых объектов. Использование бинокулярной системы технического зрения в составе таких комплексов позволяет повысить точность диагностики за счет анализа двух проекций исследуемого объекта.

Цель исследования

Улучшение результатов диагностики тромбоза вен нижних конечностей путем динамического контроля за отечным синдромом.

Материалы и методы

На первом этапе проводили неинвазивную скрининговую диагностику тромбоза глубоких вен нижних конечностей (голени и стопы) по своей оригинальной методике (патент РФ №2229841). С этой целью и проводили измерение соотношения размеров контуров мягких тканей голени на рентгенограмме в прямой проекции между горизонтальными рентгеноконтрастными метками до и после наложения на нижнюю треть бедра и подколенную ямку компрессионной манжеты с давлением 40 мм рт.ст. для прекращения кровотока по подкожным венам голени, причем положение конечности в момент исследования определяется совпадением вертикальных рентгенконтрастных меток. Сдавление мягких тканей в нижней трети бедра и подколенной ямке вызывает нарушение оттока крови по поверхностным венам голени. А так как при тромбозе глубоких вен их функцию компенсирует поверхностная венозная система, то при прекращении кровотока по последней происходит увеличение объема мягких тканей голени за счет венозного отека. Увеличение объема мягких тканей голени легко может быть зарегистрировано и определено на рентгенограмме голени в прямой проекции путем измерения соотношения между размерами контура мягких тканей до и после компрессии. Если размер контура мягких тканей на рентгенограмме после компрессии увеличился, диагностируем тромбоз глубоких вен голени. Наличие вертикальных меток необходимо, чтобы положение конечности в момент измерения не менялось. Наличие горизонтальных меток необходимо для четкого установления границ контуров мягких тканей.

Предложенный способ поясняется рисунком 1.

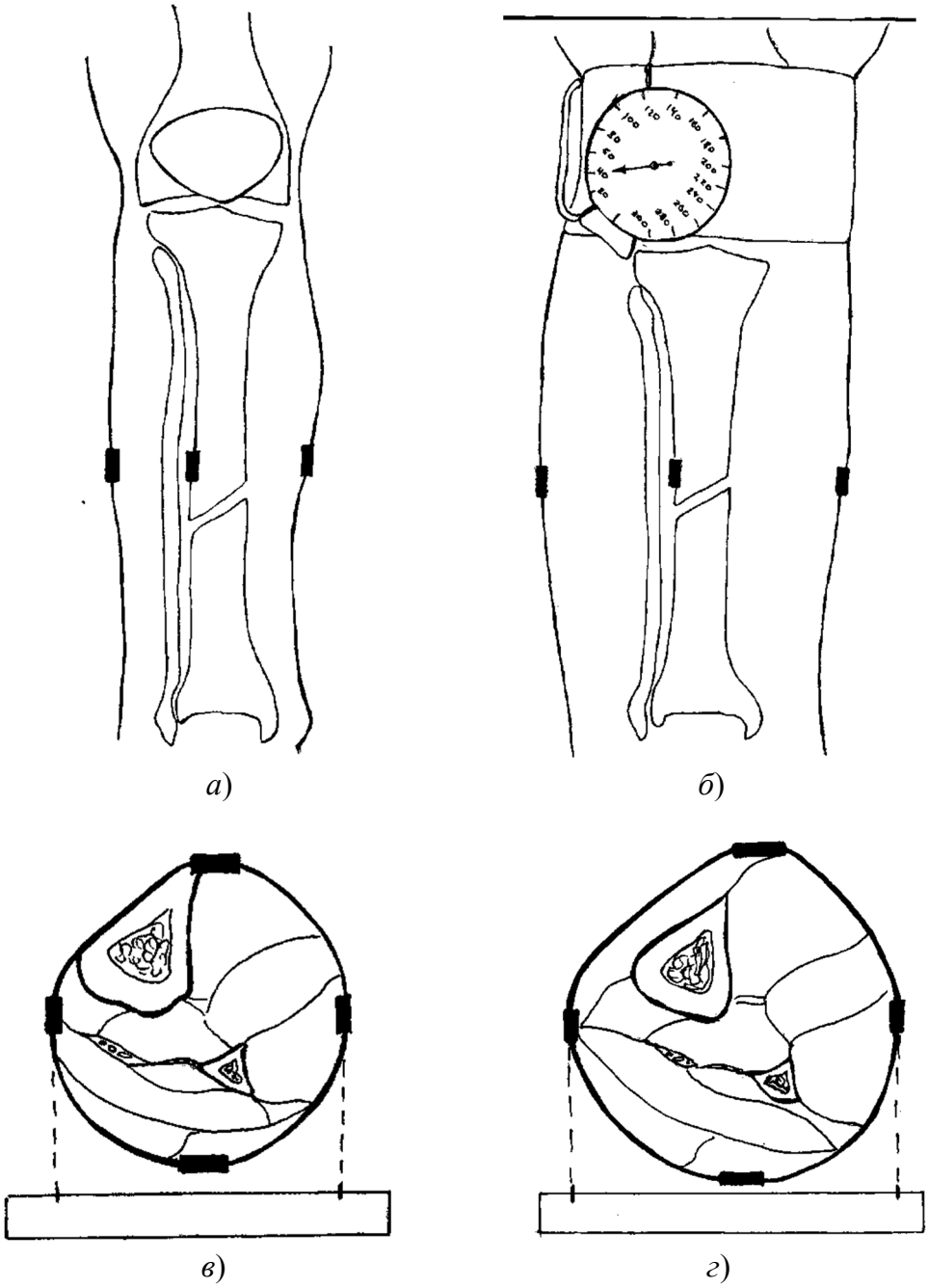


Рис. 1. Голень с переломом диафиза большеберцовой кости (*а*); поперечный разрез голени на рентгеновской кассете (*б*); голень с переломом диафиза большеберцовой кости после наложения на подколенную область компрессионной манжеты с давлением 40 мм рт. ст. для прекращения кровотока по подкожным венам голени (*в*); поперечный разрез голени на рентгеновской кассете после наложения на подколенную область компрессионной манжеты с давлением 40 мм рт. ст. для прекращения кровотока по подкожным венам голени (*г*): А1 и А2 – горизонтальные рентгеноконтрастные метки, В1 и В2 – соответственно верхняя и нижняя вертикальная рентгеноконтрастная метка, К – рентгеновская кассета с пленкой, М – компрессионная манжета с давлением 40 мм рт. ст.

Способ выполняется следующим образом: на кожу средней трети исследуемой голени на равном расстоянии друг от друга накладываем и фиксируем к ней лейкопластырем четыре рентгеноконтрастные метки (металлические по-

лоски 0,5 см). Производят укладку конечности на кассету так, чтобы проекция на нее верхней и нижней вертикальных меток совпадали (см. рис. 1, *а*). Выполняют рентгенограмму голени в прямой проекции (см. рис. 1, *б*). На нижнюю треть бедра и подколенную ямку накладываем компрессионную пневматическую манжету с давлением 40 мм рт. ст. (см. рис. 1, *в*). Выполняем рентгенограмму голени в прямой проекции (верхние метки совпадают) (см. рис. 1, *г*). Определяем на пленке по данным рентгенографии соотношение между горизонтальными рентгеноконтрастными метками А1 и А2 до и после наложения на подколенную область компрессионной манжеты с давлением 40 мм рт. ст. Если после наложения на подколенную область компрессионной манжеты расстояние между горизонтальными рентгеноконтрастными метками А1 и А2 увеличивается, определяем увеличение отека за счет тромбоза глубоких вен, если нет, то отек конечности носит посттравматический характер.

Данная методика была применена у 200 пациентов с переломами голени для диагностики тромбоза глубоких вен. У 45 пациентов диагностирован тромбоз глубоких вен голени, у 155 пациентов отек конечности носил посттравматический характер. Диагноз подтвержден при ультразвуковой доплерографии с дуплексным и триплексным сканированием вен.

Используя сравнение предложенного способа диагностики с «золотым» стандартом – ультразвуковой диагностикой глубоких вен, мы определили чув-ствительность, специфичность и прогностическую ценность предложенного метода диагностики (табл. 1). Учитывая полученные достаточно высокие показатели, данный способ можно использовать для скрининговой диагностики тромбоза глубоких вен при невозможности выполнения больному УЗИ.

Таким образом, предложенный способ диагностики тромбоза глубоких вен нижних конечностей является высокоспецифичным и точным, а также малоинвазивным и простым в применении, что дает основание для его внедрения в широкую клиническую практику.

Таблица 1

Сравнительная диагностическая ценность предложенного метода при различных локализациях тромбоза вен нижних конечностей

Характеристика	Тромбоз подколенной вены, N = 10	Тромбоз берцовых вен, N = 15	Тромбоз вен голени, N = 20
Чувствительность, %	80	73	76
Специфичность, %	84	84	84
Прогностичность положительного результата, %	50	57	76
Прогностичность отрицательного результата, %	95	91	87

На втором этапе диагностики был предложен способ диагностики венозного тромбоза и устройство для его осуществления (патент РФ №2262883). Разработанное диагностирующее оптико-электронное устройство для быстрой диагностики тромбоза глубоких вен нижних конечностей работает на принципе сравнения площадей изображений мягких тканей голени до пережатия поверхностных вен (S_1) и после пережатия (S_2) (рис. 2), что отражает выраженность отека.

Рис. 2. Положение конечности больного и оптико-электронное устройство

Способ используется следующим образом.

В горизонтальном положении больного производят укладку исследуемой голени в любую удобную для врача позицию (см. рис. 2).

Производят измерение площади изображения мягких тканей голени (S_1) (рис. 4, *а*). В области подколенной ямки накладывают компрессионную манжету с давлением 40 мм рт. ст. до полного прекращения кровотока по поверхностным венам (рис. 3).

Через 3–5 минут производят измерение площади изображения мягких тканей голени (S_2) на том же уровне (рис. 4, *б*). Если площадь изображения мягких тканей голени после пережатия поверхностных вен (S_2) превышает на 15% и более площадь изображения мягких тканей голени (S_1), то диагностируют тромбоз глубоких вен.

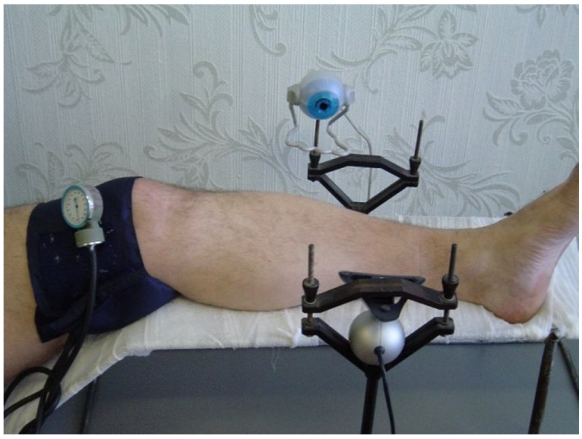


Рис. 3. Положение конечности и датчиков системы после наложения компрессирующей манжеты для сдавления поверхностных вен

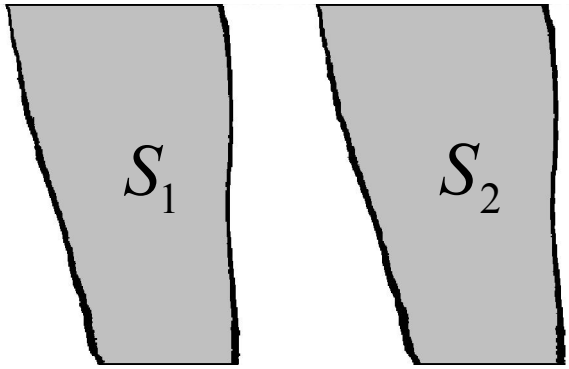


Рис. 4. Площади изображений мягких тканей голени до пережатия поверхностных вен (S_1) и после пережатия (S_2)

Дальнейшим развитием предложенного способа явилась разработка бинокулярного оптико-электронного комплекса с целью повышения точности диагностики. Использование бинокулярной системы технического зрения в его составе позволяет повысить точность диагностики за счет анализа двух проекций исследуемого объекта.

Комплекс имеет двухуровневую архитектуру. На нижнем уровне находится бинокулярное устройство, выполняющее ввод и предобработку изображений. На верхнем уровне располагается управляющая ПЭВМ, содержащая

программное обеспечение для обработки полученной информации, постановки диагноза, организации диалога с пользователем посредством графического интерфейса и конфигурирования комплекса. Структурная схема бинокулярного оптико-электронного диагностирующего комплекса приведена на рисунке 5.

Бинокулярный распознающий диагностический комплекс содержит два датчика изображений (ДИ1, ДИ2), блок коммутации (БК), блок выделения кадрового и строчного импульсов (БВКСИ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровой сигнальный процессор (ЦСП), буферную память (БП), контроллер последовательного интерфейса (КПИ).

Для повышения точности диагностики выполняется анализ боковой и задней проекций исследуемой конечности. Позиционирование двух датчиков изображений относительно исследуемой конечности показано на рисунке 6.

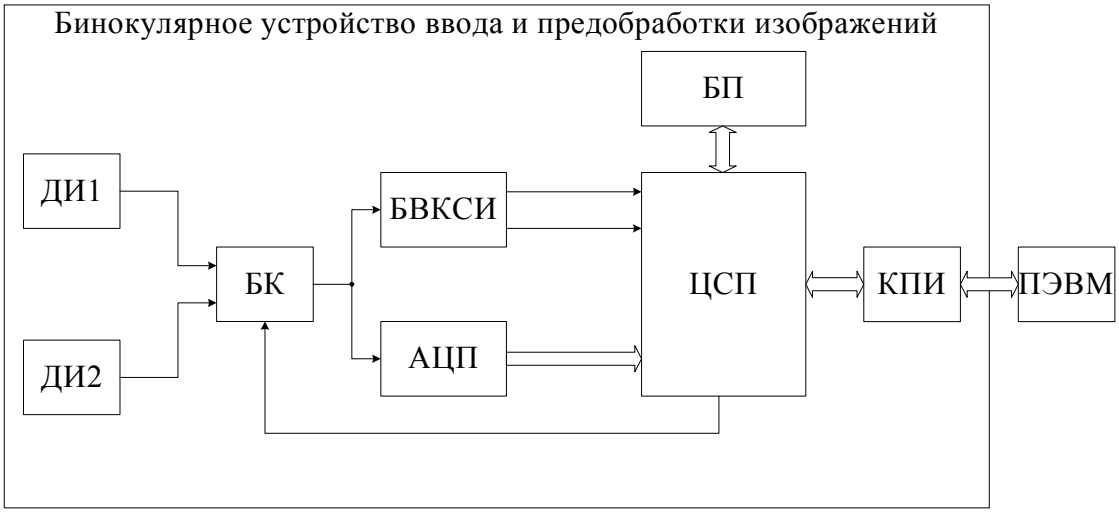


Рис. 5. Структура оптико-электронного аппаратно-программного диагностирующего комплекса

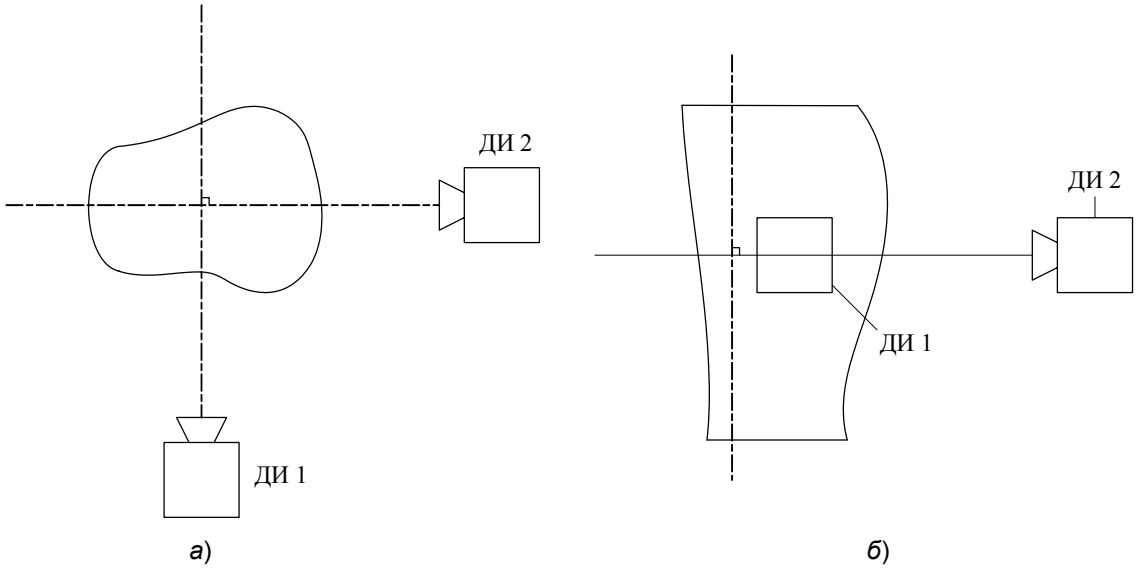


Рис. 6. Позиционирование датчиков изображений относительно исследуемой конечности: *а* – вид сверху; *б* – вид сбоку

Факт наличия заболевания определяется исходя из критерия

$$B = \begin{cases} 1, \Delta V > 0.15, \\ 0, \Delta V \le 0.15, \end{cases}$$

$$\Delta V = \frac{V_2 - V}{V_1}, \; V_i = \int_0^{h_{\max}} S(h)dh,$$

где V_1 – объем мягких тканей до пережатия поверхностных вен;

V_2 – объем мягких тканей после пережатия поверхностных вен;

$S(h)$ – площадь сечения мягких тканей на уровне h;

$h_{\max}$ – высоты проекции объекта.

Значение объема мягких тканей вычисляется за счет аппроксимации элементарных сечений $S(h)$ эллипсами:

$$V_i = \frac{\pi}{4h_{\max}} S_{i,1} S_{i,2}, \; i = 1, 2,$$

где $S_{i,1}S_{i,2}$ – площади боковой и задней проекций исследуемой конечности.

Единичное значение B свидетельствует о наличии у пациента тромбоза глубоких вен.

Предложенный автоматизированный бинокулярный оптико-электронный комплекс был использован для диагностики венозных тромбовоспалительных заболеваний (окклюзионных тромбозов и тромбофлебитов) у 55 больных. У 20 больных был выявлен тромбоз подколенной вены и у 35 – тромбоз берцовых вен. Контрольную группу составили 50 здоровых добровольцев, не предъявляющих жалоб со стороны венозной системы нижних конечностей. Группы были максимально схожими по полу и возрасту. Всем больным было выполнено ультразвуковое исследование глубоких вен (дуплексное сканирование).

Результаты измерения разности площадей изображений мягких тканей предложенным способом у больных основной группы и в контрольной группе представлены в таблице 2. Кроме того, было проведено сравнение предложенного метода диагностики с «золотым стандартом» – ультразвуковой диагностикой вен нижних конечностей.

В таблице 3 представлены данные о чувствительности, специфичности и прогностичности предложенного метода диагностики при тромбозе подколенной вены, тромбозе берцовых вен, а также при любом тромбозе вен голени.

Таблица 2

Результаты измерения разности площадей в основной и контрольной группах

Характеристика	Основная группа, N = 55	Контрольная группа, N = 50	P
Разность площадей изображений мягких тканей, % Медиана	17,44 ± 2,534 18	4,612 ± 3,135 5	P < 0,05

Таблица 3

Сравнительная диагностическая ценность предложенного метода при различных типах тромбоза вен нижних конечностей

Характеристика	Тромбоз подколенной вены, N = 20	Тромбоз ЗББВ, N = 15	Тромбоз ЗББВ+ПББВ+МБВ+ подколенная вена, N = 20
Чувствительность %	80	73	80
Специфичность %	84	84	84
Прогностичность положительного результата %	76	57	76
Прогностичность отрицательного результата %	95	91	87

Анализ представленных данных показывает достаточно высокую эффективность предложенного метода для диагностики венозных тромбовоспалительных заболеваний голени.

Таким образом, предложенные и используемые в клинической практике методы неинвазивной инструментальной диагностики венозных тромбозов конечностей позволяют проводить их скрининговую диагностику на основании мониторированния отеков, неизбежно сопровождающих тромбоз. Методы обладают достоточной специфичностью, чувствительностью и точностью диагностики.

Список литературы

1. Неймарк М. И., Зиновьева И. Е., Момот А. П. Особенности профилактики венозных тромбозов и тромбоэмолий фраксипарином у больных, перенесших обширные ортопедические операции на нижних конечностях // Тромбоз, гемостаз и реология. 2005. № 4. С. 27–31.

2. Артеменко М. В., Добровольский И. И., Мишустин В. Н. Информационно-аналитическая поддержка автоматизированной классификации на основе прямых и обратных решающих правил на примере прогноза тромбоэмболии // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12, ч. 2. С. 199–205.

3. Анализ исходов лечения венозных тромбоэмболических осложнений после эндопротезирования крупных суставов / В. Н. Мишустин, Н. Н. Мишустина, И. И. Добровольский, А. П. Яковлев // Системный анализ в биомедицинских системах. Воронеж, 2014. Т. 13, № 3. С. 561–565.

4. Автоматизированный аппаратно-програмный комплекс диагностики венозных тромбоэмболических осложнений / В. Н. Гридин, О. Б. Тарасова, В. Н. Мишустин, В. С. Титов, М. И. Труфанов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 2. С. 79–82.

5. Изменение философии профилактики венозного тромбоэмболизма при эндопротезировании крупных суставов / В. А. Лазаренко, В. Н. Мишустин, А. Ю. Докалин, С. А. Кравченко // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2011. № 4. С. 120–123.

6. Alikhan R. et al. Risk factors for venous thromboembolism in hospitalized patients with acute medical illness: analysis of the MEDENOX Study // Arch Intern Med. 2004. Vol. 164, N 8. P. 963–968.

7. Eriksson B. I., Lassen M. R. The PENTasscharide in Hip-FRActure Surgery Plus (PENTIFRA Plus) Investigators. Duration of prophylaxis against venous thromboembolism with fondaparinux after hip fracture surgery: a multicenter, randomized, placebo-controlled double-blind study // Arch Intern Med. 2003. Vol. 163, N 1. P. 1337–1342.

8. Geerts W. H., Heit J. A., Clagett G. P., et al. Prevention of venous thromboembolism // Chest. 2001. Vol. 119, N 3. P. 132–175.

9. Hirsh J. Guidelines for prevention of venous thromboembolism in majororthopedic surgery. London: BC decker Inc. Hamilton, 2005. P. 30.

10. Seligsohn U., Lubetsky A. Genetic susceptibility to venous thrombosis // N Engl J Med. 2001. Vol. 344. P. 1222–331.

Поступила в редакцию 10.10.17

UDC 616.147-005.6-089

O. I. Filatova, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mishustina.rita@yandex.ru)

V. N. Mishustin, Doctor of Medical Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

I. A. Monovtsov, Candidate of Medical Sciences, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: moni-1@yandex.ru)

N. N. Grigoriev, Doctor of Medical Sciences, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: meg200683@mail.ru)

THE POSSIBILITY OF INSTRUMENTAL NONINVASIVE DIAGNOSTICS AND MONITORING OF FATAL SYNDROME IN THROMBOSIS OF VENE LOWER LIMBS WITH A RECOGNIZING PROGRAM-DIAGNOSTIC COMPLEX

Currently the actual problem is the development of non-invasive automated systems for contactless diagnostics of various diseases based on image recognition of target objects. The article considers problems of development of non-invasive methods based on non-contact diagnosis of venous thrombosis of the lower extremities. The aim of the research was improvement of results of diagnostics of thrombosis of the lower extremities by dynamic control of edema syndrome. In the first stage, carried out non-invasive screening diagnostics of deep vein thrombosis of the lower limbs (leg and foot) in its original methodology. For this we conducted measurement of the ratio of the sizes of the contours of the soft tissues of the leg on the radiograph in direct projection between the horizontal radiopaque markers before and after overlay on the lower third of the thigh and popliteal fossa compression cuff with a pressure of 40 mm of mercury. article to stop blood flow in the subcutaneous veins of the lower leg. If the size of the contour of the soft tissues on radiographs after the compression has increased, diagnose a deep vein thrombosis of the lower leg. In the second stage of diagnosis was used a method of diagnosing venous thrombosis and device for its implementation. Developed diagnosing opto-electronic device for rapid diagnosis of deep vein thrombosis of the lower limbs works on the principle of comparing areas of the images of the soft tissues of the leg before compression of the superficial veins (S_1) and after compression (S_2) (figure 2), reflecting the severity of edema of the Complex has a two-tier architecture. On the lower level there is a binocular device that performs input and preprocessing the images. On the upper level is the control PC that contains the software for processing the information received, the diagnosis, the organization of dialogue with the user through a graphic user interface and configuration of the complex Proposed complex was used for the diagnosis of venous occlusive thrombosis and thrombosis in 55 patients. 20 patients were found to have thrombosis of the popliteal vein and the 35 – tibial veins.

Key words: *non-invasive diagnostics, software-diagnostic complex, edematous syndrome, vein thrombosis, lower extremities.*

For citation: Filatova O. I., Mishustin V. N., Monovtsov I. A., Grigoriev N. N. The Possibility of Instrumental Noninvasive Diagnostics and Monitoring of Fatal Syndrome in Thrombosis of Vene Lower Limbs with a Recognizing Program-diagnostic Complex. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 104–113 (in Russ.).

References

1. Nejmark M. I., Zinov'eva I. E., Momot A. P. Osobennosti profilaktiki venoznyh trombozov i tromboehmolij fraksiparinom u bol'nyh, perenesshih obshirnye ortopedicheskie operacii na nizhnih konechnostyah. Tromboz, gemostaz i reologiya, 2005, no. 4, pp. 27–31.

2. Artemenko M. V., Dobrovol'skij I. I., Mishustin V. N. Informacionno-analiticheskaya podderzhka avtomatizirovannoj klassifikacii na osnove pryamyh i obratnyh reshayushchih pravil na primere prognoza tromboehmbolii. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2015, no. 12, pt. 2, pp. 199–205.

3. Mishustin V. N., Mishustina N. N., Dobrovol'skij I. I., Yakovlev A. P. Analiz iskhodov lecheniya venoznyh tromboehmbolicheskih oslozhnenij posle ehndoprotezirovaniya krupnyh sustavov. Sistemnyj analiz v biomedicinskih sistemah. Voronezh, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 561–565.

4. Gridin V. N., Tarasova O. B., Mishustin V. N., Titov V. S., Trufanov M. I. Avtomatizirovannyj apparatno-programnyj kompleks diagnostiki venoznyh tromboehmbolicheskih oslozhnenij. Informacionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve, 2008, no. 2, pp. 79–82.

5. Lazarenko V. A., Mishustin V. N., Dokalin A. Yu., Kravchenko S. A. Izmenenie filosofii profilaktiki venoznogo tromboehmbolizma pri ehndoprotezirovanii krupnyh sustavov. Kurskij nauchno-prakticheskij vestnik «Chelovek i ego zdorov'e», 2011, no. 4, pp. 120–123.

6. Alikhan R. et al. Risk factors for venous thromboembolism in hospitalized patients with acute medical illness: analysis of the MEDENOX Study. Arch Intern Med, 2004, vol. 164, no. 8, pp. 963–968.

7. Eriksson B. I., Lassen M. R. The PENTasscharide in Hip-FRActure Surgery Plus (PENTIFRA Plus) Investigators. Duration of prophylaxis against venous thromboembolism with fondaparinux after hip fracture surgery: a multicenter, randomized, placebo-controlled double-blind study. Arch Intern Med, 2003, vol. 163, no. 1, pp. 1337–1342.

8. Geerts W. H., Heit J. A., Clagett G. P., eds. Prevention of venous thromboembolism. Chest, 2001, vol. 119, no. 3, pp. 132–175.

9. Hirsh J. Guidelines for prevention of venous thromboembolism in majororthopedic surgery. London: BC decker Inc. Hamilton, 2005, p. 30.

10. Seligsohn U., Lubetsky A. Genetic susceptibility to venous thrombosis. N Engl J Med, 2001, vol. 344, pp. 1222–331.

УДК 615.47

А. В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ КОКБ (Курск, Россия) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

Е. А. Бойцова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

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

Л. В. Стародубцева, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

ВЫБОР И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ПРИ СОЧЕТАННЫХ ИШЕМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ДОМИНИРУЮЩЕЙ ИШЕМИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Целью предлагаемого исследования является повышение эффективности лечебно-оздоровительных мероприятий больных с системными ишемическими поражениями центральной гемодинамической системы, головного мозга и нижних конечностей при доминирующей ишемической патологии головного мозга за счёт использования адекватных современных математических моделей.

В качестве основного математического аппарата выбрана теория 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. С точки зрения выбора оптимальных схем лечебно-оздоровительных мероприятий в качестве индикаторных переменных выступают конкретные препараты, их дозировка, темпы и способы ведения и т.д., а в качестве латентной переменной – эффективность лечения. Оценка эффективности лечебно-оздоровительных мероприятий, выбираемых на экспертном уровне, обеспечивается интерактивным пакетом RUMM 2020, реализующим модель Г. Раша и который обрабатывает исходную статистическую информацию, которая формировалась в течение пяти лет при наблюдении за 400 пациентами Курской областной клинической больницы, страдающими различными степенями ишемических поражений сердца, головного мозга, нижних конечностей и центральной гемодинамической системы и получающих традиционную и авторскую терапию.

При использовании пакета RUMM 2020 было установлено, что в качестве эффективных препаратов при лечении хронических облитерирующих заболеваний целесообразно использовать совокупность таких препаратов, как цераксол, этоксидол, весел-дуэф, сермион, актовегин и цитофлавин. В диалоговом режиме экспертов с пакетом RUMM 2020 по этим препаратам была оценена эффективность проводимых лечебно-оздоровительных мероприятий и было показано, что по шкале интенсивности болевого синдрома эффективность лечения по выбранным схемам лечения повышается в среднем на 70% по сравнению с традиционно применяемыми препаратами, что позволяет рекомендовать их в медицинскую практику сосудистых хирургов и онкологов.

Ключевые слова: *ишемические заболевания, теория измерения латентных переменных, схемы лечения.*

Ссылка для цитирования: Выбор и оценка эффективности схем профилактики и лечения при сочетанных ишемических поражениях в условиях доминирующей ишемической патологии головного мозга / А. В. Быков, Е. А. Бойцова, С. Н. Кореневская, Л. В. Стародубцева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 114–128.

***

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 [4; 22]. В то же время различные исследования показывают тенденции 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 смерти в 75% случаев послужили инфаркт миокарда и инсульт [23]. Это подтверждают и наши наблюдения, показывающие, что патологические состояния сердца и сосудов, включая сосуды головного мозга и нижних конечностей, сосуществуют длительно, приобретая хроническую взаимоотягощающую связь. При этом нарушения регионарной гемодинамики определяют центральную, а изменения последней усугубляют состояние органов [1; 2; 4].

С учётом сказанного одним из способов повышения качества медицинского обслуживания пациентов с ишемическими поражениями является рациональный выбор схем лечения с учётом доминирующих патологий. В данной работе решается задача оценки эффективности набора лекарственных препаратов при доминирующей ишемической патологии головного мозга.

Методы исследования

Выбор и оценка наиболее эффективных схем профилактики и терапии осуществлялись в ходе пятилетнего (с 2011 года) наблюдения за 400 больными с ишемическими поражениями различных органов, включая головной мозг, Курской областной клинической больницы №1.

Для выбора базовых схем лечения была сформирована группа экспертов, количественный состав которых (8 человек) выбирался по требованиям, принятым в квалиметрии [20]. Согласованность действий экспертной группы проверялась по коэффициенту конкордации w (w = 0,89).

На основании пятилетнего опыта наблюдения за пациентами с ишемическими поражениями различных органов эксперты при доминирующем развитии ишемии головног мозга определили следующий профилактический список лекарственных препаратов:

Q_1 – цераксен;
Q_2 – этоксидол;
Q_3 – весел-дуэф;
Q_4 – сермион;
Q_5 – актовегин;
Q_6 – цитофлавин.

Для оценки эффективности лечебных процедур использовалась теория измерения латентных переменных (IRT), в которой результат принимаемых решений (прогноз, диагноз, эффективность лечения и другие медицинские выводы) не поддается прямым измерениям, в то время как исходные данные для их определения можно считать индикаторными (измеряемыми) переменными.

В теории *IRT* устанавливается связь между двумя множествами значений латентных переменных. Первое множество – значения латентных переменных, характеризующего уровень качества объектов θ_i, где i – номер объекта и $i = 1,2,\ldots,n$. Второе множество – значения латентного переменного, определяющего значимость j-го индикатора β_j, $j = 1,2, \ldots, m$ [22; 28].

Георг Раш предложил разместить на одной шкале уровень качества объектов θ_i и уровень значимости индикаторов β_j и измерять их в одних и тех же единицах, называемых логитами.

За аргумент функции «успеха» или достижения данного уровня качества объекта принята разность $\theta_i - \beta_j$. Если данная разность положительна и велика, то высока и вероятность достижения «успеха», то есть высокого значения

латентного показателя i-го объекта при j-м индикаторе. Если же данная разность отрицательна и велика по модулю, то будет низкой и вероятность достижения «успеха».

Специалисты, использующие модель Г. Раша при решении плохоформализуемых задач, отмечают следующие её преимущества [22; 28; 29]:

1. *IRT* (особенно модель Г. Раша) превращает измерения в кодированных значениях латентных переменных в линейные измерения, в результате чего данные анализируются количественными мерами.

2. Модель Раша представляет собой линейную модель, что даёт возможность использовать широкий спектр статистических методов для анализа результатов измерений.

3. Оценка «трудности» индикатора не зависит от исследуемого объекта.

4. Интегральный показатель не зависит от используемого набора индикаторов.

5. Неполнота данных (отсутствие некоторых значений индикаторов) не является критичной.

С учётом этого представляется интересным изучить возможность применения теории измерения латентных переменных для решения задач оценки эффективности профилактических и лечебных мероприятий, используя исследуемую эффективность как латентную переменную, а составляющие лечебно-прфилактические мероприятия как индикаторные переменные.

В теории измерения латентных переменных, основанной на модели Г. Раша, основной математической зависимостью является логистическая модель, которая для медицинских приложений имеет следующий вид [22; 28; 29]:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}, \qquad (1)$$

где P_{ij} – вероятность достижения медицинской цели (прогноз, диагноз, эффективное лечение) у пациента с номером i при использовании индикаторных переменных S_{ij} (информационные признаки, составляющие схему лечения, и т. д.);

θ_i, – эффективность достигаемой цели у пациента i;

β_j – информативность (эффективность) использования j-го признака (воздействия) при решении поставленной задачи.

Все латентные переменные измеряются в логитах, которые формируются при переходе от количественных шкал (традиционно принятые в медицине) к количественным интервальным шкалам.

Исследование роли индикаторных переменных в измерении латентных переменных удобно производить с помощью стандартного пакета диалоговых прикладных программ RUMM 2020 (*Rasch Unidimensional Measurement Models*) [9; 16]. Используя значения индикаторных переменных, переведенных в логиты, пакет RUMM 2020 строит теоретические кривые модели Г. Раша, по которым судят о соответствии индикаторных переменных модели Г. Раша и в ходе итерационных процедур формируют пространство информативных признаков и (или) рациональных схем лечебно-оздоровительных мероприятий. В ходе реализации этого пакета формируется семейство графиков теоретических кривых Г. Раша (характеристических кривых), осью абсцисс которой является шкала логитов индикаторных переменных, а осью ординат – шкала логитов латентных переменных.

Относительно теоретической кривой по обучающей выборке формируются три примерно равные группы с низким, средним и высоким уровнем исследуемых состояний человека или эффективности лечебно-профилактичес-

ких мероприятий, для которых определяются координаты их средних значений. Считается, что если индикатор (информативный признак, схема лечебно-оздоровительных мероприятий) «хорошо» соответствует общему набору индикаторов, то точки, определяющие «слабые», «средние» и «сильные» уровни, близко располагаются относительно теоретической кривой.

В ходе реализации пакета RUMM 2020 рассчитываются:

– степень соответствия индикаторных переменных модели измерения (латентной переменной «утомление» или «психоэмоциональное напряжение») *ChiSq Prob* ($\chi_{критич}$Pr*ob*);

– местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах, *Location*;

– погрешность измерения местоположения индикаторной переменной, измеряемой в логитах, *SE*;

– величина, характеризующая суммарное отклонение значений данного индикатора от ожидаемых значений на основе модели, *FitResid.*

Если для каждой индикаторной переменной $\chi_{критич}$Pr*ob* $\geq$ 0,05 (при доверительной вероятности 0,95), то принимается решение о том, что все выбранные исходные индикаторы совместимы между собой и определяют одну и ту же латентную переменную. Индикаторные переменные, для которых $\chi_{критич}$Pr*ob* < 0,05, корректируются или исключаются из списка выбранных параметров (схем лечения, препаратов и т. д.).

Для откорректированного набора индикаторов проводится новый анализ степени соответствия индикаторных переменных модели измерения латентной переменной по критерию Хи-квадрат (Пирсона) – *ChiSq Prob* ($\chi_{критич}$Pr*ob*).

Перечисленные процедуры повторяются до тех пор, пока все индикаторные переменные не будут удовлетворять критическому значению уровня соответствия индикаторной переменной измеряемой латентной переменной, т. е. значение $\chi^2_{критич}$Pr*ob* > 0,05. Таким образом, измеритель интегрального показателя будет состоять из оставшихся индикаторов. На заключительном этапе выбора списка информативных признаков реализуется контрольная проверка с использованием графиков соответствия между уровнем интегрального показателя латентной переменной и значимостью информативных признаков.

В идеальном случае гистограмма распределения значимости критериев должна быть близка к равномерному закону распределения. Это означает, что представленный набор индикаторов с одинаковой точностью позволяет оценивать латентную переменную на всём диапазоне изменения значимости информативных признаков (индикаторов) [22; 28; 29].

Средняя значимость информативных признаков (индикаторов) не должна отличаться от среднего уровня интегрального показателя более чем на 0,5 логит. Если это условие выполняется, то можно сделать вывод о том, что система индикаторов соответствует измеряемой латентной переменной и набор используемых индикаторов является эффективным для целей измерения обобщенной латентной переменной [22; 29].

Результаты

Вопросы использования модели Г. Раша для оценки эффективности лечебно-оздоровительных мероприятий рассмотрены в работах [5; 17; 18]. Для оценки эффективности выбранных схем профилактики и лечения сочетанной ишемической патологии при доминировании ишемии головного мозга с использованием пакета RUMM 2020 три эксперта по десятибалльной шкале дали оценку эффективности схем лечения Q_1,...,Q_6 по наблюдаемому контингенту обследуемых (табл. 1).

Таблица 1

Значения эффективности индикаторных переменных по трем экспертам для пациентов с доминирующей ишемической патологией головного мозга

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
9	9	7	8	7	7
8	8	8	7	6	8
8	8	7	7	8	7
8	9	7	6	7	8
8	9	8	7	8	8
9	8	7	7	8	9
9	9	9	7	8	8
8	8	7	8	7	8
8	8	8	7	7	9
9	9	9	7	6	8
8	9	7	8	7	8
9	8	7	8	8	9
8	9	8	6	7	8
7	8	9	7	7	8
8	9	7	9	9	7
9	8	8	5	8	8
8	8	7	6	7	9
9	7	7	6	7	9
8	9	8	8	6	7
7	7	8	7	6	8
8	8	7	6	7	9
7	8	8	8	7	8
8	9	8	7	8	7
9	8	8	8	8	8
8	8	7	7	7	9
8	7	7	7	7	9
9	9	8	8	7	7
8	9	7	7	6	9
9	9	8	8	6	8
9	8	8	7	7	8
8	8	8	8	7	9
9	8	8	7	6	7
8	8	9	6	6	8
7	8	6	8	7	9
8	9	8	8	7	9
9	9	8	7	6	8
8	8	7	9	8	8
7	8	7	6	7	8
8	8	7	7	8	8
9	7	8	8	8	9
9	9	8	7	7	8
8	9	8	7	7	8
9	8	7	7	8	9

Продолжение табл. 1

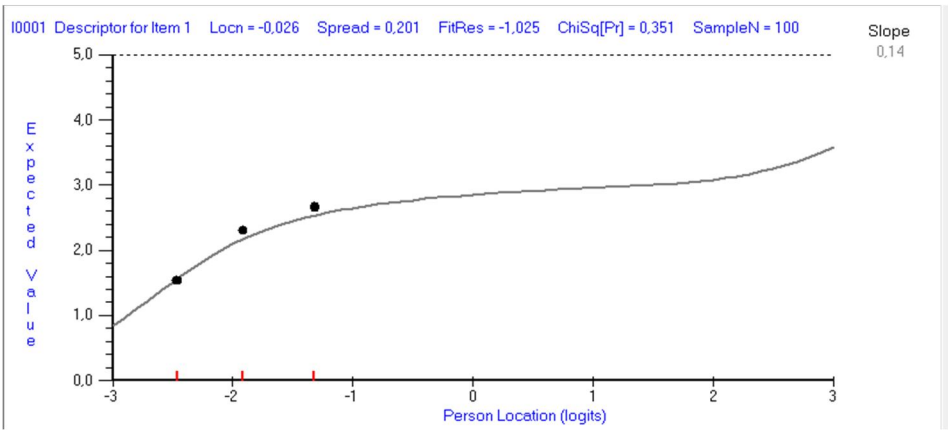
Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
8	8	9	8	7	9
8	8	8	8	7	8
9	9	7	7	7	8
8	8	7	8	8	9
9	9	8	7	8	7
8	9	8	7	7	8
9	9	8	8	7	8
8	8	8	6	6	7
8	9	7	8	6	7
7	9	7	7	6	8
9	9	7	7	8	8
9	8	6	8	7	7
7	8	6	7	7	7
9	8	7	8	8	8
9	9	7	8	7	9
8	8	8	8	7	7
9	8	7	7	6	8
7	9	8	7	7	9
8	9	7	8	7	8
9	8	7	7	8	7
7	9	6	7	7	9
9	8	9	8	6	9
8	8	7	8	7	8
9	8	8	8	7	8
9	9	7	9	6	8
8	8	8	7	7	9
7	8	7	7	7	7
9	8	7	7	6	8
8	8	8	7	8	7
7	7	6	8	6	8
9	8	6	6	7	9
8	8	8	9	8	8
8	8	6	8	7	7
8	8	7	8	9	9
9	9	8	9	7	8
8	8	7	7	6	8
9	8	8	7	6	9
8	9	8	7	7	7
7	8	8	7	8	7
8	9	8	8	6	8
9	7	8	7	7	9
8	8	7	8	7	8
9	9	8	6	7	8
8	7	7	7	6	8
8	8	8	8	7	9
9	8	8	8	7	8

Окончание табл. 1

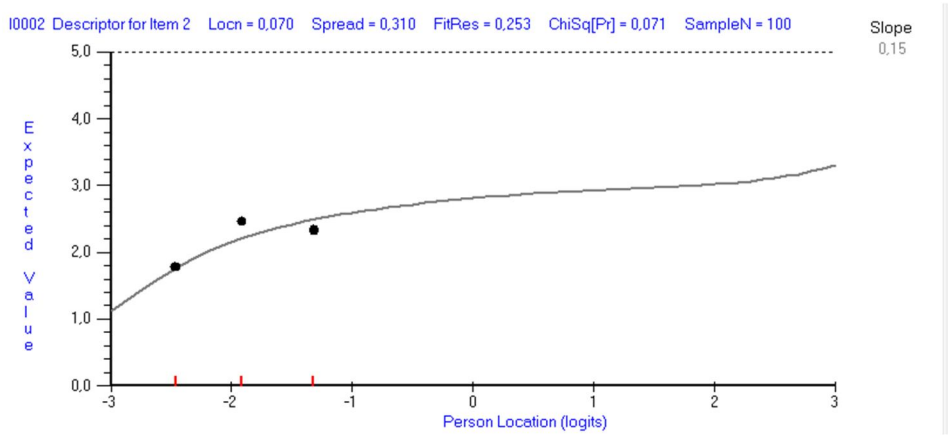
Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
9	8	7	7	7	8
8	9	8	7	7	9
9	7	6	7	8	8
8	8	8	6	7	8
7	9	7	7	8	8
9	8	8	8	7	9
9	8	8	7	7	7
7	8	7	8	6	8
8	8	7	8	7	8
8	7	8	7	8	7
7	7	7	6	6	9

Графики характеристических кривых для выбранных препаратов по отношению к латентной переменной «эффективность лечения» приведены на рисунке 1.

Ранжирование лекарственных препаратов по $\chi^2_{\text{критич}}$Pr*ob* приведено в таблице 2.

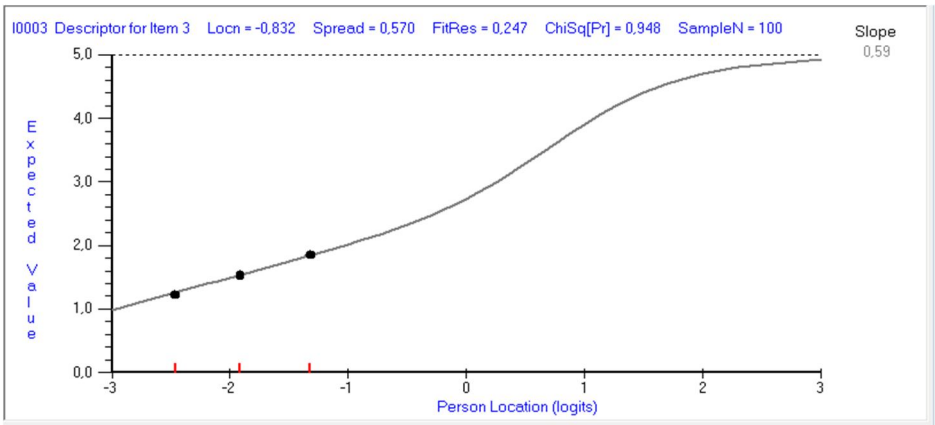


а)

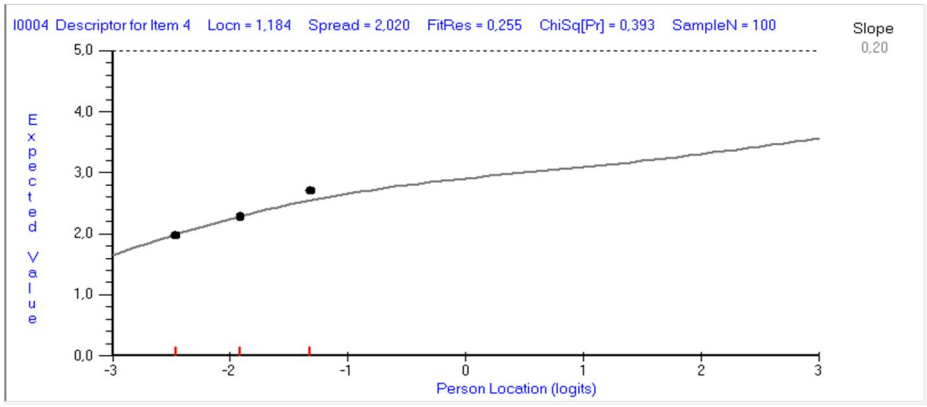


б)

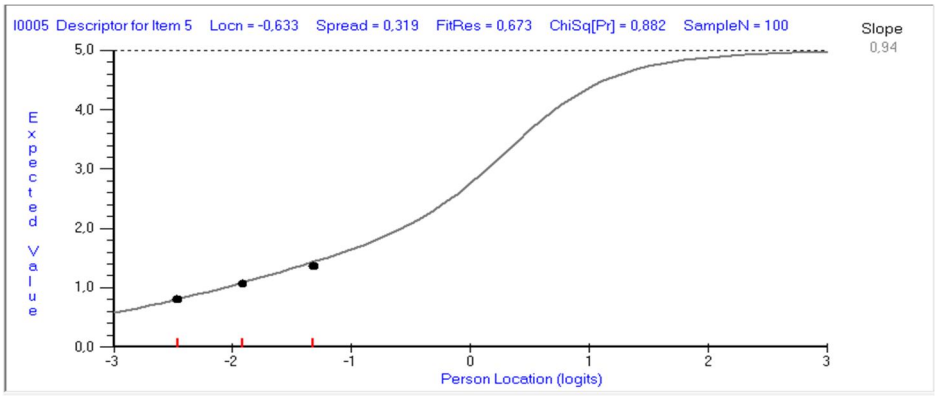
Рис. 1. Графики характеристических функций по индикаторным переменным, определяющим лекарственные препараты: *а* – Q_1; *б* – Q_2; *в* – Q_3; *г* – Q_4; *д* – Q_5; *е* – Q_6 (начало, окончание см. на с. 121)



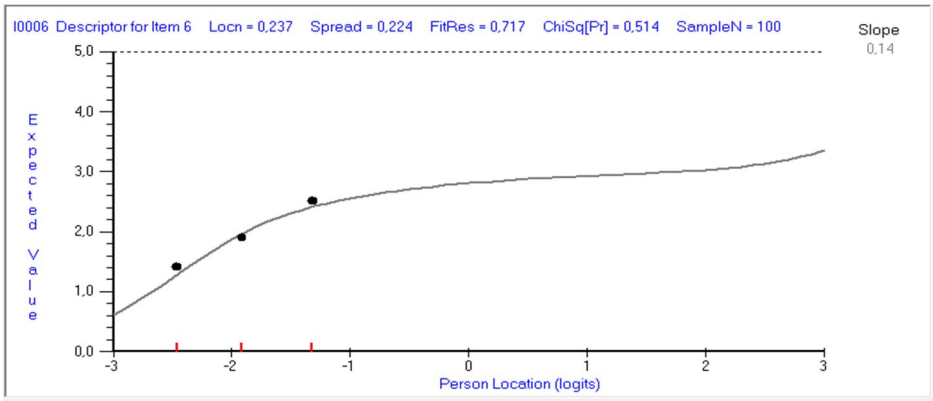
в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Окончание (начало см. на с. 120)

Анализ графиков на рисунке 1 и данных таблицы 2 показывает, что все индикаторные переменные удовлетворяют условию $\chi^2_{\text{критич}}Prob < 0{,}05$.

Рисунок 2 иллюстрирует выполнимость соответствия выбранных лекарственных препаратов латентной переменной «эффективность лечения» (EL).

Таблица 2

Ранжированная по $\chi^2_{\text{критич.}}Prob$

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name MZG1 - Chi Square Probability Order

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
3	3	I0003	Poly	-0,832	0,139	0,247	79,50	0,107	2	0,947816
5	5	I0005	Poly	-0,633	0,136	0,673	79,50	0,250	2	0,882322
6	6	I0006	Poly	0,237	0,100	0,717	79,50	1,331	2	0,514020
4	4	I0004	Poly	1,184	0,141	0,255	79,50	1,868	2	0,392961
1	1	I0001	Poly	-0,026	0,105	-1,025	79,50	2,092	2	0,351414
2	2	I0002	Poly	0,070	0,118	0,253	79,50	5,291	2	0,070968

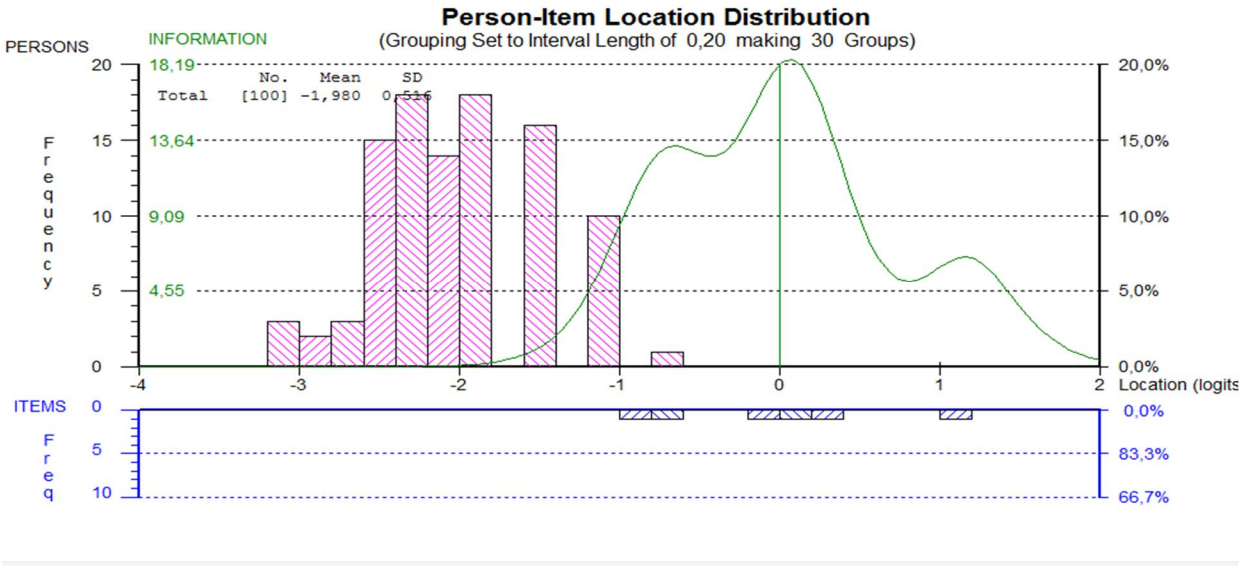


Рис. 2. График распределения экспериментальных данных на шкале латентной переменной EL

Таким образом, предложенные экспертами схемы лечения соответствуют эффективной тактике ведения пациентов с системной ишемической патологией при доминирующей ишемии головного мозга.

На следующем этапе исследования ставится задача выбора конкретных схем лечения по выбранным препаратам для различных стадий и степеней тяжести ишемических процессов как в головном мозге, так и в других органах. В работах [1; 4] показано, что задача оценки степени тяжести ишемического поражения относится к плохоформализуемым задачам с нечётко определяемой структурой классов. В этих условиях для синтеза соответствующих решающих правил с дальнейшей оптимизацией схем профилактики и лечения целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечётких решающих

правил, разработанную в Юго-Западном государственном университете, различные аспекты использования которой достаточно полно отражены в работах [5–8;12–15; 26]. Кроме того, наряду с традиционно используемыми в медицине признаками при оценке состояния больных с ишемией органов целесообразно исследовать информативную усталость биологически активных точек, уровня психоэмоционального резерва организма. Описание методов измерения этой группы показателей можно найти в работах [9–11; 16; 19; 21; 24; 25; 27].

Выводы

В ходе проведённых исследований было показано, что в условиях сложных системных патологий, к которым относятся ишемические заболевания, включая ишемические поражения головного мозга, для оценки и выбора оптимальных схем лечения целесообразно использовать аппарат теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша. Применительно к доминирующему ишемическому поражению головного мозга использование модели Г. Раша позволило предложить авторские схемы лечения с использованием таких препаратов, как цераксон, этоксидол, вессел-дуэф, сермион, актовегин, цитофлавин.

В настоящее время ведутся исследования по выбору индивидуальных схем лечения в зависимости от степени тяжести заболевания и с учётом системных ишемических поражениё взаимосвязанных органов с перспективой создания программных продуктов для смартфонов, планшетов, компьютеров и соответствующих систем поддержки принятия решений сосудистых хирургов и ангеологов.

Список литературы

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

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. 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.

4. Емельянов С. Г., Быков А. В., Кореневский Н. А. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечётких моделей // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 4–9.

5. Кореневский Н. А. Использование нечёткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33–35.

6. Кореневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечётких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного универси-

тета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99–103.

7. 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.

8. 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. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 13, № 4. С. 881–886.

9. Кореневский Н. А., Буняев Р. А., Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2003. 306 с.

10. 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.

11. Кореневский Н. А., Лазурина Л. П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики / АМЦП. Курск, 2000. 177 с.

12. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллектива гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоёмкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 31–39.

13. 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.

14. 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.

15. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами, на основе гетерогенных нечётких моделей / Н. А. Кореневский, В. В. Серебровский, Н. А. Коптева, Т. Н. Говорухина; Курск. гос. с.-х. ак. Курск, 2012. 231 с.

16. Метод оценки защитных свойств организма на основе нечеткой модификации модели Г. Раша / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, Р. А. Крупчатников // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 6(57).

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

18. 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.

19. Использование теории измерения латентных переменных для оценки уровня психоэмоционального напряжения / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, Е. Н. Кореневская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 3(16). С. 103–118.

20. Кореневский Н. А., Юлдашев З. М. Проектирование биотехнических систем медицинского назначения // Общие вопросы проектирования: учебник. Старый оскол: ТНТ, 2017. 308 с.

21. Маслак А. А. Измерение латентных переменных в социально-экономических системах: монография. Славянск-на-Кубани: Изд. Центр СГПИ, 2006. 333 с.

22. Савельев В. С., Кошкин В. М., Каралкин А. В. Патогенез и консервативное лечение тяжёлых стадий облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей: руководство для врачей. М.: ООО Медицинское информационное агентство, 2010. 216 с.

23. 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.

24. Использование технологий мягких вычислений для оценки защитных механизмов организма / А. Н. Шуткин, Л. П. Лазурина, Е. А. Бойцова, М. В. Писарев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 2. С. 107–118.

25. 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.

26. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionecou 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, is. 7. P. 681–689.

27. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescouc, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings. 2013. Vol. 40. P. 213–216.

28. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword by Benjamin D. Wright). Chicago: University of Chicago Press, 1980. 199 p.

29. Smith E. V., Smith M. S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. Marie Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. 689 p.

Поступила в редакцию 10.10.17

UDC 615.47

A. V. Bykov, Candidate of Medical Sciences, Cardiovascular Surgeon, Consultative polyclinic of the BMU KOKB (Kursk, Russia) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

E. A. Boytsova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: elena-boitcova@mail.ru)

S. N. Korenevskaya, Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

L. V. Starodubtseva, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

SELECTION AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SCHEMES OF PREVENTION AND TREATMENT WITH THE CONCOMITANT ISCHEMIC LESIONS IN THE DOMINANT CONDITIONS OF ISCHEMIC BRAIN PATHOLOGY

The purpose of the proposed research is to increase the effectiveness of therapeutic interventions in patients with sista..tion of ischemic lesions of the Central hemodynamic system, brain and lower extremities with the dominant ischemic brain pathology through the use of adequate modern mathematical models.

The main mathematical apparatus of the chosen theory of measurement of latent variables with G. Rasch model, which establishes hidden connections between known variables (indicator variables) and the variable does not have a clear analytical connection with the indicator variables, but against which on the conceptual level it is known that such a relationship can exist. This variable is known as hidden or latent. From the point of view of a choice of optimum schemes of therapeutic interventions as the indicator variables are specific drugs, their dosage, the pace and ways of doing, etc., and as a latent variable – the effectiveness of treatment. Evaluation of the effectiveness of therapeutic interventions, selected at an expert level interactive all rumm 2020 package, which implements the model of G. Rasch, which processes the raw statistical information was formed over five years during the observation of 400 patients of Kursk regional clinical hospital suffering from various degrees of ischemic lesions of the heart, brain, lower extremities and the Central hemodynamic system and receiving traditional and creative therapy.

When using a package all rumm 2020 was found to be as effective drugs in the treatment of chronic Ob..terasawa diseases it is advisable to use a combination of these drugs as Caracol, amoxidal, happy-duef, sermion, Actovegin and cytoflavin. In the dialog experts all rumm 2020 package on these drugs have been evaluated, the effectiveness of therapeutic measures and have shown that on a scale of intensity of pain effectiveness of treatment in the selected treatment schemes increased on average by 70% in comparison with traditionally used drugs, that allows to recommend them in medical practice of vascular surgeons and oncologists.

Key words: *coronary disease, the theory of measurement of latent variables, treatment regimens.*

For citation: Bykov A. V., Boytsova E. A., Korenevskaya S. N., Starodubtseva L. V. Selection and Evaluation of the Effectiveness of Schemes of Prevention and Treatment with the Concomitant Ischemic Lesions in the Dominant Conditions of Ischemic Brain Pathology. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 114–128 (in Russ.).

References

1. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Ustinov A. G. Nechyotkij algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoj bolezni nizhnih konechnostej dlya razlichnyh ehtapov vedeniya pacienta. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016. no. 2(19), pp. 142–155.

2. Bykov A. V., Ustinov A. G., Hripina I. I. Model' prognozirovaniya vozniknoveniya oslozhnenij ishemii nizhnih konechnostej putyom ocenki funkcional'nogo rezerva organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4(17), pp. 81–88.

3. Gadalov V. N., Korenevskij N. A., Snopkov V. N. Matematicheskie modeli reflektornyh sistem organizma cheloveka i ih ispol'zovanie dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i

upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2012, vol. 11, no. 2, pp. 515–521.

4. Emel'yanov S. G., Bykov A. V., Korenevskij N. A. Prognozirovanie stepeni tyazhesti razvitiya ishemicheskogo processa v serdce, golovnom mozge i nizhnih konechnostyah na osnove nechyotkih modelej. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2016, no. 9, pp. 4–9.

5. Korenevskij N. A. Ispol'zovanie nechyotkoj logiki prinyatiya reshenij dlya medicinskih ehkspertnyh system. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 1, pp. 33–35.

6. Korenevskij N. A. Metod sinteza geterogennyh nechyotkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskih system. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 99–103.

7. Korenevskij N. A. Principy i metody postroeniya interaktivnyh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunkcional'nyh modelej: Avtoref. dr. eng. sci. diss. St. Petersburg, 1993. 32 p.

8. Korenevskij N. A., Artyomenko M. V., Provotorov V. Ya., Novikova L. A. Metod sinteza nechyotkih reshayushchih pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvyazej dlya resheniya zadach prognozirovaniya i diagnostiki zabolevanij. Cistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2017, vol. 13, no. 4, pp. 881–886.

9. Korenevskij N. A., Bunyaev R. A., Yacun S. M. Komp'yuternye sistemy rannej diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii. Novocherkassk, Yuzh.-Ros. gos. tekhn. un-t (NPI) Publ. 2003. 306 p.

10. Korenevskij N. A., Krupchatnikov R. A., Al'-Kasasbekh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v medicine, psihologii i ehkologii na osnove nechetkih setevyh modelej. Staryj Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p.

11. Korenevskij N. A., Lazurina L. P. Ehnergoinformacionnye modeli refleksodiagnostiki. Kursk, 2000. 177 p.

12. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kollektiva gibridnyh nechyotkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem. Naukoyomkie tekhnologii, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31–39.

13. Korenevskij N. A., Ruckoj R. V., Dolzhenkov S. D. Metod prognozirovaniya i diagnostiki sostoyaniya zdorov'ya na osnove kollektivov nechetkih reshayushchih pravil. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah. 2013, vol. 12, no. 4, pp. 905–909.

14. Korenevskij N. A., Ryabkova E. B. Metod sinteza nechetkih reshayushchih pravil ocenki sostoyaniya slozhnyh sistem po informacii o geometricheskoj strukture mnogomernyh dannyh. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 8. pp. 128–137.

15. Korenevskij N. A., Serebrovskij V. V., Kopteva N. A., Govoruhina T. N. Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvaemyh vrednymi proizvodstvennymi i ehkologicheskimi faktorami, na osnove geterogennyh nechyotkih modelej. Kursk, 2012. 231 p.

16. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A., Krupchatnikov R. A. Metod ocenki zashchitnyh svojstv organizma na osnove nechetkoj modifikacii modeli G. Rasha. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2014, no. 6(57).

17. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A., Dmitriev V. V. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelej G. Rasha. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 6, pp. 37–40.

18. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovskij V. V.

Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij. Staryj Oskol, 2015. 472 s.

19. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A., Korenevskaya E. N. Ispol'zovanie teorii izmereniya latentnyh peremennyh dlya ocenki urovnya psihoehmocional'nogo napryazheniya. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 3(16), pp. 103–118.

20. Korenevskij N. A., Yuldashev Z. M. Proektirovanie biotekhnicheskih sistem medicinskogo naznacheniya. Obshchie voprosy proektirovaniya. Staryj Oskol, 2017. 308 p.

21. Maslak A. A. Izmerenie latentnyh peremennyh v social'no-ehkonomicheskih sistemah. Slavyansk-na-Kubani, 2006. 333 p.

22. Savel'ev B. C., Koshkin V. M., Karalkin A. V. Patogenez i konservativnoe lechenie tyazhyolyh stadij obliteriruyushchego ateroskleroza arterij nizhnih konechnostej: rukovodstvo dlya vrachej. Moscow, OOO Medicinskoe informacionnoe agentstvo, 2010. 216 p.

23. Shutkin A. N., Bojcova E. A., Starodubceva L. V. Ocenka urovnya utomleniya s ispol'zovaniem teorii izmereniya latentnyh peremennyh. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 553–561.

24. Shutkin A. H., Lazurina L. P., Bojcova E. A., Pisarev M. V. Ispol'zovanie tekhnologij myagkih vychislenij dlya ocenki zashchitnyh mekhanizmov organizma. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 2, pp. 107–118.

25. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Alshamasin M., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2013, vol. 16, is. 3, pp. 302–313.

26. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionecou 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, is. 7, pp. 681–689.

27. Korenevskiy N. A., Al-Kasasbeh R. T., Ionescouc F., Alshamasin M., Alkasasbeh E., Smith A. P. Fuzzy determination of the human's level of psychoemotional. IFMBE Proceedings, 2013, vol. 40, pp. 213–216.

28. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expanded edition, with foreword and afterword by Benjamin D. Wright). Chicago, University of Chicago Press, 1980. 199 p.

29. Smith E. V., Smith M. S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. Marie Grove, Minnesota, JAM Press, 2004. 689 p.

УДК 53.08+616.1-072.43+681.02

В. Н. Мишустин, д-р мед. наук, профессор, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия) (e-mail: vladimirshef2011@mail.ru)

М. В. Артеменко, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: artem1962@mail.ru)

А. А. Тимохин, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alex_1995_2505@mail.ru)

РЕШАЮЩИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРАВИЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ НОГ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ

Своевременная диагностика деструктивных состояний нижних конечностей является актуальной проблемой современной превентивной медицины, поскольку позволяет повысить качество медицинского обслуживания населения в области лечения и профилактики социально значимых заболеваний. В статье рассматриваются диагностические возможности амплитудных характеристик частотного спектра сигнала фотоплетизмограммы, характеризующей гемодинамику конечностей. Предлагается структура информационно-аналитической модели регистрации и обработки сигнала плетизмограммы, позволяющая реализовывать технологию индивидуальной телемедицины, передавая сигналы фотоплетизмограммы и результаты первичного анализа в диагностические центры. Показаны классификационные возможности сигнала фотоплетизмограммы для определения функциональных состояний организма на примере обработки результатов нагрузочного теста. Для регистрации фотоплетизмограммы нижних конечностей в целях повышения точности фиксации сигнала предложено использовать многоканальный метод регистрации и интерактивный режим работы для выбора наиболее предпочтительного для дальнейшего анализа канала регистрации (датчика). Впервые приведены решающие диагностические правила, позволяющие классифицировать состояние сосудов ног как по сигналам с пальцев ног, так и по результатам одновременной регистрации сигнала с верхних и нижних конечностей.

Диагностический процесс предлагается осуществлять путем одновременного анализа решающих продукционных правил, функции активаций которых определялись по значению коэффициента колебательности фазы частотного сигнала, логарифму среднеквадратичного отклонения амплитуд спектра сигнала (энтропии), по среднеквадратичному отклонению вариабельности амплитуд частотных спектров в определенным образов выделенных наиболее информативных диапазонах частот, по корреляции сигналов фотоплетизмограммы капилляров пальцев нижних и верхних конечностей. Результаты разведочного анализа в клинических условиях по диагностике четырех состояний («здоров», «критическое состояние», «латентное состояние», «реверсивное состояние») показали клиническую приемлемость полученных решающих диагностических правил (диагностическая эффективность на контрольной выборке наблюдалась в диапазоне 0,85±0,12).

Ключевые слова: *нижние конечности, кровеносная система, деструктивные состояния, фотоплетизмограмма, превентивная диагностика, экспертные системы.*

Ссылка для цитирования: Мишустин В. Н., Артеменко М. В., Тимохин А. А. Решающие диагностические правила определения состояния сосудов ног по частотным характеристикам фотоплетизмограммы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 4(25). С. 129–138.

***

Введение

В настоящее время большое количество людей подвержено риску возникновения патологий сосудов нижних конечностей. Еще недавно заболевания сосудов в основном встречались у мужчин и женщин старшего возраста, но сегодня эти заболевания получают новое распространение, все чаще они встречаются у молодого поколения.

Согласно статистическим данным, ежегодно увеличивается смертность от различных заболеваний сердечно-сосудистой системы. За последние годы возросло количество людей, страдающих различными формами варикоза и критической ишемией нижних конечностей [1]. Возникает актуальная проблема улучшения медицинского обслуживания населения за счет качествен-

ной превентивной диагностики различных состояний сердечно-сосудистой системы на базе современных информационных и компьютерных технологий. В этом направлении проводятся в течение последних лет интенсивные работы, например Санкт-Петербургской школой [2].

В клинических условиях применяется несколько основных способов определения патологических состояний нижних конечностей: магнитно-резонансная и компьютерная томография, доплер УЗИ. Разработаны устройства определения патологий, направленные на раннюю диагностику, но они не получили распространения из-за недостаточной точности или отсутствия возможностей определения заболевания без сторонних методик (как правило, это устройства, предназначенные для определения показателей, связанных с сердечно-сосудистой системой, но не дающих информацию о состоянии конечностей: пульсометры, пульсоксиметры, стационарные фотоплетизмографы) [3].

К настоящему времени для осуществления диагностических процедур состояния организма на основе биомедицинских сигналов различной модальности разработано множество алгоритмических и аппаратных средств, использующих в своем арсенале различные процедуры искусственного интеллекта. Концептуальную основу в данном случае составляют системный анализ и самоорганизационное моделирование, являющиеся адекватными системообразующим процессам функционирования организма человека в норме и патологии [4; 5; 6].

Поскольку кровь является соединительной тканью с транспортными функциями [7], то показатели состава крови и ее гемодинамические характеристики в прямом или латентном виде несут информацию о состоянии организма – норме или патологии.

Таким образом, основной целью настоящего исследования является создание диагностического комплекса, анализирующего гемодинамику с помощью биомедицинского сигнала – плетизмограммы, предназначенного для превентивной диагностики деструктивных изменений.

Объектом исследования являются сосуды нижних конечностей.

Материалы и методы

Регистрация и обработка плетизмограммы (ПГ) и показателей сердечного ритма находят широкое применение для диагностики и мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы. Один из наиболее клинически эффективных и универсальных методов неинвазивной регистрации ПГ основан на использовании фотометрического измерительного преобразователя (фотоплетизмография – ФПГ) [8]. Так как ФПГ непосредственно связана с работой сердца и состоянием сосудов, то анализ контура фотоплетизмограммы позволит определить диагностические показатели, характеризующие эластические свойства сосудов и функцию сосудистого эндотелия для выявления ранних стадий атеросклероза, артериальной гипертензии, прогноза течения сердечно-сосудистых заболеваний, оценки результатов лечения [9; 10; 11].

В классическом анализе фотоплетизмограммы (ФПГ) с помощью вычислительных средств наиболее широко практикуется спектральный анализ Фурье-сигнала, зарегистрированного в течение нескольких десятков циклов работы сердца (30–40 секунд). Пример фотоплетизмограммы и ее спектров Фурье, зафиксированных у одного и того же здорового мужчины в возрасте 24 лет до и после нагрузки с фаланги большого пальца руки, приведены на рисунке 1.

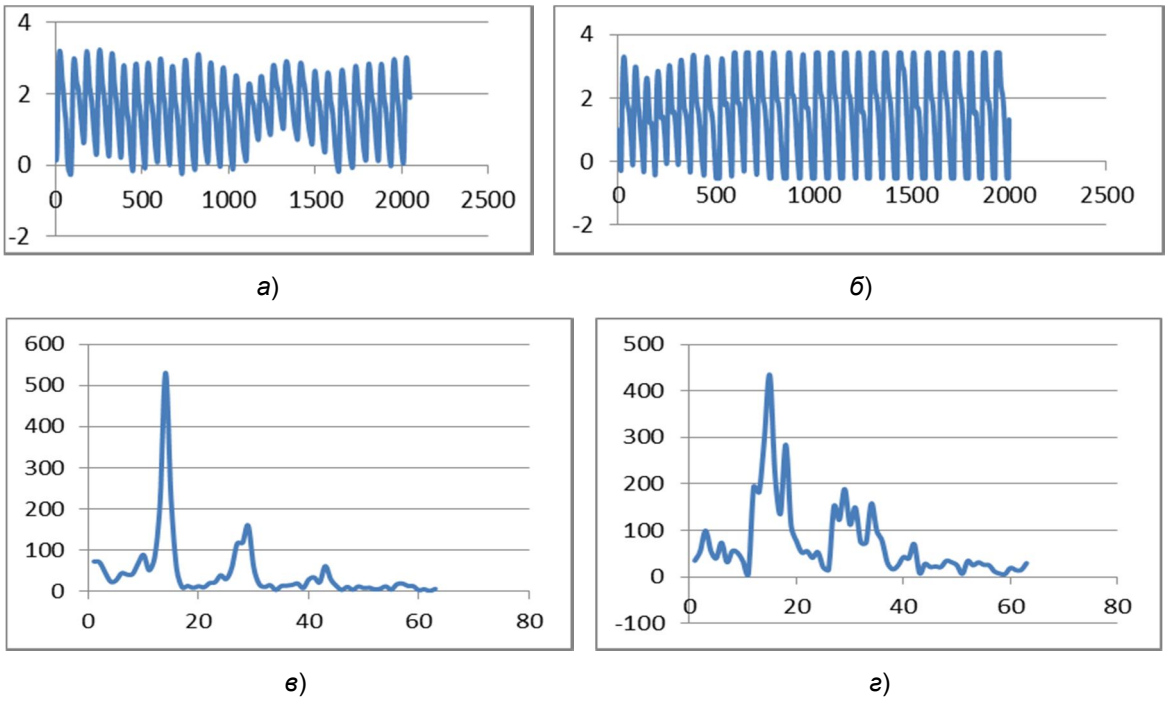


Рис. 1. Фотоплетизмограммы и спектры Фурье: *а*, *б* – до нагрузки; *в*, *г* – после нагрузки

На рисунке явно выделяются амплитудные различия в областях низких и средних частот, что подчеркивает диагностические возможности исследования работы сердечно-сосудистой системы путем выделения информативных фазочастотных и амплитудно-частотных характеристик спектра ФПГ.

В автоматизированных системах неразрушающего контроля технических объектов наряду с прямым преобразованием Фурье результативно используется информация широкополосных сигналов, полученная в результате многократных прямых и обратных преобразований Фурье, биспектрального анализа, автокорреляции третьего и более порядков [12]. В медицинских исследованиях подобные исследования также являются актуальными и постепенно находят применение [13].

Пример подобного преобразования для сигнала ФПГ представлен на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 наблюдаются возникшие в процессе нагрузки различия, обладающие большими классификационными возможностями, чем непосредственно в сигнале или спектре сигнала.

На рисунке 4 представлены функции обратных преобразований Фурье.

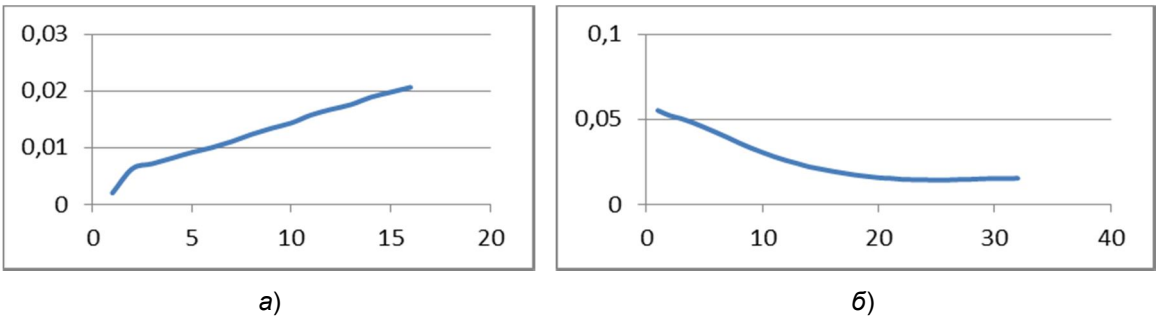


Рис. 3. Двукратное обратное преобразование Фурье цикла сигнала ФПГ:
а – до нагрузки; *б* – после нагрузки

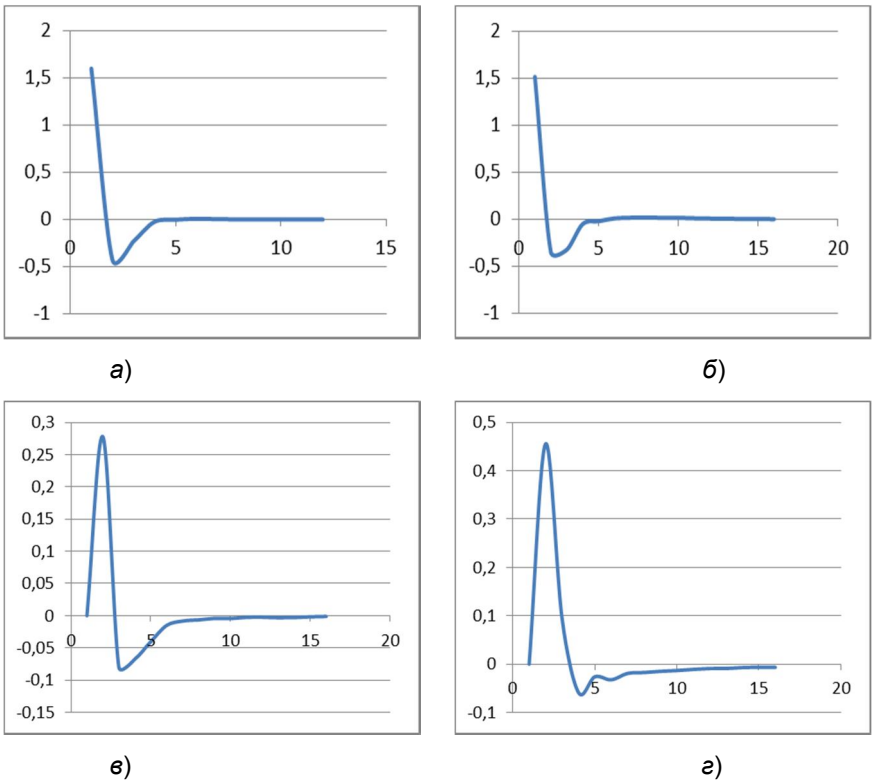


Рис. 4. Обратное преобразование Фурье-сигнала ФПГ: действительная часть: *а* – до нагрузки, *б* – после нагрузки; мнимая часть: *в* – до нагрузки, *г* – после нагрузки

Деструктивные изменения конечностей, происходящих по разным причинам (например, метаболического характера или травмы), коррелируют с показателями кровообращения в капиллярах в силу функционирования внутренней автономной системы регулирования [14; 15], что находит свое отражение в характеристиках плетизмограммы [16]. При этом существенно изменяются биомедицинские сигналы ПМ капилляров соответствующих конечностей. Сравнение ПГ с патологических и непатологических конечностей также предполагается информативным.

В целом информационно-аналитическая модель автоматизированной диагностической системы, функционирующей на основе компьютерных технологий и позволяющей по анализу плетизмограммы осуществлять диагностику деструктивных состояний конечностей, представляется в виде схемы, показанной на рисунке 5.

Врач (медицинский работник) производит регистрацию информации о пациенте и подготавливает прибор для эксплуатации. Осуществляется регистрация сигналов плетизмограммы (рекомендуется использовать в качестве информационных сигналов ФПГ с фаланги пальцев конечностей). Регистрация с большого пальца ноги осуществляется по трем каналам (фотоприемникам), расположенным недалеко друг от друга, что позволяет выбрать наиболее устойчивый и помехозащищенный сигнал.

Поскольку датчики находятся непосредственно на объекте (пальце) и регистрация происходит в «бытовых условиях», то для дальнейшей обработки осуществляется фильтрация сигнала от сетевых помех, артефактов, внешних случайных и систематических помех. На основании анализа спектра Фурье определяются индивидуальные значения информативных показателей, по

которым «модуль принятия решений» на основе решающих диагностических правил (находящихся в обладающей возможностью к модификации базе знаний) осуществляет кластеризацию состояния объекта исследования (рассматриваются, как правило, два основных класса – «здоровый», «больной» (критическое состояние) и два «промежуточных» – «латентное» и «реверсивное».

На основании результатов указанной превентивной диагностики с помощью автоматизированной системы поддержки принятия решений формируются рекомендации врачу как по дальнейшей терапевтической траектории, так и по процессам дальнейшего обследования с целью формирования более точного клинического диагноза. В случае «критического состояния» осуществляется «тревожная индикация» с возможностью передачи данной информации средствами мобильной связи. Предлагаемая информационно-аналитическая модель предполагает накопление результатов диагностирования (отчетов о работе) для осуществления в дальнейшем обобщающей и/или индивидуальной аналитики.

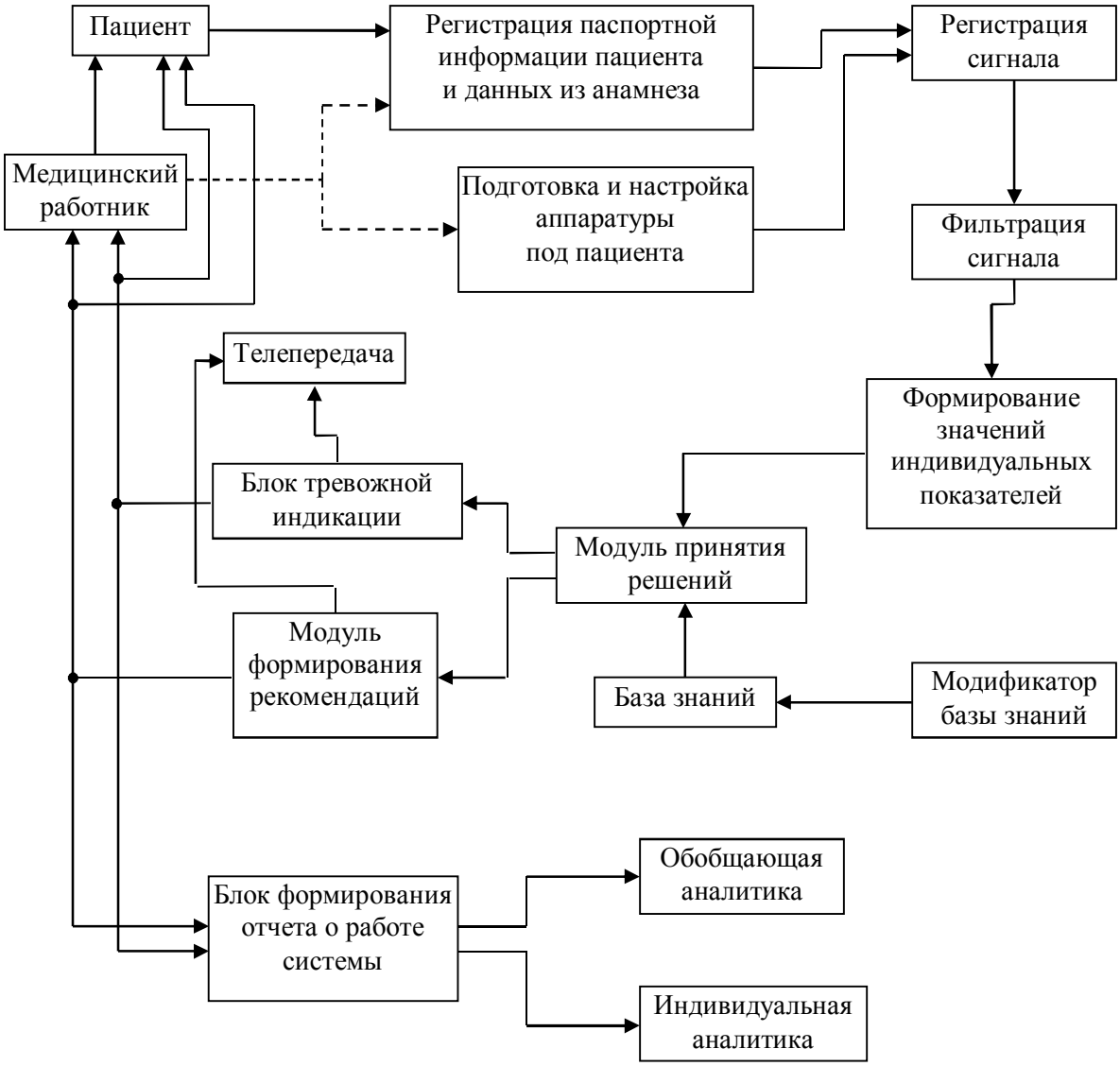


Рис. 5. Информационно-аналитическая структура диагностической системы анализа ПГ

Результаты исследования и обсуждение

Исследовались здоровые и больные люди (добровольцы) в возрасте от 20 до 70 лет, мужчины. ФПГ регистрировались в двух режимах: с больших пальцев левой и правой ноги (последовательно) и одновременно с пальцев руки и ноги. Пример регистрируемых сигналов и их спектров для последнего случае приведен на рисунке 6.

Рассматривались пациенты, сосуды нижних конечностей которых находились в следующих кластерах состояний: «здоровые», «латентные», «реверсивные», «критическое».

В результате проведения разведочного анализа получены следующие решающие правила для автоматизированной системы поддержки принятия решений (модуль принятия решений, см. рис. 5):

• *правило 1*: Если колебательность фазы частотного спектра регистрируемого сигнала с пальцев ноги превышает 40%, то состояние сосудов находится в критическом состоянии и требуется терапевтическое воздействие; если меньше 25%, то деструктивные изменения маловероятны; если лежит в промежуточном интервале – возможны реверсивные или латентные состояния»;

• *правило 2*: Если логарифм среднеквадратичного отклонения амплитуд спектра сигнала больше 4 в области частот, ограниченных интервалом 20–30 f_0, и это не выполнятся для других диапазонов, то пациент соотносится к кластеру «здоровые»; если меньше 4 во всех частотных диапазонах или больше 4 в диапазоне 1–4 f_0 (низкие частоты), то соотносится к кластеру «критическое»; если больше 4 в диапазоне 1–10 f_0, то – «реверсивное»; если больше 1 в диапазонах 1–4 f_0 или 13–17 f_0, то – «латентное».

• *правило 3*: Если среднеквадратичное отклонение отношений среднеквадратичных отклонений к оценкам математических ожиданий амплитуд частотных спектров в рассматриваемых частотных диапазонах меньше 0,16, то наблюдается критическое состояние; если больше 0,36 – «здоровое»; если 0,2±0,04 – «латентное»; если 0,3±0,06 – «реверсивное».

• *правило 4*: Если коэффициент парной корреляции между зарегистрированными сигналами на пальцах руки и ноги превышает 0,32, то состояние пациента соотносится к кластеру «здоровые», если меньше 0,15 – «критическое», если [0,15; 0,26] – «латентное»; если [0,28; 0,31] – «реверсивное».

• *правило 5*: Если коэффициент парной корреляции между амплитудами спектров сигналов ФПГ «рук» и «ног» больше 0,85, то состояние сосудов нижних конечностей диагностируется как «латентное», если меньше 0,4 – как «критическое», если лежит в диапазоне [0,4; 0,65] – как «реверсивное», если лежит в диапазоне [0,5; 0,85] – как «здоровые».

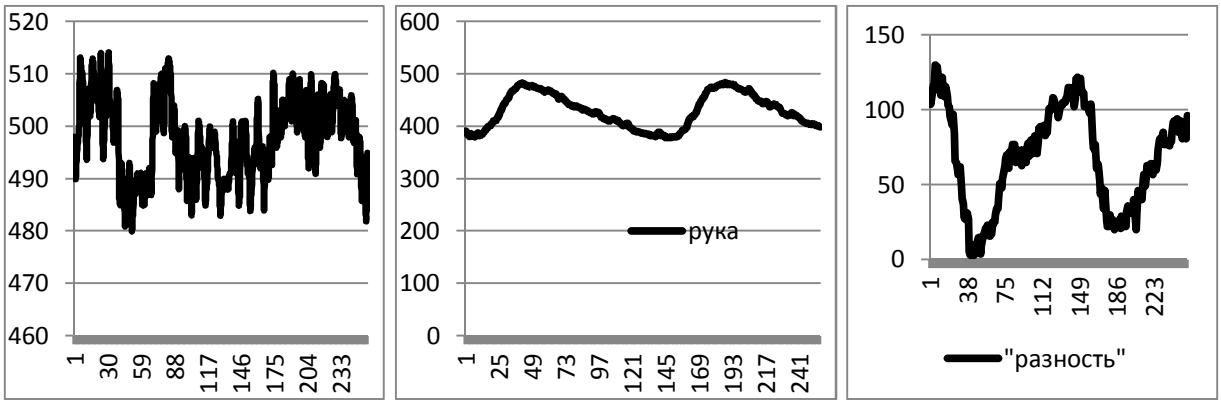
Поскольку регистрация сигналов ФПГ осуществлялась на ограниченной выборке пациентов (разведочный анализ) и точность регистрации во многом определяется не сколько точностью прибора, сколько условиями регистрации и особенностями пациента (кожного покрова), то для каждого правила была синтезирована функция уверенности в диагностике UV_i, аргументами которой являлись значения функции принадлежности $\mu_k(x_i)$:

$$0 \le UV_i\left(\left\{\mu_k(x_i)\right\}\right) \le 1, \qquad (1)$$

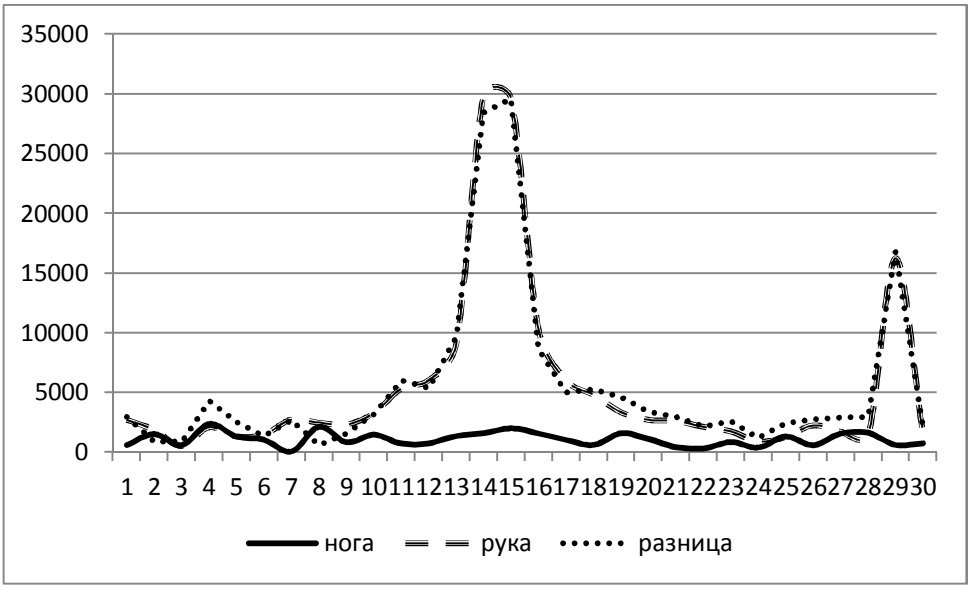
где i – индекс применяемого правила (1…5),

k – функция принадлежности к кластеру k (k = 0 – «здоровое» состояние, k = 1 – «латентное», k = 2 – «реверсивное», k = 3 –«критическое»);

x_i – носитель для правила i.



а)



б)

Рис. 6. Результаты дифференциального анализа ФПГ «рука-нога» (критическая стадия): *а* – регистрируемые сигналы и разность; *б* – амплитудные спектры сигналов

В диагностической системе предполагается применение различных сочетаний диагностических правил L ($\max = 31$ – вариант). Поскольку диагностика по различным правилами i и $\bar{i}$ = «не i» (остальные применяемые правила) в общем случае может коррелировать между собой с коэффициентом $kr_{i,\bar{i}}$, то общий коэффициент уверенности предлагается определять по формуле

$$UV\left(\{R_l\}^L\right) = \\ = 1 - \prod_{z=1}^{L}\left(\left(1 - UV_z\left(\{\mu_k(x_z)\}\right)\cdot\left(1 - kr_{z,\bar{z}}\right)\right)\right). \quad (2)$$

Проведенные испытания показали, что диагностическая эффективность применения указанных правил составила 0,85±0,12 при уверенности в диагностике 0,8±0,1. Это позволяет сделать вывод о перспективности внедрения рассмотренной системы и технологии работы с ней в клиническую практику.

Выводы

В результате проведенных научных исследований разработана система регистрации и анализа фотоплетизмограммы, позволяющая:

– диагностировать деструктивные состояния сосудов нижних конечностей

и отличающаяся поликанальностью регистрации ФПГ конечностей (три канала – нога, один – рука);

– формировать множество рекомендаций в процессе функционирования системы поддержки принятия диагностических решений на основе синтезированных мультимодальных правил в общем случае нечеткого логического вывода;

– применять интерактивный и автоматический режимы селекции наиболее приемлемых для анализа медицинским работником сигналов ФПГ;

– синтезировать базовые продукционные решающие правила с достаточными для превентивной медицины показателями качества диагностики.

В процессе клинических испытаний получен клинически приемлемый положительный результат разведочного анализа функционирования сформированной базы знаний (множества диагностических правил).

Работа выполнена при финансовой поддержке научного проекта УМНИК 16-12 по договору №11643ГУ/2017 от 01.06.2017 (код 0033037).

Список литературы

1. Статистическая информация Минздрава России [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosminzdrav.ru.

2. Воронцов И. М., Шаповалов В. В., Шерстюк Ю. М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. СПб.: ООО «ИПК «Коста»Б, 2006. 432 с.

3. Методы исследования вен конечностей [Электронный ресурс]. URL: http://www.eurolab.ua/disease-arteries-veins-and-lymph-vessels/3560/3570/29625.

4. Брин В. Б., Завьялов А. В., Захаров Ю. М. Нормальная физиология: учебник. М.: Медицина, 2005. 927 с.

5. Кузьминов О. М., Зарубина Т. В., Устинов А. Г. Модель формализации клинической информации для оптимизации лечебно-диагностического процесса // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 569–573.

6. Попечителев Е. П. Системный подход в решении проблем медико-биологических исследований // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник Международной научно-практической конференции. Курск, 2014. С. 137–145.

7. Козинец Г. И., Высоцкий В. В. Кровь как индикатор состояния организма. М.: Особая книга, 2014. 207 с.

8. Попечителев Е. П. Электрофизиологическая и фотометрическая медицинская техника. Теория и проектирование: учебное пособие. М.: Высш. шк., 2002. 470 с.

9. Артёменко М. В., Калугина Н. М. Диагностический анализ состояния биообъекта по хронометрическим параметрам регистрируемых сигналов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №4 (46). С. 30–35.

10. Artemenko M. V., Pisarev M. V. Synthesis and study of mathematical models of biomedical signals methods of self-organization modeling by the example of the photopletysmogram // International Journal Of Applied And Fundamental Research. 2016. № 5. URL: www.science-sd.com/467-25063.

11. Kalugina N. Diagnostics of the organism on biomedical signals based on reinforcement ltarning // Proceedingss of the 12ht Russian-German Conference on Biomedical Engeneering. Suzdal, 2016. P. 204–208

12. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / под ред. В. Ф. Кравченко. М.: Физматлит, 2007. 544 с.

13. Рыбочкин А. Ф., Савельев С. В., Плесканос Л. В. Анализ фотоплетизмограммы с использованием кодовых сообщений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 2. С. 43–48.

14. Жданов А. А. Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. 359 с.

15. Судаков К. В. Физиология. Основы и функциональные системы лекции. М.: Медицина, 2000. 772 с.

16. Физиология человека / под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. М.: Медицина, 2003. 656 с.

Поступила в редакцию 10.10.17

UDC 53.08+616.1-072.43+681.02

V. N. Mishustin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: vladimirshef2011@mail.ru)

M. V. Artemenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: artem1962@mail.ru)

A. A. Timokhin, Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alex_1995_2505@mail.ru)

DECISIVE DIAGNOSTIC RULES OF DEFINITION OF THE CONDITION OF VESSELS OF LEGS ACCORDING TO FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE PHOTOPLETHYSMOGRAM

Timely diagnostics of destructive conditions of the lower extremities is a current problem of modern preventive medicine as allows to increase quality of medical care of the population in the field of treatment and prevention of socially important diseases. In article the diagnostic possibilities of amplitude characteristics of a frequency range of a signal of the photoplethysmogram characterizing hemodynamics of extremities are considered. The structure of information and analytical model of registration and processing of a signal of the plethysmogram allowing to realize technology of individual telemedicine is offered, transmitting signals of the photoplethysmogram and results of primary analysis to the diagnostic centers. Classification opportunities of a signal of the photoplethysmogram for definition of functional conditions of an organism on the example of processing of results of the load test are shown. For registration of the photoplethysmogram of the lower extremities for increase in accuracy of fixing of a signal it is offered to use a multichannel method of registration and an interactive operating mode for the choice of the channel of registration (sensor), most preferable to the further analysis. The decisive diagnostic rules allowing to classify a condition of vessels of legs both by signals from toes and by results of simultaneous registration of a signal from the top and lower extremities are for the first time provided. Diagnostic process is offered to be carried out by the simultaneous analysis of decisive productional rules which functions of aktivation were defined: on the nature of changes of a phase of a frequency signal, a logarithm of a mean square deviation of amplitudes of a range of a signal (entropy), on a mean square deviation of variability of amplitudes of frequency ranges in defined images the allocated most informative ranges of frequencies, on correlation of signals of the photoplethysmogram of capillaries of fingers of the lower and top extremities. Results of the prospecting analysis in clinical conditions on diagnostics of four states ("is healthy", "critical condition", "a latent state", "a reversive state") showed the clinical acceptability of the received decisive diagnostic rules (diagnostic efficiency on control selection it was observed in the range of 0.85±0.12).

Key words: *lower extremities, blood system, destructive states, photoplethysmogram, preventive diagnostics, expert systems.*

For citation: Mishustin V. N., Artemenko M. V., Timokhin A. A. Decisive Diagnostic Rules of Definition of the Condition of Vessels of Legs According to Frequency Characteristics of the Photoplethysmogram. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 7, no. 4(25), pp. 129–138 (in Russ.).

References

1. Statisticheskaya informaciya Minzdrava Rossii [Ehlektronnyj resurs]. URL: https://www.rosminzdrav.ru.

2. Voroncov I. M., Shapovalov V. V., Sherstyuk Yu. M. Zdorov'e. Opyt razrabotki i obosnovanie primeneniya avtomatizirovannyh sistem dlya monitoringa i skriniruyushchej diagnostiki narushenij zdorov'ya. St. Petersburg, OOO «IPK «Kosta»B, 2006. 432 p.

3. Metody issledovaniya ven konechnostej [Ehlektronnyj resurs]. URL: http://www.eurolab.ua/disease-arteries-veins-and-lymph-vessels/3560/3570/ 29625.

4. Brin V. B., Zav'yalov A. V., Zaharov Yu. M. Normal'naya fiziologiya. Moscow, Medicina Publ., 2005. 927 p.

5. Kuz'minov O. M., Zarubina T. V., Ustinov A. G. Model' formalizacii klinicheskoj informacii dlya optimizacii lechebno-diagnosticheskogo processa. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 569–573.

6. Popechitelev E. P. Sistemnyj podhod v reshenii problem mediko-biologicheskih issledovanij. Sistemnyj analiz v proektirovanii i upravlenii. Sbornik Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Kursk, 2014, pp. 137–145.

7. Kozinec G. I., Vysockij V. V. Krov' kak indikator sostoyaniya organizma. Moscow, Osobaya kniga Publ., 2014. 207 p.

8. Popechitelev E. P. Ehlektrofiziologicheskaya i fotometricheskaya medicinskaya tekhnika. Teoriya i proektirovanie. Moscow, Vyssh. shk., 2002. 470 p.

9. Artyomenko M. V., Kalugina N. M. Diagnosticheskij analiz sostoyaniya bioob"ekta po hronometricheskim parametram registriruemyh signalov. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016, no. 4 (46), pp. 30–35.

10. Artemenko M. V., Pisarev M. V. Synthesis and study of mathematical models of biomedical signals methods of self-organization modeling by the example of the photopletysmogram. International Journal of Applied and Fundamental Research, 2016, no. 5. URL: www.science-sd.com/467-25063.

11. Kalugina N. Diagnostics of the organism on biomedical signals based on reinforcement ltarning. Proceedingss of the 12ht Russian-German Conference on Biomedical Engeneering. Suzdal, 2016, pp. 204–208.

12. Cifrovaya obrabotka signalov i izobrazhenij v radiofizicheskih prilozheniyah, ed. by V. F. Kravchenko. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 544 s.

13. Rybochkin A. F., Savel'ev S. V., Pleskanos L. V. Analiz fotopletizmogrammy s ispol'zovaniem kodovyh soobshchenij. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2010, no. 2, pp. 43–48.

14. Zhdanov A. A. Avtonomnyj iskusstvennyj intellekt. Moscow, BINOM, Laboratoriya znanij, 2009. 359 p.

15. Sudakov K. V. Fiziologiya. Osnovy i funkcional'nye sistemy lekcii. Moscow, Medicina Publ., 2000. 772 p.

16. Fiziologiya cheloveka, ed. by V. M. Pokrovskij, G. F. Korot'ko. Moscow, Medicina Publ., 2003, 656 p.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

– электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

А.Л. Иванов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.

Ключевые слова: агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**