МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Том 8
№ 3 (28)

Курск 2018

2018. Т. 8, № 3 (28)
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2011 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

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

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

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

Редакционная коллегия

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

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 6

Зотов И. В., Мухаммед Джамаль
Метод параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов для матричных мультипроцессоров 6

Полторацкий С. Н., Панищев В. С., Титов В. С., Локтионов А. П.
Применение метода выделения цифровых последовательностей в устройствах предварительной обработки сигналов 16

Пыхтин А. И., Гостев А. В., Алимли Джавид Арзу оглы
Модель, алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного подбора сортов и гибридов зерновых культур 25

Довбня В. Г., Гуламов А. А., Бабанин И. Г., Коптев Д. С.
Оценка помехоустойчивости беспроводных цифровых систем связи при воздействии помех по побочным каналам приема 35

Гребеник А. Г., Панченко М. В., Каратач С. А.
Повышение эффективности процесса затравления монокристаллов искусственного сапфира на основе технического зрения с применением метода выделения активных контуров 41

Шаханов Н. И., Ершов Е. В., Юдина О. В.
Модель, метод и алгоритмы прогнозирования отказов роликов отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства 50

Лысенко Я. А.
Модель, метод и устройство параллельного контроля показаний панели приборов 60

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 А. Е. Серебряковой

Подписано в печать 20.08.18. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,4.
Тираж 1000 экз. Заказ 69. 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»

Юшин В. В., Попов В. М., Кирильчук И. О., Гнездилова А. В.
Разработка элементов информационно-аналитической системы учета несанкционированных свалок..... 68

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ 81

Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Кореневский Н. А., Аникеева О. А., Мишустин В. Н.
Функциональная и структурная адаптация в распределенных информационно-логических и экономических системах 81

Коровин Е. Н., Левенков К. О., Турбин А. С., Кузьменко А. В., Гяургиев Т. А.
Разработка моделей выбора тактики лечения больных с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью на основе статистического моделирования 89

Орда-Жигулина М. В., Орда-Жигулина Д. В.
Применение «туманных вычислений» для неинвазивного анализа крови методом оптоакустической проточной цитометрии в мобильном здравоохранении 99

Артеменко М. В., Мишустин В. Н.
Применение самоорганизационного метода анализа иерархий в автоматизированных системах поддержки принятия диагностических решений 109

Быков А. В., Пархоменко С. А., Стародубцева Л. В., Родионова С. Н., Бойцов А. В., Цимбал Е. В.
Выбор схем профилактики возникновения гангрены нижних конечностей по классам степени уверенности в её появлении и развитии..... 119

Бонилья В. Ф., Литвин А. В., Лукьянов Е. А., Стародубцева Л. В.
Синтез электромиографического устройства управления в биотехнической системе «инвалид – протез – окружающая среда»..... 132

К сведению авторов 141

© Юго-Западный государственный университет, 2018

2018. Volume 8, no 3 (28)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGSS

of the SOUTHWEST
STATE
UNIVERSITY
Series 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:
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

Editors

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

CONTENT

CONTROL, COMPUTER ENGINEERING, INFORMATION SCIENCE 6

Zotov I. V., Mohammed Jamal
A Multiparallel Pipelined Packet Switching Method for Mesh-connected Multiprocessors 6

Poltoratskiy S. N., Panishchev V. S., Titov V. S., Loktionov A. P.
Application of Means of Digital Sequences Deduction in Preliminary Signal Processing Devices 16

Pykhtin A. I., Gostev A. V., Alimli Javid Arzu ogli
Model, Algorithm and Software for Automated Selection of Varieties and Hybrids of Grain Crops 25

Dovbnya V. G., Gulamov A. A., Babanin I. G., Koptev D. S.
Estimation of the Noise Immunity of Wireless Digital Communication Systems at Influence of Noise Adjacent Receiving Channels 35

Grebenik A. G., Panchenko M. V., Karatach S. A.
Efficiency Improvement of Artificial Sapphire Kyropulos Growing Tecnique on the Basis of Technical Vision with Active Circuits Distribution Analysis 41

Shakhanov N. I., Ershov E. V., Yudina O. V.
Model, Method and Algorithms for Failures Prediction of Rollers of the Roller Conveyor of the Rolling mill Group..... 50

Lysenko Ja. A.
Model, Method and Parallel Control Device of Readings of Instrument Panel..... 60

Yushin V. V., Popov V. M., Kirilchuk I. O., Gnezdilova A. V.
Development of Elements of Information-analytical System of Accounting of Unauthorized Dumps..... 68

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

MEDICAL INSTRUMENT ENGINEERING 81

Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Korenevskiy N. A., Anikeeva O. A., Mishustin V. N.

Functional and Structural Adaptation in Distributed Information-Logical and Economic Systems 81

Korovin E. N., Levenkov K. O., Turbin A. S., Kuzmenko A. V., Gyaurgiev T. A.

Development of Models of Selecting Tactics of Treatment of Patients with Chronic Pyelonephritis and Urinary-scale Disease based on Statistical Modeling 89

Orda-Zhigulina M. V., Orda-Zhigulina D. V.

Fog Computing Application for Non-invasive Blood Test by Optoacoustic Flow Cytometry for Mhealth 99

Artemenko M. V., Mishustin V. N.

Application of the Self-organizational Method of the Analysis of Hierarchies in the Automated Systems of Support of Adoption of Diagnostic Decisions 109

Bykov A. V., Parkhomenko S. A., Starodubtseva L. V., Rodionova S. N., Boytsov A. V., Cymbal E. V.

Choice of Scheme of Prevention of the Emergence of Gangrene of the Lower extremities by Classes of the Degree of Confidence in its Development and Development 119

Bonilla F. V., Litvin A. V., Lukyanov A. E., Starodubtseva L. V.

Synthesis of the Electromyographic Control Unit in Biotechnical Systems "Amputee – Prosthesis – Environment" 132

Information for Authors 141

© Southwest State University, 2018

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 004.272

И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: zotovigor@yandex.ru)

Мухаммед Джамаль, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: gamal12345@mail.ru)

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНО-КОНВЕЙЕРНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ МУЛЬТИПРОЦЕССОРОВ

В статье рассмотрена задача повышения пропускной способности коммуникационной среды матричного мультипроцессора при использовании коммутационных устройств с входными очередями и матричным внутренним буфером. Предложен метод коммутации пакетов в матричных мультипроцессорах, отличающийся параллельно-конвейерной загрузкой пакетов во внутренний буфер из входных очередей без ожидания выдачи всех ранее принятых пакетов. Показано, что предложенный метод способен обеспечить параллельную и независимую обработку пакетов во входном и выходном трактах коммутационного устройства.

Рассмотрена структурная модель коммутационного устройства, реализующего разработанный метод. Дано формализованное описание процедуры обработки пакетов коммутационным устройством, основанное на представлении множества пакетов, находящихся во внутреннем буфере в каждом такте работы устройства, в виде графа совместности, отражающего возможность одновременной выдачи пакетов на выходы. Сформулировано правило взвешивания вершин графа совместности, учитывающее время пребывания пакетов во внутреннем буфере. Показано, что выбор множества пакетов, подлежащих выдаче, можно свести к выделению клики графа совместности, имеющей наибольший вес, что позволяет минимизировать время ожидания пакета. Исследован процесс функционирования коммутационного устройства при предельной интенсивности входящих потоков пакетов в соответствии с разработанной процедурой.

Доказано, что предложенный метод и организация коммутационного устройства позволяют максимизировать загрузку внутреннего буфера, обеспечивая тем самым повышение скорости обработки пакетов коммутационным устройством и увеличение пропускной способности коммуникационной среды мультипроцессора в целом. По сравнению с известным параллельно-последовательным методом коммутации пакетов предельная загрузка внутреннего буфера повышается в $n/2$ раз, где n – число входов/выходов коммутационного устройства.

***Ключевые слова**: матричный мультипроцессор, коммуникационная среда, коммутация пакетов, конвейерный режим, пропускная способность.*

Ссылка для цитирования: Зотов И. В., Мухаммед Джамаль. Метод параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов для матричных мультипроцессоров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 6–15.

***

Введение

Повышение скорости межпроцессорного обмена данными – ключевая задача разработки современных мультипроцессоров [1]. Одним из путей ее решения является совершенствование архитектуры коммуникационной сети мультипроцессора. Оно включает широкий спектр частных задач: от оптимизации топологической структуры коммуникационной сети и использования более эффективных алгоритмов маршрутизации [2-5] до разработки новой архитектуры отдельных коммутационных устройств, обеспечивающей их повышенную пропускную способность [6-9].

В современных мультипроцессорах (в том числе в системах на СБИС) широ-

ко используются коммуникационные сети с коммутацией пакетов, позволяющие достичь высоких скоростей межпроцессорного обмена [8]. В таких сетях данные, подлежащие передаче от одного процессора другому процессору (другим процессорам), оформляются в виде серии пакетов [2]. Серия пакетов при этом может передаваться как единая цепочка, в которой только головной пакет несёт адресную информацию (последовательная передача пакетов), обеспечивая настройку маршрута передачи всей цепочки пакетов, и остальные пакеты следуют за ним [3]. Альтернативным вариантом является независимая передача пакетов, при которой адресная информация размещается в каждом пакете серии и пакеты движутся в сети независимо друг от друга [9]. Режим последовательной передачи оказывается более эффективным при обмене большими массивами данных; в этом случае время, затрачиваемое на настройку маршрута, компенсируется тем, что для большинства пакетов не требуется вычисление направления ретрансляции на каждом шаге маршрутизации. Режим независимой передачи пакетов целесообразно применять в том случае, когда между процессорами передаются небольшие порции данных, при этом интенсивность обмена в коммуникационной сети в целом может быть сколь угодно высокой.

В данной статье объектом исследования являются мультипроцессоры с независимой передачей пакетов. Одним из перспективных подходов к повышению пропускной способности коммуникационной сети таких мультипроцессоров представляется использование в коммутационных устройствах множества входных очередей в комбинации с матричным внутренним буфером (матрицей регистров). Такой подход, в частности, реализован при построении параллельно-последовательного коммутационного устройства, рассмотренного в [10].

Основным недостатком параллельно-последовательной коммутации пакетов является низкая загрузка матрицы регистров ввиду последовательного характера ретрансляции каждого множества пакетов, считываемых из входных очередей. Запрет на запись очередного множества пакетов до полного освобождения матрицы регистров увеличивает среднее время обработки пакетов коммутационным устройством, резко ограничивая его пропускную способность. Таким образом, необходим поиск путей повышения загрузки матрицы регистров при обработке и ретрансляции пакетов коммутационным устройством.

Постановка задачи

Пусть коммутационное устройство имеет множество входов $\{I_1, I_2, \ldots, I_n\}$ и множество выходов $\{O_1, O_2, \ldots, O_n\}$, где n определяется видом топологической структуры мультипроцессора. В устройстве также имеется множество входных очередей $\{Q_1, Q_2, \ldots, Q_n\}$, подключенных к соответствующим входам, и матрица регистров $B = \|B_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, n}$, столбцы которой соединены с выходами соответствующих очередей множества $\{Q_1, Q_2, \ldots, Q_n\}$, а строки – с соответствующими выходами множества $\{O_1, O_2, \ldots, O_n\}$.

Пусть F_k – множество пакетов, находящихся в матрице B на k-м такте ретрансляции, $k = 0, 1, 2, \ldots$. На множестве $\{B_{ij}\}$ определим индикаторную функцию S_k такую, что $S_k(B_{ij}) = c_q$, если регистр B_{ij} содержит некоторый пакет c_q в k-м такте ретрансляции, $S_k(B_{ij}) = \varnothing$, если регистр B_{ij} свободен. Тогда $F_k = \bigcup_{i=1}^{n} \bigcup_{j=1}^{n} S_k(B_{ij})$, а число пакетов, находящихся в матрице B в k-м такте ретрансляции, составит $|F_k|$. Соответственно, мгновенная загрузка матрицы регистров

при заданных входящих потоках пакетов будет равна $\rho_k = \frac{|F_k|}{n^2}$.

Необходимо найти такой метод M организации функционирования коммутационного устройства, чтобы

$$\rho_k \to \max \quad \forall k \in \{0,1,2,\ldots\}. \qquad (1)$$

Метод параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов

Предлагаемый метод является модификацией метода параллельно-последовательной коммутации пакетов, изложенного в [10]. Метод предполагает, что буферизующая часть коммутационного устройства разделена на входную часть и матрицу регистров. В свою очередь, входная часть устройства организована в виде множества очередей (FIFO-накопителей), подключенных к соответствующим столбцам матрицы регистров. Как и в случае параллельно-последовательной коммутации, пакеты переносятся из различных входных очередей в матрицу регистров параллельно и независимо друг от друга. При этом построчное распределение пакетов в матрице определяется реализуемым алгоритмом маршрутизации.

Выдача пакетов из матрицы на соответствующие выходы коммутационного устройства производится параллельно-последовательно:

– пакеты, находящиеся в разных строках матрицы, выдаются параллельно;

– пакеты, расположенные в одной и той же строке, передаются на выход последовательно.

Ниже сформулированы основные этапы разработанного метода.

1. Определение направлений выдачи для всех пакетов, находящихся в голове входных очередей, согласно заданному алгоритму маршрутизации.

2. Перезапись в матрицу регистров всех пакетов, которым соответствуют свободные регистры матрицы, и сдвиг всех очередей, откуда были переписаны пакеты.

3. Анализ способа размещения множества пакетов в матрице регистров и определение порядка выдачи пакетов из строк матрицы, выбор множества пакетов для выдачи в данном такте.

4. Выдача выбранного множества пакетов из матрицы регистров на выходы устройства и освобождение соответствующих регистров матрицы.

Главным отличием разработанного метода от метода параллельно-последовательной коммутации является то, что очередное множество пакетов переносится в матрицу регистров сразу же после перезаписи предыдущего множества (в следующем такте) без ожидания полного освобождения матрицы (этап 2). При этом если согласно алгоритму маршрутизации некоторый пакет претендует на перезапись в еще занятый регистр матрицы, его передача в матрицу временно блокируется, пока требуемый регистр не будет освобожден. *Еще одним отличием* является применение приоритетной дисциплины обслуживания пакетов в строках матрицы регистров. Первым из строки выдается тот пакет, который дольше всех пакетов этой же строки находится в матрице (этап 3). Если же таких пакетов несколько, то их выдача осуществляется согласно дисциплине FIFO.

Таким образом, предлагаемый метод обеспечивает параллелизм коммутационного устройства по входам, поскольку прием пакетов с разных входных направлений ведется параллельно в независимо работающие накопители и далее – в столбцы матрицы регистров. Также достигается параллелизм по выходам, так как выдача пакетов, размещенных в разных строках матрицы регистров, осуществляется одновременно. Загрузка в матрицу очередного множества пакетов до окончания выдачи всех уже загруженных пакетов придает процессу коммутации конвейерный характер, позволяя частично компенсировать время, затрачиваемое на последовательную передачу па-

кетов, находящихся в одноименных строках. Сказанное и явилось основанием назвать разработанный метод параллельно-конвейерно-параллельным.

Структурная модель устройства параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов

На рисунке 1 представлена структурная модель коммутационного устройства, реализующего разработанный метод.

Согласно рисунку 1 коммутационное устройство кроме входов $I_1, I_2, \ldots, I_n$, выходов $O_1, O_2, \ldots, O_n$, входных очередей $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ и матрицы регистров $B = \|B_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, n}$ содержит следующие коммутирующие элементы $R_1, R_2, \ldots, R_n$, $K_1, K_2, \ldots, K_n$, $L_1, L_2, \ldots, L_n$ и клапаны $G_1, G_2, \ldots, G_n$.

Входные очереди $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ обеспечивают прием пакетов с входов $I_1, I_2, \ldots, I_n$ соответственно и их выдачу в порядке поступления с целью последующей записи в регистры матрицы B. Матрица регистров B является внутренней буферной памятью устройства, обеспечивая хранение пакетов перед их выдачей на выходы $O_1, O_2, \ldots, O_n$.

Выбор строки матрицы для записи пакета, считанного из очереди Q_i, определяется правилом μ_i, реализующим заданный алгоритм маршрутизации μ. Правила $\{\mu_i\}$ осуществляются коммутирующими элементами $\{R_i\}$.

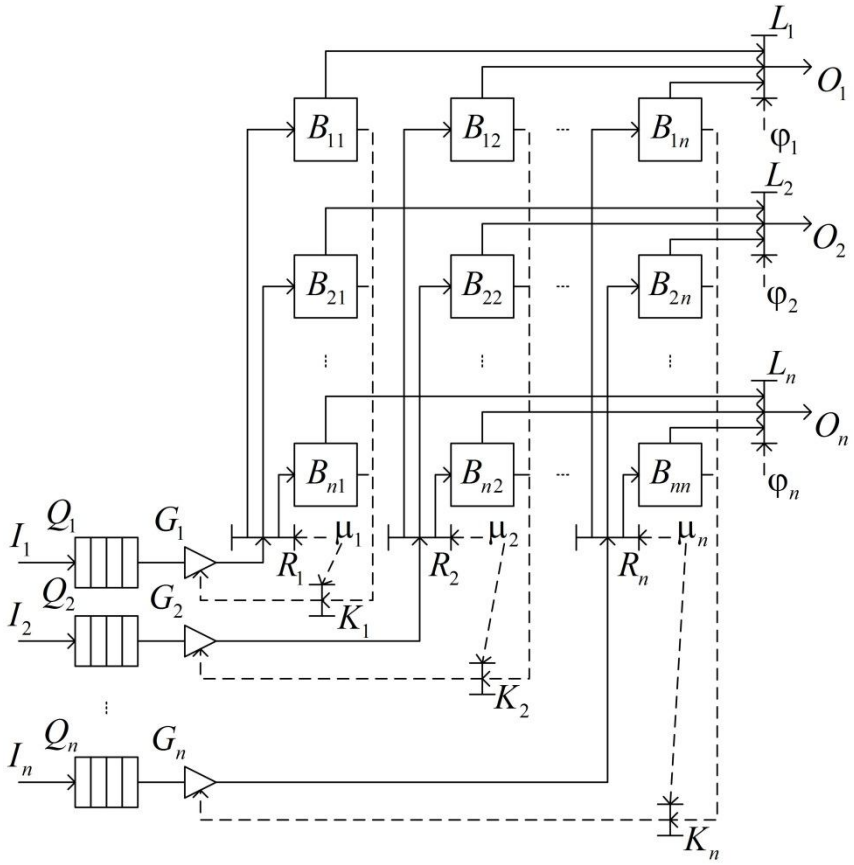


Рис. 1. Структурная модель коммутационного устройства с параллельно-конвейерно-параллельной обработкой пакетов

Считывание пакетов из строк матрицы регистров и последующая их выдача на выходы $O_1, O_2, \ldots, O_n$ выполняются параллельно и независимо от приема новых пакетов в матрицу. Если в j-й строке матрицы B находится больше одного пакета,

их выдача на выход O_j производится последовательно в течение нескольких тактов ретрансляции, причем порядок выдачи определяется правилом φ_j. Правила $\{\varphi_j\}$ реализуются коммутирующими элементами $\{L_j\}$.

Клапаны $G_1, G_2, \ldots, G_n$ позволяют временно блокировать передачу пакетов из соответствующих очередей при занятости нужных регистров матрицы B. Если пакет, находящийся в голове очереди Q_i, согласно правилу маршрутизации μ_i должен быть записан в занятый регистр, клапан G_i блокирует передачу этого пакета в матрицу регистров из очереди на 1 такт. В противном случае блокировки не происходит, и пакет загружается из очереди Q_i в матрицу B.

Таким образом, новые пакеты переносятся в матрицу регистров из входных очередей по мере возможности, без ожидания завершения цикла выдачи ранее загруженной группы пакетов, что отличает данную структурную модель от параллельно-последовательной модели [10].

Алгоритм параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов

На множестве пакетов F_k определим *отношение совместности* $\alpha_k \subseteq F_k \times F_k$ такое, что

$$\left(c_q, c_r\right) \in \alpha_k \Leftrightarrow c_q \in \bigcup_{j=1}^{n} S_k\left(B_{i'j}\right), c_r \in \bigcup_{j=1}^{n} S_k\left(B_{i''j}\right) : i' \neq i''.$$

Если $\left(c_q, c_r\right) \in \alpha_k$, то пакеты c_q и c_r будем считать совместными (такие пакеты можно выдать из матрицы регистров одновременно, поскольку они находятся в разных строках).

Введем в рассмотрение граф совместности $\Gamma_k = \left\langle F_k, \alpha_k \right\rangle$. Вершины этого графа будут соответствовать пакетам множества F_k, а ребра – отображать их совместность. Взвесим вершины графа Γ_k неотрицательными целыми числами $\{\tau_q\}$. Вес τ_q вершины c_q будем определять временем, которое пакет c_q провел в матрице регистров, выраженным в числе тактов работы устройства. Сразу после записи пакета c_q в матрицу регистров полагаем $\tau_q = 0$.

Выделим в графе Γ_k клику $\Gamma'_k = \left\langle F'_k, \alpha'_k \right\rangle$, $F'_k \subseteq F_k$, $\alpha'_k \subseteq \alpha_k$ такую, что

$$\sum_{c_q \in F'_k} \tau_q = \max.$$

Если таких клик в графе Γ_k несколько, то выберем из них любую. По определению носитель F'_k клики Γ'_k будет включать только совместные вершины и будет максимальным по включению.

Таким образом, пакеты, соответствующие вершинам $c_q \in F'_k$, будут допускать параллельную выдачу на выходы коммутационного устройства, а их количество будет максимально возможным для данного распределения пакетов в матрице регистров. Учет весов вершин при выделении клики Γ'_k позволяет реализовать относительный приоритет при выборе пакетов для выдачи, ограничивая время пребывания пакетов в матрице регистров.

Учитывая введенное формализованное представление, один такт (цикл) ретрансляции пакетов при использовании предлагаемого метода можно описать приведенным ниже алгоритмом. В алгоритме для удобства через c_l и $B\left(\mu\left(c_l\right)\right)$ обозначены соответственно пакет, находящийся в голове очереди Q_l, и регистр матрицы B, выбранный для записи этого

пакета согласно реализуемому алгоритму маршрутизации.

НАЧАЛО ПРОЦЕДУРЫ «Цикл ретрансляции пакетов»

ПРИНЯТЬ $k = 0$

ВЫПОЛНЯТЬ ПОКА хотя бы одна очередь Q_l не пуста

СЧИТАТЬ пакеты из не пустых очередей $\{Q_l\}$

ОПРЕДЕЛИТЬ множество регистров $\{B(\mu(c_l))\}$

ПЕРЕПИСАТЬ в матрицу B все пакеты $\{c_r\}$, для которых $S_k(B(\mu(c_r))) = \varnothing$, положить для них $\tau_r = 0$ и выполнить сдвиг очередей $\{Q_r\}$

ПРИНЯТЬ $F_k = \bigcup_{i=1}^{n}\bigcup_{j=1}^{n} S_k(B_{ij})$ и построить граф $\Gamma_k = \langle F_k, \alpha_k \rangle$

ВЫДЕЛИТЬ клику Γ'_k графа Γ_k, для которой $\sum_{c_q \in F'_k} \tau_q = \max$.

ВЫБРАТЬ подмножество пакетов F'_k

ВЫДАТЬ все пакеты $c_l \in F'_k$ на выходы устройства

ПОЛОЖИТЬ $\tau_r = \tau_r + 1 \ \forall c_r \in F_k \setminus F'_k$

УСТАНОВИТЬ $S_{k+1}(B(\mu(c_l))) = \varnothing \ \forall c_l \in F'_k$

ПРИНЯТЬ $k = k + 1$

КОНЕЦ ВЫПОЛНЯТЬ ПОКА

КОНЕЦ ПРОЦЕДУРЫ «Цикл ретрансляции пакетов»

Проиллюстрируем работу разработанного алгоритма на примере реализации нескольких последовательно проходящих циклов ретрансляции пакетов (рис. 2). Примем $n = 5$. Для наглядности будем размещать формируемые на каждом шаге графы совместности непосредственно в матрице регистров. В обозначении вершин (пакетов) для удобства добавим верхний индекс, который будет указывать номер цикла ретрансляции, в котором пакет был загружен в матрицу регистров. Нижний индекс вершины, как и ранее, будет обозначать номер входной очереди, откуда был считан пакет. Внутри вершин условимся вписывать их текущие веса.

Исходное состояние матрицы регистров в начале работы алгоритма ($k = 0$) условно принято таким, как показано на рисунке 2,*а*. Дальнейшее изменение состояния матрицы при $k = 1, 2, \ldots, 8$ отображено на рисунке 2,*б-и*.

Очередное множество загружаемых в матрицу пакетов на каждом шаге определяется случайным образом так, чтобы проиллюстрировать возможные варианты ретрансляции пакетов. Выделяемые на каждом шаге клики графа совместности показаны пунктиром.

Анализируя рисунок 2, можно увидеть, что на некоторых шагах ретрансляции в матрице регистров оказывается более *n* пакетов. Это объясняется тем, что не все ранее загруженные пакеты удается выдать за 1 такт, при этом в следующем такте в матрицу подгружаются новые пакеты (конвейерный режим).

Оценка предельной загрузки матрицы регистров при использовании разработанного метода

Выражение для вычисления предельной загрузки матрицы регистров при использовании разработанного метода можно получить исходя из предположения, что за каждый такт ретрансляции из матрицы будет выдаваться наименьшее возможное число пакетов (что составляет 1 пакет в такте 0, 2 пакета в такте 1, 3 пакета в такте 2 и т.д., *n* пакетов в тактах $n-1, n, n+1, n+2, \ldots$), а записываться – наибольшее возможное их число (что составляет *n* пакетов), причем такой режим будет иметь место неограниченно долго.

Описанный порядок заполнения матрицы регистров пакетами схематично поясняется на рисунке 3. Здесь пакеты, которые будут выданы в текущем такте

ретрансляции, отображены закрашенными кружками.

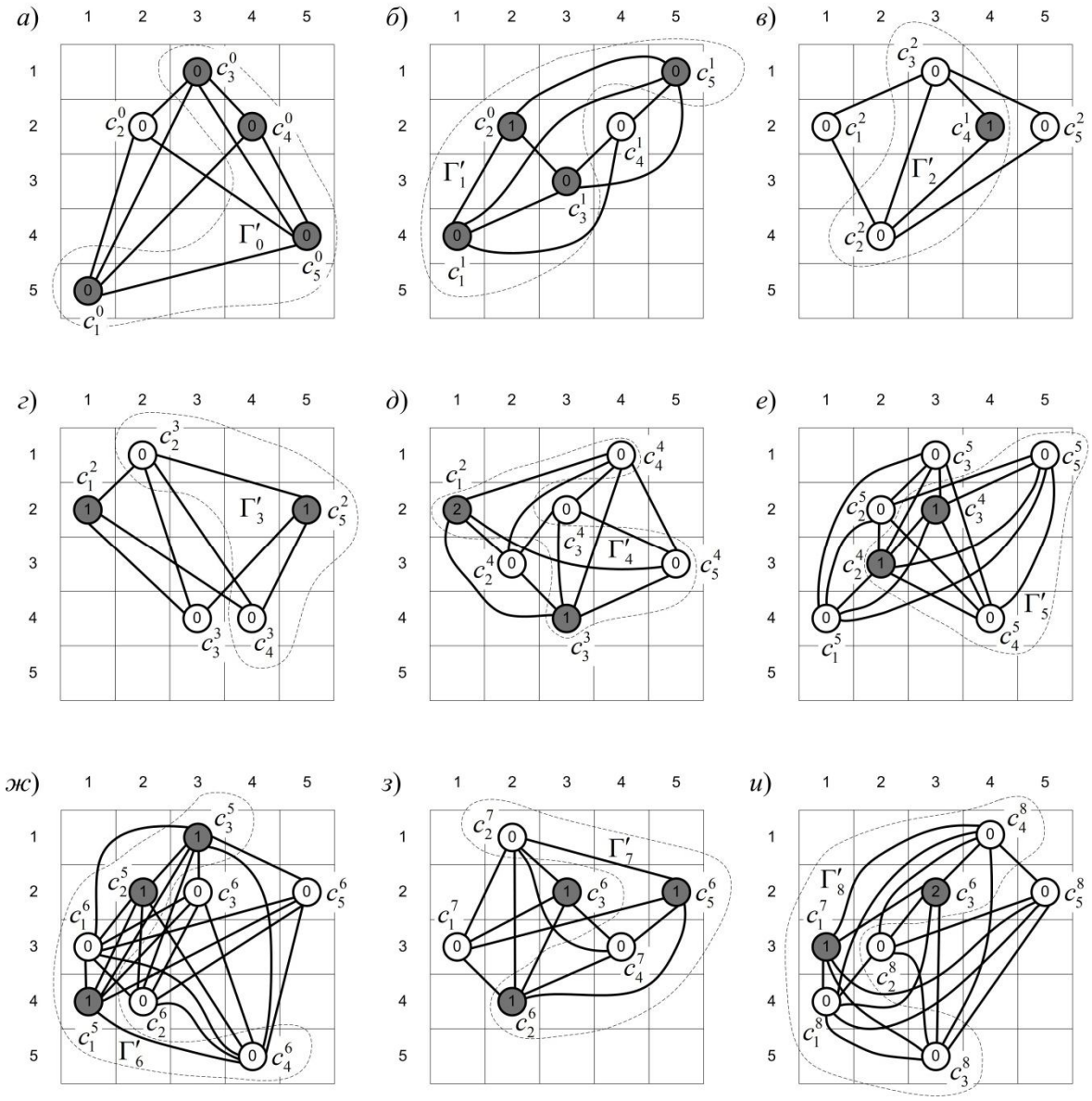


Рис. 2. Иллюстрация работы алгоритма параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов

Таким образом, выражение для оценки предельной загрузки матрицы регистров будет иметь следующий вид:

$$\rho^2_{\max} = \frac{n(n+1)}{2} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{n+1}{2n}. \qquad (2)$$

Несложно доказать, что $\rho^2_{\max} = \max$ (и следовательно, выполняется условие (1)).

Действительно, рассмотрим рисунок 3 (такт n). Предположим, что в такте $n+1$ в матрице регистров окажется $n+2$ пакетов. Однако это возможно лишь тогда, когда в матрицу будет записано n пакетов, а выдано $n-1$ пакетов. Выдача $n-1$ пакетов, в свою очередь, возможна лишь при наличии одной пустой строки. Получили противоречие.

Предельная загрузка матрицы регистров при использовании параллельно-последовательного метода коммутации составляет

$$\rho^1_{\max} = \frac{1}{n}, \qquad (3)$$

поскольку за 1 такт в матрицу регистров записывается не более n пакетов, а новые пакеты могут подгружаться в матрицу только после ее освобождения.

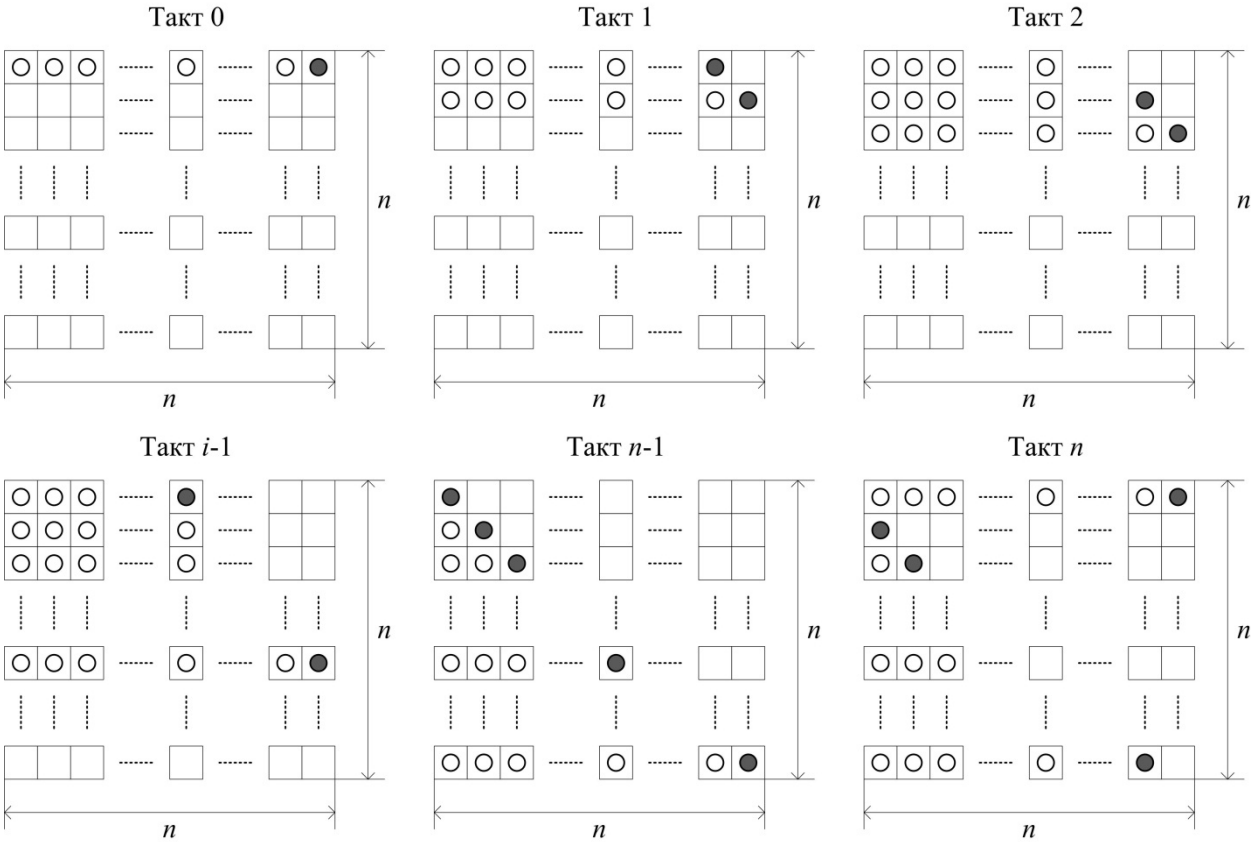


Рис. 3. Иллюстрация порядка заполнения матрицы регистров при определении ее предельной загрузки

Исходя из формул (2), (3), имеем

$$\frac{\rho^2_{\max}}{\rho^1_{\max}} = \frac{n+1}{2}.$$

Таким образом, предлагаемый метод позволяет повысить предельную загрузку матрицы регистров примерно в $\frac{n}{2}$ раз по сравнению с методом параллельно-последовательной коммутации пакетов.

Заключение

В статье представлен метод параллельно-конвейерно-параллельной коммутации пакетов в матричных мультипроцессорах, позволяющий максимизировать предельную загрузку матрицы регистров коммутационного устройства за счет организации записи новых пакетов в матрицу до окончания выдачи всех уже имеющихся в ней. Повышение загрузки матрицы регистров способствует сокращению времени ретрансляции пакетов и увеличению пропускной способности коммутационного устройства по сравнению с параллельно-последовательной обработкой, поскольку за n тактов через матрицу регистров в среднем проходит большее число пакетов. Однако количественная оценка этих показателей при различной интенсивности входящих потоков пакетов требует проведения серии машинных экспериментов на имитационной модели, что станет предметом дальнейших исследований авторов.

Список литературы

1. Jerraya A.A., Wolf W. Multiprocessor systems-on-chips. Elsevier Inc., 2005. 581 p.

2. Ni L.M., McKinley P.K. A survey of wormhole routing techniques in direct networks // IEEE Computer. 1993. Vol. 26, is. 2. P. 62–76.

3. Ho C.-T., Stockmeyer L. A new approach to fault-tolerant wormhole routing for mesh-connected parallel computers // IEEE Transactions on Computers. 2004. Vol. 53, N4. P. 427–438.

4. Даниел М.А., Бобынцев Д.О., Зотов И.В. Структурно-функциональная организация модуля матричного коммутатора для отказоустойчивой динамической маршрутизации в СБИС-системах // Телекоммуникации. 2017. № 11. С. 2-7.

5. Аппаратно-ориентированные методы управления межпроцессорной координацией в параллельных системах с распределенной памятью / И. В. Зотов, Д. О. Бобынцев, Р. В. Бредихин, Ньян Лин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №1. С. 43–48.

6. Зотов И. В., Крикунов О. В., Стеценко Ю. П. Модель параллельно-конвейерной коммутации сообщений // Методы и средства систем обработки информации: сборник научных статей / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2007. Вып. 4. С. 13–20.

7. Wu J., Srikanthan T. Fast reconfiguring mesh-connected VLSI arrays // Proc. Intl Symp. Circuits and Systems, ISCAS '04, 23-26 May 2004. Vol.2. P. 949–952.

8. Poovendran R., Muniraj S., Nandakumar A. On Chip Implementation of Packet Switched Network // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE). 2014. Vol. 9, is. 2. P. 38-42.

9. Yuhua Chen. Cell Switched Network-on-Chip – Candidate for Billion-Transistor System-on-Chips / 2006 IEEE International SOC Conference, 2006. P. 57–60.

10. Беляев Ю.В. Параллельно-последовательный коммутатор для систем параллельной и распределенной обработки данных: автореф. дис. … канд. техн. наук. Курск, 2003. 17 с.

Поступила в редакцию 30.05.18

UDC 004.272

I. V. Zotov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: zotovigor@yandex.ru)

Mohammed Jamal, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: gamal12345@mail.ru)

A MULTIPARALLEL PIPELINED PACKET SWITCHING METHOD FOR MESH-CONNECTED MULTIPROCESSORS

The problem of increasing the throughput of the communication network of a mesh-connected multiprocessor using input queued switches with an internal matrix buffer is under consideration. A packet switching method is proposed featuring a parallel packet transfer pipeline which makes it possible to load packets from the input queues to the internal buffer with no delay needed to spin until the buffer completely flushes. The proposed method is shown to provide parallel and concurrent packet processing in the input and output circuits of the packet switch. A structural model of the packet switching unit based on our approach is given. The packet switch unit operation is formally stated based on the representation of the set of packets loaded into the internal buffer in the form of a packet consistency graph reflecting the packet set ability of being issued in parallel. A graph vertex weight assignment rule is formulated taking into account the idle time packets spend in the internal buffer. A maximum total weight clique of the consistency graph is shown to be searched for to pick up a proper subset of packets that can be issued currently which in turn makes it possible to reduce the idle time. Based on the proposed procedure, the operation of a packet switch unit is investigated at the maximum input packet stream rate. The suggested method and the packet switch architecture are proven to maximize the in-

ternal buffer load thus making it possible to increase the packet processing speed and improve the multiprocessor communication hardware throughput. Compared to the parallel-sequential packet switching technique, our method increases the maximum utilization of internal buffers by $n/2$ times with n standing for the number of input/output terminals of a separate switch unit.

***Key words**: mesh-connected multiprocessor, communication network, packet switching, pipelining, throughput.*

For citation: Zotov I. V., Mohammed Jamal. A multiparallel pipelined packet switching method for mesh-connected multiprocessors. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 6–15 (in Russ.).

***

References

1. Jerraya A. A., Wolf W. Multiprocessor systems-on-chips. Elsevier Inc., 2005. 581 p.

2. Ni L.M., McKinley P.K. A survey of wormhole routing techniques in direct networks. IEEE Computer, 1993, vol. 26, is. 2, pp. 62–76.

3. Ho C.-T., Stockmeyer L. A new approach to fault-tolerant wormhole routing for mesh-connected parallel computers. IEEE Transactions on Computers, 2004, vol. 53, no. 4, pp. 427–438.

4. Daniel M. A., Bobyncev D. O., Zotov I. V. Strukturno-funkcional'naya organizaciya modulya matrichnogo kommutatora dlya otkazoustojchivoj dinamicheskoj marshrutizacii v SBIS-sistemah. Telekommunikacii, 2017, no. 11, pp. 2–7.

5. Zotov I. V., Bobyncev D. O., Bredihin R. V. N'yan Lin Apparatno-orientirovannye metody upravleniya mezhprocessornoj koordinaciej v parallel'nyh sistemah s raspredelennoj pamyat'yu. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 1, pp. 43–48.

6. Zotov I. V., Krikunov O. V., Stecenko Yu. P. Model' parallel'no-konvejernoj kommutacii soobshchenij. Metody i sredstva sistem obrabotki informacii. Sbornik nauchnyh statej. Kursk, 2007, is. 4, pp. 13–20.

7. Wu J., Srikanthan T. Fast reconfiguring mesh-connected VLSI arrays. Proc. Intl Symp. Circuits and Systems, ISCAS '04, 23-26 May, 2004, vol. 2, pp. 949–952.

8. Poovendran R., Muniraj S., Nandakumar A. On Chip Implementation of Packet Switched Network. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), 2014, vol. 9, is. 2, pp. 38–42.

9. Yuhua Chen. Cell Switched Network-on-Chip – Candidate for Billion-Transistor System-on-Chips. 2006 IEEE International SOC Conference, 2006, pp. 57–60.

10. Belyaev Yu. V. Parallel'no-posledovatel'nyj kommutator dlya sistem parallel'noj i raspredelennoj obrabotki dannyh. Avtoref. diss. kahn. nauk. Kursk, 2003. 17 s.

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, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: gskunk@yandex.ru)

В. С. Титов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

А. П. Локтионов, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В УСТРОЙСТВАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Рассмотрен широкий спектр устройств обработки и выделения цифровых сигналов. Известные методы и устройства применяются в автоматизированных системах обработки и распознавания изображений для анализа растровых изображений и телевизионных сигналов. Задача выделения и обработки цифровых сигналов также актуальна в средствах мониторинга и обработки сигналов систем опознавания MkXA и системы управления воздушным движением ATCRBS.

Отражены преимущества и недостатки известных методов и устройств. Представлено описание метода выделения цифровых последовательностей, этапами которого являются итерационное построение гистограммы разности на основе автокорреляционной функции и поиск по времени прихода импульсов.

Представлено описание современного устройства обработки цифровых сигналов, реализующего метод, а также способного минимизировать выявленные недостатки и унифицировать принцип построения для решения различных задач. Отражены порядок работы современного устройства, особенности выполнения отдельных процедур.

Современное устройство обработки выполняет аналого-цифровое преобразование сигнала, детектирование и обнаружение импульсов, сглаживание и децимацию потока данных, расчет основных амплитудных и частотно-временных импульсных параметров, группирование цифровых сигналов с помощью селекторов и сохранение результатов работы в запоминающее устройство.

Отличительной чертой современного устройства обработки цифровых сигналов является качественное расширение перечня измеряемых импульсных параметров, а также увеличение чувствительности и помехозащищенности системы за счет применения блоков сглаживания и децимации, различных селекторов.

В средствах анализа изображений устройство применимо в качестве средства предварительной обработки как ТВ-сигналов, так и растровых цифровых изображений с целью выделения изображений, сегментации текстур и т. п. В системах мониторинга и обработки сигналов систем опознавания MkXA и системы управления воздушным движением ATCRBS устройство применимо для выделения и обработки запросно-ответных сигналов на предварительном этапе.

***Ключевые слова**: устройства обработки, выделение последовательностей, цифровые сигналы, параметры сигналов, импульсные последовательности.*

Ссылка для цитирования: Применение метода выделения цифровых последовательностей в устройствах предварительной обработки сигналов / С. Н. Полторацкий, В. С. Панищев, В. С. Титов, А. П. Локтионов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 16–24.

***

Введение

В настоящее время актуальным научным и практическим направлением развития средств вычислительной техники и систем управления является разработка алгоритмов и специализированных устройств для аппаратно-программных систем обработки и выделения цифровых сигналов и их последовательностей [1, 2].

Традиционный путь выделения сигналов в условиях неопределенности их структуры и количества, их перемеживания основан на пороговых схемах, автокорреляционном методе, а также на обработке распределений сигналов и выявле-

нии статистического закона распределения того или иного параметра, что связано с существенной временной сложностью известных алгоритмов в динамично меняющихся условиях поступления данных. Сложность решения задачи выделения цифровых сигналов и их последовательностей определяется существенным увеличением количества и усложнением структуры сигналов, наличием множества источников цифровых сигналов, однородных по своей временной структуре.

В частности, задача выделения цифровых стандартизованных сигналов актуальна в системах мониторинга и обработки сигналов систем опознавания MkXA и в системе управления воздушным движением ATCRBS на предварительном этапе обработки. Данная область характеризуется высокоинтенсивным потоком сигналов в единицу времени, а также смешением сигналов от различных объектов, однородных по своей временной структуре, в точке приема.

Например, в известной малобазовой системе определения местоположения воздушных судов [3] выполняется выделение сигналов на основе априорной информации о запросно-ответных сигналах [4] и обработка цифровых сигналов в наземных станциях. В станциях измеряются импульсные параметры сигналов, с помощью которых распознаются коды сигналов и определяется местоположение воздушных судов в системе единого времени.

Известный моделирующий комплекс [5] системы управления воздушным движением также разработан с применением алгоритмического обеспечения, реализующего модель системы управления воздушным движением ATCRBS и системы опознавания в международном диапазоне волн MkXA. В качестве программно-аппаратной платформы применяется решение компании National Instruments (NI 5641R), которое обеспечивает базу для моделирования алгоритмов приёма и цифровой обработки сигналов. В данной системе существует необходимость применения методов выделения цифровых сигналов для разделения потока сигналов от различных объектов, а для повышения скорости обработки требуется реализация разработанного алгоритмического обеспечения в устройстве на базе ПЛИС.

В работе [6] в качестве аппаратной реализации представлен макет технологического маячкового ответчика систем опознавания MkXA и системы управления воздушным движением ATCRBS, обеспечивающего проверку работоспособности запросчика системы опознавания. Макет основывается на концепции модульных приборов PXI, вследствие чего обладает реконфигурируемостью. Обработка сигнала, начиная с промежуточной частоты, ведется полностью цифровыми методами.

Однако в реальной обстановке в ответчике необходимо разделять сигналы, поступающие от разных комплексов формирования запросов в зоне радиовидимости, для чего требуется разрабатывать и применять алгоритмы выделения сигнала по временным параметрам в устройствах предварительной обработки.

Таким образом, обзор существующих средств выделения цифровых последовательностей, используемых в системах опознавания, выявил очевидный недостаток подобных средств, выраженный в отсутствии возможности разделения смешанных сигналов.

Методы и средства выделения цифровых сигналов и их последовательностей используются также в научной аппаратуре, системах обработки медицинских изображений и спектроскопии, индустрии обработки минералов.

Так, например, известен метод определения индивидуальных сигналов на основе информации с выхода детекторов радиационного излучения [7]. При этом детекторы радиационного излучения на выходе формируют электрические импульсные сигналы, характерные для различных видов излучения.

Для применения метода требуется предварительная калибровка системы по

известным видам излучения с целью изучения импульсного отклика детектора и обучения системы, что ограничивает быстродействие, не допускает адаптивности системы к изменению входного сигнала.

Задача выделения цифровых сигналов также возникает в автоматизированных системах обработки и распознавания изображений [8]. В частности, в автоматизированных системах обработки и распознавания изображений выделение цифровых сигналов требуется на одном из этапов решения задачи анализа и распознавания изображений – текстурной сегментации, заключающейся в разбиении изображения на области с однородной текстурой [9].

Известен алгоритм цифровой обработки телевизионных (ТВ) измерительных сигналов [10], используемых для оценки качественных показателей телевизионных систем формирования и передачи ТВ-изображения в процессе его разработки, в условиях массового производства и эксплуатации. Основная идея алгоритмов обработки измерительных сигналов, состоящих из последовательностей прямоугольных импульсов, серий синусоидальных колебаний, импульсных сигналов специальной формы и др., заключается в анализе искажений этих сигналов, зависящих от линейных и нелинейных характеристик ТВ-каналов, наличия в них флуктуационных, синусоидальных и импульсных помех. Однако данный алгоритм требует высокоточных, прецизионных измерителей параметров сигналов.

Для решения задачи помехоустойчивой текстурной сегментации применяется метод определения границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов [11], основанный на оптимальном по критерию максимального правдоподобия решающем правиле. Метод использует импульсный подход к решению задачи и опирается на априорно известные параметры текстур и на анализ яркости пикселей, что используется для предварительной обработки в части поиска упорядоченных последовательностей на кадре изображения, и может применяться для обработки аэрофотоснимков сельскохозяйственных культур, а также при контроле качества тканей и т. д.

Анализ существующих средств выделения цифровых последовательностей, используемых при решении задач обработки изображений, показал, что большинство из них ориентированы на обработку известных ограниченных групп объектов.

Постановка задачи

Таким образом, существует необходимость разработки новых методов, алгоритмов и устройств для вычисления параметров и выделения последовательностей цифровых сигналов, позволяющих повысить быстродействие и достоверность правильного выделения таких последовательностей в реальном масштабе времени на этапе предварительной обработки.

Одним из способов решения данной задачи является разработка устройства на базе средства измерения амплитудно-временных и частотных параметров сигналов с цифровым детектированием [12, 13], отличительной чертой которого является качественное расширение перечня измеряемых параметров цифровых последовательностей, а также увеличение чувствительности и помехозащищенности системы и реализация предварительного выделения сигнала.

Подобное устройство применимо в цифровых осциллографах, панорамных радиоприемниках, а также в аппаратуре мониторинга и анализа параметров источников радиоизлучений для обнаружения, измерения амплитудно-временных и частотных параметров сигналов с целью последующей селекции и классификации сигналов из потока импульсных параметров.

В средствах анализа изображений устройство применимо в качестве сред-

ства предварительной обработки как ТВ-сигналов, так и растровых цифровых изображений с целью выделения изображений, сегментации текстур и т. п. При этом обработка кадра изображения реализуема «на проходе» (в реальном масштабе времени), что невозможно в рассмотренных средствах. В средствах обработки запросно-ответных сигналов систем опознавания устройство способно измерять, выделять и обрабатывать сигналы как на земле, так и на борту самолета.

Метод выделения цифровых последовательностей

Для выделения цифровых сигналов в ПЛИС устройства реализуется метод выделения цифровых последовательностей [14], этапами которого являются итерационное построение гистограммы на основе автокорреляционной функции с увеличением уровня разности и поиск по времени прихода импульсов.

Этап 1. Вычисление значений гистограммы на каждом уровне разности выполняется по следующей формуле:

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

где d – величина временной задержки;

W – входная выборка длиной N.

Процедура построения гистограммы включает в себя следующие шаги:

1. Строится массив периодов поступления импульсов для текущего уровня разности, начиная с первого.

2. Строится гистограмма значений периодов поступления импульсов на текущем уровне разности.

3. Упорядочиваются результаты гистограммы по убыванию. Выбирается первый результат.

4. По данным гистограммы рассчитывается критерий обнаружения детерминированной последовательности с учетом весового коэффициента M.

5. В случае превышения критерия заданного порога выполняется поиск последовательности с учетом весового коэффициента M, иначе строится гистограмма с увеличенным уровнем разности.

Последовательность с постоянным периодом поступления импульсов идентифицируется по результату вычисления функции автокорреляции для d-кратных периодов поступления импульсов по заданному пороговому значению $y(d)$, при превышении которого последовательность считается обнаруженной.

Этап 2. Процедура поиска по времени прихода импульсов достоверно обнаруживает структуру последовательности. Сущность процедуры состоит в том, что вначале задается последовательность с известным периодом поступления импульсов в качестве исходной выборки. Затем последовательно производится ее корреляционный анализ с исходной выборкой. Процедура поиска включает в себя три шага:

1. Задается последовательность

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

2. Вычисляется значение функции корреляции заданной последовательности с исходной выборкой

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

3. Значение функции определяется из уравнения

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

По максимуму корреляционной функции для периодов $\{T, 2T.. M{\cdot}T\}$ принимается решение, что заданная последовательность принадлежит выборке. Шаги 1-3 повторяются для других значений периода поступления импульсов. По завершении поиска импульсы обнаруженной последовательности удаляются из исходной выборки.

На рисунке 1 представлена структурно-функциональная организация устройства вычисления параметров и выделения цифровых сигналов, которое со-

держит: аналого-цифровой преобразователь (АЦП), генератор тактовых импульсов (ГТИ), блок вычисления параметров (БВП), блоки формирования разностей (БФР), блоки формирования гистограммы (БФГ), блок сортировки гистограммы (БСГ), компараторы, блоки управления (БУ), блок обнаружения (БО), блок маркирования (БМ), запоминающее устройство (ЗУ).

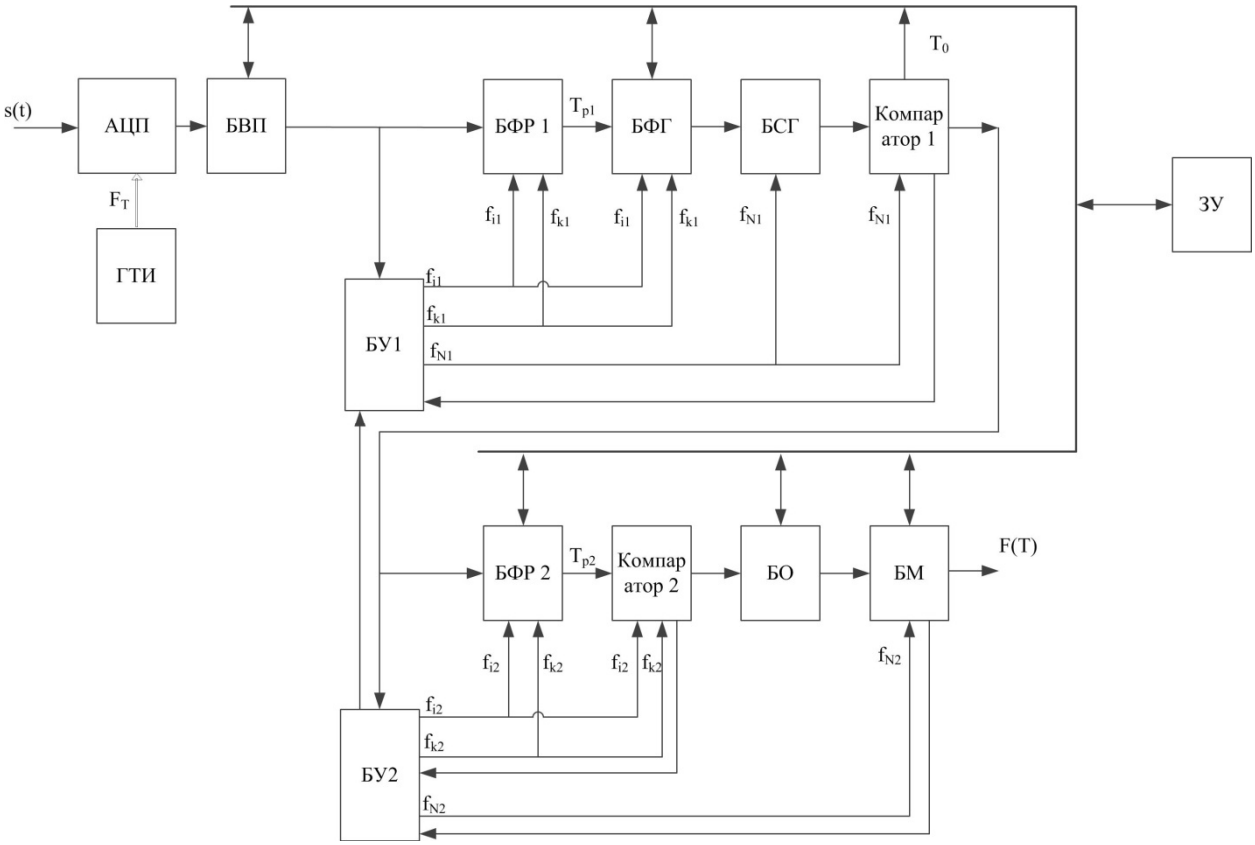


Рис. 1. Структурно-функциональная организация устройства вычисления параметров и выделения цифровых сигналов

Применение предложенного устройства позволяет упростить структуру современных и перспективных систем обработки сигналов за счет определения по одному каналу амплитудных, частотных и временных импульсных параметров цифровых сигналов с выделением периодических последовательностей.

На вход устройства поступает сигнал *s(t)*. Далее в блоке АЦП выполняются процедуры квантования и дискретизации. Затем в БВП выполняется расчет и группирование параметров входного сигнала к виду время прихода-набор параметров.

Последующие блоки реализуют метод выделения цифровых последовательностей. БУ1 и БУ2 обеспечивают последовательное получение импульсов из исходной выборки соответственно на этапе 1 и 2 метода.

По сигналам f_{i1} и f_{k1} БФР1 вычисляет очередную разность $T=t_k-t_i$, на основе которой в БФГ инкрементируется амплитуда соответствующего полигона гистограммы. При этом результаты построения гистограммы сохраняются как отношение Т/амплитуда.

При завершении выборки по сигналу f_N в БСГ выполняется упорядочивание полигонов по убыванию амплитуды. Таким образом, последовательности с наибольшей частотой проявления в сигнале будут первыми обрабатываться в ходе поиска. Компаратор1 последовательно сравнивает амплитуду очередного полигона и *M* кратных полигонов с за-

данным пороговым значением. Обнаруженный период T_o используется в ходе дальнейшего поиска последовательности.

При поиске активируется счетчик в БУ2 для последовательного перемещения по исходному сигналу. По сигналам f_{i2} и f_{k2} БФР2 работает аналогично БФР1. Компаратор2 сравнивает полученные разности с T_o. По результатам сравнения (с учетом M кратных разностей) в БО вычисляются импульсы/пикселы, относящиеся к периодической последовательности, которые помечаются как выделенные в БМ.

Параметры выделенных последовательностей записываются в ЗУ.

Моделирование

Для экспериментальных исследований случайным образом генерировались периодические последовательности цифровых сигналов и их смеси. В ходе моделирования параметров разработанного устройства выполнен сравнительный анализ с аналогами, результаты которого представлены на рисунке 2. В качестве показателя эффективности выбрано соотношение выделенных последовательностей к их общему количеству на входе, H.

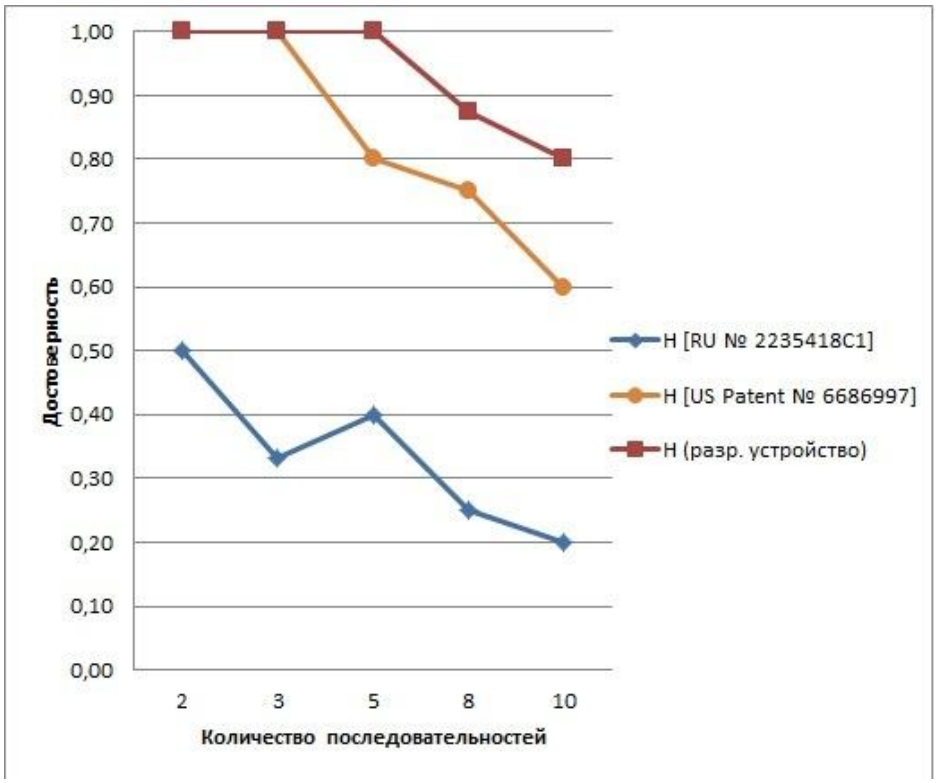


Рис. 2. Сравнительный анализ полученных в ходе моделирования параметров разработанного устройства

Сравнительный анализ характеристик разработанного устройства показал, что устройство для вычисления параметров и выделения цифровых сигналов по сравнению с аналогами позволяет вычислять шесть импульсных параметров, повысить достоверность обнаружения последовательности в 1,2-1,4 раза для зашумленных и смешанных выборок.

Обсуждение результатов и заключение

Применение данного устройства в современных и перспективных системах обработки цифровых сигналов обеспечивает определение следующих импульсных параметров: амплитуда, время прихода, длительность, период повторения, частота, ширина спектра. На основе измеренных параметров в средствах анали-

за изображений устройство позволяет выделять цифровые последовательности как в ТВ-сигналах, так и в растровых цифровых изображениях в реальном масштабе времени, а в средствах обработки запросно-ответных сигналов систем опознавания устройство способно измерять, выделять и обрабатывать сигналы как на земле, так и на борту самолета с выделением индивидуальных последовательностей кодовых импульсов каждого объекта.

Работа выполнена при поддержке гранта 1.36.17Ф «Разработка методов обеспечения живучести интеллектуальных бортовых систем управления беспилотных транспортных средств».

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. Wang Guoqing. Systems and methods for short baseline, low cost determination of airborne aircraft location / International Publication Number WO 2011/113176 A1 МПК G01S 5/02. 2010.

4. Motisher Lewis R., Stayton Gregory T. Surveillance system for aircraft / European Patent Publication Number 0431449A2 МПК G01S 13/93, G01S 13/78. 1990.

5. Разработка алгоритмического обеспечения моделирующего комплекса системы управления воздушным движением ATCRBS / А. Ф. Надеев, И. А. Подкурков, Д. Р. Рахимов, Р. Р. Зульхарнеев, А. Я. Иванченко // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: сборник материалов XV международной научно-технической конференции ПТиТТ-2014 (Казань, 18-21 ноября 2014 г.) / Казан. гос. техн. ун-т. Казань, 2014.

6. Разработка макета технологического маячкового ответчика системы опознавания MkXA и системы управления воздушным движением ATCRBS / А. Ф. Надеев, А. Я. Иванченко, Д. Р. Рахимов, Р. Р. Зульхарнеев, И. А. Подкурков // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: сборник материалов международной научно-технической конференции ПТиТТ-2014 (Казань, 05-08 августа 2014 г.) / Казан. гос. техн. ун-т. Казань, 2014.

7. Paul Andrew Basil Scoullar, Robin John Evans. Method and apparatus for resolving individual signals in detector output data / United States Patent № 7383142 МПК G01R 13/00. 2008.

8. Gonzalez and Woods. Digital Image Processing 4th Edition / Pearson. ISBN - 9780133356724. 2018. 1168 p.

9. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение / пер. с англ. А. А. Богуславского; под ред. С. М. Соколова. М.: БИНОМ – Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

10. Макаров Д. Г. Цифровая обработка телевизионных измерительных сигналов // Цифровая обработка сигналов. 2007. № 3. С. 30–36.

11. Полякова М. В. Определение границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы: межвузовский журнал (Херсон). 2008. № 1 (21). С. 72–81.

12. Пат. 2620881C1 Рос. Федерация, МПК G 01R29/02. Одноканальное устройство измерения амплитудно-временных и частотных параметров сигналов с цифровым детектированием / Дурнев С. Л., Полторацкий С. Н. Опубл. 2017.

13. Панищев В. С., Полторацкий С. Н. Построение устройств измерения параметров импульсов с цифровым детектированием // Информационно-измерительные диагностирующие и управляющие системы: сборник материалов IV региональной научно-технической конференции «Диагностика-2016» (Курск, 11-13 мая 2016 г.) / под ред. В. С. Титова. Курск, 2016.

14. 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. № 4. С. 41–48.

Поступила в редакцию 14.06.18

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, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: gskunk@yandex.ru, +7-903-875-09-34)

V. S. Titov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru, +7(4712)22-26-65)

A. P. Loktionov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia)

APPLICATION OF MEANS OF DIGITAL SEQUENCES DEDUCTION IN PRELIMINARY SIGNAL PROCESSING DEVICES

A wide range of digital signal processing and isolation devices is considered. Known methods and devices are used in automated image processing and recognition systems for the analysis of bitmaps and television signals. The task of allocation and processing of digital signals is also relevant in monitoring and signal processing of MkXA identification systems and air traffic control system ATCRBS.

The advantages and disadvantages of known methods and devices are reflected. The description of the method of allocation of digital sequences, the stages of which are iterative construction of the histogram of the difference based on the autocorrelation function and search for the arrival time of pulses.

The description of the modern digital signal processing device that implements the method, as well as the ability to minimize the identified shortcomings and unify the construction principle for solving various problems is presented. Reflects the order of operation of modern devices, especially the performance of individual procedures.

Modern processing device performs analog-to-digital conversion of the signal, detection and detection of the pulses, smoothing, and decimation of the data stream, the calculation of the basic amplitude and time-frequency pulse parameters, grouping the digital signals by selectors and preservation of research results in the storage device.

A distinctive feature of the modern digital signal processing device is a qualitative expansion of the list of measured pulse parameters, as well as an increase in the sensitivity and noise immunity of the system through the use of smoothing and decimation units, various selectors.

In image analysis tools, the device is used as a pre-processing tool, both TV signals and bitmap digital images for the purpose of image selection, texture segmentation, etc.in the monitoring and signal processing systems of MkXA identification systems and the air traffic control system ATCRBS, the device is used for the allocation and processing of request-response signals at the preliminary stage.

***Key words**: processing devices, sequence allocation, digital signals, signal parameters, pulse sequences.*

For citation: Poltoratskiy S. N., Panishchev V. S., Titov V. S., Loktionov A. P. Application of means of digital sequences deduction in preliminary signal processing devices. Proceedings of the Southwest State Uni-

versity. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 16–24 (in Russ.).

***

Reference

1. Brammer Yu. A., Pashchuk I.N. Impul'snye i cifrovye ustrojstva. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2003. 351 p.

2. Poltorackij S. N. Postroenie ustrojstv izmereniya parametrov impul'sov. Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. «Optiko-ehlektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii». Kursk, 2015, pp. 287–289.

3. Wang Guoqing. Systems and methods for short baseline, low cost determination of airborne aircraft location. International Publication Number WO 2011/113176 A1 MPK G01S 5/02, 2010.

4. Motisher Lewis R., Stayton Gregory T. Surveillance system for aircraft. European Patent Publication Number 0431449A2 MPK G01S 13/93, G01S 13/78, 1990.

5. Nadeev A. F., Podkurkov I. A., Rahimov D. R., Zul'harneev R. R., Ivanchenko A. Ya. Razrabotka algoritmicheskogo obespecheniya modeliruyushchego kompleksa sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem ATCRBS. Sbornik materialov XV mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii PTiTT-2014 «Problemy tekhniki i tekhnologij telekommunikacij». Kazan', 2014.

6. Nadeev A. F., Ivanchenko A. Ya., Rahimov D. R., Zul'harneev R. R., Podkurkov I. A. Razrabotka maketa tekhnologiche-skogo mayachkovogo otvetchika sistemy opoznavaniya MkXA i sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem ATCRBS. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii PTiTT-2014 «Poisk ehffektivnyh reshenij v processe sozdaniya i realizacii nauchnyh razrabotok v rossijskoj aviacionnoj i raketno-kosmicheskoj promyshlennosti». Kazan', 2014.

7. Paul Andrew Basil Scoullar, Robin John Evans. Method and apparatus for resolving individual signals in detector output data. United States Patent № 7383142 MPK G01R 13/00. 2008.

8. Gonzalez and Woods. Digital Image Processing 4th Edition. Pearson. ISBN - 9780133356724. 2018. 1168 p.

9. Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'yuternoe zrenie. Moscow, BINOM – Laboratoriya znanij Publ., 2006. 752 p.

10. Makarov D. G. Cifrovaya obrabotka televizionnyh izmeritel'nyh signalov. Cifrovaya obrabotka signalov, 2007, no. 3, pp. 30–36.

11. Polyakova M. V. Opredelenie granic segmenta uporyadochennoj tekstury na izobrazhenii s odnorodnym fonom s pomoshch'yu mnogokanal'nogo obnaruzheniya pachki impul'sov. Avtomatika. Avtomatizaciya. Ehlektrotekhnicheskie kompleksy i sistemy, 2008, no. 1 (21), pp. 72–81.

12. Durnev S. L., Poltorackij S. N. Odnokanal'noe ustrojstvo izmereniya amplitudno-vremennyh i chastotnyh parametrov signalov s cifrovym detektirovaniem. Patent RF, no. 2620881S1, 2017.

13. Panishchev V. S., Poltorackij S. N. Postroenie ustrojstv izmereniya parametrov impul'sov s cifrovym detektirovaniem. Sbornik materialov IV regional'noj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Diagnostika-2016» «Informacionno-izmeritel'nye diagnostiruyushchie i upravlyayushchie sistemy». Kursk, 2016.

14. Poltorackij S. N., Panishchev V. S. Metod vremennoj selekcii impul'snyh posledovatel'nostej v ustrojstvah obrabotki impul'snyh signalov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, no. 4, pp. 41–48.

УДК 004.021, 633.1

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

А. В. Гостев, канд. сельхоз. наук, ФГБНУ «Курский ФАНЦ» Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Курск, Россия) (e-mail: gav33@mail.ru)

Алимли Джавид Арзу оглы, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alimli.djavid@gmail.com)

МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА СОРТОВ И ГИБРИДОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

В условиях современного высокотехнологичного аграрного производства возникает потребность в разработке инструментариев, способствующих научно обоснованному выбору адаптивных сортов и гибридов, учитывающих агротехнологические и почвенно-климатические особенности, складывающиеся в каждой отдельной агросистеме. Их разработка и дальнейшее внедрение в сельское хозяйство будет способствовать получению стабильных и рентабельных урожаев зерновой продукции. Большое значение в решении этой проблемы приобретают вопросы, связанные с определением критериев, достоверно характеризующих особенности сложившихся условий и степень их влияния на возделываемые сорта и гибриды зерновых культур. Процесс сортосмены, связанный с изменением погодно-климатических, экологических, экономических и других условий, является довольно частым явлением в сельском хозяйстве, и поэтому с достоверной вероятностью существует потребность сельхозтоваропроизводителей в разработке подобного программного обеспечения.

В результате проведенной научно-исследовательской работы построена краткая математическая модель, алгоритм, разработана структура базы данных и создано программное обеспечение, позволяющее на основании задаваемых пользователем показателей (в зависимости от выбранной зерновой культуры) получить перечень наиболее целесообразных к возделыванию сортов/гибридов основных зерновых культур для условий Европейской части Российской Федерации. Программное обеспечение разработано в виде web-приложения, доступного с любого устройства, имеющего подключение к сети Интернет, а интерфейсы программы адаптированы для использования не только на персональных компьютерах, но и на планшетных устройствах и мобильных смартфонах. Приложение допускает гибкую настройку для добавления новых культур, сортов (гибридов) и параметров без изменения исходного кода программных модулей.

Ключевые слова: *зерновые культуры, математическая модель, алгоритм, программное обеспечение, сорт, гибрид, автоматизированный подбор.*

Ссылка для цитирования: Пыхтин А. И., Гостев А. В., Алимли Джавид Арзу оглы. Модель, алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного подбора сортов и гибридов зерновых культур // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 25–34.

***

Введение

Получение устойчивых и высоких как по качеству, так и по количеству урожаев зерновых культур должно осуществляться с подбора сортов и гибридов с высоким адаптивным потенциалом, способных противостоять неблагоприятным факторам. Помимо этого в условиях развития адаптивно-ландшафтных систем земледелия в пределах каждого хозяйства сорта и технологии возделывания сельскохозяйственных культур должны быть дифференцированы по элементам микроландшафтов [1], так как освоение точного земледелия напрямую зависит и основывается на учете особенностей микрорельефа, агромикроландшафтов на каж-

дом участке поля при применении агротехники [2]. Таким образом, для различных категорий земель микроландшафтов следует возделывать сорта и гибриды зерновых культур, положительно отзывающиеся как на условия произрастания, так и на предполагаемую агротехнику. Поэтому в аграрном производстве возрастает потребность в создании быстрой и объективной оценки с целью подбора наиболее целесообразного сортового материала, обладающего наивысшей адаптивностью среди имеющихся к планируемым условиям произрастания [3].

Постановка задачи

Выбор наиболее целесообразного сорта или гибрида сельскохозяйственной культуры – сложная многофакторная задача, требующая наличия и применения специфических и узконаправленных знаний, а также опыта практического их применения. Помимо этого необходим периодический анализ справочной информации о новых сортах и гибридах, допущенных к возделыванию на территории России, и о результатах госсортоиспытаний в планируемом регионе возделывания. При простоте набора вышеприведенных факторов велик риск неправильного выбора, влекущий как снижение возможной прибыли, так и вероятную убыточность сельскохозяйственного производства. В настоящее время в большинстве случаев выбор сорта (гибрида) зерновых культур производится на основании удачных маркетинговых компаний дистрибьюторов организаций-оригинаторов или патентообладателей, рекомендаций региональных комитетов и департаментов аграрного сектора, а также личных предрасположенностей агрономов [например, 4], при этом научно-обоснованный анализ различных характеристик сортов культур [5-6] не так распространен. Поэтому **целью исследования** является предоставление сельхозтоваропроизводителям корректной и актуальной информации о существующих сортах и гибридах, включенных в Реестр селекционных достижений [7], путем разработки соответствующего алгоритма и программного обеспечения.

Первые попытки разработать подобные программные модули в рамках приложений для выбора оптимальных агротехнологий на основании заданных параметров, учитывающих территориальную и отраслевую специфику аграрных хозяйств, в России предпринимались в [8-11]. Но указанные разработки учитывали только специфику Курской области, представляли собой негибкие приложения для Windows-платформы, не содержали информации о наиболее актуальных сортах и гибридах зерновых культур.

Описание предлагаемого метода

В качестве методов исследования выбраны системный подход, теория проектирования баз данных, математическое моделирование.

Предложим математическую модель подбора сорта (гибрида) зерновой культуры. Пусть имеется множество зерновых культур $C=\bigcup_i c_i$ $(i=\overline{1,N_C})$, множество сортов (гибридов) культур $G=\bigcup_j g_j$ $(j=\overline{1,N_G})$. Соответствие сортов и гибридов задается матрицей $S=(s_{ij})$, элементы которой $s_{ij}=1$, если сорт (гибрид) относится к культуре, и $s_{ij}=0$ – в противном случае. Также задано множество параметров для подбора сортов и гибридов $P=\bigcup_k p_k$ $(k=\overline{1,N_P})$.

Использование параметров для подбора сорта определенных культур задается матрицей $T = (t_{kj})$, элементы которой $t_{kj} = 1$, если параметр используется для подбора сорта, и $t_{kj} = 0$ – в противном случае. Исходными данными для принятия решения является вектор значений параметров $\vec{x} = (x_1, x_2, ..., x_k, ..., x_{N_p})$. Также для каждой культуры c_i, сорта g_j и показателя p_k задается функция $F_{ij}(x_k)$, представляемая в табличной форме, которая является математическим отображением экспертной научно обоснованной оценки соответствия значения $\vec{x}$ тому или иному сорту (гибриду).

Пример исходных данных представлен в таблице 1.

Таблица 1

Пример входных данных для ячменя ярового

Параметр p_k	Значение параметра x_k	$F_{ij}(x_k)$ для сортов культуры c_i = «Ячмень яровой»			
		g_1 = «Абалак»	g_2 = «Авалон»	g_3 = «Авторитет»	g_4 = «Аршин»
p_1 = «Назначение»	x_1 = «Зернофуражный»	1	0	0	0
	x_1 = «Пивоваренный»	1	1	1	1
	x_1 = «Не имеет значения»	1	1	1	1
p_2 = «Тип сорта»	x_2 = «Среднеранний»	1	0	0	0
	x_2 = «Среднеспелый»	0	1	1	1
	x_2 = «Среднепоздний»	0	0	0	0

Оптимальными для культуры c_i по вектору входных данных $\vec{x}$ являются те сорта, которым соответствует наибольшее значение $\max\limits_{g_j \in G}\left\{\left(\sum\limits_k F_{ij}(x_k) \cdot s_{ij} \cdot t_{kj}\right)\right\}$ с заданным относительным допуском ε.

Для подбора оптимальных сортов используется следующий алгоритм:

1. Формируется база данных, содержащая перечень культур C, сортов (гибридов) G, параметров P, матрицы S, T, функции $F_{ij}(x_k)$, допуск ε.

2. Пользователь выбирает культуру c_i, вводит значение $\vec{x}$.

3. Для всех сортов (гибридов) культуры c_i вычисляется $O_j = \sum\limits_k F_{ij}(x_k) \cdot s_{ij} \cdot t_{kj}$.

4. Определяется максимальное значение $O_{max} = \max\limits_{j=1..N_G}\{O_j\}$.

5. Оптимальными являются сорта (гибриды) g_j, для которых $\frac{|O_{max} - O_j|}{O_{max}} \le \varepsilon$.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 1.

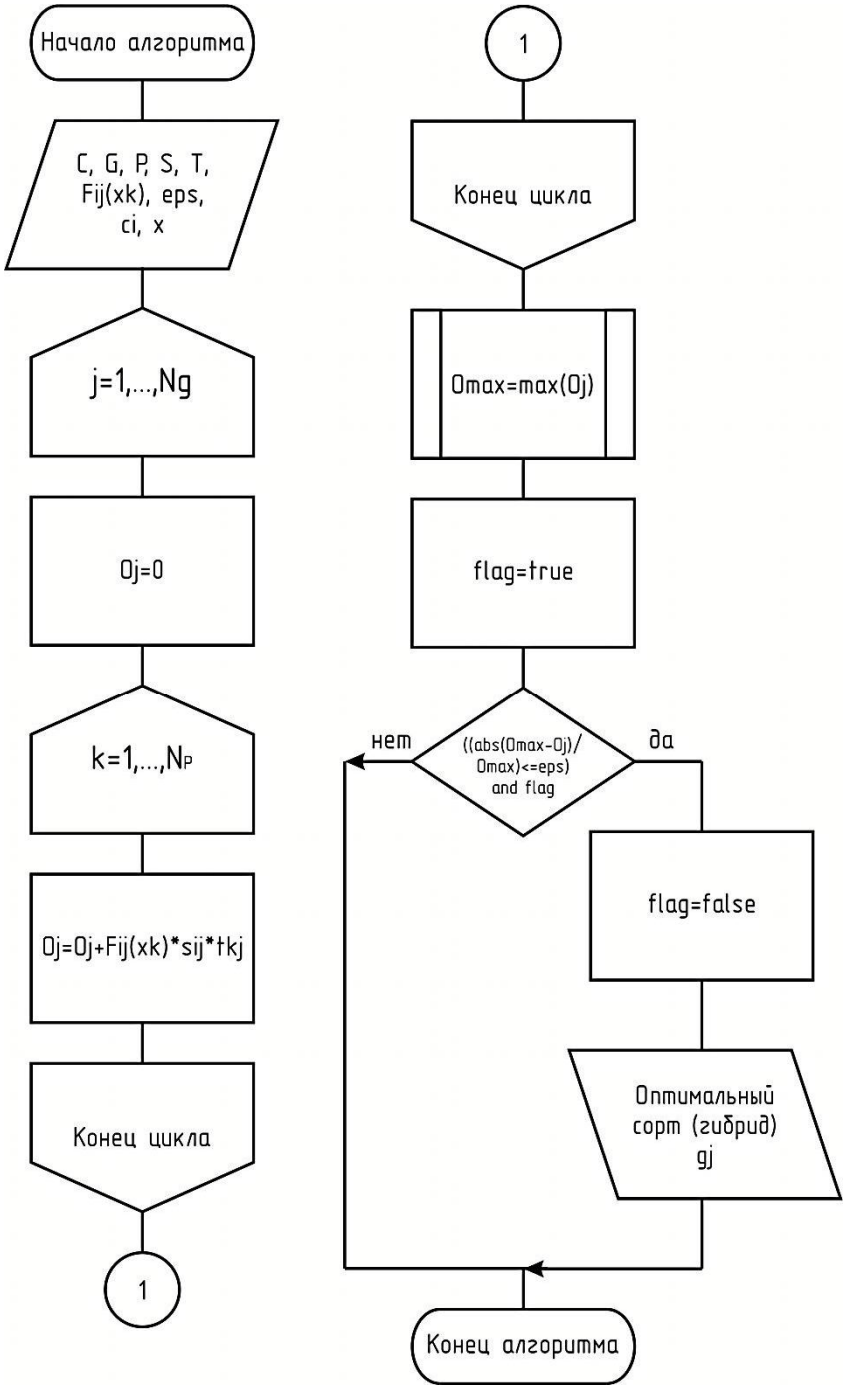


Рис. 1. Блок-схема агоритма подбора сорта (гибрида) сельскохозяйственных культур

Моделирование и эксперимент

Для реализации программы по подбору сорта (гибрида) с использованием теории проектирования баз данных разработана ER-модель системы (рис. 2).

На основании указанной ER-модели создана база данных с использованием свободно распространяемой СУБД MySQL.

Программное обеспечение для подбора сорта (гибрида) зерновых культур разработано в виде web-приложения с использованием высокоуровневого свободно распространяемого языка программирования PHP (рис. 3). Отметим, что помимо основного алгоритма в программе реализован ряд дополнительных проверок на отсев недопустимых решений по выбору сорта (гибрида). Напри-

мер, если выбранная пользователем культура не соответствует выбранному пользователем региону, то выводится соответствующее сообщение и пользователю предлагается скорректировать выбор культуры или выбор региона.

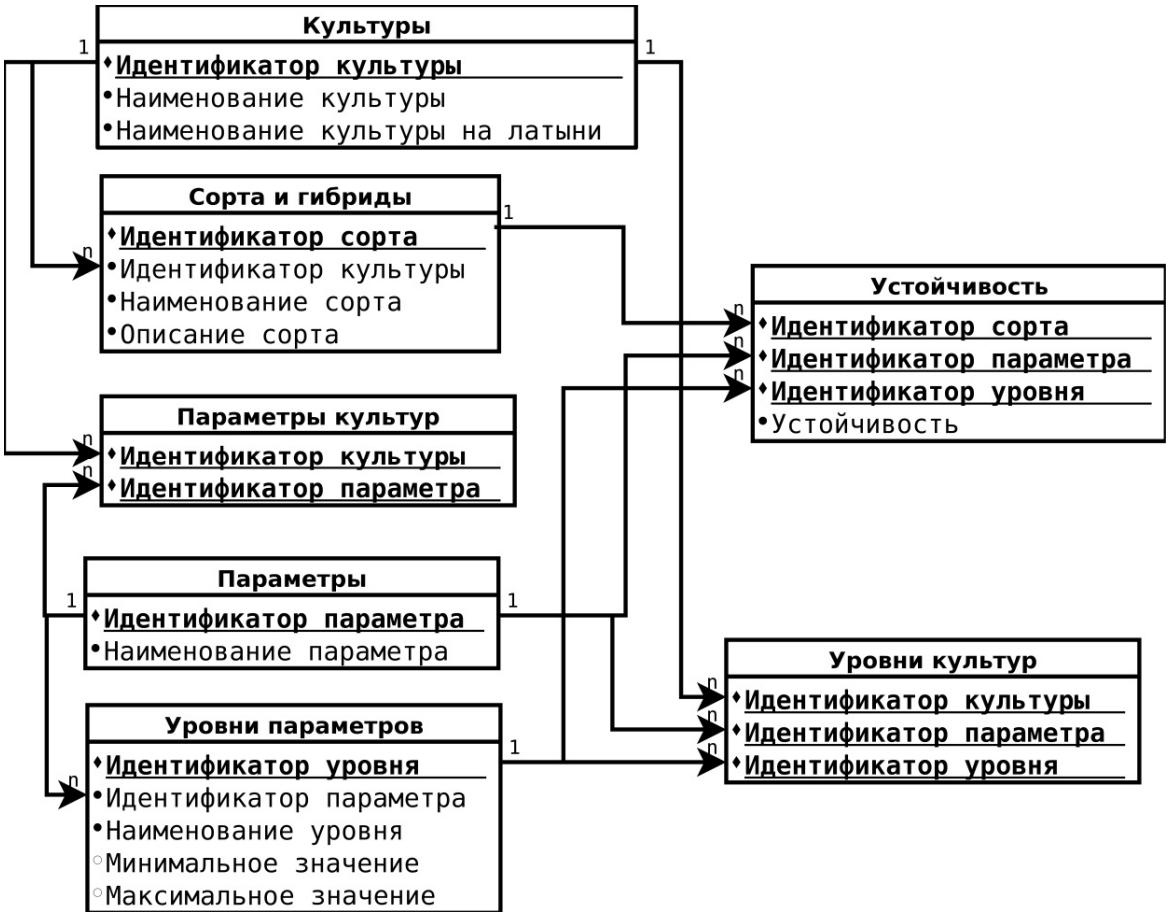


Рис. 2. ER-модель базы данных программы для подбора сорта (гибрида) сельскохозяйственных культур

Программа состоит из 2-х интерфейсов: административного и рабочего.

В административном режиме (рис. 4) авторизованный пользователь может вводить новые культуры, их сорта, параметры и другую информацию, необходимую для определения оптимального сорта (гибрида).

В рабочем режиме (рис. 5) авторизованный пользователь выбирает интересующую его культуру, задает значения показателей (параметров) и получает список рекомендуемых сортов (гибридов) с описанием. Описание представляет собой html-документ, который включает в себя название сорта (гибрида), год включения в Госреестр селекционных достижений, регионы допуска применительно к Европейской части Российской Федерации, оригинаторов и патентообладателей, визуальные отличия в строении вегетативных органов, среднюю урожайность в результате проведенных Госсортоиспытаний, а также степень устойчивости к болезням и вредителям.

Web-приложение доступно с любого устройства, имеющего подключение к сети Интернет, интерфейсы программы адаптированы для использования не только на персональных компьютерах, но и на планшетных устройствах и мобильных смартфонах. Перспективой развития созданного программного обеспечения является создание офлайн-версий для устройств под управлением iOS и Android. Приложение допускает гибкую настройку для добавления новых культур, сортов и параметров без изменения исходного кода.

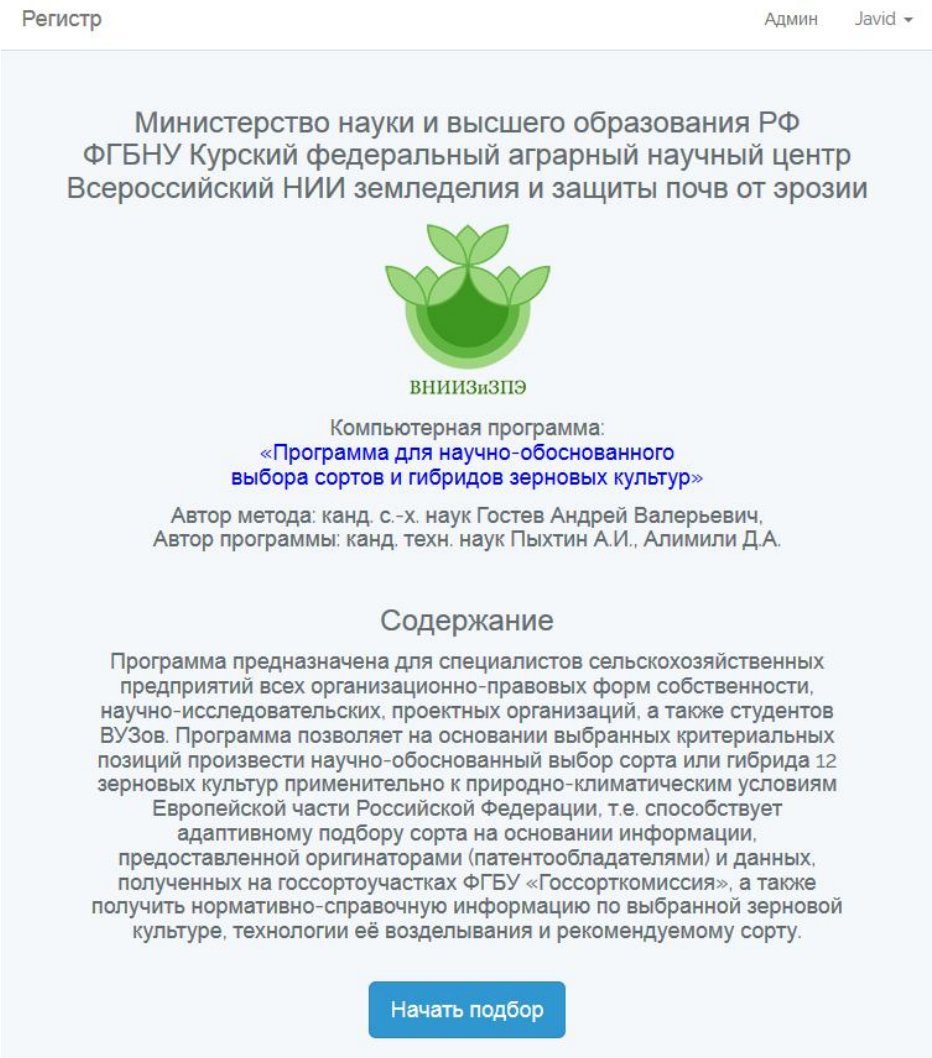


Рис. 3. Титульный экран web-приложения для подбора сорта (гибрида) сельскохозяйственных культур

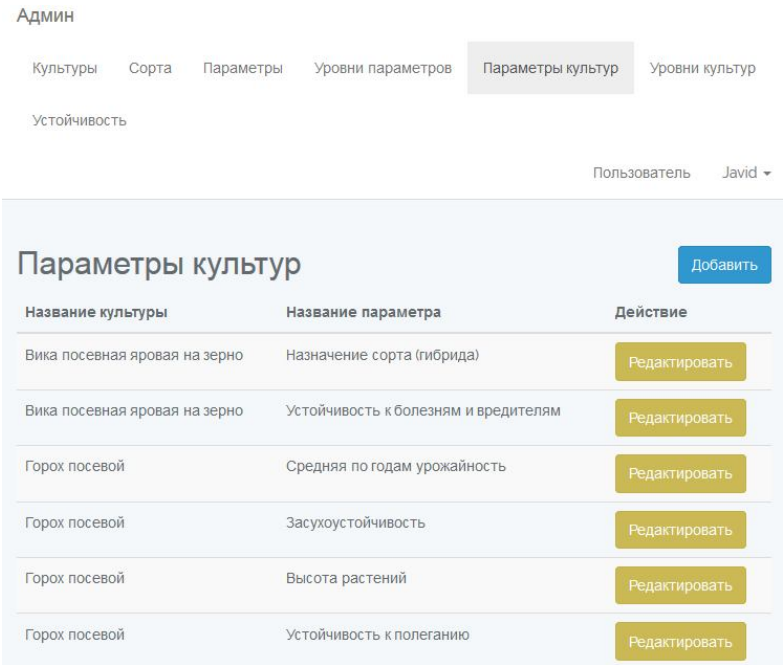


Рис. 4. Административный интерфейс web-приложения для подбора сорта (гибрида) сельскохозяйственных культур

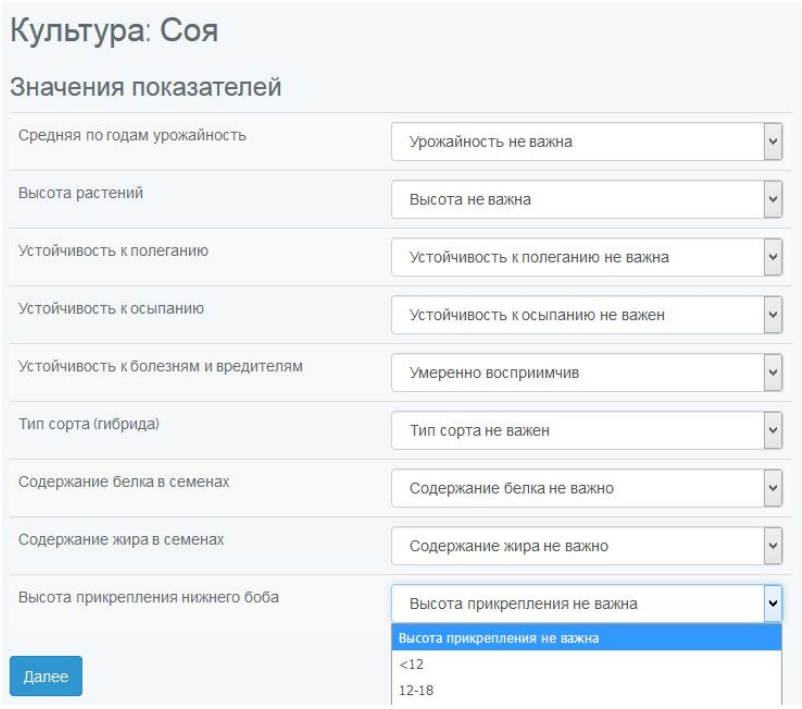


Рис. 5. Рабочий интерфейс web-приложения для подбора сорта (гибрида) сельскохозяйственных культур

Разработанное программное обеспечение было апробировано на множестве различных наборов исходных данных. Результаты апробации были сопоставлены с результатами, полученными учеными-экспертами ВНИИ Земледелия и защиты почв от эрозии по выбору сортов (гибридов) зерновых культур, привлеченных к тестированию программного обеспечения, на тех же наборах исходных данных. Часть наборов исходных данных относилась к «очевидным» вариантам, т. е. вариантам, по которым решение ученых-экспертов было однозначным и не допускало пропуска того или иного оптимального сорта (гибрида).

Результаты апробации показали, что в 98% случаев программой находились решения, совпадающие с мнением ученых-экспертов для «очевидных» вариантов, в 100% случаев рекомендации программы не находили недопустимые решения, в 92% случаев для «неочевидных» вариантов программой находились решения, которые ученые-эксперты оценили как приемлемые.

Обсуждение результатов и заключение

Частичными аналогами разработанного программного обеспечения являются:

1) электронная версия Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России, разработанная ФГБУ «Госсорткомиссия» (http://reestr.gossort.com);

2) использование экспертной оценки привлечённым специалистом по сортам и гибридам из профильного научно-исследовательского института;

3) посещение научно-практических семинаров Министерства сельского хозяйства России и подчиненных организаций;

4) использование рекомендаций, разработанных профильными научно-исследовательскими институтами.

Сравнение разработанной программы с аналогами представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение разработанной программы с аналогами

Показатель	Предлагаемое программное обеспечение	Аналоги			
		Государственного реестра селекционных достижений	Использование экспертной оценки привлечённым специалистом по сортам и гибридам	Посещение семинаров Минсельхоза России и подчиненных организаций	Использование рекомендаций профильных НИИ
Возможность ознакомления с описанием сортов и гибридов	+	+	+/- (как правило, эксперты не знают всех сортов, разбираются только в сортах нескольких оригинаторов)	+	+ / - (рекомендации обновляются редко, не включают новейшие сорта и гибриды)
Возможность выбора оптимального сорта (гибрида)	+	-	+/- (как правило, эксперты не знают всех сортов, разбираются только в сортах нескольких оригинаторов)	+/- (только среди культур, сортов и гибридов, рассматриваемых на семинаре)	+ / - (рекомендации обновляются раз в нескольких лет, не включают новейшие сорта)
Возможность дистанционного выбора сорта (гибрида)	+	+	+/-	-	+
Примерное время, затрачиваемое на анализ доступных сортов (гибридов), ч	0,5	2	2 (без учета времени поиска эксперта)	2 (без учета времени проезда на семинар)	2 (без учета времени поиска актуальных рекомендаций)
Оценка вероятности получения «предвзятого» результата	низкая	низкая	высокая	средняя	низкая

Таким образом, разработанное программное обеспечение, доступное с любого устройства, имеющего подключение к сети Интернет, на основании созданной модели и алгоритма позволяет оперативно решить проблему подбора наиболее целесообразного сорта или гибрида зерновой культуры, исходя из выбранных пользователем параметров как по устойчивости к неблагоприятным погодным условиям, так и по урожайности и качеству получаемого зерна, т. е. подобрать сорт и гибрид, адаптированные к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям, что будет способствовать повышению рентабельности производства без существенного повышения суммарных производственных затрат. Дальнейшие работы по созданию офлайн-версии разработанного программного обеспечения, а также расширению возможного функционала программы позволит расширить перечень возможных пользователей и будет спо-

собствовать более активному внедрению результатов научной деятельности в отечественное аграрное производство.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук № МК-1064.2018.11.

Список литературы

1. Абашев В. Д. Земледелие на осушаемых почвах Северо-Востока. Киров: НИИСХ Северовостока, 2000. 220 с.

2. Иванов Д. А., Рубцова Н. Е. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтные условия Нечерноземья. Киров, 2007. 356 с.

3. Боме А. Я., Боме Н. А. Некоторые проблемы подбора сортов зерновых культур для экстремальных условий сельскохозяйственной зоны Тюменской области // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 2. С. 60–61.

4. Как заставить сорта пшеницы работать на урожай? [Электронный ресурс]. Ростов-на-Дону, 2018. Режим доступа: https://agrobook.ru/expert/kak-zastavit-sorta-pshenicy-rabotat-na-urozhay.

5. Радченко Л. А., Радченко А. Ф. Урожайность и качество зерна сортов пшеницы озимой в условиях степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 1 (9). С. 71–79.

6. Alabushev A.V. Variety as a factor of innovation development of grain production // Grainfarm in Russia. 2011. N 3. P. 1–8.

7. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 504 с.

8. Пыхтин И. Г., Гостев А. В., Пыхтин А. И. Совершенствование систем земледелия и агротехнологий в современных условиях ведения сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 79–80.

9. Pykhtin I.G., Gostev A. V., Pykhtin A. I. Software decision support in the cultivation of crops // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, N 20. P. 5338–5342.

10. Гостев А. В., Пыхтин А. И. Автоматизированное проектирование агротехнологий возделывания зерновых культур // Реальность – сумма информационных технологий: сборник научных статей междунар. молодежной научно-практ. конф. Курск, 2016. С. 84–87.

11. Гостев А. В., Пыхтин А. И. Структура затрат в агротехнологиях различного уровня интенсивности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 4 (21). С. 96–103.

Поступила в редакцию 18.06.18

UDC 004.021, 633.1

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

A. V. Gostev, Candidate of Agricultural Sciences, "Kursk FANTS" all-Russian research Institute of agriculture and soil protection from erosion (Kursk, Russia) (e-mail: gav33@mail.ru)

Alimli Javid Arzu ogli, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alimli.djavid@gmail.com)

MODEL, ALGORITHM AND SOFTWARE FOR AUTOMATED SELECTION OF VARIETIES AND HYBRIDS OF GRAIN CROPS

In the conditions of modern high-tech agricultural production, there is a need to develop tools that contribute to the scientifically based choice of adaptive varieties and hybrids, taking into account the agro-

technological and soil-climatic features that develop in each individual agricultural system. Their development and further implementation in agriculture will contribute to stable and profitable crops of grain products. Of great importance in solving this problem are issues related to the definition of criteria that reliably characterize the characteristics of the conditions and the degree of their influence on cultivated varieties and hybrids of grain crops. The process of cortosone due to changes in climatic, environmental, economic and other conditions is quite common in agriculture and therefore with a significant probability, there is a need of agricultural producers in development of such software. As a result of the research work, a brief mathematical model, algorithm, database structure and software have been developed that allows to obtain a list of the most appropriate varieties/hybrids of the main grain crops for the conditions of the European part of the Russian Federation on the basis of user-defined indicators (depending on the selected grain crop). The software is developed in the form of a Web-application accessible from any device connected to the Internet, and the program interfaces are adapted for use not only on personal computers, but also on tablet devices and mobile smartphones. The application allows flexible configuration to add new crops, varieties (hybrids) and parameters without changing the source code of the program modules.

Key words: *crops, mathematical model, algorithm, software, variety, hybrid, automated selection.*

For citation: Pykhtin A. I., Gostev A. V., Alimli Javid Arzu ogli. Model, algorithm and software for automated selection of varieties and hybrids of grain crops. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 25–34 (in Russ.).

***

References

1. Abashev V. D. Zemledelie na osushaemyh pochvah Severo-Vostoka. Kirov, 2000. 220 p.

2. Ivanov D. A., Rubcova N. E. Adaptivnye reakcii sel'skohozyajstvennyh rastenij na landshaftnye usloviya Nechernozem'ya. Kirov, 2007. 356 p.

3. Bome A. Ya., Bome N. A. Nekotorye problemy podbora sortov zernovyh kul'tur dlya ehkstremal'nyh uslovij sel'skohozyajstvennoj zony Tyumenskoj oblasti. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2007, no. 2, pp. 60–61.

4. Kak zastavit' sorta pshenicy rabotat' na urozhaj? Rostov-na-Donu, 2018. URL: https://agrobook.ru/ expert/kak-zastavit-sorta-pshenicy-rabotat-na-urozhay.

5. Radchenko L. A., Radchenko A. F. Urozhajnost' i kachestvo zerna sortov pshenicy ozimoj v usloviyah stepnogo Kryma. Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki, 2017, no. 1 (9), pp. 71–79.

6. Alabushev A.V. Variety as a factor of innovation development of grain production. Grainfarm in Russia, 2011, no 3, pp. 1–8.

7. Gosudarstvennyj reestr selekcionnyh dostizhenij, dopushchennyh k ispol'zovaniyu. Vol. 1. Sorta rastenij. Moscow, 2016. 504 p.

8. Pyhtin I. G., Gostev A. V., Pyhtin A. I. Sovershenstvovanie sistem zemledeliya i agrotekhnologij v sovremennyh usloviyah vedeniya sel'skogo hozyajstva. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2014, no. 4, pp. 79–80.

9. Pykhtin I.G., Gostev A. V., Pykhtin A. I. Software decision support in the cultivation of crops. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, vol. 12, no. 20, pp. 5338–5342.

10. Gostev A. V., Pyhtin A. I. Avtomatizirovannoe proektirovanie agrotekhnologij vozdelyvaniya zernovyh kul'tur. Sbornik nauchnyh statej mezhdunar. molodezhnoj nauchno-prakt. konf. «Real'nost' – summa informacion-nyh tekhnologij». Kursk, 2016, pp. 84–87.

11. Gostev A. V., Pyhtin A. I. Struktura zatrat v agrotekhnologiyah razlichnogo urovnya intensivnosti. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tekhnika i tekhnologii, 2016, no. 4 (21), pp. 96–103.

УДК 621.391.827

В. Г. Довбня, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: vit_georg@mail.ru)

А. А. Гуламов, д-р физ.-мат. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: profgulamov@mail.ru @mail.ru)

И. Г. Бабанин, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: babanin_ivan@bk.ru)

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

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ ПО ПОБОЧНЫМ КАНАЛАМ ПРИЕМА

Современные цифровые системы радиосвязи работают в условиях жесткого дефицита частотного ресурса. Организация доступа к услугам сети абонентов многоканальной системы радиосвязи требует ограничения спектра сигнала для исключения взаимного влияния сигнала на сигналы других абонентов этой же сети и других систем связи, а также постоянно возрастающих требований к цифровым системам связи по скорости передачи данных, в связи с чем возникает необходимость в повышении спектральной эффективности. Необходимо отметить тот факт, что использование систем с высокой спектральной эффективностью из-за нелинейности телекоммуникационных трактов, искажений, вносимых средой распространения сигнала, и других эффектов приводит к низким показателям энергетической эффективности радиосистемы. Одним из способов решения этих проблем является применение сигналов со сложной частотно-временной структурой и многопозиционными видами модуляции.

Совершенствование беспроводных цифровых систем связи, таких как Wi-Max, LTE (Long-Term Evolution) и LTE-Advanced, WLAN (Wireless Local Area Network) стандарта 802.11n, 802.11ac, 802.11ad и др., в направлении повышения пропускной способности путем использования сигналов с многопозиционной квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМ) с позиционностью от 512 до 4096 (в перспективе) объективно обусловливает необходимость ужесточения требований к приемопередающему тракту и, прежде всего, к параметрам радиоприемного устройства.

Так, в статье разработана аналитическая модель и получены графические зависимости вероятности ошибки на символ от среднего отношения сигнал-шум, позволяющие обосновать требования к избирательности по побочным каналам приема радиоприёмных устройств цифровых систем связи при обработке сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией с различной кратностью.

***Ключевые слова**: побочные каналы приема, зеркальный и комбинационный каналы приема, помехоустойчивость, квадратурная амплитудная манипуляция.*

Ссылка для цитирования: Оценка помехоустойчивости беспроводных цифровых систем связи при воздействии помех по побочным каналам приема / В. Г. Довбня, А. А. Гуламов, И. Г. Бабанин, Д. С. Коптев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 35–40.

***

Введение

Наличие в радиоприемном устройстве побочных (зеркального и комбинационных) каналов приема является причиной уменьшения его реального динамического диапазона и возрастания уровня аддитивных помех, в том числе и от других радиоэлектронных средств (РЭС), что, в свою очередь, приводит к снижению помехоустойчивости беспроводной системы связи в целом [1].

Причиной появления комбинационных каналов является, прежде всего, нелинейность амплитудной характеристики смесителя первого преобразователя частоты приемного устройства.

При малых уровнях входного сигнала номинальные значения центральных частот побочных каналов определяются выражением следующего вида [2]:

$$\omega_{Sn} = n\omega_{G1} \pm \omega_{IF1},$$

где $\omega_{G1}, \omega_{IF1}$ – значения частот соответственно гетеродина и промежуточной частоты первого преобразователя;

n = 1, 2, … – порядок комбинационной составляющей гетеродина.

При больших уровнях сигнала нелинейность смесителя по отношению к сигналу приводит к увеличению числа побочных каналов. В этом случае центральные частоты побочных каналов имеют следующие значения [2]:

$$\omega_{S(n,m)} = \left(n\omega_{G1} \pm \omega_{IF1}\right)/m,$$

где $m = 1, 2, \ldots\ldots$ – порядок комбинационной составляющей сигнала.

Если степень подавления зеркального канала определяется избирательностью преселектора, то степень подавления комбинационных каналов приема определяется характеристиками смесителя и порядком комбинационной составляющей.

В связи с тем, что с возрастанием порядка комбинационной составляющей коэффициент передачи смесителя существенно снижается, наиболее опасны комбинационные каналы третьего порядка, несущие частоты которых имеют следующие значения: [2]

$$\omega_{S(2,1)} = 2\omega_{G1} \pm \omega_{IF1};$$

$$\omega_{S(1,2)} = \left(\omega_{G1} \pm \omega_{IF1}\right)/2.$$

Учитывая, что приемные устройства строятся по схеме с несколькими преобразованиями частоты, то также опасен второй зеркальный канал приема, отстоящий от центральной частоты основного канала на $2\omega_{IF2}$ (где ω_{IF2} – номинальное значение второй промежуточной частоты), который должен быть подавлен фильтром в тракте первой промежуточной частоты.

Постановка задачи

Анализ литературных источников в рассматриваемой предметной области [2, 5, 6 и др.] показал, что они ограничиваются только формулировкой требований к избирательности приемных устройств по побочным каналам при приеме аналоговых сигналов или цифровых сигналов малой позиционности.

В связи с этим для обоснования требований к избирательности приемных устройств современных беспроводных систем связи оценим помехоустойчивость приема многопозиционных КАМ-сигналов при воздействии помех от других РЭС по побочным каналам приёма.

Метод, предложенный в статье

Основываясь на основных положениях теории потенциальной помехоустойчивости, рассмотрим канал с аддитивной помехой, в котором прием осуществляется поэлементно в соответствии с критерием максимального правдоподобия При этом будем полагать, что мощность помех, воздействующих по каждому из побочных каналов, соизмерима с мощностью принимаемого сигнала, а результирующая аддитивная помеха в соответствии с центральной предельной теоремой является квазибелым (в полосе пропускания) гауссовским шумом.

Тогда отношение сигнал/(шум+помеха) может быть определено из следующего выражения [3, 8]:

$$h_{\varsigma}^2 = \frac{\overline{P}_S}{B_R N_o + \frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{k_{\varsigma}} \int_{-\infty}^{\infty} N_{\varsigma i}(\Omega)\left|\dot{H}_R(\Omega)\right|^2 d\Omega}, \quad (1)$$

где $\overline{P}_S$ – мощность, усредненная по всем реализациям принимаемого сигнала;

$B_R = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|\dot{H}_R(\Omega)\right|^2 d\Omega$ – полоса пропускания приемного фильтра при согласованной фильтрации;

N_o – односторонняя спектральная плотность мощности шума;

k_{ς} – количество побочных каналов приема;

$N_{\varsigma i}(\Omega) = N_{\varsigma i}\left(m\omega - n\omega_{G1} \pm \omega_{IF1}\right)$ – односторонняя спектральная плотность

мощности помех по побочным каналам приема.

Результирующую помеху от других РЭС запишем в виде

$$\frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{k_\varsigma}\int_{-\infty}^{\infty} N_{\varsigma i}(\Omega)\left|\dot{H}_R(\Omega)\right|^2 d\Omega=\overline{P}_S\sum_{i=1}^{k_\varsigma}\mu_{\varsigma_i}^2 , \quad (2)$$

где $\mu_{\varsigma i}^2$ –коэффициент передачи (избирательность) по соответствующим каналам приема.

Так как наиболее опасны помехи от других РЭС, воздействующие по зеркальному и комбинационным каналам третьего порядка, в рассматриваемой аналитической модели будем полагать, что количество каналов, на которые одновременно воздействуют сигналы других РЭС, равно пяти, т. е.

$$\sum_{i=1}^{k_\varsigma}\mu_{\varsigma_i}^2 \le 5\mu_\varsigma^2 , \quad (3)$$

где μ_ς^2–максимальный коэффициент передачи по побочным каналам приёма.

Тогда нижняя граница отношения сигнал/(шум+помеха) с учетом выражений (1)–(3) составит

$$h_\varsigma^2=\left(\frac{1}{h^2}+5\mu_\varsigma^2\right)^{-1}, \quad (4)$$

где h^2– отношение средней энергии сигнала $\overline{E}$ к односторонней спектральной плотности шума N_0.

Потенциальная помехоустойчивость приема сигналов с КАМ может быть определена из выражения [4, 9 – 10]

$$P_b(h)=\frac{2}{\log_2 M}\cdot\frac{L-1}{L}\cdot \mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{1{,}5\cdot h^2}{M-1}}\right), \quad (5)$$

где M – позиционность КАМ-сигнала;

L – число уровней амплитуд огибающих квадратурных составляющих КАМ-сигнала, равное $\sqrt{M}$, если кратность сигнала $k=\log_2 M$ четная, и $\sqrt{1{,}125M}$, если– нечетная;

$\mathrm{erfc}(y)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_y^{\infty}\exp(-x^2)dx$ – дополнительная функция ошибок.

Тогда выражение для средней вероятности битовой ошибки (5) с учетом (4) будет выглядеть следующим образом:

$$P_b\left(h,\mu_\varsigma\right)=\frac{2}{\log_2 M}\cdot\frac{L-1}{L}\times$$

$$\times\mathrm{erfc}\left[\sqrt{\frac{1{,}5}{(M-1)\left(h^{-2}+5\mu_\varsigma^2\right)}}\right]. \quad (6)$$

Численное моделирование

На рисунке представлены зависимости эквивалентных энергетических потерь от избирательности по побочным каналам приема, полученные итерационным методом в программе компьютерной алгебры MathCad с использованием выражения (6).

Заключение

Из анализа полученных зависимостей следует, что:

– с возрастанием позиционности сигнала КАМ требования к избирательности по побочным каналам приема возрастают пропорционально кратности модуляции с шагом примерно 3 дБ;

– допустимый уровень эквивалентных энергетических потерь (не более 0,3 дБ) обеспечивается при избирательности по побочным каналам не менее 55, 58, 61 и 64 дБ для сигналов с видами модуляции соответственно КАМ-512, КАМ-1024, КАМ-2048 и КАМ-4096.

Полученные в ходе исследования результаты дополняют математическую модель эквивалентных энергетических потерь системы обеспечения электромагнитного доступа (Система), разработанную доктором технических наук, профессором И. Е. Мухиным в работе [7], что позволяет производить обоснованный выбор основных направлений реализации Системы.

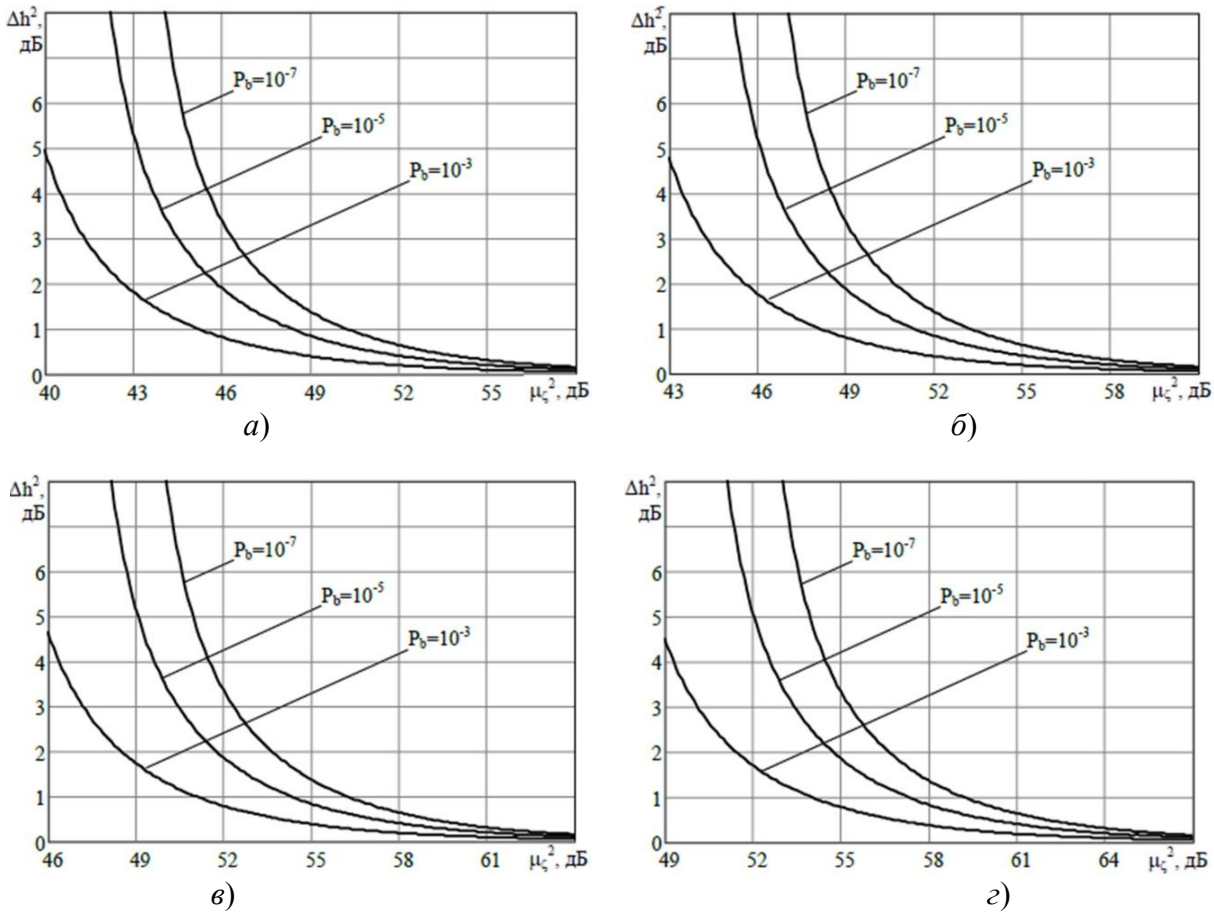


Рис. Зависимости эквивалентных энергетических потерь приема от избирательности по побочным каналам приема для сигналов: *а* – КАМ-512; *б* – КАМ-1024; *в* – КАМ-2048; *г* – КАМ-4096

Так, исходя из вышеизложенных расчетов, существует несколько возможных способов предъявления высоких требований по подавлению побочных каналов приема в Системе:

– применение в первом преобразователе частоты схем фазовой компенсации, обеспечивающих подавление помехи, принимаемой по зеркальному каналу [5];

– реализация приемного устройства по инфрадинному принципу, что позволяет избавиться от побочных каналов приема низкого порядка, снизить требования к преселектору и, как следствие, расширить динамический диапазон приемного устройства [6, 9];

– использование в первом преобразователе высококачественных смесителей с двойной или тройной балансировкой обеспечивает компенсацию комбинационных составляющих четного порядка.

Эффективность реализации устройств приема и обработки сигналов в соответствии с изложенным дополнением математической модели эквивалентных энергетических потерь повышается на 2% .

Таким образом, разработано аналитическое выражение и получены зависимости, позволяющие обосновать требования к избирательности по побочным каналам приема радиоприемных устройств цифровых систем связи.

Список литературы

1. Differencebetween 512-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM, 4096-QAM [Электронный ресурс]. URL: www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-512QAM-vs-1024QAM-vs-2048QAM-vs-4096QAM.html.

2. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / Н. Н. Фомин, Н. Н. Буга, О. В. Головин [и др.]. 3-е изд., стереотип. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 520 с.

3. Довбня В. Г., Азиатцев В. Е., Михайлов С. Н. Помехоустойчивость радиоприемных систем цифровых линий связи / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2017. 175 с.

4. Довбня В. Г., Вольский В. А. Помехоустойчивость приема многопозиционных сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией в канале с межсимвольной интерференцией // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 17–20.

5. Радиоприемные устройства / В. Н. Банков, Л. Г. Барулин, М. И. Жодзишский, И. В. Малышев, В. В. Петрусинский; под ред. Л. Г. Барулина. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.

6. Куприянов П. В. Широкополосные инфрадинные преобразователи СВЧ // Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника. 2003. Вып.1.

7. Мухин И. Е. Методологические основы синтеза технических средств обеспечения автоматизированного радиомониторинга современных систем телекоммуникаций / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2010. 282 с.

8. Бабанин И. Г., Мухин И. Е. Оценка влияния неравномерности амплитудно-частотной характеристики полосового фильтра на эквивалентные энергетические потери в системах связи, использующих сигналы с квадратурной амплитудной модуляцией // Телекоммуникации. 2012. № 11. С. 19–23.

9. Богомазов А.Ю., Бабанин И.Г., Мухин И.Е. Расчет эквивалентных энергетических потерь в ионосфере при приёме сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией различной позиционности // Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8, № 3. С. 31–35.

10. Мухин И.Е., Бабанин И.Г. Определение эквивалентных энергетических потерь полосовых фильтров, вызванных неравномерностью фазочастотной характеристики, при приёме сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 3. С. 129–133.

Поступила в редакцию 25.06.18

UDC 621.391.827

V. G. Dovbnya, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: vit_georg@mail.ru)

A. A. Gulamov, Doctor of Psysico-mathematical Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: profgulamov@mail.ru @mail.ru)

I. G. Babanin, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: babanin_ivan@bk.ru)

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

ESTIMATION OF THE NOISE IMMUNITY OF WIRELESS DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS AT INFLUENCE OF NOISE ADJACENT RECEIVING CHANNELS

Modern digital radio communication systems operate under conditions of severe shortage of the frequency resource, organizing access to the network of subscribers of a multichannel radio communication system requires limiting the signal spectrum to eliminate the mutual influence of the signal on signals of other subscribers of the same network and other communication systems, as well as constantly increasing requirements for digital systems communication data rate, and therefore there is a need to improve spectral efficiency. It

should be noted that the use of systems with high spectral efficiency due to the non-linearity of the telecommunication paths, distortions introduced by the signal propagation medium and other effects leads to low energy-efficiency indicators of the radio system. One way to solve these problems is to use signals with a complex time-frequency structure and multi-position modulation.

Improving wireless digital communication systems, such as Wi-Max, LTE (Long-Term Evolution) and LTE-Advanced, Wireless Local Area Network (WLAN) standards 802.11n, 802.11ac, 802.11ad, etc., in the direction of increasing bandwidth by The use of signals with multipositional quadrature amplitude manipulation (CAM) with positionality from 512 to 4096 (in perspective) objectively necessitates the need to tighten the requirements for the receiving-transmitting path and, above all, to the parameters of the radio receiver.

Thus, the article developed an analytical model and obtained graphical dependences of the probability of an error on a symbol on the average signal-to-noise ratio, which allowed to justify the requirements for selectivity on side channels of receiving radio receivers of digital communication systems when processing signals with quadrature amplitude modulation with different multiplicity.

***Key words**: adjacent receiving channels, mirror and combinational receiving channels, noise immunity, quadrature amplitude modulation.*

For citation: Dovbnya V. G., Gulamov A. A,. Babanin I. G., Koptev D. S. Estimation of the noise immunity of wireless digital communication systems at influence of noise adjacent receiving channels. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 35–40 (in Russ.).

***

References

1. Differencebetween 512-QAM, 1024-QAM, 2048-QAM, 4096-QAM [Ehlektronnyj resurs]. URL: www.rfwire-less-world.com/Terminology/Difference-between-512QAM-vs-1024QAM-vs-2048QAM-vs-4096QAM.html.

2. Fomin N. N., Buga N. N., Golovin O. V., eds. Radiopriemnye ustrojstva. Moscow, Goryachaya liniya Telekom Publ., 2007. 520 p.

3. Dovbnya V. G., Aziatcev V. E., Mihajlov S. N. Pomekhoustojchivost' radiopriemnyh sistem cifrovyh linij svyazi. Kursk, 2017. 175 p.

4. Dovbnya V. G., Vol'skij V. A. Pomekhoustojchivost' priema mnogopozicionnyh signalov s kvadraturnoj amplitudnoj manipulyaciej v kanale s mezhsimvol'noj interferenciej. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 17–20.

5. Bankov V. N., Barulin L. G., Zhodzishskij M. I., Malyshev I. V., Petrusinskij V. V. Radiopriemnye ustrojstva. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1984. 272 p.

6. Kupriyanov P. V. Shirokopolosnye infradinnye preobrazovateli SVCH. Ehlektronnaya tekhnika. Ser.1. SVCH-tekhnika, 2003, is. 1.

7. Muhin I. E. Metodologicheskie osnovy sinteza tekhnicheskih sredstv obespecheniya avtomatizirovannogo radiomonitoringa sovremennyh sistem telekommunikacij. Kursk, 2010. 282 p.

8. Babanin I. G., Muhin I. E. Ocenka vliyaniya neravnomernosti amplitudno-chastotnoj harakteristiki polosovogo fil'tra na ehkvivalentnye ehnergeticheskie poteri v sistemah svyazi, ispol'zuyushchih signaly s kvadraturnoj amplitudnoj modulyaciej. Telekommunikacii, 2012, no. 11, pp. 19–23.

9. Bogomazov A.Yu., Babanin I.G., Muhin I.E. Raschet ehkvivalentnyh ehnergeticheskih poter' v ionosfere pri priyome signalov s kvadraturnoj amplitudnoj modulyaciej razlichnoj pozicionnosti. Telekommunikacii i transport, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 31–35.

10. Muhin I.E., Babanin I.G. Opredelenie ehkvivalentnyh ehnergeticheskih poter' polosovyh fil'trov, vyzvannyh neravnomernost'yu fazochastotnoj harakteristiki, pri priyome signalov s kvadraturnoj amplitudnoj modulyaciej. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 129–133.

УДК 62-529

А. Г. Гребеник, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: iitusnik@gmail.com)

М. В. Панченко, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: panchenko.maks@gmail.com)

С. А. Каратач, студент, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: karatach1998@gmail.com)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЗАТРАВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ИСКУССТВЕННОГО САПФИРА НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ АКТИВНЫХ КОНТУРОВ

В настоящее время область применения синтетического сапфира неукоснительно растет, что требует от производителей этого искусственного кристалла дальнейшего снижения стоимости изделий путем оптимизации затрат на производство, в том числе и посредством совершенствования технологий роста. В статье рассмотрены ключевые технологические особенности синтеза монокристаллов искусственного сапфира путем применения модифицированного метода Киропулоса, который обеспечивает возможность выращивания наиболее крупных кристаллов и, как следствие, вызывает наибольший интерес с экономической точки зрения. Основным недостатком данного метода является отсутствие в настоящее время возможности автоматизации одного из ключевых этапов производства – этапа затравления, на котором в процессе роста диаметра кристалла осуществляется формирование геометрической формы фронта кристаллизации и подбор режимов работы ростового оборудования, что коренным образом сказывается на качестве готовой продукции, а также на длительности производственного цикла и затратах на само производство. Сложность протекающих в печи физико-химических процессов не позволяет создать математическую модель, содержащую четкую функциональную зависимость между управляющими воздействиями и свойствами формируемого кристалла, что приводит к необходимости участия человека в управлении процессом затравления.

В статье рассмотрен один из подходов к автоматизации данного этапа, позволяющий обеспечить повторяемость процесса и снижения брака, что повышает рентабельность производства. В рамках данного подхода предлагается создание программно-аппаратного решения для операторов ростовой установки на основе технического зрения. Предложенные в работе методы обработки изображений дадут возможность получать информацию о динамике технологического процесса в реальном масштабе времени и автоматически отслеживать изменение фронта кристаллизации.

Ключевые слова: *искусственный сапфир, метод Киропулоса, монокристалл синтетического сапфира, автоматизация, затравление кристалла, техническое зрение.*

Ссылка для цитирования: Гребеник А. Г., Панченко М. В., Каратач С. А. Повышение эффективности процесса затравления монокристаллов искусственного сапфира на основе технического зрения с применением метода выделения активных контуров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 41–49.

***

Введение

Искусственный сапфир представляет собой твердый, монокристаллический, прозрачный материал, получаемый из расплава оксида алюминия. По своему химическому составу синтетический монокристалл сапфира идентичен природному, представляющему собой голубую или синюю разновидность корунда и используемому в ювелирном производстве. Искусственный сапфир не содержит веществ, придающих ему разнообразные оттенки, и представляет огромный интерес для различных областей науки, техники, медицины и биологии – основными сферами применения искусственных сапфиров являются микроэлектроника, оптоэлектроника, оптика и приборостроение, медицина, часовая промышленность, промышленное машиностроение, автомобилестроение, авиация и космос.

Большая часть мирового рынка искусственных сапфиров – пластины для изготовления подложек для чипов и светодиодов. Таким образом, изложенные в материалах данной статьи тезисы, описы-

вающие подходы к автоматизации производства искусственных кристаллов, относятся к перспективным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (утвержденных Указом Президента РФ от 7 июля 2011г.) и критическим технологиям РФ.

Одним из наиболее широко применяемых методов выращивания крупных кристаллов сапфира является разработанный в Государственном оптическом институте имени С.И. Вавилова метод Киропулоса. Согласно данному методу выращивания монокристаллов искусственного сапфира процесс кристаллизации осуществляется следующим образом: в расплав, тепловое поле внутри которого создается и управляется боковым и донным нагревателями, а также тепловыми экранами и футеровкой печи, помещается затравка, тепло от которой отводится через шток таким образом, чтобы температура на границе расплава и кристалла соответствовала температуре кристаллизации (около 2036 градусов). В этом случае происходит процесс кристаллизации и разрастания кристалла. Как только образуется новая перетяжка, осуществляется подъем штока на несколько миллиметров и процесс повторяется. Рост кристаллов по модифицированному методу Киропулоса осуществляют путем непрерывного вытягивания кристалла на затравку с постоянной скоростью [1-4].

Постановка задачи

Наибольшей проблемой, из-за которой до настоящего времени отсутствует возможность полной автоматизации процесса выращивания монокристаллов сапфира по модифицированному методу Киропулоса, является невозможность построения физико-математической модели, в полной мере описывающей все физико-химические процессы, протекающие в тигле ростовой установки. Причина этого заключается в огромном количестве параметров, влияющих на процесс синтеза кристалла [5].

Важнейшим свойством кристалла является его прозрачность, определяющая класс качества готовой продукции. Помимо наличия в расплаве примесей значительным фактором, оказывающим влияние на прозрачность, является наличие пузырьков газа в кристаллической решетке. Экспериментальным путем было установлено, что одним из наиболее значимых параметров является угол конуса роста кристалла, который в идеале должен быть равным $\pi/2$. В случаях если он более острый или более тупой, в кристаллическую решетку попадают пузырьки газа, снижающие качество кристалла.

Данный параметр играет решающую роль при выборе скорости кристаллизации – чрезмерное ее увеличение путем быстрого снижения температуры может привести сначала к тому, что угол будет становиться все острее, что повлечет за собой ухудшение качества продукции, а затем и вовсе к отрыву кристалла.

Таким образом, оценивая скорость роста кристалла и удерживая ее в нужном диапазоне, можно добиться наилучшего качества продукции при минимальных затратах на производство. Достичь данного оптимума можно путем вычисления скорости роста по исходным данным о размерах тигля, массе и химическом составе сырья, прочих технологических параметрах и, самое главное, температуре внутри ростовой установки, которая, по сути, является основным фактором, оказывающим влияние как на качество выходной продукции, так и на длительность цикла производства и, как следствие, на энергозатраты.

Как показывает практика, данная задача является нетривиальной в силу того, что прямое измерение температуры практически невозможно. В существующем в настоящее время подходе производится косвенное измерение температуры на основании данных о потребляемых нагревателем электрическом токе, напряжении, мощности, а также на основании опыта оператора ростовой установки, что не

позволяет достичь необходимой точности расчетов [6,7].

Еще одним способом контроля скорости и формы роста кристалла является осуществление визуального контроля за протекающими внутри тигля процессами. В настоящее время на большинстве предприятий по производству искусственных кристаллов сапфира по методу Киропулоса контроль за ростом кристалла осуществляется на основании визуальной информации, получаемой через смотровое окно (рис. 1), которое представляет собой отверстие в крышке установки, сделанное под углом и закрытое несколькими слоями стекла.

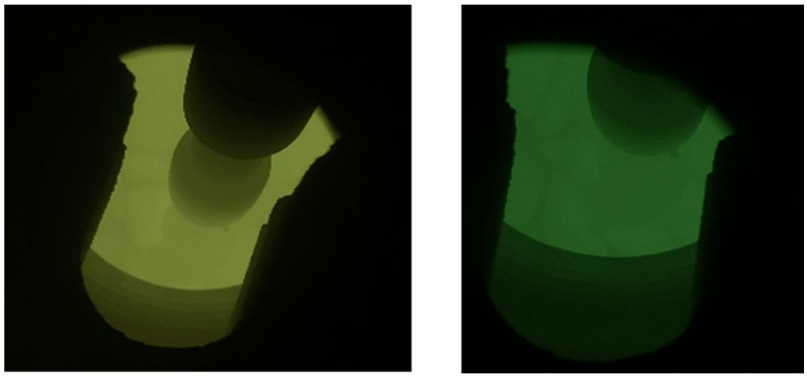


Рис. 1. Смотровое окно оператора ростовой установки

Небольшой размер отверстия обусловлен высокими теплопотерями через него, что негативно сказывается как на энергоэффективности всего процесса, так и непосредственно на качестве производимых кристаллов, так как наличие отверстий в тепловых экранах вызывает нарушение симметрии температурного поля внутри установки, что влияет на форму выращиваемого кристалла [5,6].

Таким образом, в соответствии с существующей на данный момент методикой, не имея возможности точного определения температуры расплава, на основании данных о потребляемых напряжении, силе тока и мощности, а также весе кристалла, скорости его изменения и визуальной информации низкого качества, что обусловлено размерами смотрового окна и высоким уровнем излучения внутри ростовой остановки, полагаясь на собственный профессионализм, оператор должен осуществлять управление процессом роста кристалла.

Методология

Для повышения качества принятия управленческих решений и снижения зависимости от профессиональных качеств и опыта оператора на этапе затравления кристалла предлагается подход к визуализации и мониторингу технологического процесса на основе технического зрения.

В качестве технического решения для проведения натурного эксперимента была применена система, состоящая из камеры basler ACA 1300 - 30gm, прикрепленная к смотровому отверстию тигля. Данная камера имеет CCD-матрицу Sony ICX445 и позволяет получать качественные снимки в градациях серого с частотой 30 кадров в секунду при разрешении 1.3 Мпикс.

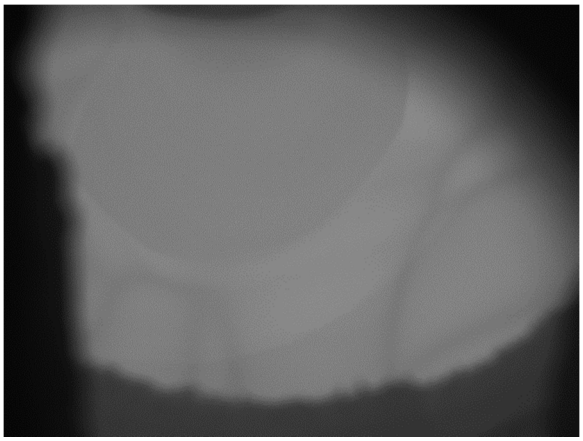


Рис. 2. Исходное изображение

Полученный фото/видеопоток в чистом виде не может использоваться оператором ростовой установки ввиду недостаточной детализации, наличия шумов, а также отсутствия на нем объективной информации о динамике изменения фронта кристаллизации (рис. 2) [5-7].

Для получения более четкой картины для визуального восприятия необходимо провести ряд морфологических преобразований изображения, применить фильтры, процедуры коррекции яркости, контрастности, а также гамма-коррекцию.

Численное моделирование

Предварительная обработка изображений

Основными причинами низкого качества изображений являются:

– технические яркостные помехи шумового характера;

– недостаточная или излишняя освещенность объектов съемки;

– отсутствие резкости при получении изображения;

– достаточно мелкие размеры деталей, которые необходимо различить.

Из-за высоких температур, применяемых в производстве искусственного сапфира, наибольшее влияние на получаемые изображения оказывают именно яркостные помехи. Известно, что основными источниками таких помех или шума на цифровом изображении являются, во-первых, непосредственно процесс его получения, оцифровка, а также процесс передачи. Например, в процессе получения изображения с помощью фотокамеры с ПЗС матрицей основными факторами, влияющими на величину шума, являются уровень освещенности и температура сенсоров.

Для восстановления поврежденных изображений использовались различные нелинейные преобразования (медианные и пороговые фильтры [8]), которые дают возможность избежать дополнительного искажения изображения при удалении шума. Кроме того, они позволяют существенно улучшить результаты работы фильтров на изображениях с сильной зашумленностью.

Для того чтобы уменьшить шум, а также избавиться от появившихся в данных закономерностей (артефакты – лишние детали на изображении), которых нет в исходных данных, применяются сглаживающие фильтры.

Эффективность шумоподавления повышается, если влияние пикселей на результат будет уменьшаться с увеличением расстояния от обрабатываемого пикселя.

Таким свойством обладает фильтр Гаусса [8] с ядром:

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} .$$

Еще одним подходом цифровой обработки изображений, позволяющим добиться улучшения их качества, является эквализация гистограмм [9].

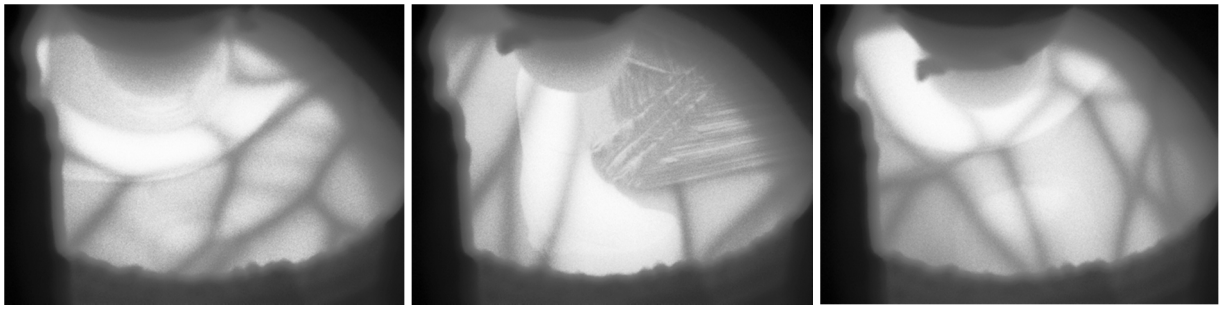
Гистограмма изображения представляет собой график статистического распределения элементов цифрового изображения с различной яркостью, в котором по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали – относительное число пикселей с конкретным значением яркости. Гистограммы очень тёмных изображений характеризуются тем, что ненулевые значения гистограммы сконцентрированы около нулевых уровней яркости, а для очень светлых изображений, наоборот, все ненулевые значения сконцентрированы в правой части гистограммы.

Таким образом, можно утверждать, что наилучшим для визуального восприятия человеком будет изображение, у которого уровень яркостей каждого пикселя будет стремиться к равномерному распределению, то есть для улучшения визуального качества изображения к нему необходимо применить такое преобразование, чтобы гистограмма результата содержала все возможные значения яркости и при этом в примерно одинаковом количестве.

В результате применения данной процедуры, как правило, существенно

расширяется динамический диапазон изображения, что позволяет отображать ранее невидимые детали. Кроме того, важной особенностью является то, что эквализация гистограммы может осуществляться в автоматическом режиме без участия человека.

На рисунке 3 отображены результаты применения различных подходов к обработке исходных изображений.



а *б* *в*

Рис. 3. Результаты предварительной обработки исходных изображений с ip-камеры

Методика выделения контуров разрастающегося кристалла на изображении

Для отслеживания динамики роста кристалла в процессе затравления необходимо выделить на изображении границы образования очередной перетяжки. Это позволит, во-первых, контролировать форму разрастающегося кристалла, который должен расти равномерно относительно своей оси, а во-вторых, оценивать скорость его роста, которая влияет на качество конечной продукции. Для решения этой задачи предлагается использовать методы выделения границ объекта на изображении. Рассмотрим основные методы выделения контуров.

Пожалуй, наиболее известным и простым из существующих методов выделения границ является Canny Edge Detector [10], который в результате своей работы выдает набор кривых (возможно, связанных по определенному правилу), представленных последовательностями точек, которые потом предстоит объединить (сгруппировать) для получения конечных фигур, что само по себе является довольно сложной задачей. Если точное местоположение контура неизвестно, но сам он представляет собой простую геометрическую фигуру, то в таком случае могут найти свое применение математические моменты. Однако в реальности такие задачи встречаются довольно редко, а дополнительные потребности (например, динамическое отслеживание в реальном времени) существенно усложняют данную задачу. Более того, все это не лучшим образом влияет на корректность работы программы.

Подходы на основе выделения активных контуров [11], например модификация Active Contour Model (The Balloon Model) [12], являются менее требовательными к разработчику в отношении данных, которые нельзя непосредственным образом получить из исходного изображения. К достоинствам этого алгоритма стоит отнести достаточно высокий уровень автономности и устойчивости, а также его относительно большую пригодность для разрешения перечисленных выше проблем.

Суть данной модификации алгоритма выделения активных контуров определена в названии. Каждый воздушный шар может надуваться и сдуваться. Шар надувается, когда сила, действующая на него изнутри, оказывается больше внешней силы, и сдувается, когда внешняя сила оказывается более мощной. Проводя параллель между шариком и линией контура, можно заметить, что при «надувании» контура его точки стремятся оказаться там, где меньше давление; а давление меньше там, где перепады яркости

сильнее. То есть положение равновесия данной модели будет находиться на пиках ближайших вершин рельефа изображения.

Рассмотрим математическое описание алгоритма, адаптированное для последующих вычислений на ЭВМ.

Пусть $F(v) = (F_1(v), F_2(v)) = -\nabla P(v)$ является суммой внутренней и внешней энергий изображений, тогда выражение

$$-(\omega_1 v')' + (w_2 v'')'' = F(v)$$

после применения метода конечных разностей запишется в следующем виде:

$$\frac{1}{h}(a_i(v_i - v_{i-1}) - a_{i+1}(v_{i+1} - v_i)) +$$
$$+ \frac{b_{i-1}}{h^2}(v_{i-2} - 2v_{i-1} + v_i) - 2\frac{b_i}{h^2}(v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}) +$$
$$+ \frac{b_{i+1}}{h^2}(v^{i+2} - 2v_{i+1} + v_i) - (F_1(v), F_2(v)) = 0,$$

где $v_i = v(ih)$, $a_i = \frac{w_1(ih)}{h}$, $b_i = \frac{w_2(ih)}{h}$.

Данное выражение может быть представлено компактнее в виде матричного произведения:

$$AV = F, \qquad (1)$$

где A – пентадиагональная матрица, а V и F обозначают вектор точек кривой и вектор сил в этих точках соответственно.

Используя метод конечных разностей, выражение (1) в рамках решения данной задачи может быть записано в следующем виде, что дает итеративное выражение вычислительной задачи в пространстве (с шагом h) и времени (с шагом r):

$$(I + rA)v^t = (v^{t-1} + rF(v^{t-1})), \qquad (2)$$

где I – единичная матрица.

Таким образом, решение задачи сводится к итеративному решению системы линейных алгебраических уравнений, в котором матрица коэффициентов является симметричной положительно определенной матрицей, что позволяет использовать метод LU-разложения [13]. Причем само разложение должно вычисляться один раз, в том случае если w_i остается постоянной величиной с течением времени. Вычислительный процесс завершается, когда разница между итерациями становится достаточно малой.

Результаты, полученные с помощью модификации алгоритма выделения активных контуров, представлены на рисунке 4.

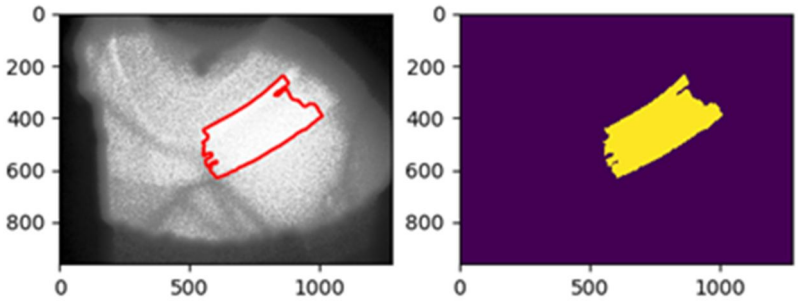


Рис. 4. Результаты применения модифицированного алгоритма выделения активных контуров

Заключение

В работе рассмотрен подход к повышению энергоэффективности ресурсоемкого процесса выращивания монокристалла сапфира по методу Киропулоса. Предложено программно-техническое решение, основывающееся на применении технического зрения, а также методов и алгоритмов обработки изображений.

Использование рассмотренного алгоритма выделения активных контуров для отслеживания границ кристалла в программном комплексе позволит оператору ростовой установки в режиме реального времени вести мониторинг процесса

затравления монокристалла искусственного сапфира при выращивании по модифицированному методу Киропулоса и при необходимости своевременно совершать управляющие воздействия. Данный подход позволит сократить влияние человеческого фактора на процесс затравления, снизить зависимость от квалификации и психофизического состояния оператора, а также сократить процент брака готовой продукции.

Дальнейшие исследования в рамках данного направления предполагают автоматизированное отслеживание диаметра конуса разрастающегося в процессе затравления кристалла и автоматизацию этапа затравления в целом.

Список литературы

1. Клунникова Ю. В. Физико-технологические основы создания подложек сапфира для приборов твердотельной электроники: дис. … д-ра техн. наук. М., 2016. С. 36–43.

2. Кожина Т. Д., Юдин А. В., Ерошков В. Ю. Исследование процессов, разработка технологий и обучение специалистов в области выращивания монокристаллов лейкосапфира для оптики и наноэлектроники // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2013. № 1 (10). С. 92–101.

3. Как выращивают кристаллы. Краткий обзор [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://ftfsite.ru/wp-content/files/medods_kristallov_5.2.pdf (дата обращения: 15.08.2018).

4. Буш А.А., Гладышев И.В. Физико-химические основы и методы роста монокристаллов, выращивание кристаллов Al_2O_3 бестигельной зонной плавкой. М.: Изд-во МИРЭА, 2011. 36 с.

5. Белоусов А. В., Кошлич Ю. А., Гребеник А. Г. Об одном подходе к автоматизации процесса затравления монокристаллов синтетического сапфира по методу Киропулоса // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 3. С. 128–133.

6. Белоусов А. В., Гребеник А. Г., Кошлич Ю. А. Determination of sapphire single crystale growth dynamics based on visual information // International Journal of Pharmacy and Technology (IJPT). 2016. Vol.8, is. 3. P. 19017–19030.

7. Program-hardware platform for automation of the process of coupling of synthetic sapphire monocrystals / А. В. Белоусов, А. Г. Гребеник, Ю. А. Кошлич, М. В. Панченко // Proceeding of 2017 ASRTU China-Russia International Conference on Intelligent Manufacturing. Harbin, China, 2017.

8. Прэтт Э. Цифровая обработка изображений: [пер. с англ.]. М.: Мир, 1982. Кн.1. 312 с.

9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

10. Canny J. A Computational Approach To Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. P. 679–698.

11. Kass M., Witkin A., Terzopoulos D. Snakes: Active contour models (PDF) // International Journal of Computer Vision. 1988. N 1 (4). P. 321. doi:10.1007/BF00133570.

12. Laurent D. Cohen, On active contour models and balloons, CVGIP: Image Understanding. 1991. Vol. 53, is. 2. P. 211–218.

13. Pablo Márquez-Neila, Luis Baumela, Luis Álvarez.A morphological approach to curvature-based evolution of curves and surfaces // In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI).

Поступила в редакцию 10.07.18

UDC 62-529

A. G. Grebenik, Post-Graduate Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: iitusnik@gmail.com)

M. V. Panchenko, Post-Graduate Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: panchenko.maks@gmail.com)

S. A. Karatach, Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: karatach1998@gmail.com)

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ARTIFICIAL SAPPHIRE KYROPULOS GROWING TECNIQUE ON THE BASIS OF TECHNICAL VISION WITH ACTIVE CIRCUITS DISTRIBUTION ANALYSIS

Currently, the field of application of synthetic sapphire is rapidly expanding, which requires manufacturers of this artificial crystal to further reduce the cost of products by optimizing production costs, including improving of growth technology. The article considers the key technological features of synthesis of artificial sapphire single crystals using modified Kyropoulos method, which provides the opportunity to grow the largest crystals and causes the greatest interest from an economic point of view. The main disadvantage of this method is an absence at the present time of the possibility of automation of the important stage of production - the stage of seeding, in which, during the growth of the crystal diameter, the geometric shape of the crystallization front is formed and operation modes of the growth equipment are selected, which mainly affects the quality of the finished product, and also on the duration of the production cycle and the costs of production itself. The complexity of the physicochemical processes taking place in the furnace does not allow us to create a mathematical model containing a clear functional relationship between the control actions and the properties of the crystal being formed, which leads to the need for human participation in the management of the seeding process and enhances the influence of the human factor to the quality of the product. The article considers one of the approaches to automation of this method at the stage of seeding, allowing to ensure the repeatability of the process and reduce the rejection, which increases the profitability of production. Within the framework of this approach, it is proposed to create a software and hardware solution for operators of a growth installation based on technical vision. Methods of image processing proposed in this work will provide an opportunity to obtain information on the dynamics of the technological process in real time and automatically track the change in the crystallization front.

Key words: *artificial sapphire, Kyropoulos method, synthetic sapphire single crystal, automation, crystal seeding, technical vision.*

For citation: Grebenik A. G., Panchenko M. V., Karatach S. A. Efficiency improvement of artificial sapphire kyropulos growing tecnique on the basis of technical vision with active circuits distribution analysis. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 41–49 (in Russ.).

***

References

1. Klunnikova Yu. V. Fiziko-tekhnologicheskie osnovy sozdaniya podlozhek sapfira dlya priborov tverdotel'noj ehlektroniki. Diss. dokt. tekhn. nauk. Moscow, 2016, pp. 36–43.

2. Kozhina T. D., Yudin A. V., Eroshkov V. Yu. Issledovanie processov, razrabotka tekhnologij i obuchenie specialistov v oblasti vyrashchivaniya monokristallov lejkosapfira dlya optiki i nanoehlektroniki. Innovatika i ehkspertiza, 2013, no. 1 (10), pp. 92–101.

3. Kak vyrashchivayut kristally. Kratkij obzor. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: http://ftfsite.ru/wp-content/files/medods_ kristallov_5.2.pdf (accessed 15.08.2018).

4. Bush A. A., Gladyshev I. V. Fiziko-himicheskie osnovy i metody rosta monokristallov, vyrashchivanie kristallov Al_2O_3 bestigel'noj zonnoj plavkoj. Moscow, MIREHA Publ., 2011. 36 p.

5. Belousov A. V., Koshlich Yu. A., Grebenik A. G. Ob odnom podhode k avtomatizacii processa zatravleniya monokristallov sinteticheskogo sapfira po metodu Kiropulosa. Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova, 2017, no. 3, pp. 128–133.

6. Belousov A. V., Grebenik A. G., Koshlich Yu. A. Determination of sapphire single crystale growth dynamics based on visual information. International Journal of Pharmacy and Technology (IJPT), 2016, vol. 8, is. 3, pp. 19017–19030.

7. Belousov A. V., Grebenik A. G., Koshlich Yu. A., Panchenko M. V. Program-hardware platform for automation of the process of coupling of synthetic sapphire monocrystals. Proceeding of 2017 ASRTU China-Russia International Conference on Intelligent Manufacturing. Harbin, China, 2017.

8. Prehtt Eh. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. Moscow, Mir Publ., 1982, kn. 1. 312 p.

9. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005. 1072 p.

10. Canny J. A Computational Approach To Edge Detection. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, pp. 679–698.

11. Kass M., Witkin A., Terzopoulos D. Snakes: Active contour models (PDF). International Journal of Computer Vision, 1988, no. 1 (4), p. 321.

12. Laurent D. Cohen, On active contour models and balloons, CVGIP: Image Understanding, 1991, vol. 53, is. 2, pp. 211–218.

13. Pablo Márquez-Neila, Luis Baumela, Luis Álvarez. A morphological approach to curvature-based evolution of curves and surfaces. In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI).

УДК 004.8

Н. И. Шаханов, аспирант, Череповецкий государственный университет (Череповец, Россия) (e-mail: NikShakhanov@gmail.com)

Е. В. Ершов, д-р техн. наук, профессор, Череповецкий государственный университет (Череповец, Россия) (e-mail: ershov_ev@mail.ru)

О. В. Юдина, канд. техн. наук, доцент, Череповецкий государственный университет (Череповец, Россия) (e-mail: ovyudina2010@mail.ru)

МОДЕЛЬ, МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ РОЛИКОВ ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА УБОРОЧНОЙ ГРУППЫ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для уборочной группы прокатного производства предложен метод прогнозирования отказов оборудования, основанный на интеллектуальном анализе показаний датчиков по крутящим моментам приводных электродвигателей роликов отводящего рольганга. Метод предполагает следующее: использовать алгоритмы машинного обучения Random Forest, ARIMA для получения модели прогнозирования временных рядов крутящих моментов; проводить обучение модели на ретроспективных данных по крутящим моментам при нормальной работе оборудования; выполнять анализ фактических и расчетных значений крутящих моментов, полученных моделью, для прогнозирования отказов оборудования по зафиксированным аномалиям в работе электродвигателей. Дано описание и приведена структурная схема модели прогнозирования временных рядов крутящих моментов приводных электродвигателей роликов уборочной группы прокатного производства, определены требования к модели.

На основе метода прогнозирования отказов и модели прогнозирования временных рядов крутящих моментов разработано алгоритмическое обеспечение программного комплекса прогнозирования отказов электродвигателей роликов отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства. Полное алгоритмическое обеспечение программного комплекса состоит из распределенного алгоритма сбора, хранения, извлечения и обработки данных о работе оборудования; распределенного алгоритма обучения моделей прогнозирования работы оборудования и параметрической идентификации; алгоритма выявления отказов в условиях малого количества поломок; обобщенного алгоритма функционирования программного комплекса прогнозирования отказов оборудования уборочной группы прокатного производства.

Было проведено тестирование алгоритма прогнозирования отказов на выборке данных за 4 месяца работы оборудования. В результате тестирования было установлено, что достигнутые значения выявленных и ложных срабатываний являются приемлемыми показателями для использования этих данных в планировании ремонтов оборудования и сокращения количества внеплановых простоев.

***Ключевые слова**: прогнозирование отказов, машинное обучение, метод параметрической идентификации, модель прогнозирования, алгоритм выявления аномалий.*

Ссылка для цитирования: Шаханов Н. И., Ершов Е. В., Юдина О. В. Модель, метод и алгоритмы прогнозирования отказов роликов отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 50–59.

***

Введение

Использование на производстве современных методов планирования, в частности, реализация стратегии «Ремонт по состоянию», требует наличия моделей и методов, позволяющих прогнозировать отказы. Для многих видов оборудования это является сложной задачей.

Отводящий рольганг стана 2000 горячей прокатки предназначен для транспортировки горячекатаной полосы от чистовой группы клетей до моталок, осуществляющих смотку проката в рулон. Структурно рольганг разделен на четыре секции, причем в каждой расположено от 66 до 68 приводных роликов. Для каждого ролика непрерывно фиксируются дан-

ные по работе электродвигателей, что позволяет использовать эту информацию для прогнозирования отказов [1].

Практика показывает, что прогнозирование точного времени отказа практически невозможно для отводящего рольганга [2]. Из-за отсутствия необходимого количества статистических данных по отказам невозможно прогнозировать их с требуемой точностью. Поэтому задача прогнозирования отказов решается путем фиксации аномалий в поведении оборудования и их анализе. Для этого необходимо описать нормальные состояния оборудования, задать признаки отклонений от нормы, позволяющие определить аномалии, выделить группы оборудования, в которых налажена фиксация необходимых технологических параметров.

Для уборочной группы прокатного производства в зонах отводящих рольгангов возможно прогнозирование потенциальных отказов на основе предиктивного анализа временных рядов показаний с датчиков.

Основная часть

Для решения данной задачи были предложены: модель прогнозирования временных рядов значений крутящих моментов приводных электродвигателей; метод прогнозирования отказов оборудования, основанный на предиктивном анализе временных рядов значений крутящих моментов, метод параметрической идентификации полученной модели и алгоритмическое обеспечение, реализующее данную модель и методы.

Обозначим

M_i – крутящий момент i-го двигателя, где $i = \overline{1,N}$, i – номер двигателя, N – количество двигателей;

W – временное окно, для которого проводится анализ отклонений;

RA – модель прогнозирования временных рядов значений крутящих моментов.

Появление аномалии представим как функцию вида

$$A_i(M_i, M_i', W, h_i, P) = \{0, 1\},$$

где Ai=0 – нет аномалий;

Ai =1 – есть аномалия для i-го ролика;

$i = \overline{1,N}$.

Временное окно – это интервал времени, в течение которого собираются данные по крутящим моментам. Эти данные используются для прогнозирования отказов на отрезке $[t - 2W - 1, t]$:

$$\overrightarrow{\mathrm{M}} = [\overrightarrow{M_1} \dots \overrightarrow{M_N}],$$

$$\overrightarrow{\mathrm{M}}_i = [M_i(t - 2W - 1) \dots M_i(t),$$

где $M_i(t)$ – значение крутящего момента в момент времени t;

$\overrightarrow{\mathrm{M}}_i$ – временной ряд с крутящими моментами для i-го двигателя.

Размерность временного ряда зависит от интервала прогнозирования и определяется в методе параметрической идентификации.

$\overrightarrow{\mathrm{M}}$ – вектор с временными рядами крутящих моментов для всех N двигателей.

Метод прогнозирования (рис. 1) состоит:

– в использовании исторических данных по крутящим моментам электродвигателей для построения модели прогнозирования временных рядов;

– в анализе фактических M и расчетных значений моментов M', полученных моделью RA, для прогнозирования отказов оборудования по зафиксированным аномалиям в работе электродвигателей;

– аномалия в работе i-го двигателя фиксируется, когда доля отклонений фактических значений моментов относительно расчетных на величину порога h_i во временном окне W превышает допустимое значение P.

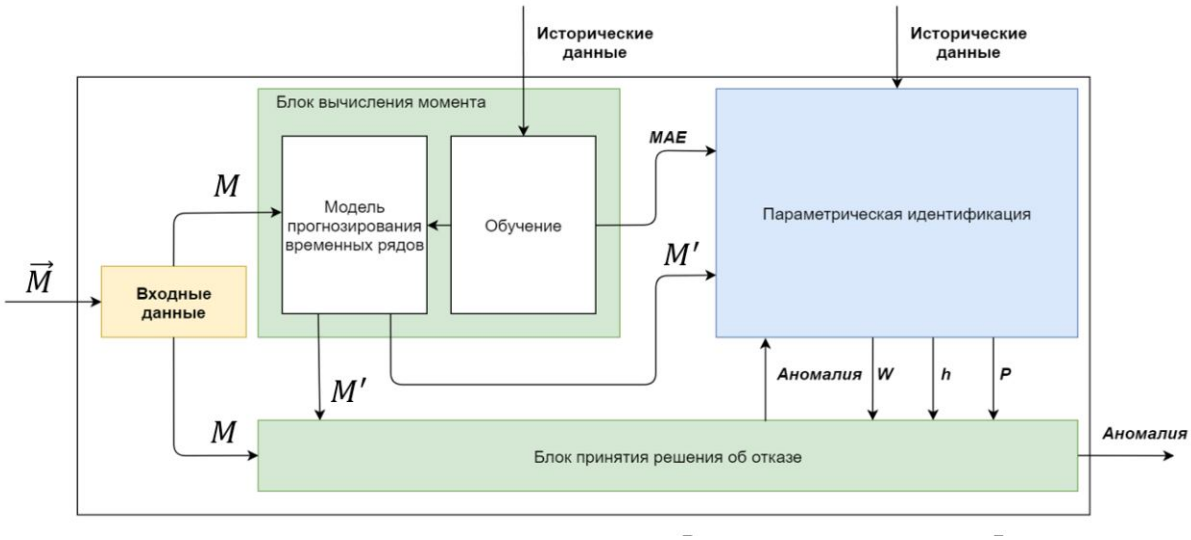


Рис. 1. Структурная схема модели прогнозирования (RA)

Блок вычисления момента

Для вычисления моментов M' разработан блок, содержащий в себе специальную построенную модель прогнозирования временных рядов, позволяющую рассчитать значения моментов в заданном окне по данным матрицы M, получаемую из преобразования входного вектора $\overrightarrow{M}$:

$$M = \begin{bmatrix} M_{1_{t-2W-1}} & \cdots & M_{1_t} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{N_{t-2W-1}} & \cdots & M_{N_t} \end{bmatrix}.$$

Выходная матрица M' имеет вид

$$M' = \begin{bmatrix} M_{1_{t-W}}' & \cdots & M_{1_t}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{N_{t-W}}' & \cdots & M_{N_t}' \end{bmatrix},$$

где W – окно прогнозирования;

N – количество двигателей в секции.

Для построения модели прогнозирования временных рядов предполагается использовать стекинг двух алгоритмов машинного обучения (рис. 2).

К требованиям модели прогнозирования относятся: работа в режиме реального времени, отработка модели менее чем за 1 секунду; точность прогнозирования при всех режимах работы оборудования; обучение модели только на нормальных данных.

В соответствии с этими требованиями было выбрано две модели. Первая модель RF – модель Random Forest [3-5], основанная на использовании множества деревьев решений для нестационарного режима работы оборудования. Вторая модель – ARIMA [6], применяемая для стационарного режима работы оборудования. Модель, строится на основании предыстории исследуемых временных рядов, используется соединение моделей скользящего среднего и модели авторегрессии.

При стационарном режиме работы оборудования эффективно прогнозирует величину момента M_{i_t}' модель ARIMA, используя фактические данные по крутящим моментам $M_{i_{t-W}} \dots M_{i_{t-1}}$ для каждого i-двигателя, $i = \overline{1, N}$.

При нестационарном режиме работы оборудования используется модель Random Forest, прогнозирующая величину момента M_{j_t}', используя фактические данные по остальным моментам M_{i_t}, где $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$ и $i \neq j$.

Конечная модель прогнозирования значения временного ряда крутящего момента представляет собой функцию следующего вида:

– для нестационарного режима

$$M' = RA(M) = RF(M);$$

– для стационарного режима

$$M' = RA(M) = \mathrm{AR}(M).$$

Модель RF вычисляет моменты следующим образом:

$$M' = \frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B} T_i(M),$$

где T_i – i-е дерево решений

B – количество деревьев, формирующих ансамбль деревьев решений $\{\mathrm{T_i}\}_{i=1}^{B}$

$$\mathrm{AR(M) = ARIMA(p,d,q)},$$

где p, d, q – параметры модели, которые подбираются в автоматическом режиме.

Для временного ряда $M[k]$, где k – целый индекс, и $M[k]$ – вещественные числа.

Модель ARIMA задается следующим образом:

$$\left(1 - \sum_{i=1}^{p} \varphi_i L^i\right)(1-L)^d M[k] = \\ =(1 + \textstyle\sum_{i=1}^{q} \theta_i L^i)\epsilon_t,$$

где L – оператор задержки;

φ_i – параметры авторегрессионной части модели;

θ_i – параметры скользящего среднего;

ϵ_t – значения ошибки;

d – положительное целое, задающее уровень дифференцирования (если d=0, эта модель эквивалентна авторегрессионному скользящему среднему).

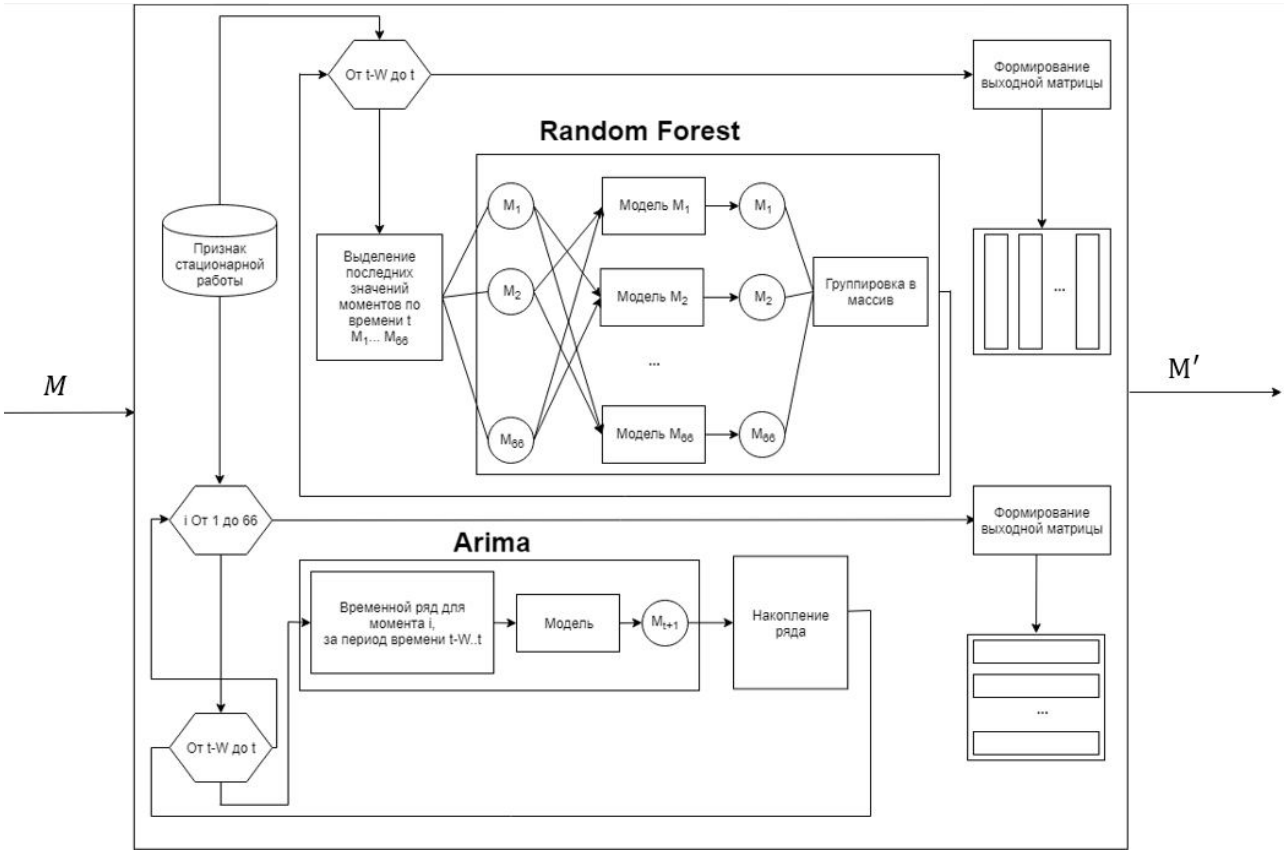


Рис. 2. Структурная схема модели прогнозирования временных рядов

Для тестирования модели RA определяется ее средняя абсолютная ошибка MAE для каждого ролика отводящего рольганга:

$$MAE_i = \frac{1}{K}\sum_{t=1}^{K}|\mathrm{M}_i(t) - M_i'(t)|,$$

где $i \in 1..N$;

K – количество точек из тестовой выборки;

M_i' – прогнозное значение в момент времени t;

M_i – фактичекское значение крутящего момента в момент времени *t*.

Блок принятия решения

Чтобы определить возможность поломки оборудования в период времени, ограниченный окном слежения, необходимо установить порог – максимальную долю превышения разности прогнозного и фактического сигнала для каждого двигателя ролика относительно полученной MAE для этого двигателя, умноженной на коэффициент k_i (определяющий, во сколько раз допустимо превышение MAE i-й модели):

$$h_i = k_i \cdot MAE_i ,$$

где $i \in 1..N$.

Практика показывает, что превышение порога должно происходить в течение некоторого времени. При этом порог необходимо установить так, чтобы не допустить ложных срабатываний и минимизировать пропуск реальных поломок. Если имеются данные о поломках, в таком случае порог устанавливается на основе этих данных, также выбирается интервал времени (окно), в течение которого определяется превышение порога.

Таким образом, если будет зафиксировано превышение порога h_i разности прогнозируемого и фактического моментов для некоторых точек свыше максимально допустимой доли P относительно всех точек окна W, то производится информирование о том, что i-й двигатель ролика неисправен ($A_i = 1$):

$$A_i(M_i, M_i', W, h_i, P) = \begin{cases} 1, \text{ если } P_i > P, \\ 0, \text{ если } P_i \le P, \end{cases}$$

$$P_i = \frac{1}{W}\sum_{j=1}^{W} diff(i,j),$$

$$diff = |M_i - M_i'|,$$

$$diff(i,j) = \begin{cases} 1, \text{ если } diff[i][j] \ge h_j, \\ 0, \text{ если } diff[i][j] < h_j, \end{cases}$$

где $i \in [1..N]$, $j \in [t-W..t]$.

Прогнозирование аномалии на основе данных о крутящих моментах M, вычисленных моментах M', окна прогнозирования W, допустимых порогов превышения моментов относительно вычисленных значений h_i для всех двигателей и максимальная доля P точек в окне, где данный порог был превышен, формирует блок принятия решений.

Блок параметрической идентификации

В итоге для модели прогнозирования отказов формируются 3 управляющих параметра: P, h_i, W. Для получения прогноза об отказах для уборочной группы требуется, чтобы эти параметры были идентифицированы. С их помощью можно управлять моделью, а именно от данных параметров зависит количество ложных срабатываний, количество выявленных аномалий и время работы модели.

Определение оптимальных значений данных параметров можно решить при помощи метода параметрической идентификации [7].

Для этого требуется определить h_i, W, P так, чтобы максимизировать доход от использования модели:

$$C_{\text{верн.}} \sum_{i=1}^{D} \prod_{j=1}^{N} \begin{cases} 1, & A_j(M_i, M_i', W, h_j, P) = A_j'(i) \\ 0, & A_j(M_i, M_i', W, h_j, P) \ne A_j'(i) \end{cases} - C_{\text{ложн.}} \sum_{i=1}^{D} \prod_{j=1}^{N} \begin{cases} 0, & A_j(M_i, M_i', W, h_j, P) = A_j'(i) \\ 1, & A_j(M_i, M_i', W, h_j, P) \ne A_j'(i), \end{cases} \to \max,$$

где $h_i = k_i \cdot MAE_i$ и каждый коэффициент k_i входит в диапазон значений [0.1,100];

W – длина окна прогнозирования, диапазон значений $[1, +\infty)$;

P – максимальная доля точек в окне, превышающих порог h_i, не считающийся аномалией в работе (0,1);

A_j – признак аномалии *j*-го двигателя;

$A_j'(i)$ – наличие отказа *j*-го двигателя из *i*-й тестовой выборки, $A_j' = 1$, когда тестовая выборка взята за 4-8 часов до зафиксированного отказа *j*-го двигателя;

D – количество исходных тестовых выборок;

$C_{верн.}$ – доход при верном прогнозировании отказа(-ов);

$C_{ложн.}$ – стоимость потерь при ложных срабатываниях.

Для определения параметров длины окна и допустимой доли превышений в заданном окне можно свести к задаче поиска путем полного перебора (брутфорс).

На первом этапе определяется максимально допустимое окно прогнозирования *W*. Оно определяется с учетом быстродействия вычислительной системы, на которой будет осуществляться прогнозирование отказов. По требованию к модели, а именно работы в режиме реального времени, затраченное время всех вычислений моделью не должно превышать шага дискретизации данных по крутящим моментам. Далее максимально допустимое значение окна берется за константу для всех двигателей.

Для ускорения выполнения полного перебора остальных параметров возможно применение распределенных вычислений и параллельной обработки данных. Так как вычисление доли является общей величиной для всех двигателей, только порог задается для каждого двигателя свой, в таком случае вычисление доли можно ускорить при помощи распределенной обработки данных, а для вычисления порога применять распараллеливание операции поиска.

При точности модели прогнозирования временных рядов в 98,2% начальное значение доли задается как $(98{,}2 - (100 - 98{,}2))/100 \approx 0{,}96$, т. к. для перебора шаг дискретизации равен 0.01, значение доли округлено до сотых. При определении доходов/расходов на тестовых данных относительно выбранной доли *P* и окна *W* подбираются оптимальные значения h_i дихотомическим поиском. Далее значение доли *P* уменьшается на один шаг и заново побираются оптимальные значения h_i.

После окончания перебора всех значений *P* выбирается вариант с максимальным доходом, при этом значения параметров P, h_i, W становятся целевыми для прогнозирования отказов.

Алгоритмическое обеспечение

На основе метода прогнозирования отказов разрабатывается алгоритмическое обеспечение программного комплекса (ПК) прогнозирования отказов приводных электродвигателей отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства.

Полное алгоритмическое обеспечение ПК состоит из:

– распределенного алгоритма сбора, хранения, извлечения и обработки данных о работе оборудования;

– распределенного алгоритма обучения моделей прогнозирования работы оборудования [8] и параметрической идентификации;

– алгоритма выявления отказов в условиях малого количества поломок;

– обобщенного алгоритма функционирования программного комплекса прогнозирования отказов оборудования уборочной группы прокатного производства, блок-схема которого представлена на рисунке 3.

Весь алгоритм можно разбить на 3 этапа: извлечение данных (зеленый блок), обучение моделей с параметрической идентификацией (синий блок) и мониторинг данных для выявления отказов роликов отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства (белый блок).

На первом этапе проводится извлечение данных из БД с последующей обработкой этих данных в нужном формате для сохранения в распределенную файловую систему Hadoop (HDFS). В качестве источника данных выбираются ретроспективные данные по крутящим моментам в % от номинала приводных электродвигателей рольгангов за двое суток работы оборудования. Данные соответствуют нормальной работе для всех основных режимов работы оборудования уборочной группы. При этом выполняется фильтрация данных для исключения

отказов M1 и M3, полученных от АСУТП до и во время сбоев работы оборудования. Исходная выборка составляет 4 месяца работы оборудования с дискретностью в 10 миллисекунд. Всего по 267 роликам объем исходной выборки составляет $276\,825{,}6 \cdot 10^6$ значений моментов.

На втором этапе проводится обучение всех моделей на основе алгоритма машинного обучения Random Forest, для каждого двигателя строится своя модель. Далее формируется выходная прогнозная модель, которая группирует все модели Random Forest для каждого ролика и модель ARIMA.

Внутри данной модели также внедрен функционал для определения стационарности работы оборудования и алгоритмы для работы с матрицами. Для этого подключены простые математические пакеты. В качестве скриптового языка прогнозирования используется объектно-ориентированный язык высокого уровня R. После успешного обучения все модели и итоговая модель сохраняются в HDFS. После успешного обучения модель тестируется на производительность.

Для работы в режиме реального времени требуется, чтобы модель выполнила все вычисления на каждой итерации менее чем за 1 секунду. При тестировании модели было установлено ограничение на максимальное количество деревьев решений.

Данные обработаны в режиме реального времени для 30 деревьев решений при средней ошибке прогнозирования для каждой модели 2,5 %.

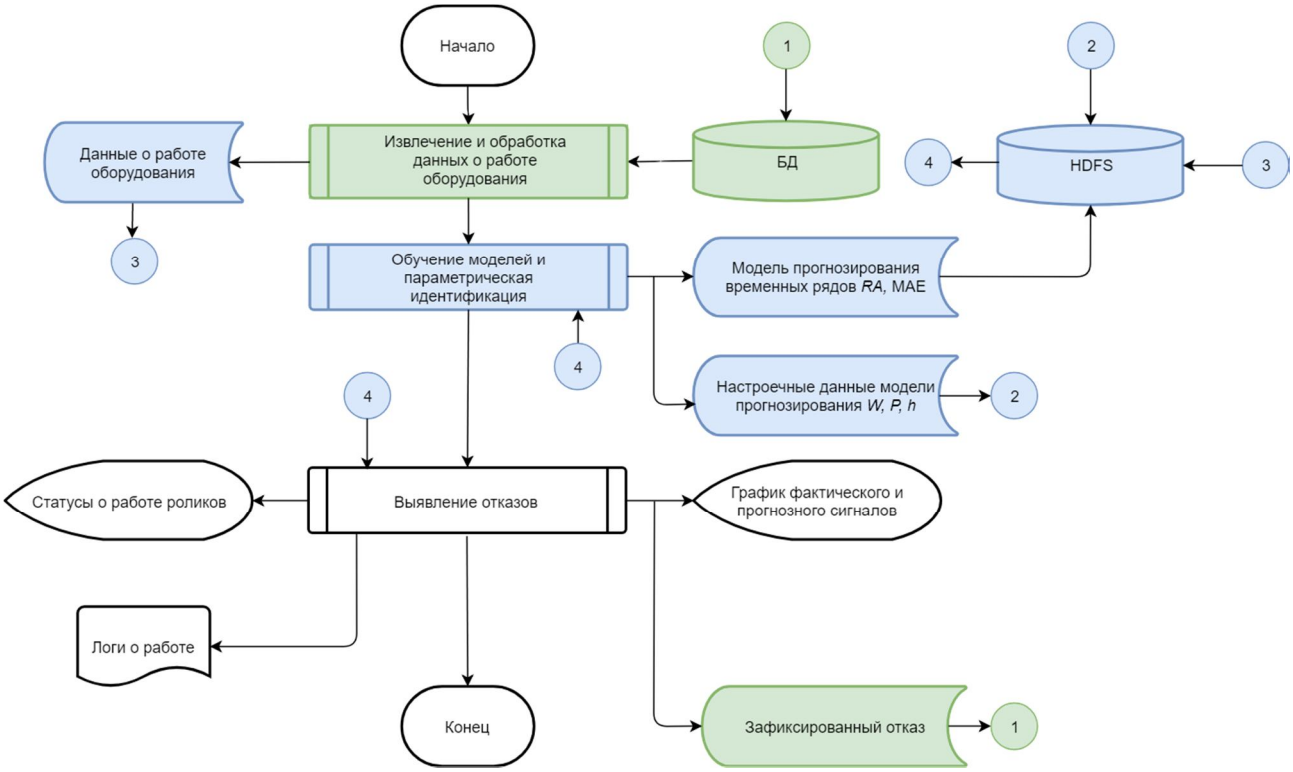


Рис. 3. Блок-схема обобщённого алгоритма функционирования программного комплекса

Далее проводится параметрическая идентификация модели, для этого требуется использовать все вычислительные мощности сервера с платформой Hadoop. На данном этапе подбираются 3 ключевых параметра – P, h_i, W. Порог h_i задается свой для каждого i-го двигателя. Данные также отправляются на хранение в HDFS [9-10]. В результате параметрической идентификации были определены следующие оптимальные значения параметров: W – *200* с; P – 0,9; h – в 0,4–1,5 раза превышает MAE в зависимости от двигателя.

Третий этап используется в режиме реального времени. Всего выполняются две итерации. В качестве входных параметров на первой итерации используются фактические данные с контроллера установки и модели прогнозирования временных рядов.

На данной итерации проводится прогнозирование всех моментов в указанном окне прогнозирования по всем фактическим моментам этого окна.

На второй итерации вычисляется наличие аномалии на всех двигателях уборочной группы прокатного производства. Для этого проводится сравнение разности показаний фактических и прогнозных значений моментов электродвигателей роликов относительно заданного окна и вычисляется доля превышения этой разности относительно указанного порога. В случае если было обнаружено, что вычисленная доля больше указанного при параметрической идентификации, то фиксируется аномалия, а данные об аномальной работе ролика и времени выявления отправляются в систему мониторинга работы оборудования, где в последующей перевалке ремонтная группа может проверить на наличие неисправностей указанных приводных электродвигателей.

Имитационное моделирование

Было проведено тестирование алгоритма прогнозирования отказов на выборке данных за 4 месяца работы оборудования. Выборка содержала 126 зафиксированных неисправностей, из них 7 отказов, которые привели к внеплановой остановке агрегата. В результате тестирования выполнен прогноз 1 отказа и 14 неисправностей за 4 часа до их реального наступления. По 6 отказам и 61 неисправности прогноз выполнен менее чем за 4 часа. Остальные 44 неисправности были зафиксированы в момент их наступления и 35 оповещений о них были отмечены как ложные.

Итоги моделирования следующие.

Всего зафиксировано отказов – 161, из них:

- 9,3 % – прогноз за 4 часа;
- 41,7 % – прогноз менее чем за 4 часа;
- 27,3 % – зафиксированы в момент наступления;
- 21,7 % – ложные.

Заключение

Разработанная модель, метод и алгоритмы прогнозирования отказов роликов отводящего рольганга уборочной группы прокатного производства реализованы в виде программного комплекса, программное обеспечение зарегистрировано в Роспатенте, свидетельство № 2017661580 от 22.05.2017 «Модель прогнозирования отказов в условиях малого количества поломок».

Достигнутые показатели выявленных и ложных срабатываний являются приемлемыми показателями для использования этих данных в планировании ремонтов оборудования, в сокращении количества внеплановых простоев.

Список литературы

1. Система диагностирования оборудования электропривода отводящего рольганга стана 2000 горячей прокатки / С. И. Лукьянов [и др.] //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2005. №. 4 (12).

2. Прогнозирование отказов роликов отводящего рольганга при производстве горячекатаного проката / Н. И. Шаханов, И. А. Варфоломеев, Е. В. Ершов, О. В. Юдина // Производство проката. 2018. № 7. С. 9–14.

3. Летова М. С. Реализация регрессивных и классификационных задач с помощью метода Random Forest // E-Scio. 2017. № 8 (11). С. 15–21.

4. Чистяков С. П. Случайные леса: обзор //Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2013. № 1.

5. Forest R. A Classification and Regression Tool for Compound Classification and QSAR Modeling Svetnik, Vladimir; Liaw, Andy; Tong, Christopher; Culberson, J. Christopher; Sheridan, Robert P.; Feuston, Bradley P //Journal of Chemical Information and Computer Sciences. 2003. Vol. 43, N 6. P. 1947–1958.

6. Пилюгина А. В., Бойко А. А. Использование моделей ARIMA для прогнозирования валютного курса // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 4. С. 249–267.

7. Шаханов Н. И., Юдина О. В. Определение пороговых значений нормальной работы для прогнозирования отказов оборудования // ЧНЧ – 2016: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Череповец, 2017. С. 216–218.

8. Осколков В. М. Применение параллельных вычислений для прогнозирования на основе алгоритма машинного обучения random forest //Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание-2017. Курск, 2017. С. 267–269.

9. A scalable high-performance distributed file system / W. Sage [et al.] // Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation.

10. The hadoop distributed file system / K. Shvachko [et al.] // Mass storage systems and technologies (MSST), 2010 IEEE 26th symposium on. Ieee, 2010. С. 1–10.

Поступила в редакцию 10.07.18

UDC 004.8

N. I. Shakhanov, Post-Graduate Student, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia). (e-mail: NikShakhanov@gmail.com)

E. V. Ershov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: ershov_ev@mail.ru)

O. V. Yudina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: ovyudina2010@mail.ru)

MODEL, METHOD AND ALGORITHMS FOR FAILURES PREDICTION OF ROLLERS OF THE ROLLER CONVEYOR OF THE ROLLING MILL GROUP

The method for failures equipment prediction has been proposed for the roller conveyor of the rolling mill group. Method based on the intellectual analysis of sensor readings on the torques of drive motors of the outgoing roller conveyor rollers. The method involves the using of the Random Forest, ARIMA machine learning algorithm for obtaining a prediction model of time series of torques. Model's training was conducted on the retrospective data on the torque during normal operation of the equipment. Analyze actual and calculated torque values were obtained by the model to predict equipment failures based on recorded anomalies in the operation of electric motors. Were given the description and the block diagram of a model predicting the time series of torques of the drive motors of the rollers of the harvesting group of the rolling production. Were determined requirements for the model. Algorithmic software has been developed for the software complex for predicting failures of electric motors of the rollers of the discharge roller table of the harvesting group of the rolling mill group on the basis of the method of prediction of failures and the model of prediction of time series of torques. The full algorithmic software package consists of: a distributed algorithm for collecting, storing, extracting and processing data on the equipment operation; distributed learning algorithm for predicting equipment operation and parametric identification; algorithm for detecting failures in conditions of a small number of failures; a generalized algorithm for the functioning of the software system for predicting failures of equipment of the harvesting group of rolling production. Was conducted testing of the algorithm for predicting failures on data sampling for 4 months of equipment operation. As a result of testing, it was found that the achieved indicators of detected and false positives are acceptable indicators for using this data in planning unit repairs, reducing the number of unplanned downtimes of the unit.

Keywords: *Failure prediction, machine learning, parametric identification method, prediction model, anomaly detection algorithm.*

For citation: Shakhanov N. I., Ershov E. V., Yudina O. V. Model, method and algorithms for failures prediction of rollers of the roller conveyor of the rolling mill group. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 50–59 (in Russ.).

***

References

1. Luk'yanov S. I., eds. Sistema diagnostirovaniya oborudovaniya ehlektroprivoda otvodyashchego rol'ganga stana 2000 goryachej prokatki. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova, 2005, no. 4 (12).

2. Shahanov N. I., Varfolomeev I. A., Ershov E. V., Yudina O. V. Prognozirovanie otkazov rolikov otvodyashchego rol'ganga pri proizvodstve goryachekatanogo prokata. Proizvodstvo prokata, 2018, no. 7, pp. 9–14.

3. Letova M. S. Realizaciya regressivnyh i klassifikacionnyh zadach s pomoshch'yu metoda Random Forest. E-Scio, 2017, no. 8 (11), pp. 15–21.

4. Chistyakov S. P. Sluchajnye lesa: obzor. Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2013, no. 1.

5. Forest R. A Classification and Regression Tool for Compound Classification and QSAR Modeling Svetnik, Vladimir; Liaw, Andy; Tong, Christopher; Culberson, J. Christopher; Sheridan, Robert P.; Feuston, Bradley P. Journal of Chemical Information and Computer Sciences, 2003, vol. 43, no. 6, pp. 1947–1958.

6. Pilyugina A. V., Bojko A. A. Ispol'zovanie modelej ARIMA dlya prognozirovaniya valyutnogo kursa. Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii, 2015, no. 4, pp. 249–267.

7. Shahanov N. I., Yudina O. V. Opredelenie porogovyh znachenij normal'noj raboty dlya prognozirovaniya otkazov oborudovaniya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «CHNCH – 2016», 2017, pp. 216–218.

8. Oskolkov V. M. Primenenie parallel'nyh vychislenij dlya prognozirovaniya na osnove algoritma mashinnogo obucheniya random forest. Optiko-ehlektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavaniya obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii «Raspoznavanie-2017». Kursk, 2017, pp. 267–269.

9. Sage W., eds. A scalable high-performance distributed file system. Proceedings of the 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation.

10. Shvachko K., eds. The hadoop distributed file system. Mass storage systems and technologies (MSST), 2010 IEEE 26th symposium on. Ieee, 2010, pp. 1–10.

УДК 681.5

Я. А. Лысенко, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: yanlys33@yandex.ru)

МОДЕЛЬ, МЕТОД И УСТРОЙСТВО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПОКАЗАНИЙ ПАНЕЛИ ПРИБОРОВ

Представлены модель, метод и устройство, которое в соответствии с рассчитанным расписанием осуществляет параллельный контроль показаний нескольких индикаторов, расположенных на панели приборов. Разработанная математическая модель формально описывает процесс контроля показаний панели приборов на основе генерации и подачи на вход панели тестовых сигналов, эмулирующих сигналы различных датчиков и обеспечивающих изменение показаний индикаторов в соответствии с рассчитанным расписанием, и последующего распознавания показаний индикаторов, расположенных на панели.

Модель включает функцию расчета расписания контроля, рассчитывающую расписание в виде множества моментов времени, в которые выполняется подача набора тестовых сигналов, контролирующего правильность отображения каждого индицируемого параметра панели приборов; функцию генерации тестовых сигналов, позволяющую получить «карту» диагностирования, которая описывает последовательность включения и выключения физических устройств, обеспечивающих генерацию наборов тестовых сигналов, эмулирующих работу датчиков; функцию локализации индикаторов на изображении, выделяющую двумерные массивы пикселей, содержащие изображения индикаторов, на основе исходного изображения и априорных данных о конкретной модели панели приборов; функцию определения показаний индикаторов, определяющую множество моментов времени, в которые инициируется процедура определения показаний каждого индикатора, а также выполняющую определение множества численных значений показаний индикаторов на основе распознавания индицируемых параметров с использованием алгоритмов определения показаний стрелочных, жидкокристаллических или световых индикаторов.

С помощью видеокамеры устройство получает изображение панели приборов (стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов). Устройством производится распознавание индуцируемых параметров по разработанным алгоритмам, затем принимается решение о правильности показаний.

По результатам проведенного экспериментального исследования показано, что разработанное устройство параллельного контроля показаний на основе расчета расписания обеспечивает сокращение общего времени контроля автомобильной комбинации приборов в среднем на 51,6%.

Ключевые слова*: панель приборов, индикатор, оптико-электронное устройство, аппаратно-ориентированный алгоритм, модель, метод.*

Ссылка для цитирования: Лысенко Я. А. Модель, метод и устройство параллельного контроля показаний панели приборов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 60–67.

***

Введение

Приборостроительная промышленность характеризуется ростом объемов выпуска электронных панелей приборов, содержащих различные индикаторы (стрелочные, жидкокристаллические, световые). Поскольку современные панели приборов, примерами которых являются авиационные приборы, медицинские панели индикации, автомобильные комбинации приборов, находят применение в различных областях приборостроения, существующий рост темпов производства панелей приборов приводит к возрастанию времени, затрачиваемого на контроль технического состояния панелей приборов на этапе приемосдаточных испытаний с использованием устройств автоматического контроля показаний.

Современный этап развития устройств автоматического контроля показаний панелей приборов характеризуется разработкой методов и устройств определения показаний отдельных средств индикации с использованием алгоритмов распознавания изображений. Результаты

данных исследований направлены на решение задач контроля показаний панелей приборов, содержащих единственный прибор индикации, и не учитывают сложность современных панелей приборов, содержащих набор нескольких различных типов приборов индикации, способных одновременно отображать информацию с использованием нескольких индикаторов. Известные устройства контроля показаний панелей приборов не позволяют производить параллельный контроль показаний нескольких индикаторов, а характеризуются применением метода последовательного контроля их показаний, обладающего недостаточным быстродействием, что приводит к возрастанию времени контроля. Возможно, однако, проводить одновременный параллельный контроль показаний нескольких индикаторов панели приборов, который делает необходимым определение моментов времени для одновременной подачи тестовых сигналов на входы контролируемого устройства и дальнейшего одновременного распознавания показаний нескольких приборов индикации в условиях ограничений на тип панели приборов и объем вычислительных ресурсов устройства контроля по критерию минимизации суммарного времени технического контроля.

Постановка задачи

Имеет место противоречие между требуемым быстродействием устройств контроля показаний панелей приборов и оперативно-техническими возможностями существующих аппаратно-программных средств. Разрешение этого противоречия определяет задачу разработки модели, метода и оптико-электронного устройства параллельного контроля показаний панели приборов, использующих расписание контроля и обеспечивающих сокращение его времени на этапе приемосдаточных испытаний [1].

Модель и метод

Для построения устройства параллельного контроля показаний панели приборов, определения его технических характеристик разработана математическая модель параллельного контроля показаний, позволяющая производить параллельный одновременный контроль показаний нескольких индикаторов в соответствии с рассчитанным расписанием.

Математическая модель [7, 9] формально описывает процесс контроля показаний панели приборов на основе генерации и подачи на вход панели тестовых сигналов, эмулирующих сигналы различных датчиков и обеспечивающих изменение показаний индикаторов в соответствии с рассчитанным расписанием, и последующего распознавания показаний индикаторов, расположенных на панели.

Математическая модель записывается в виде

$$M = \left(F_P, F_{ОП}, F_{ГС}, F_{РК}, F_{ЛИ}, F_{ВИ}\right), \quad (1)$$

где $F_{РК}$ – функция расчета расписания контроля, рассчитывающая расписание в виде множества моментов времени, в которые выполняется подача набора тестовых сигналов, контролирующего правильность отображения каждого индицируемого параметра панели приборов;

$F_{ГС}$ – функция генерации тестовых сигналов, позволяющая получить «карту» диагностирования, которая описывает последовательность включения и выключения физических устройств, обеспечивающих генерацию наборов тестовых сигналов, эмулирующих работу датчиков;

$F_{ВИ}$ – функция ввода изображения, формирующая двумерный массив пикселей изображения панели приборов в градациях серого;

$F_{ЛИ}$ – функция локализации индикаторов на изображении, выделяющая двумерные массивы пикселей, содержащие изображения индикаторов, на основе исходного изображении и априорных данных о конкретной модели панели приборов;

$F_{ОП}$ – функция определения показаний индикаторов, определяющая множе-

ство моментов времени, в которые инициируется процедура определения показаний каждого индикатора, а также выполняющая определение множества численных значений показаний индикаторов на основе распознавания индицируемых параметров с использованием алгоритмов определения показаний стрелочных, жидкокристаллических или световых индикаторов;

F_P – функция определения правильности показаний панели приборов, обеспечивающая принятие решения о правильности показаний на основе выходных данных функции распознавания $F_{ОП}$ и заранее определенного множества эталонных значений индицируемых параметров.

Разработанная математическая модель учитывает возможность панели приборов одновременно отображать разнородную информацию с использованием нескольких индикаторов и отличается расчетом расписания диагностирования для осуществления параллельного контроля нескольких индицируемых параметров с целью сокращения времени технического контроля панели приборов.

В соответствии с разработанной математической моделью метод параллельного контроля показаний панели приборов на основе расчета расписания контроля [10] включает в себя последовательность следующих этапов:

1. Расчет расписания контроля, определяющего моменты времени генерации тестовых сигналов и моменты времени регистрации изображения.

2. Подача тестовых сигналов, имитирующих работу датчиков, для всех индицируемых параметров панели приборов в соответствии с рассчитанным расписанием и последующее распознавание индицируемых параметров с использованием алгоритмов определения показаний индикаторов.

3. Расчет коэффициентов правильности отображения каждого индицируемого параметра.

4. Принятие решения о правильности показаний панели приборов на основе расчета показателя, принимающего значение 1 в случае правильности показаний всех индикаторов и значение 0 при наличии хотя бы одного неверного показания индикатора, в зависимости от значения которого показания считаются правильными либо неверными.

Для реализации описанного метода разработаны аппаратно-ориентированные алгоритмы определения показаний стрелочных индикаторов, определения показаний жидкокристаллического дисплея и определения показаний световых индикаторов.

Алгоритм определения показаний стрелочных индикаторов [6] содержит следующие шаги:

1. Получение изображений $F^0(i,j)$, $F^1(i,j)$ шкалы стрелочного индикатора, соответствующих начальному и конечному показанию.

2. Выполнение вычитания двух изображений

$$R(x,y) := F^1(i,\mathrm{j}) - F^0(i,\mathrm{j})$$

и формирование двух массивов по правилу

$$\left\{f^-(i,j), f^+(i,j)\right\} = \nabla R(i,j),$$

где $\nabla = \begin{vmatrix} R(i,j) \geq 0, & | R(i,j) \to f^-(i,j) \\ R(i,j) < 0, & | R(i,j) \to f^+(i,j) \end{vmatrix}$ – оператор, учитывающий знак разности, формирующий массивы;

$R(i,j)$ – модуль разности; при этом один массивов содержит изображение указателя $f^-(i,j)$, соответствующего начальному показанию, другой – конечному $f^+(i,j)$.

3. Формирование бинаризованных изображений $I^{(0)}(i,j)$, $I^{(1)}(i,j)$ на основе изображений $f^-(i,j)$, $f^+(i,j)$.

4. Сканирование изображений $I^{(0)}(i,j)$, $I^{(1)}(i,j)$ по всем пикселям с це-

лью определения координат $O(x_0, y_0)$ центра стрелочного указателя:

$$\begin{cases} x_0 = \sum\limits_{\forall I_{ij}=1;\, i=\overline{0,h-1};\, j=\overline{0,w-1}} i \Big/ n; \\ y_0 = \sum\limits_{\forall I_{ij}=1;\, i=\overline{0,h-1};\, j=\overline{0,w-1}} j \Big/ n, \end{cases} \quad (2)$$

где n – число черных пикселей на изображении $I(i, j)$.

5. Сканирование изображений $I^{(0)}(i, j)$, $I^{(1)}(i, j)$ по всем черным пикселям с целью определения координат точек $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ центров образованных отрезков.

6. Вычисление угла наклона указателя на изображениях $I^{(0)}(i, j)$, $I^{(1)}(i, j)$ по координатам двух точек $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$, используя формулу $tg(\varphi) = \dfrac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$;

7. Преобразование найденных значений $\mathrm{tg}(\varphi)$ для начального и конечного положения стрелочного указателя с использованием заранее определенных табличных значений в численные значения φ_A, φ_B углов отклонения указателей.

8. Вычисление значения искомого угла φ по формуле $\varphi := |\varphi_B - \varphi_A|$, затем вычисление значения показания стрелочного индикатора W с использованием табличных значений на основе рассчитанного значения угла φ.

Аппаратно-ориентированный алгоритм определения показаний жидкокристаллического дисплея [3, 4, 8] включает в себя следующие этапы:

1. Изменение размеров изображения. Данный этап реализуется с применением метода билинейной интерполяции, показывающей стабильный результат при небольших требованиях к вычислительной способности ЭВМ.

Значение яркости каждого пикселя новой сетки вычисляется по формуле

$$\begin{gathered} I_{i,j} = (1-\Delta x)(1-\Delta y) I_{k,l} + \Delta x (1-\Delta y) I_{k+1,l} + (1-\Delta x)\Delta y I_{k,l+1} + \Delta x \Delta y I_{k+1,l+1}; \\ i = \overline{0, H_N - 1}, \quad j = \overline{0, W_N - 1}, \quad k = \overline{0, H_O - 1}, \quad l = \overline{0, W_O - 1}, \end{gathered} \quad (3)$$

где i, j – индексы пикселей новой сетки;

k, l – индексы пикселей старой сетки;

$I_{k,l}, I_{k+1,l}, I_{k,l+1}, I_{k+1,l+1}$ – значения яркостей пикселей старой сетки;

$\Delta x, \Delta y$ – относительные расстояния от ближайшего пикселя старой сетки до пикселя новой сетки по оси Ox и Oy соответственно;

H_N, W_N – высота и ширина новой сетки;

H_O, W_O – высота и ширина старой сетки.

2. Бинаризация изображения. На этапе бинаризации изображение приводится к виду 1 бит/пиксель путем сравнения значения каждого пикселя изображения с пороговым значением q и принятием нового значения пикселя из множества $\{0, 1\}$.

3. Разбиение изображения на прямоугольные области нахождения различных символов, состоящих из сегментных индикаторов. При этом каждая область имеет определенный размер и координаты расположения.

4. Определение значения каждого символа на основе сравнения распознаваемого символа с символами из набора готовых шаблонов по критерию максимальной попиксельной идентичности двух изображений.

5. Завершающее определение текущего режима индикации на основе анализа совокупности распознанных символов, расчет численного значения показаний жидкокристаллического дисплея.

Аппаратно-ориентированный алгоритм определения показаний световых индикаторов включает в себя следующие этапы:

1. Изменение размеров изображения.

2. Бинаризация изображения $O(n,m)$ индикатора в соответствии с заданным порогом q с использованием функции бинаризации световых индикаторов $f_B(O(n,m),q)$.

3. Определение признака работоспособности светового индикатора на основе сравнения распознаваемого изображения с изображениями из набора готовых шаблонов по критерию максимальной попиксельной идентичности двух изображений, т.е. нахождения такого шаблона $e^{(j)}$ из множества шаблонов $E=\{e^{(j)}\}$, соответствующего изображению v, что

$$e^{(j)}, j = \max_{\substack{k \\ \forall k=\overline{0,1}}}\left(\sum_{i=1}^{w}\sum_{j=1}^{h} d_k, k = \begin{cases} 1, если\ v_{ij} = e_{ij}^{(k)}; \\ 0, если\ v_{ij} \neq e_{ij}^{(k)}; \end{cases}\right), \quad (4)$$

при этом шаблон $e^{(0)}$ соответствует изображению включенного светового индикатора, шаблон $e^{(1)}$ соответствует изображению выключенного светового индикатора.

4. Определение текущего режима индикации светового индикатора на основе априорной информации о режимах индикации панели приборов.

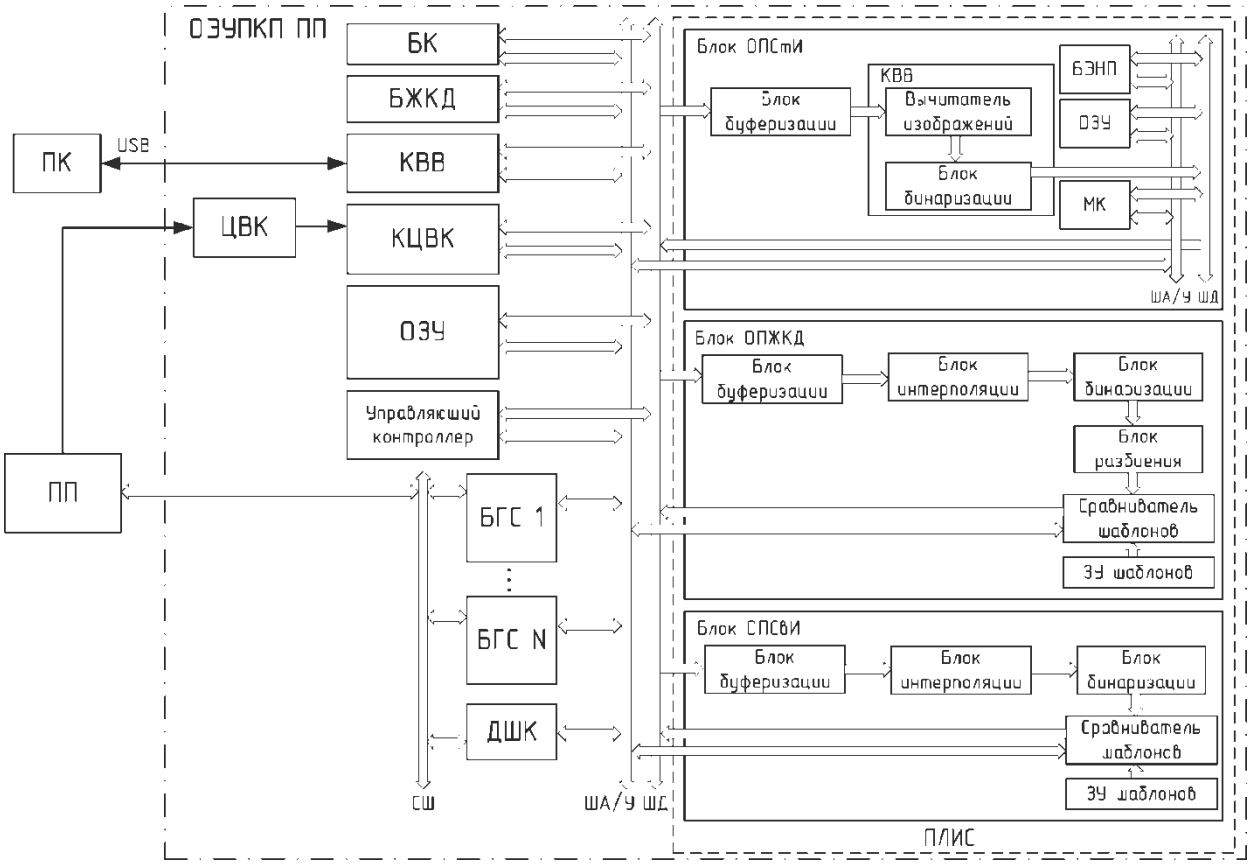


Рис. Структурно-функциональная схема устройства параллельного контроля показаний панели приборов

Структурно-функциональная схема оптико-электронного устройства параллельного контроля показаний панели приборов показана на рисунке [2, 5].

В состав устройства входит цифровая видеокамера (ЦВК), контроллер цифровой видеокамеры (КЦВК), ОЗУ, блок определения показаний стрелочных индикаторов (БОПСтИ), блок определения

показаний жидкокристаллического дисплея (БОПЖКД), блок определения показаний световых индикаторов (БОПСвИ), блок клавиш (БК), блок жидкокристаллического дисплея (БЖКД), контроллер ввода-вывода (КВВ), N блоков генерации сигнала (БГС 1,…, БГС N), дешифратор клавиш (ДШК), шина адреса и управления (ША/У), шина данных (ШД). Основная часть вычислений реализована на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС).

Отличительной новизной структурно-функциональной схемы устройства параллельного контроля показаний панели приборов является введение параллельно функционирующих аппаратных блоков определения показаний стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов и связей между блоками, а также введение блоков генерации сигналов, функционирующих независимо друг от друга, что в совокупности позволяет решить задачу сокращения времени технического контроля панели приборов за счет осуществления параллельного контроля показаний индикаторов.

Реализация устройства наиболее удобна на ПЛИС семейства Zynq-7000, представляющего семейство так называемых «систем на кристалле» (SoC) с различными сочетаниями производительности процессорной части и объёма программируемой логики.

Эксперимент

В результате проведенного экспериментального исследования разработанного устройства с помощью аппаратно-программного стенда были получены данные по быстродействию, показанные в таблице.

Сравнительный анализ быстродействия устройств

Устройство	Контроль показаний индикаторов	Время контроля показаний, с	Общее время технического контроля, с
Известное устройство контроля показаний панелей приборов (Soliton Technologies)	последовательный	145	302
Разработанное устройство параллельного контроля показаний панели приборов	параллельный	70	146

Заключение

По результатам проведенного экспериментального исследования показано, что разработанное устройство параллельного контроля показаний панели приборов на основе расчета расписания обеспечивает сокращение общего времени контроля автомобильной комбинации приборов в среднем на 51,6% за счет осуществления параллельного контроля показаний нескольких индикаторов по сравнению с известными устройствами, использующими алгоритм последовательного контроля индицируемых параметров.

Список литературы

1. Лысенко Я. А., Дегтярев С. В., Иванова Е. Н. Синтез структур устройств контроля показаний панели приборов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13, № 6. С. 20–25.

2. Оптико-электронное устройство параллельного контроля показаний панели приборов / Я. А. Лысенко, С. В. Дегтярев, Е. Н. Иванова, А. И. Катыхин // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14, № 10. С. 31–33.

3. Аппаратно-ориентированный алгоритм определения показаний жидкокристалличекого дисплея / Я. А. Лысенко, С. В. Дегтярев, Е. Н. Иванова, П. П. Воробьев // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15, № 5. С. 54–56.

4. Сидаш А. Л. Применение инструментальных методов для контроля выполнения передачи мяча двумя руками сверху в волейболе // Биомеханика спортивных двигательных действий и современные инструментальные методы их контроля: материалы Всероссийской научно-практической конференции. М.: 2013. С. 138–143.

5. Пат. 166565 Рос. Федерация, МКИ G01R 35/00. Оптико-электронное устройство параллельного контроля показаний панели приборов / Лысенко Я. А., Дегтярев С. В. № 2016110567/28; заявл. 22.03.16; опубл. 10.12.16, Бюл. № 34.

6. Головенков Е. В., Дегтярев С. В. Метод и устройство автоматической поверки стрелочных контрольно-измерительных приборов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 1. С. 211–216.

7. Лысенко Я. А. Параллельный контроль показаний панели приборов // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы: материалы докладов III региональной заочной научно-практической конференции «ИИС-2015». Курск, 2015. С. 101.

8. Лысенко Я.А., Иванова Е. Н. Алгоритм определения показаний жидкокристалличекого дисплея // Интеллектуальные и информационные системы: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции. Тула, 2016. С. 84–86.

9. Лысенко Я. А., Дегтярев С. В. Математическая модель расчета расписания диагностирования при параллельном контроле показаний панелей приборов // Перспективы развития научных исследований в 21 веке.: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. Махачкала, 2017. С. 23–25.

10. Аверин В. А., Лысенко Я. А. Метод автоматизации процедур выходного контроля показаний приборов на производственном этапе жизненного цикла технических систем // Технические науки: проблемы и решения: сборник статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. М.: Интернаука, 2017. № 6(5). С. 70–74.

Поступила в редакцию 10.06.18

UDC 681.5

Ja. A. Lysenko, Research Associate, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: yanlys33@yandex.ru)

MODEL, METHOD AND PARALLEL CONTROL DEVICE OF READINGS OF INSTRUMENT PANEL

A model, method and device are presented, which, in accordance with the calculated schedule, carries out parallel control of the readings of several indicators located on the instrument panel. The developed mathematical model formally describes the process of monitoring the instrument panel readings based on generating and inputting test signals to the panel, which emulates the signals of various sensors and provides changes in the indications of indicators in accordance with the calculated schedule, and subsequent recognition of indications of indicators located on the panel. The model includes the function of calculating the control schedule, which calculates the schedule in the form of a set of points in time at which the set of test signals is supplied, which controls the correct display of each displayed dashboard parameter; the function of generating test signals that allows you to get a "map" of diagnosis, which describes the sequence of switching on and off physical devices that provide the generation of sets of test signals that emulate the operation of sensors; the function of localization of indicators on the image, highlighting two-dimensional arrays of pixels containing the images of indicators, based on the original image and a priori data about a specific model of the instrument panel; the

function of determining indications of indicators, determining the set of points in time at which the procedure for determining indications of each indicator is initiated, as well as determining the set of numerical values of indications of indicators based on the recognition of indicated parameters using algorithms for determining indications of dial, liquid-crystal or light indicators. Using a video camera, the device receives an image of the instrument panel (dial gauges, liquid crystal display, light indicators). The device recognizes the induced parameters according to the developed algorithms, then a decision is made on the correctness of the readings. According to the results of the experimental study, it was shown that the developed device for parallel control of the instrument panel readings based on the schedule calculation provides a reduction in the total time for monitoring the automotive instrument cluster by an average of 51.6%.

Key words*: instrument panel, indicator, optoelectronic device, hardware-oriented algorithm, model, method.*

For citation: Lysenko Ja. A. Model, method and parallel control device of readings of instrument panel. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 60–67 (in Russ.).

***

References

1. Lysenko Ya. A., Degtyarev S. V., Ivanova E. N. Sintez struktur ustrojstv kontrolya pokazanij paneli priborov. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2015, vol. 13, no. 6, pp. 20–25.

2. Lysenko Ya. A., Degtyarev S. V., Ivanova E. N., Katyhin A. I. Optiko-ehlektronnoe ustrojstvo parallel'nogo kontrolya pokazanij paneli priborov. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2016, vol. 14, no. 10, pp. 31–33.

3. Lysenko Ya. A., Degtyarev S. V., Ivanova E. N., Vorob'ev P. P. Apparatno-orientirovannyj algoritm opredeleniya pokazanij zhidkokristallichekogo displeya. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2017, vol. 15, no. 5, pp. 54–56.

4. Sidash A. L. Primenenie instrumental'nyh metodov dlya kontrolya vypolneniya peredachi myacha dvumya rukami sverhu v volejbole. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Biomekhanika sportivnyh dvigatel'nyh dejstvij i sovremennye instrumental'nye metody ih kontrolya». Moscow, 2013, pp. 138–143.

5. Lysenko Ya. A., Degtyarev S. V. Optiko-ehlektronnoe ustrojstvo parallel'nogo kontrolya pokazanij paneli priborov. Patent RF, no. 166565, 2016.

6. Golovenkov E. V., Degtyarev S. V. Metod i ustrojstvo avtomaticheskoj poverki strelochnyh kontrol'no-izmeritel'nyh priborov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 1, pp. 211–216.

7. Lysenko Ya. A. Parallel'nyj kontrol' pokazanij paneli priborov. Materialy dokladov III regional'noj zaochnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Intellektual'nye informacionnye sistemy: tendencii, problemy, perspektivy». Kursk, 2015. P. 101.

8. Lysenko Ya. A., Ivanova E. N. Algoritm opredeleniya pokazanij zhidkokristallichekogo displeya. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Intellektual'nye i informacionnye sistemy». Tula, 2016, pp. 84–86.

9. Lysenko Ya. A., Degtyarev S. V. Matematicheskaya model' rascheta raspisaniya diagnostirovaniya pri parallel'nom kontrole pokazanij panelej priborov. Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Perspektivy razvitiya nauchnyh issledovanij v 21 veke». Mahachkala, 2017, pp. 23–25.

10. Averin V. A., Lysenko Ya. A. Metod avtomatizacii procedur vyhodnogo kontrolya pokazanij priborov na proizvodstvennom ehtape zhiznennogo cikla tekhnicheskih system. Sbornik statej po materialam VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Tekhnicheskie nauki: problemy i resheniya». Moscow, Internauka Publ., 2017, no. 6(5), pp. 70–74.

УДК 656.13.658

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

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

И. О. Кирильчук, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: iraida585@mail.ru)

А. В. Гнездилова, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ СВАЛОК

В статье рассмотрены основные этапы разработки информационно-аналитической системы учета несанкционированных свалок, предназначенной для автоматизированного формирования маршрутных схем сбора и устранения несанкционированных свалок коммунальных отходов в городских системах, оптимизации планирования процессов транспортировки отходов с учетом данных мониторинга и расчета экологической опасности свалок, предотвращенного экологического ущерба и финансовых затрат на осуществление процессов сбора и транспортировки. Описаны основные достижения в процессе реализации системы, включающие ликвидацию несанкционированных свалок на муниципальной территории на основе результатов расчета класса экологической опасности, снижение отрицательного воздействия коммунальных отходов на окружающую среду и состояние здоровья городского населения на основе мониторинга и оценки характеристик экологического ущерба.

Представлена структурно-функциональная организация разработанной системы, рассмотрены ее основные блоки, включающие расчетные модули, информационно-аналитический интерфейс, блок формирования маршрута, блок визуализации, подсистему формирования информационного обеспечения, включающую базу данных логистической компоненты и базу данных несанкционированных свалок. Авторами разработан алгоритм функционирования данной системы, перечислены ее основные элементы.

Представлены разработанные программные продукты, являющиеся частью информационно-аналитической системы. К основным из них относятся: программа для расчета класса экологической опасности свалок; программа для расчета предотвращенного экологического ущерба; программа для расчета экономических затрат.

Ключевые слова: *несанкционированные свалки, информационно-аналитическая система, автоматизированная информационная система.*

Ссылка для цитирования: Разработка элементов информационно-аналитической системы учета несанкционированных свалок / В. В. Юшин, В. М. Попов, И. О. Кирильчук, А. В. Гнездилова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 68–80.

***

Введение

Согласно ежегодным государственным докладам «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» ситуация с управлением отходами является неутешительной и имеет тенденцию ухудшаться – помимо постоянного роста количества отходов ежегодно увеличиваются затраты на транспортировку, переработку и размещение промышленных и твердых коммунальных отходов.

На государственном совете по вопросу «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» было отмечено: «Еще одна важная задача – обезвреживание отходов производства и потребления. Их общее

количество сейчас свыше 70 млрд тонн. Мусор выбрасывают, где придется и как придется, и такие свалки занимают почти 48 тысяч гектаров».

На территории Российской Федерации наибольшее количество отходов образуется в крупных агломерациях, где сосредоточены промышленные предприятия и урбанизированные территории. Это обуславливает загрязнение пригородных территорий и примыкающих к городским округам природных ландшафтов как промышленными отходами (вблизи мест их образования), так и твердыми коммунальными отходами.

В Курской области, так же как и в России, в настоящее время основной задачей природоохранной деятельности в обеспечении экологической безопасности является решение проблемы утилизации твердых коммунальных отходов.

Постановка задачи

Особую опасность представляют несанкционированные свалки, которые являются одним из самых значительных факторов техногенного воздействия. К последствиям захламления земель несанкционированными свалками относятся: накопление токсичных веществ в растительном сообществе, уничтожение растительности и почвенной биоты вследствие пожаров, возникающих на свалках, ограничение водопользования и тому подобное. В результате чего возникает необходимость в оперативной обнаружении и уборке стихийных несанкционированных свалок. При этом актуальной является проблема отсутствия информационно-аналитического обеспечения в процессе сбора и транспортировки коммунальных отходов.

Рассмотрение описанных выше проблем, по нашему мнению, должно лежать в социально-экономической плоскости, так как без учета и развития социальной ответственности решить их на сегодняшнем уровне невозможно. Одним из направлений повышения социальной ответственности, на наш взгляд, может стать широкое вовлечение общественности в процесс обнаружения несанкционированных свалок с целью их оперативного устранения.

Метод, предложенный в статье

В ходе проведенного исследования были проанализированы различные природоохранные программные продукты, реализующие ГИС-технологию и предназначенные для контроля образования несанкционированных свалок [1-4]. В таблице представлены результаты проведенного анализа.

Сравнительный анализ аналогов

Название системы	ГИС СПГУ	ГИС г. Казань	ГИС ЯНАО	ГИС «Чистый город»
Программная оболочка является универсальной	-	-	-	-
Наличие расчёта потенциальной опасности обнаруженных несанкционированных свалок	-	-	-	-
Возможность функционирования системы без регулярного финансирования	-	-	-	-
Возможность выделения приоритетов при уборке	-	-	+	+

Окончание табл.

Название системы	ГИС СПГУ	ГИС г. Казань	ГИС ЯНАО	ГИС «Чистый город»
Комплексное решение проблемы	-	-	+	+
Возможность обрат. связи	+	-	-	-
Тесная связь с природоохранными ведомствами	+	-	-	+
Создание логистической системы	-	-	-	+
Дополнительный расчёт произошедших изменений	+	-	-	-
Онлайн-контроль за ситуацией	+	+	+	+
Возможность получения спутниковых снимков	+	+	+	+

Все рассмотренные ГИС представляют разнообразные и эффективные инструменты, которые необходимо внедрять в систему управления отходами, однако они не обеспечивают возможность широкого привлечения населения к процессу обнаружения несанкционированных свалок.

Для решения поставленной выше проблемы была разработана информационно-аналитическая система учета стихийных несанкционированных свалок.

Цель разработки данной системы – оперативный учет и оценка экологической опасности стихийных несанкционированных свалок ТКО и составление на этой основе планов санитарной уборки города.

Структурно-функциональное моделирование

Информационно-аналитическая система учета стихийных несанкционированных свалок реализована в виде интерактивного многофункционального веб-сервиса, использующего геоинформационную технологию, и обеспечивает реализацию процедур расчета класса экологической опасности свалки (с использованием авторского метода), финансовых затрат и экологического ущерба в результате сбора и перевозки ТКО.

На основании расчетов с использованием элементов нечеткой логики формируются ранжированные перечни стихийных несанкционированных свалок, подлежащих первоочередной ликвидации.

В структуру программной системы входят следующие функциональные элементы:

– интерфейс информационно-аналитической системы;

– блок визуализации (ГИС, web-технологии);

– блок баз данных (база данных несанкционированных свалок, база данных логистической компоненты);

– расчетные модули (расчет экономических затрат, расчет экологического ущерба, расчет класса экологической опасности несанкционированной свалки с использованием авторского метода).

Полная структурно-функциональная организация информационной автоматизированной системы представлена на рисунке 1.

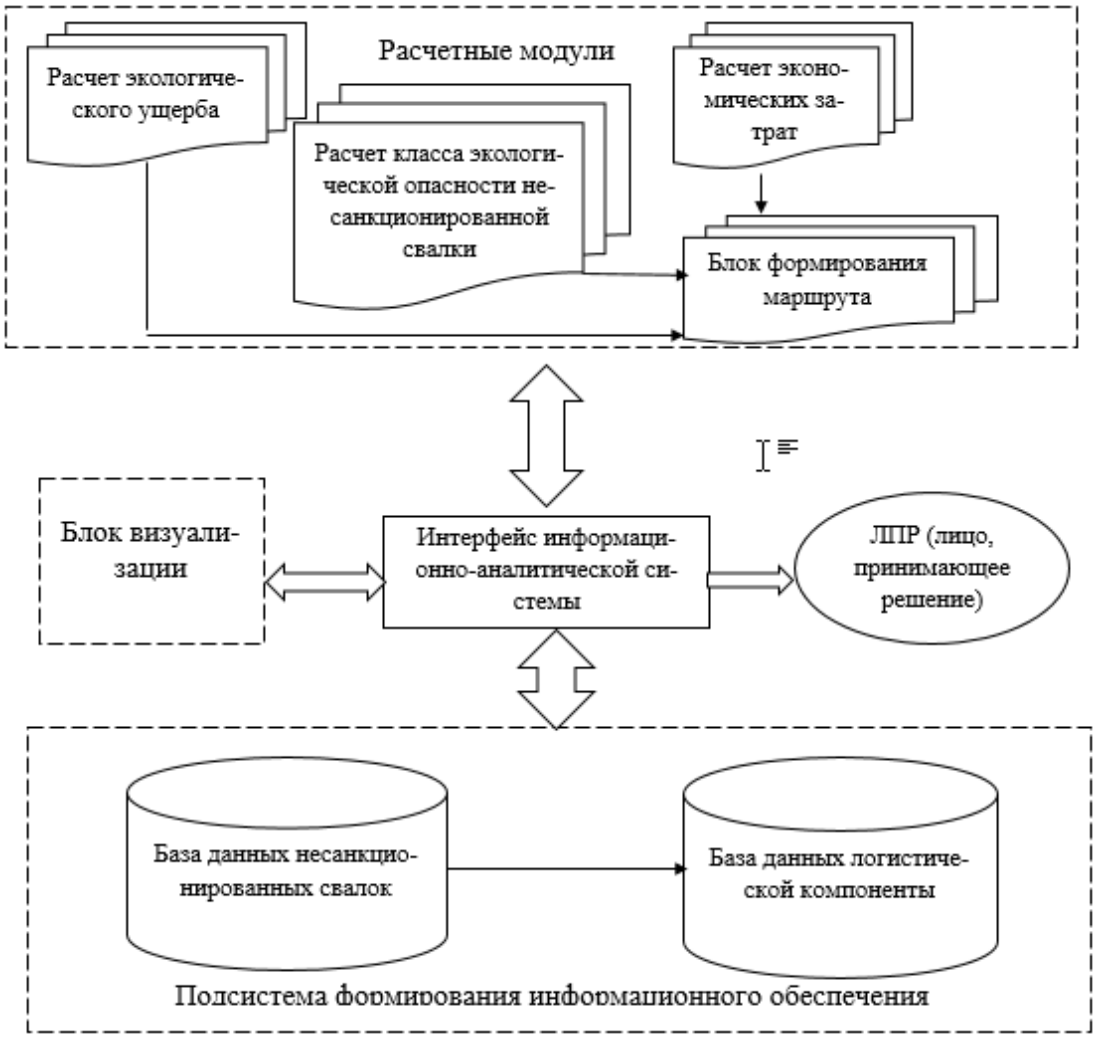


Рис. 1. Структурно-функциональная организация системы

Алгоритм функционирования информационно-аналитической системы представлен на рисунке 2.

Интерфейс информационно-аналитической системы в виде интернет-портала разработан с помощью системы управления содержимым Joomla, реализующей язык JavaScript и использующей в качестве хранилища базы данных СУБД MySQL.

Интерфейс информационно-аналитической системы позволяет:

– проводить диалог с пользователем и управлять поведением программы;

– задавать диалог, позволяющий редактировать входные данные;

– отображать результаты расчёта и маршруты сбора твердых коммунальных отходов;

– выводить рассчитанную информацию и построенные маршруты на печать.

Блок визуализации реализует отображение интерактивных карт населенных пунктов, загружаемых с сервиса Яндекс.Карты, местоположения несанкционированных свалок, маршруты транспортировки отходов.

В базе данных несанкционированных свалок содержатся сведения о морфологическом составе свалки, месте и времени ее существования. Структура базы данных несанкционированных свалок представлена на рисунке 3.

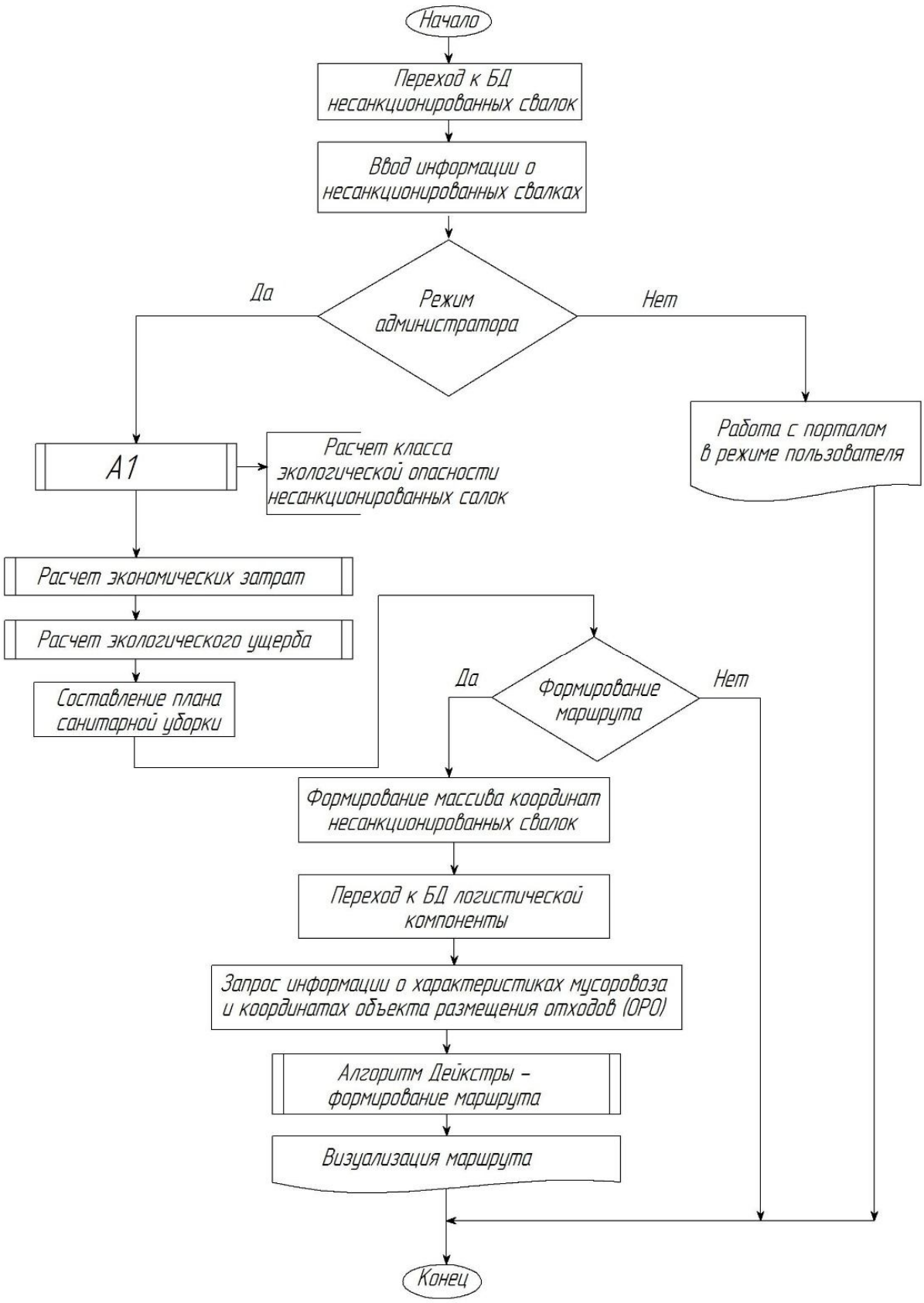


Рис. 2. Алгоритм функционирования информационно-аналитической системы

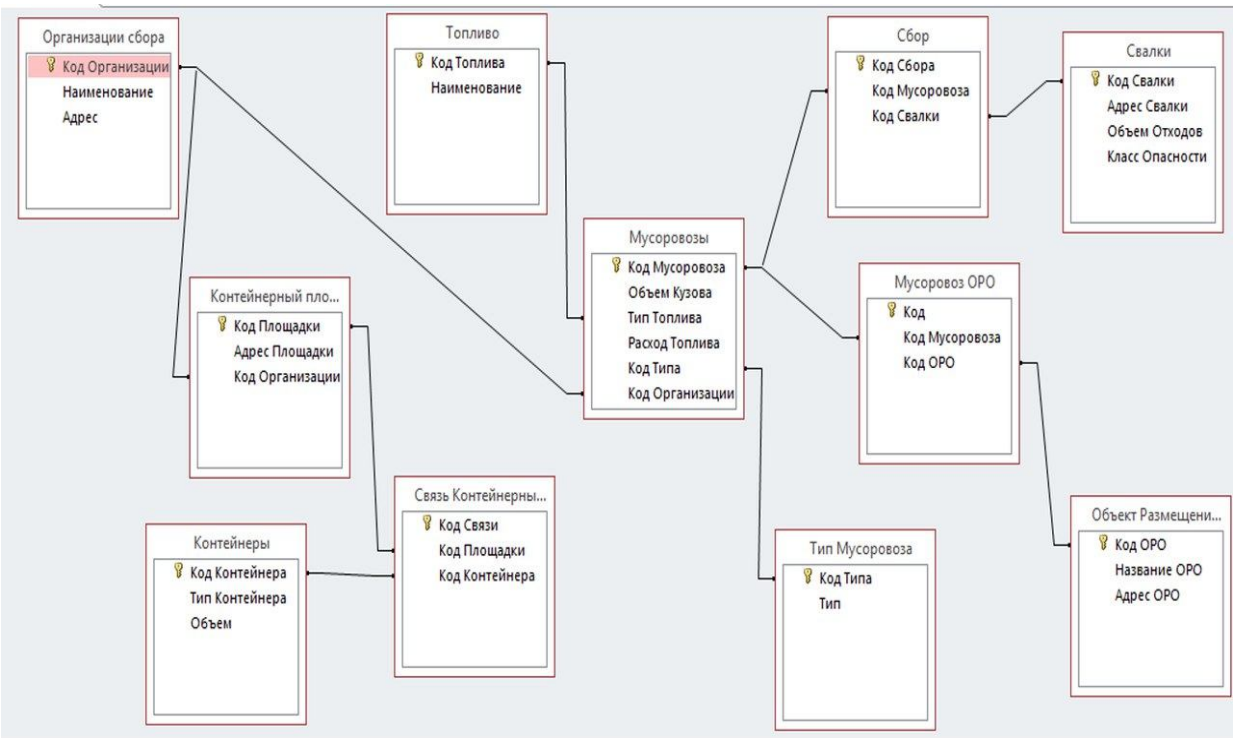


Рис. 3. Структура базы данных несанкционированных свалок

В базе данных логистической компоненты содержатся сведения о мусоровозах, точках сбора коммунальных отходов и об объектах размещения отходов.

Структура базы данных логистической компоненты представлена на рисунке 4.

Все расчеты осуществляются с использованием подключаемых внешних программных модулей, разработанных в среде Visual Pro.

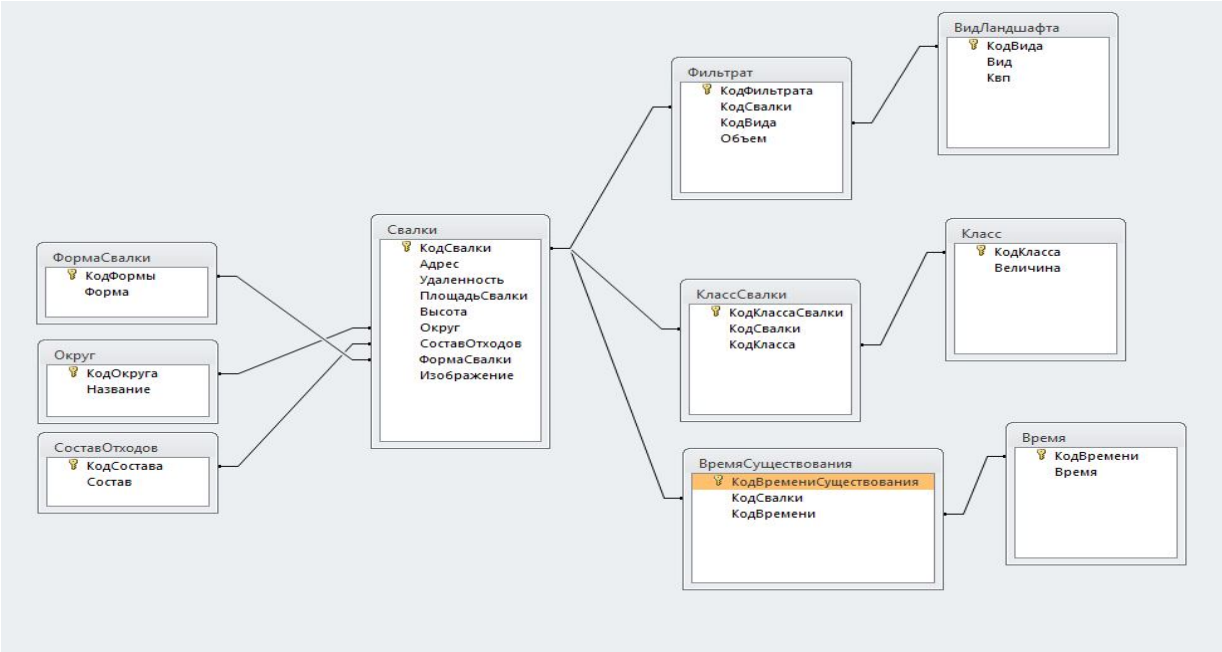


Рис. 4. Структура базы данных логистической компоненты

Обсуждение результатов

Интерфейс интернет-портала по учёту стихийных несанкционированных свалок, на котором каждый неравнодушный житель города может отметить обнаруженную им несанкционированную свалку и заполнить пользовательскую анкету, необходимую для расчета класса экологической опасности свалки, представлен на рисунке 5. Адрес портала www.dev.im46.ru.

Работа с интернет-порталом в режиме пользователя и администратора, а также особенности заполнения пользовательской анкеты рассмотрены в [5].

Расчет класса экологической опасности несанкционированной свалки осуществляется на основании «Способа экспресс-оценки опасности несанкционированных свалок» [6].

Алгоритм расчета представлен на рисунке 6.

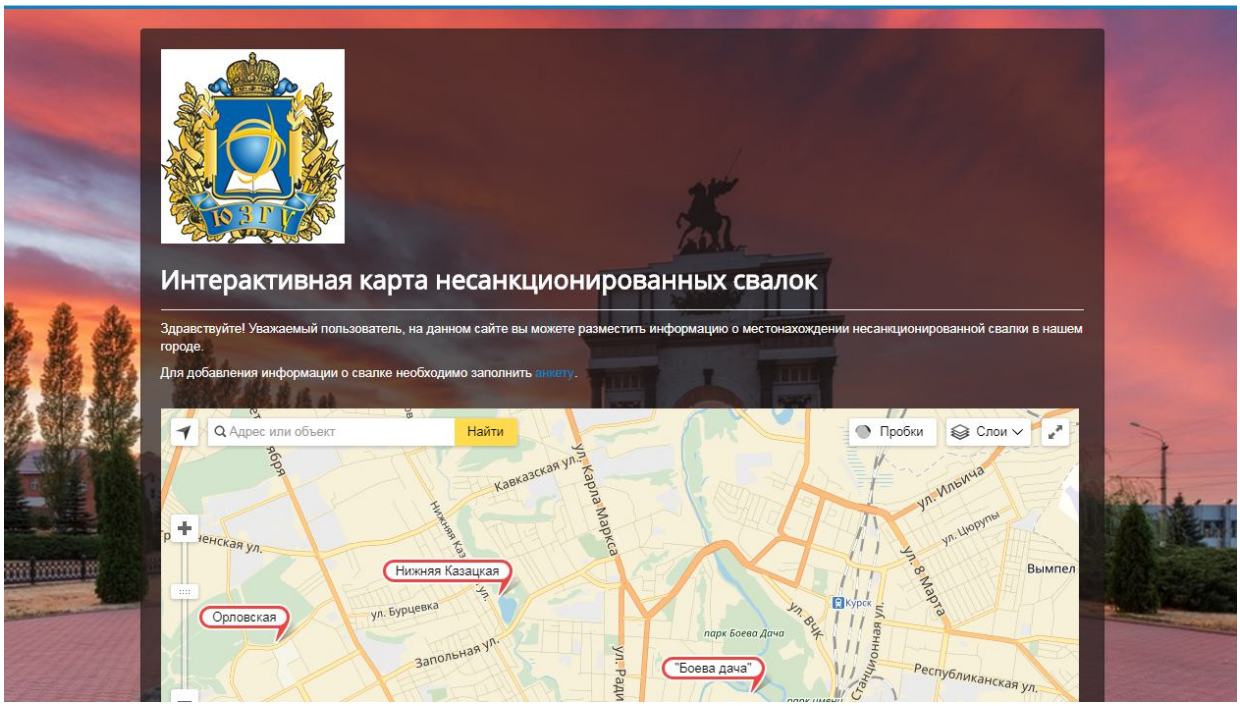


Рис. 5. Интерфейс интернет-портала по учету стихийных несанкционированных свалок

Стадии разработки авторского метода экспресс-оценки класса экологической опасности стихийных несанкционированных свалок, особенности его использования и результаты апробации изложены в [7].

Интерфейс программных модулей, реализующих процедуру оценки опасности несанкционированных свалок, представлен на рисунках 7 и 8.

Расчет экологического ущерба представляет собой два различных компонента: расчет предотвращенного экологического ущерба и расчет размера вреда почвам как объекту окружающей среды.

Оценка величины предотвращенного экологического ущерба в результате ликвидации несанкционированных свалок производится по Методике определения предотвращенного экологического ущерба (Приказ Госкомэкологии России от 30 ноября 1999 года) [8].

Интерфейс разработанной программы по расчету предотвращенного экологического ущерба представлен на рисунке 9.

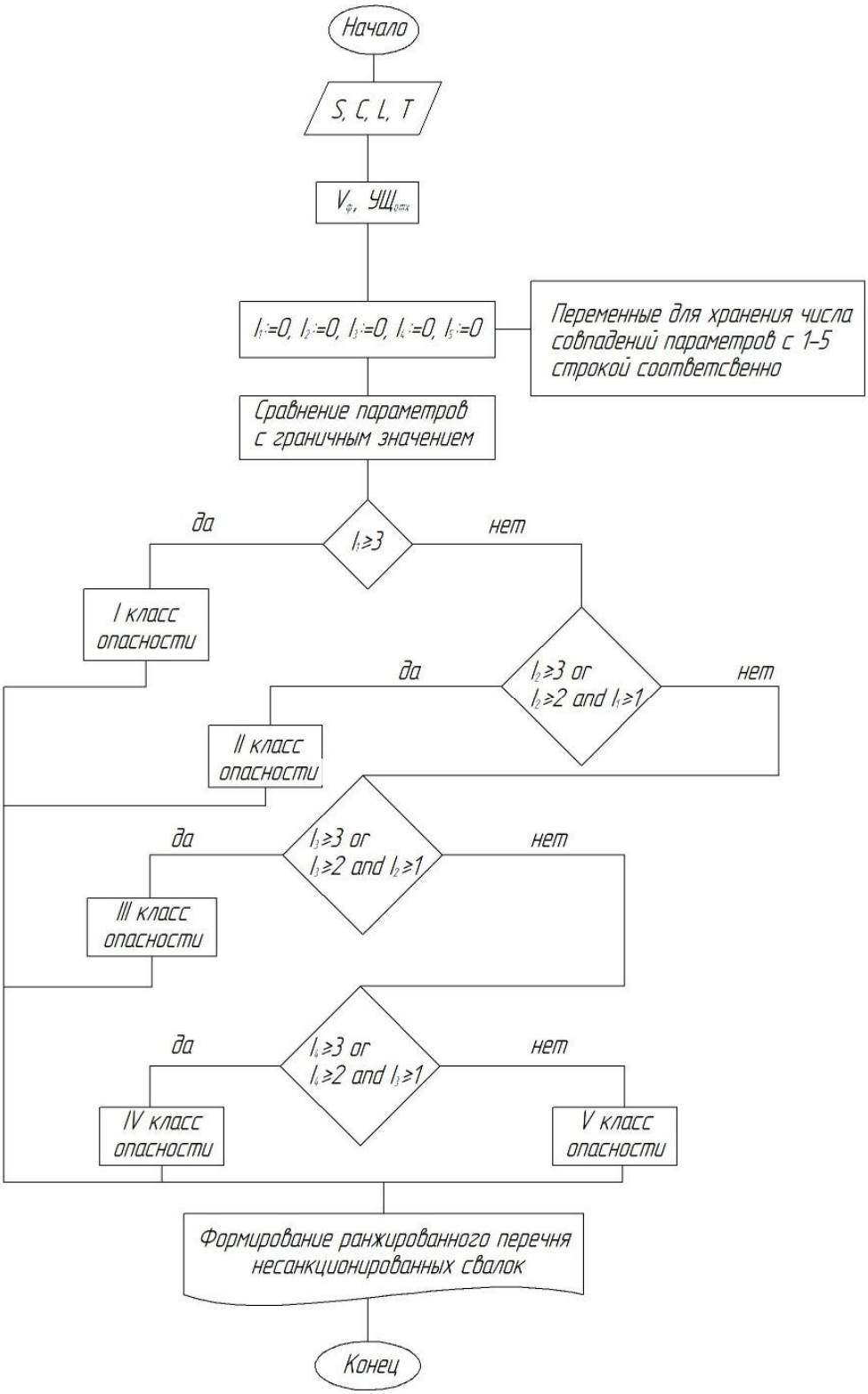


Рис. 6. Алгоритм расчета класса экологической опасности несанкционированных свалок

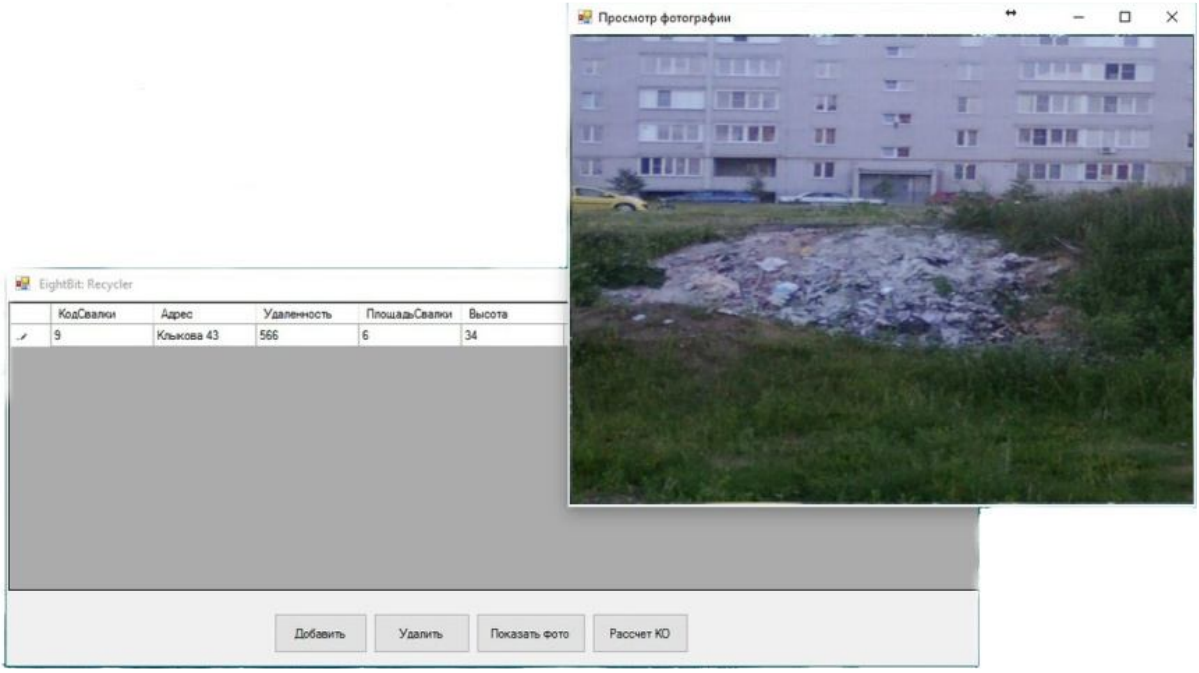


Рис. 7.Просмотр сведений о свалке

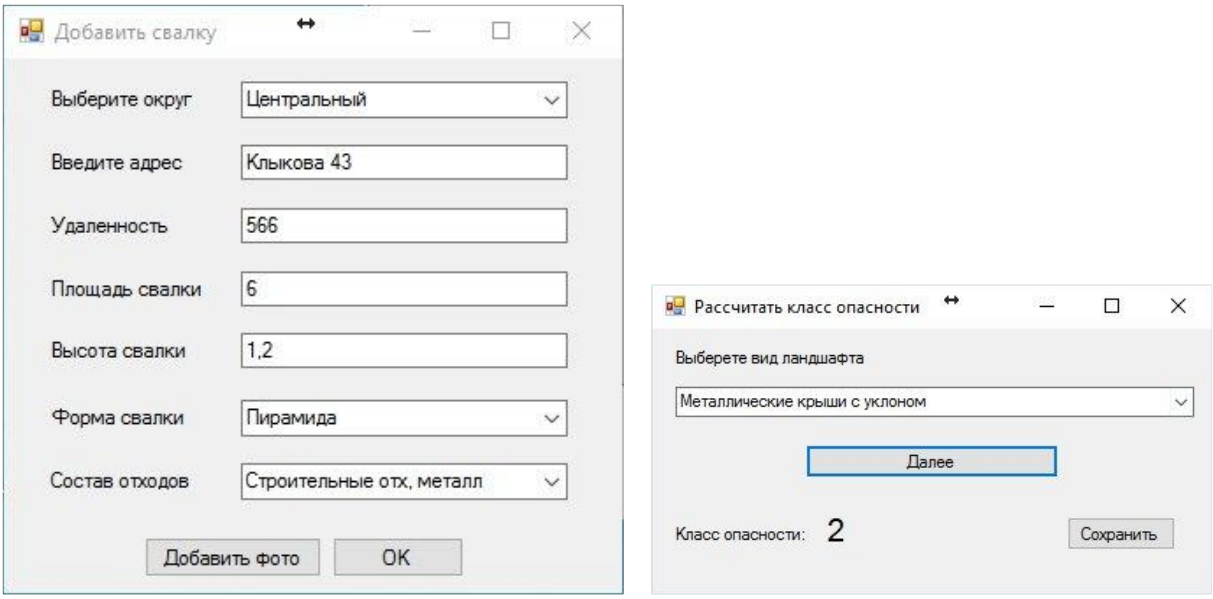


Рис. 8.Результат расчета

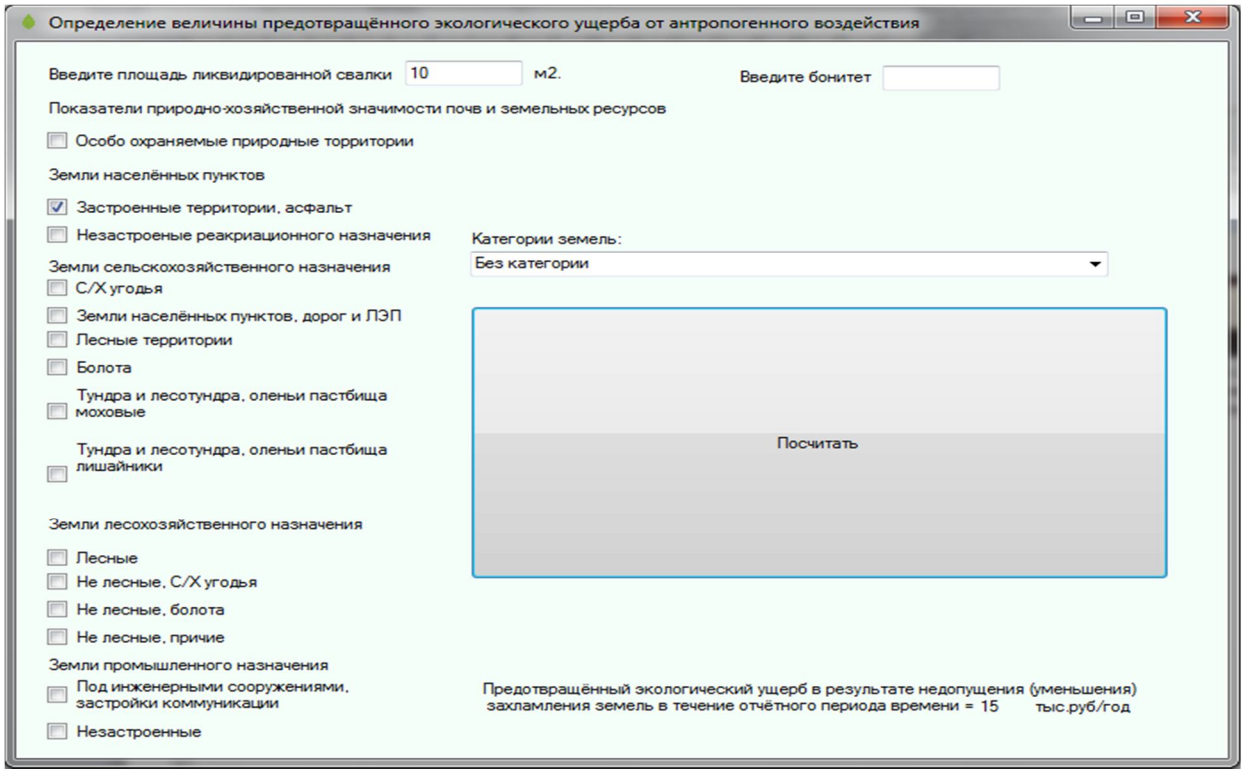


Рис. 9. Интерфейс программного продукта для расчета предотвращенного экологического ущерба

Далее осуществляется расчет экономических затрат, наносимых окружающей среде в результате загрязнения поверхности земли твердыми отходами [9]. Данный расчет осуществляется также отдельным программным компонентом системы.

Интерфейс программы для расчета экономических затрат представлен на рисунке 10.

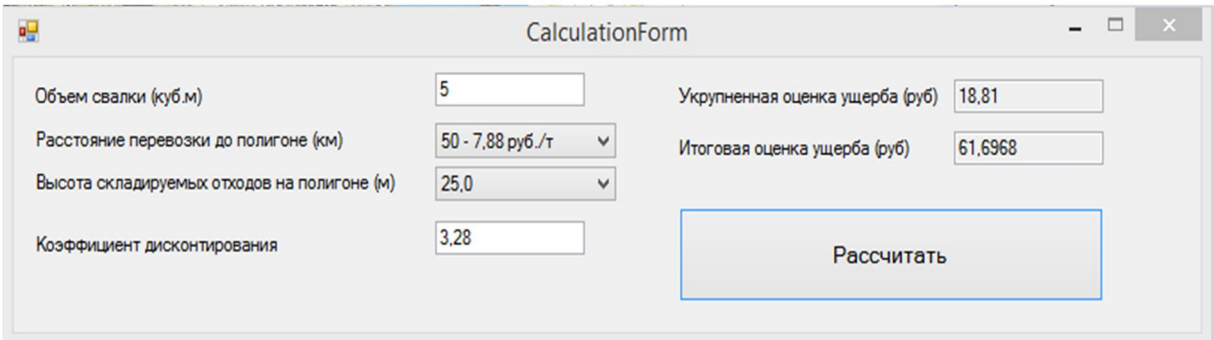


Рис. 10. Интерфейс программного продукта для расчета экономических затрат

Исходя из результатов расчета показателей, характеризующих обнаруженные стихийные несанкционированные свалки, формируется ранжированный перечень свалок, передаваемый в природоохранные организации, на основании которого разрабатываются планы санитарной уборки города.

Пример ранжированного перечня можно увидеть на рисунке 11.

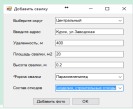
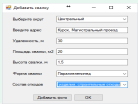
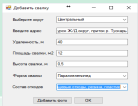
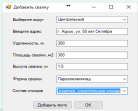
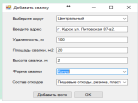
Адрес свалки	Фото свалки	Расчет класса опасности
г. Курск, ул. Заводская		
г. Курск, Магистральный проезд.		
г. Курск Ж/Д округ, приток р. Тускарь		
г. Курск, ул. 50 лет Октября		
г. Курск ул. Литовская 87-а2		

Рис. 11. Ранжированный перечень стихийных несанкционированных свалок

Следующая ступень работы системы – формирование маршрута ликвидации свалок в соответствии с планом санитарной уборки. Маршрут формируется с использованием модифицированного алгоритма Дейкстры [10-11]. В настоящее время данный компонент системы находится в разработке.

Заключение

Таким образом, разработанная информационно-аналитическая система учета несанкционированных свалок позволяет решить проблему несвоевременной и неэффективной санитарной уборки городской системы с учетом ликвидации стихийных несанкционированных свалок. Кроме того, разработанный программный «каркас» является универсальным и подходит для любого города России.

Список литературы

1. Шеина С. Г. Управление ТБО. Рекомендации для Ростова-на-Дону [Электронный ресурс]. URL: http://yandex.ru/clck/jsredir?from=yandex.ru (дата обращения: 15.09.2016).

2. Несанкционированные свалки будут выявлять с помощью космических снимков [Электронный ресурс]. URL: http://www.tatar-inform.ru/news/2009/04/24/164459/ (дата обращения: 12.12.2015).

3. Рябов Ю. В. Разработка геоинформационной системы мониторинга земель, нарушенных несанкционированными свалками: автореф. дис... канд. геогр. наук. СПб., 2013. 19 с.

4. Использование данных дистанционного зондирования для построения экологической ГИС и работы системы экологического мониторинга в Ямало-Ненецком автономном округе [Электронный ресурс]. URL: http://ipl.sscc.ru/gis/RS/4_Zond.htm (дата обращения: 14.12.2015).

5. Юшин В. В., Кирильчук И. О. Геоинформационный учет и оценка опасности стихийных несанкционированных свалок // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 6 (198). С. 34–42.

6. Заявка № 2017107076 Рос. Федерация. Способ экспресс-оценки опасности несанкционированных свалок. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»; заявл. 03.03.17.

7. Кирильчук И. О., Юшин В. В. Адаптированная система критериев типизации несанкционированных свалок // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. № 2(23). С. 85–93.

8. Методика определения предотвращенного экологического ущерба: приказ Госкомэкологии России от 30 ноября 1999 года / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. М., 1999.

9. Рекус И. Г., Шорина О. С. Основы экологии и рационального природопользования: учебное пособие. М.: Изд-во МГУП, 2001. 146 с.

10. Кирильчук И. О., Попов В. М., Юшин В. В. Основные подходы к разработке и построению автоматизированных информационно-аналитических систем управления отходами // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 1(18). С. 85–90.

11. Попов В. М., Кирильчук И. О., Юшин В. В. Использование геоинформационных технологий в системе управления охраны окружающей среды // Известия Юго-Западного государственного университета. 2009. № 1(26). С. 86–90.

Поступила в редакцию 17.07.18

UDC 656.13.658

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

V. M. Popov, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: otios@mail.ru)

I. O. Kirilchuk, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: iraida585@mail.ru)

A. V. Gnezdilova, Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru)

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF ACCOUNTING OF UNAUTHORIZED DUMPS

The article describes the main stages of the development of information-analytical system of accounting of unauthorized dumps intended for automated creating of routing schemes for the collection and elimination of unauthorized dumps of household waste in urban systems, optimization of planning processes waste transport, taking into account monitoring data and the calculation of environmental risk of landfill, prevented environmental damage and financial costs for the implementation of collection processes and transport. The article describes the main achievements in the implementation of the system, including the elimination of unauthorized dumps in the municipal territory based on the results of the calculation of the class of environmental hazard, reducing the negative impact of municipal waste on the environment and health of the urban population based on monitoring and assessment of the characteristics of environmental damage.

The structural and functional organization of the developed system is presented, its main blocks including settlement modules, the information and analytical interface, the block of formation of a route, the block of visualization, the subsystem of formation of information support including the database of logistic components and the database of unauthorized dumps are considered. The authors developed an algorithm for the operation of the system, lists its main elements.

The developed software products that are part of the information-analytical system are presented. The main ones are the program for the calculation of the class environmental hazards of landfills; program for calculation of prevented environmental damage; the program for the calculation of economic costs.

Key words: *unauthorized landfills, information-analytical system, automated information system.*

For citation: Yushin V. V., Popov V. M., Kirilchuk I. O., Gnezdilova A. V. Development of elements of information-analytical system of accounting of unauthorized dumps. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 68–80 (in Russ.).

***

References

1. Sheina S. G. Upravlenie TBO. Rekomendacii dlya Rostova-na-Donu. URL: http://yandex.ru/clck/jsredir?from=yandex.ru (accessed 15.09.2016).

2. Nesankcionirovannye svalki bu-dut vyyavlyat' s pomoshch'yu kosmicheskih snimkov. URL: http://www.tatar-inform.ru/ news/ 2009/04/24/164459/ (accessed 12.12.2015).

3. Ryabov Yu. V. Razrabotka geoinformacionnoj sistemy monitoringa zemel', narushennyh nesankcionirovannymi svalkami. Avtoref. diss. kand. geogr. nauk. St. Petersburg, 2013. 19 p.

4. Ispol'zovanie dannyh distancionnogo zondirovaniya dlya postroeniya ehkologicheskoj GIS i raboty sistemy ehkologicheskogo monitoringa v Yamalo-Neneckom avtonomnom okruge. URL: http://ipl.sscc.ru/gis/ RS/4_Zond.htm (accessed 14.12.2015).

5. Yushin V. V., Kiril'chuk I. O. Geoinformacionnyj uchet i ocenka opasnosti stihijnyh nesankcionirovannyh svalok. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti, 2017, no. 6 (198), pp. 34–42.

6. Sposob ehkspress-ocenki opasnosti nesankcionirovannyh svalok. Zayavka RF, no. 2017107076, 2017.

7. Kiril'chuk I. O., Yushin V. V. Adaptirovannaya sistema kriteriev tipizacii nesankcionirovannyh svalok. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tekhnika i tekhnologii, 2017, no. 2 (23), pp. 85–93.

8. Metodika opredeleniya predotvrashchennogo ehkologicheskogo ushcherba: prikaz Goskomehkologii Rossii ot 30 noyabrya 1999 goda. Moscow, 1999.

9. Rekus I. G., Shorina O. S. Osnovy ehkologii i racional'nogo prirodopol'zovaniya. Moscow, MGUP Publ., 2001. 146 p.

10. Kiril'chuk I. O., Popov V. M., Yushin V. V. Osnovnye podhody k razrabotke i postroeniyu avtomatizirovannyh informacionno-analiticheskih sistem upravleniya othodami. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 1 (18), pp. 85–90.

11. Popov V. M., Kiril'chuk I. O., Yushin V. V. Ispol'zovanie geoinformacionnyh tekhnologij v sisteme upravleniya ohrany okruzhayushchej sredy. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2009, no. 1 (26), pp. 86–90.

УДК 504.064.38

А. А. Бурмака, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

Т. Н. Говорухина, канд. техн. наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: govtn@mail.ru)

Н. А. Кореневский, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

О. А. Аникеева, главный специалист, ОБУЗ «Медицинский информационный аналитический центр» (Курск, Россия) (e-mail: knii@kursktelecom.ru)

В. Н. Мишустин, д-р мед. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И СТРУКТУРНАЯ АДАПТАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматривается подход к адаптации комплекса многофакторного мониторинга сложных объектов и их объединений в инфраструктуре народного хозяйства РФ и продуцируемых (контролируемых) ими целенаправленных процессов (ЦНП) при больших объемах первичной информации, поступающей на вход комплекса с территориально распределенной сетью в виде информационных полей различной физической природы. Эта информация поступает на входы приемно-измерительных подсистем комплекса по каналам передачи данных (каналам связи) при априори неизвестных характеристиках помех и интенсивности входного потока сигналов. Возникает противоречие между сложностью первичной информационной сети (в структурном и сигнальном аспектах) и поведением средств получения и использования измерительной и известительной информации.

В работе показаны пути увеличения пропускной способности подсистем передачи и сбора данных, вызванной увеличением объема передаваемой информации в многоканальном распределенном сигнальном поле, приведены компоненты структуры комплекса многофакторного мониторинга, дано функциональное описание многоуровневых систем (информационно-измерительной, информационно-логической, информационно-управляющей и информационно-аналитической). В работе показаны возможности, благодаря которым многоуровневая система способна реализовывать свою целевую функцию при ограничении размерности своих характеристик.

Для разрешения противоречий предлагается использовать адаптивные приемы, правила и алгоритмы, уменьшающие априорную неопределенность, снижающие информационные потери и обеспечивающие требуемую оперативность принятия решений, управляющих воздействий и оптимизирующих структуру и алгоритмическое наполнение с целью оптимизации обработки данных, а также показано, что использование скользящих оценок параметров и характеристики сигналов и их помех способствует компенсации недостаточности априорных данных.

Ключевые слова: *информационно-измерительная система, информационно-логическая система, целенаправленный процесс, многофакторный мониторинг.*

Ссылка для цитирования: Функциональная и структурная адаптация в распределенных информационно-логических и экономических системах / А. А. Бурмака, Т. Н. Говорухина, Н. А. Кореневский, О. А. Аникеева, В. Н. Мишустин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 81–88.

***

Введение

Современный этап развития промышленных и экономических инфраструктур в народном хозяйстве РФ характеризуется выявлением средств и методов эффективного управления ими на всех уровнях иерархии. Эта проблема решается [1, 2, 11] руководителями различных отраслей, диспетчерскими службами, научно-техническими специали-

стами и различными автоматизированными и автоматическими программно-аппаратными средствами [2, 3, 4, 12]. Надежность, эффективность и достоверность принятия оперативных решений в комплексе связаны с большой мерой ответственности, поскольку цена даже локальной ошибки на любом уровне может быть чрезвычайно большой [2, 3, 13]. Поэтому важной задачей является формирование единой информационной среды [4, 5] для соответствующей информационной структуры в РФ, предполагающей использование многофакторного мониторинга: телеметрического, телемеханического, видеоинформационного [1].

Объекты управления и их объединения представляют собой территориально распределенные образования, требующие, соответственно, многоканальных разветвленных на объектовых территориях первичных информационных сетей (полей) различной архитектуры детерминированного и вероятностного типов. Поскольку объекты и генерируемые ими ЦНП сами являются сложнейшими системами и комплексами, характеризуемыми множеством параметров, со своей функционально-структурной организацией как отображением целевой функции (ЦФ), то каждый из них находится в постоянном взаимодействии с внешней средой и другими группами объектов, в том числе экономического плана. Успешная эксплуатация этих объектов может быть достигнута только при условии полноты и оперативности получения, сжатия и своевременной доставки достоверной измерительной и семантической информации надсистеме (с человеком-пользователем или без него), принимающей решение по результатам итоговой обработки этих данных.

Первичным инструментом непосредственно на объектах является многофакторный мониторинг, служащий для получения необходимой, в том числе измерительной [1, 2], информации в реальном масштабе времени, носящей качественный и количественный характер. Множество основных и сервисных функций как результат декомпозиции целевой функции сложной системы, обрабатывающей первичные данные, базируется на многочисленных переменных, формируемых датчиками различной природы первичного информационного поля.

В этом случае, особенно при стохастическом характере входных воздействий, детерминированные алгоритмические и структурные подходы к синтезу систем и комплексов многофакторного мониторинга оказываются неэффективными [1, 2]. Структурные и функциональные особенности территориально распределенных систем и комплексов сбора и обработки измерительной и семантической информации, многоканальный характер входного воздействия обусловливают поиск путей, приемов и методов его преобразования в приемлемые интервалы наблюдения $\{T_j + \Delta T_j\}$ в форму, удобную для вторичной и третичной обработки с целью формирования:

– данных поддержки принятия решения;

– команд управления объектами и ЦНП;

– данных для оперативного принятия решений в нештатных быстро развивающихся ситуациях.

Постановка задачи

Концептуальный подход к решению рассматриваемой задачи предполагает максимальное использование априорных сведений в функциональном и структурном направлениях, а также оперативное применение апостериорной информации в текущих объемах с целью квазиоптимизации управления множеством состояний комплекса, систем его составляющих и их подсистем, реализующих локальные алгоритмы многофакторного мониторинга.

Увеличение объема передаваемой информации в многоканальном распределенном сигнальном поле формирует требования к увеличению пропускной способности подсистем передачи и сбора данных, реализуемой, в частности, путем решения специальных задач [6, 7]:

– кодирование первичных сигналов при оптимальном их согласовании с каналами передачи информации (каналами связи);

– использование специальных приемов сжатия потоков входных воздействий $\{\xi_p(t,\lambda,a)\}$, $p=\overline{1,P}$;

– с учетом информационной полноты и допустимого времени мониторинга на интервалах $\{T_j+\Delta T_j\}$, $j=\overline{0,M}$ – реализация алгоритмов обмена данными между подсистемами и системами комплекса при динамическом уплотнении потоков вторичной и третичной информации;

– рациональное использование априорной как числовой, так и качественной информации при разработке алгоритмов функционирования систем с оптимизацией наращивания объемов детерминированной информационной базы с использованием оптимальных правил первичного анализа входных воздействий $\{\xi(t,\lambda,a)\}$;

– внедрение адаптивных приемов и алгоритмов функционирования систем и комплексов многофакторного мониторинга в функциональном аспекте и методов реконфигурации связей и структур с целью оптимизировать обработку и обмен информацией при изменении внешней и внутрисистемной ситуаций. С этих позиций правомерны анализ и построение архитектурных вариантов систем информационного мониторинга, а по результатам анализа их функционально-структурной организации – формирование методик и рекомендаций архитектурного и функционального построения подсистем, систем и комплексов многофакторного мониторинга, удовлетворяющих современным условиям применения, в особенности, как типовых компонентов, способных к эвристической самоорганизации [1, 2, 8] как на уровне автономных модулей и подсистем, так и систем верхних уровней иерархии [8, 10].

Метод, предложенный в статье

Комплекс многофакторного мониторинга вне зависимости от свойств контролируемых и управляемых объектов или (и) ЦНП, как правило, содержит следующие компоненты:

– информационно-измерительные или информационно-логические измерительные системы (соответственно ИИС и ИЛИС);

– информационно-управляющие системы [9] (ИУС);

– информационно-аналитические системы [12] (ИАС);

– системы датчиков различной физической и химической природы, по виду продуцируемой информации – аналоговые, дискретные, цифровые, видеодатчики;

– каналы передачи данных (каналы связи), построенные с использованием современных коммуникационных технологий;

– компьютерное «ядро» (одно или несколько) в виде коллектива процессоров, функционирующих на этапе вторичной (сжатие информации, оценивание, сортировка) и третичной (распознавание и прогнозирование ситуаций, оценка рисков развития нештатной ситуации, формирование поддержки принятия решения или самого решения в критическом случае), а также формирование управляющих команд для контролируемых объектов, их объединений и ЦНП).

Функциональное описание многоуровневых систем (ИИС, ИЛИС, ИУС, ИАС) может быть представлено как [5, 10]

$$G_\varphi=\{T,S(T),Q,\xi,Z,\varphi,\eta\}, \quad (1)$$

где $T=\{T_j\}$, $j=\overline{0,M}$ – множество моментов времени:

$S(T)$ – множество сигналов, $S(T)=\{S(t_i)\}$;

Q – множество состояний, $Q=\{q_\ell\}$, $\ell=\overline{1,L}$;

ξ – множество входных воздействий в каналах приемно-измерительных подсистем,

$$\xi(T)=[S(T,\lambda,a),n(t)], \qquad (2)$$

где $n(t)$ – флуктуационная помеха с априори неизвестными характеристиками;

Z – выходное воздействие, т. е.

$$Z=\{U:(T+\Delta T)\to У_k\},\ k=\overline{1,K}, \qquad (3)$$

где U – управление в рамках допустимых ограничений;

$У_k$ – k-я команда ИУС;

φ – переходная функция состояний;

$$\varphi=\varphi(T+\Delta T)=\{T\times\xi\to Q\}; \qquad (4)$$

η – выходное отображение (или документирование) данных,

$$\eta=T\times Q\to\gamma; \qquad (5)$$

γ – цель (целевая функция системы), т. е.

$$Z=E(\xi)=E[S(T+\Delta T),\gamma,\hat{S}(t,\beta_r)], \qquad (6)$$

где $\xi(T+\Delta T)=S(T+\Delta T,\lambda,a)+n(t)$,

здесь $a=\{a_v\}$, $v=\overline{1,V}$ – параметры и характеристики сигналов во входном воздействии,

E – оператор информационных преобразований;

β_r – принятие решения (оценивание $\{a_v\}$).

Способность систем реализовывать γ с учетом ограничений размерности их характеристик [2, 5] в соответствии с (1) – (7) определяет структуру информационной модели среды и самой системы, контактирующей со средой.

Это становится возможным:

– при адаптации к свойствам помех $n(t)$ и их изменению в пределах интервала наблюдения $(T+\Delta T)$;

– при формировании и использовании текущих оценок $\{\hat{a}\}$ параметров обнаруженных сигналов как апостериорной информации для средств управления оптимизацией первичной обработки сигналов при недостаточных априорных данных;

– при контроле загрузки каналов передачи данных и использовании этой информации для адаптивного управления коммутацией входных воздействий $\{\xi_j(T+\Delta T)\}$ на входе приемно-измерительных подсистем;

– при учете вероятностных характеристик как входного потока $\lambda[S(T+\Delta T,a)]$, так и его фрагментов $\{\Delta T_d\}$, $d=\overline{1,D}$, $\sum_{d=1}^{D}\Delta T_d\le(T+\Delta T)$ для каждого из коммутируемых каналов первичного информационного поля комплекса многофакторного мониторинга;

– при построении итеративных алгоритмов адаптивного управления потоком входных воздействий $\xi(T+\Delta T)$ с априори неизвестными характеристиками.

В этом случае с помощью адаптивного алгоритма реализуется проверка гипотез, используя правило (7)

$$\{\hat{X}(\lambda),\hat{a}\}_{opt}=arg\,min\,R[\hat{x}(\lambda),\hat{a}], \qquad (7)$$

где $\hat{x}(\lambda)$ – случайная последовательность, фрагмент входного потока;

$R[\hat{x}(\lambda,\hat{a})]$ – критерий среднего риска.

Численное моделирование

Пусть необходимо провести испытание [14] системы (1) в соответствии с множеством входных воздействий $\xi(T)$ выражения (2) с распределениями, показанными в таблице.

Аналитическое выражение для $\xi(T)$	Вид и параметры распределения
$\xi(T_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5(x_1-10)^2}$	Нормальное распределение с M=10, σ=1
$\xi(T_2) = \frac{1}{1,4\sqrt{2\pi}} e^{\frac{0,5(x_2-20)^2}{2}}$	Нормальное распределение с M=20, σ=$\sqrt{2}$
$\xi(T_3) = \frac{6^9}{\Gamma(9)} x_3^3 e^{-6\cdot x^3}$	Гамма-распределение с η =9 и $\lambda = 6$
$\xi(T_4) = 5 \cdot e^{-5x_4}$	Экспоненциальное распределение
$\xi(T_4) = \frac{1}{2^5\,\Gamma(5)} x_5^4 \cdot e^{\frac{-x_5}{2}}$	Распределение Хи-квадрат с $\nu = 10$

Общее время, затрачиваемое на принятие решения: $T = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$.

Соотношение между характеристиками системы G_φ и случайными параметрами распределений $\{x_i\}$, $i = \overline{1,5}$ заданы функцией $Z = n(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$.

Тогда (в соответствии с испытательной таблицей) математическое ожидание характеристик системы G_φ (его оценка) вычисляется как

$$E_M(\xi) = h[E_M(x_1), E_M(x_2), \ldots, E_M(x_5)],$$

т. е. получается путем подстановки математических ожиданий параметров компонентов $\{x_i\}$ в уравнение системы $E_M(\xi)$.

Аналогично определяется дисперсия:

$$\sigma^2(\xi) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial h}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i).$$

Обсуждение результатов и заключение

1. При высокой размерности входных переменных, характеризующих поток первичной информации для комплекса многофакторного мониторинга, использование адаптивного подхода к коммутации каналов передачи данных (каналов связи), реализованного итеративным алгоритмом с учетом и контролем загрузки каналов и ценности текущей информации, позволяет на допустимом интервале наблюдения получить максимум измерительной и известительной информации при минимизации потерь.

2. Использование скользящих оценок параметров и характеристик сигналов и помех позволяет, используя адаптивные правила корректировки поведения базовых систем комплекса, компенсировать недостаточность априорных данных и совершенствовать работу комплекса и его компонентов в пределах интервала наблюдения $(T + \Delta T)$.

Список литературы

1. Бурмака А. А., Левченко А. В., Фишер И. В. Архитектура информационно-измерительных систем многофакторного мониторинга для конфигураций открытого типа // Медико-экологические информационные технологии: сборник материалов XII международной научно-технической конференции. Курск, 2009. С. 310–318.

2. Охтилев М. Ю., Сололов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 411 с.

3. Посягин Б. С. Диспетчерское управление ЕСГ – сегодня и завтра // Новые высокие технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи: сборник материалов X Международного конгресса CITOGIC-2000. М., 2000. С. 17–24.

4. Автоматизация управления крупным, территориально распределенным предприятием / И. А. Иванов, С. В. Михаленко, Н. В. Точилин, А. М. Жиляев, Г. Н. Тимербулатов // Новые высокие технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи: сборник материалов X Международного конгресса CITOGIC-2000. М., 2000. С. 97–100.

5. Бурмака А. А., Левченко А. В., Фишер И. В. Архитектура и системная модель информационно-измерительных систем многофакторного мониторинга // Системный анализ в биотехнических системах. 2011. Т. 10, № 4. С. 884–888.

6. Глушков А. Н., Черненький В. М. Устройство обнаружения узкополосного сигнала с оценкой уровня шума // Радиотехника. 2017. № 2. С. 104–108.

7. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. М.: Радио и связь, 1983. С. 220.

8. Ивахненко А. Г., Зайченко Ю. П., Димитров В. Д. Принятие решений на основе самоорганизации. М.: Сов. радио, 1976. 280 с.

9. Балашов Е. П., Пузанков Д. В. Проектирование информационно-управляющих систем. М.: Сов. радио, 1987. 236 с.

10. Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Михайлов А. В. Алгоритмы управления и обработки информации адаптивными реконфигурируемыми модулями // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2015. № 9 (135). С. 49–54.

11. Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Михайлов А. В. Модели целенаправленных процессов, реализуемых в телеметрических системах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 1 (18). С. 103–109.

12. Говорухина Т. Н. Модели, методы и алгоритмы управления и обработки информации адаптивными реконфигурируемыми модулями в телеметрических системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2013.

13. Рябкова Е. Б., Говорухина Т. Н., Кореневский Н. А. Алгоритмы коррекции многомерной линейной разделяющей поверхности // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 7. С. 194–199.

14. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 396 с.

Поступила в редакцию 11.06.18

UDC 504.064.38

A. A. Burmaka, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

T. N. Govorukhina, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: govtn@mail.ru)

N. A. Korenevskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

O. A. Anikeeva, Chief Specialist, Medical Information Analytical Center of the Medical Center (Kursk, Russia) (e-mail: knii@kursktelecom.ru)

V. N. Mishustin, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

FUNCTIONAL AND STRUCTURAL ADAPTATION IN DISTRIBUTED INFORMATION-LOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS

The approach to the adaptation of the complex of multifactor monitoring of complex objects and their associations in the infrastructure of the national economy of the RF and the targeted them targeted processes with large volumes of primary information entering the complex with a territorially distributed network in the form of information fields of various physical nature is considered. This information is fed to the inputs of the receiving and measuring subsystems of the complex via data transmission channels with a priori unknown characteristics of interference and the intensity of the input signal flow. There is a contradiction between the complexity of the primary information network (in the structural and signal aspects) and the behavior of the means of obtaining and using measuring information.

The paper shows the ways of increasing the capacity of the transmission and data transmission subsystems caused by the increase in the volume of transmitted information in a multichannel distributed signal field, the components of the structure of the multifactor monitoring complex, the functional description of multilevel systems (information-measuring, information-logical, information-control and information analytic). The work shows the possibilities by which a multilevel system is capable of realizing its objective function when the dimensionality of its characteristics is limited.

To resolve contradictions, it is proposed to use adaptive techniques, rules and algorithms that reduce a priori uncertainty, reduce information losses and ensure the required speed of decision-making, control actions and optimize the structure and algorithmic content to optimize data processing, and also show that the use of sliding estimates of parameters and The characteristics of the signals and their interference helps to compensate for the lack of a priori data.

***Key words**: information-measuring system, information-logical system, purposeful process, multifactor monitoring*

For citation: Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Korenevskiy N. A., Anikeeva O. A., Mishustin V. N. Functional and structural adaptation in distributed information-logical and economic systems. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 81–88 (in Russ.).

***

References

1. Burmaka A. A., Levchenko A. V., Fisher I. V. Arhitektura informacionno-izmeritel'nyh sistem mnogofaktornogo monitoringa dlya konfiguracij otkrytogo tipa. Sbornik materialov XII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Mediko-ehkologicheskie informacionnye tekhnologii». Kursk, 2009, pp. 310–318.

2. Ohtilev M. Yu., Sololov B. V., Yusupov R. M. Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoj dinamikoj slozhnyh tekhnicheskih ob"ektov. Moscow, Nauka Publ., 2006. 411 p.

3. Posyagin B. S. Dispetcherskoe upravlenie ESG – segodnya i zavtra. Sbornik materialov X Mezhdunarodnogo kongressa CITOGIC-2000. «Novye vysokie technologii gazovoj, neftyanoj promyshlennosti, ehnergetiki i svyazi» Moscow, 2000, pp. 17–24.

4. Ivanov I. A., Mihalenko S. V., Tochilin N. V., Zhilyaev A. M., Timerbulatov G. N. Avtomatizaciya upravleniya krup-

nym, territorial'no raspredelennym predpriyatiem. Novye vysokie tekhnologii gazovoj, neftyanoj promyshlennosti, ehnergetiki i svyazi. Sbornik materialov X Mezhdunarodnogo kongressa CITOGIC-2000. Moscow, 2000. pp. 97–100.

5. Burmaka A. A., Levchenko A. V., Fisher I. V. Arhitektura i sistemnaya model' informacionno-izmeritel'nyh sistem mnogofaktornogo monitoring. Sistemnyj analiz v biotekhnicheskih sistemah, 2011, vol. 10, no. 4, pp. 884–888.

6. Glushkov A. N., Chernen'kij V. M. Ustrojstvo obnaruzheniya uzkopolosnogo signala s ocenkoj urovnya shuma. Radiotekhnika, 2017, no. 2, pp. 104–108.

7. Tihonov V. I. Optimal'nyj pri-em signalov. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1983. P. 220.

8. Ivahnenko A. G., Zajchenko Yu. P., Dimitrov V. D. Prinyatie reshenij na osnove samoorganizacii. Moscow, Sov. radio Publ., 1976. 280 p.

9. Balashov E. P., Puzankov D. V. Proektirovanie informacionno-upravlyayushchih sistem. Moscow, Sov. radio Publ., 1987. 236 p.

10. Burmaka A. A., Govoruhina T. N., Mihajlov A. V. Algoritmy upravleniya i obrabotki informacii adaptivnymi rekonfiguriruemymi modulyami. Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh technologij, 2015, no. 9 (135), pp. 49–54.

11. Burmaka A. A., Govoruhina T. N., Mihajlov A. V. Modeli celenapravlen-nyh processov, realizuemyh v telemet-richeskih sistemah. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 1 (18), pp.103–109.

12. Govoruhina T. N. Modeli, metody i algoritmy upravleniya i obrabotki informacii adaptivnymi rekonfiguriruemymi modulyami v telemetricheskih sistemah. Diss. kand. tekhn. nauk. Kursk, 2013.

13. Ryabkova E. B., Govoruhina T. N., Korenevskij N. A. Algoritmy korrekcii mnogomernoj linejnoj razdelyayushchej poverhnosti. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 7, no. 7, pp. 194–199.

14. Han G., Shapiro S. Statisticheskie modeli v inzhenernyh zadachah. Moscow, Mir Publ., 1969. 396 p.

УДК 681.3

Е. Н. Коровин, д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия) (e-mail: korovin@saums.vorstu.ru)

К. О. Левенков, аспирант, Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия) (e-mail: kirlevenkov@mail.ru)

А. С. Турбин, ординатор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко (Воронеж, Россия) (e-mail: sapphir93@yandex.ru)

А. В. Кузьменко, д-р мед. наук, профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко (Воронеж, Россия) (e-mail: kuzmenkoav09@yandex.ru)

Т. А. Гяургиев, канд. мед. наук, доцент, Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко (Воронеж, Россия) (e-mail: Tima001100@mail.ru)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВЫБОРА ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКИМ ПИЕЛОНЕФРИТОМ И МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНЬЮ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье рассмотрен процесс оценки обоснованности схемы лечения хронического пиелонефрита на основе отобранных диагностических показателей с использованием методов статистического моделирования. Проанализировано 100 историй болезни пациентов стационара отделения урологии Воронежской городской клинической больницы скорой медицинской помощи №10 в возрасте от 19 до 90 лет. Функциональное состояние пациентов оценивалось по итогам лабораторной диагностики, ультразвукового исследования, внутривенной урографии и компьютерной томографии. Состояние мочевыводящей системы оценивалось на основе результатов следующих лабораторных методов диагностики: общий анализ крови, общий анализ мочи, анализ мочи по Нечипоренко, биохимический анализ крови и посев мочи. Кластеризация данных проводилась методом Уорда. Для построения дендограммы использовалось манхэттенское расстояние. Статистический анализ медицинской информации проводился в программе «STATISTICA».

В результате кластеризации было выделено 3 группы. Программа «STATISTICA» была использована для построения математических моделей дискриминантных функций. Значение критерия Уилкса λ=0,0075668 близко к 0, что свидетельствует об отличной различаемости классов. В результате дискриминантного анализа сформировалось 5 направлений терапии: Y1 – преимущественно консервативная терапия антибактериальными, спазмолитическими и противовоспалительными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами; Y2 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме контактной литотрипсии(КЛТ); Y3 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме дистанционной литотрипсии (ДЛТ); Y4 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме перкутанной нефролитолапаксии (ПНЛТ); Y5 – открытая операция и консервативное лечение.

Сочетание двух методов статистического моделирование, а именно дискриминантный и кластерный анализы, дает возможность максимально точно выбрать необходимую схему лечения, а также определить наиболее значимые классификационные переменные.

***Ключевые слова**: хронический пиелонефрит, мочекаменная болезнь, дискриминантные функции, кластерный анализ, метод Уорда, статистика Уилкса, инфекции мочевыводящих путей.*

Ссылка для цитирования: Разработка моделей выбора тактики лечения больных с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью на основе статистического моделирования / Е. Н. Коровин, К. О. Левенков, А. С. Турбин, А. В. Кузьменко, Т. А. Гяургиев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 89–98.

***

Введение

Инфекция мочевыводящих путей (ИМП) является актуальной международной и национальной проблемой. Ежегодно в мире регистрируется более 150 миллионов случаев ИМП. По данным ряда авторов, частота данной патологии составляет до 40 % всех случаев госпитальной инфекции [1]. В Российской Федерации распространённость инфекций моче-

выделительной системы составляет 1000 случаев на 100000 населения [2, 16, 19]. В структуре общей инфекционной заболеваемости инфекции мочевых путей уверенно занимают второе место, уступая лишь респираторным заболеваниям [1]. Хронический пиелонефрит, согласно актуальным данным статистики, занимает второе место среди причин первичной инвалидности по основным классам заболеваний мочеполовой сферы.

Частота возникновения хронического пиелонефрита в России составляет 0,9-1,3 млн случаев ежегодно, или 100 больных на 100 тыс. человек.

Если говорить о мочекаменной болезни, то абсолютное число зафиксированных случаев мочекаменной болезни в России за период с 2010 по 2015 гг., по данным О.И. Аполихина с соавт., увеличилось на 17,3%. Рост данного показателя в 2014 году по сравнению с 2015 годом составил 3,5 % (с 502,5 до 520,2 на 100 000 человек населения [8,16,19, 20].

Отмечается рост доли пиелонефрита в структуре основных причин терминальной хронической почечной недостаточности в России, с 1998 по 2003 год этот показатель вырос с 13,9 до 14,7% [3, 16, 20]. По данным статистики 2009 года в России хронический пиелонефрит в структуре причин хронической почечной недостаточности занимает второе место, и на его долю приходится 17,1% [4, 19].

Одним из грозных осложнений является вторичное сморщивание почки, развивающееся на фоне длительного течения хронического пиелонефрита в 30% случаев [9, 11, 12, 14].

Не может не настораживать огромное количество схем лечения хронического пиелонефрита, которые основываются лишь на борьбе с инфекционным началом. Многие из которых не учитывают индивидуальные особенности пациентов, таких как частичная или полная антибиотикорезистентность, наличие тяжелой сопутствующей патологии, являющейся противопоказанием для оперативного лечения.

Именно комплексный подход является основой диагностики и рационального выбора тактики лечения хронического пиелонефрита и мочекаменной болезни [7, 13, 14]. Воспаление межуточной ткани почек, особенно его хроническая форма, непросто поддается диагностике, протекая без явных клинических симптомов. Когда анамнеза заболевания недостаточно для того, чтобы подтвердить неспецифическое воспаление мочевыводящих путей, целесообразно применить лабораторные и инструментальные методы обследования, такие как общий анализ крови и мочи, биохимический анализ крови, УЗИ почек и мочевого пузыря, рентгенологические методы исследования, позволяющие в совокупности при правильной трактовке результатов назначить индивидуальную тактику лечения.

В настоящее время для лечения пиелонефрита на фоне мочекаменной болезни чаще всего используют сочетания антибактериальных, противовоспалительных препаратов, иммуномодуляторы и достаточно редко – растительные препараты. Однако, несмотря на многообразие лекарственных средств, результаты лечения нельзя назвать удовлетворительными, поскольку, по данным многих авторов, полное выздоровление наступает не так часто [1, 2, 9, 12, 13, 14]. Поэтому стоит уделить большое внимание сочетанию консервативного и оперативного лечения.

Постановка задачи

Одним из средств повышения эффективности выбора необходимой терапии пиелонефрита и мочекаменной болезни является автоматизация обработки диагностической информации использованием современных компьютерных технологий, а также созданием медицинской информационной системы поддержки принятия решений, принимающей во внимание большой объем диагностической информации и позволяющей исключить ошибки субъективного характера. Учитывая это, верный диагноз можно выставить, только используя различные

лабораторно-диагностические исследования. Ведь точная и своевременная диагностика, выбор оптимальной тактики ведения больного с учетом характера течения заболевания – гарантия эффективного лечения инфекций мочевыводящих путей.

В наше время в математическом моделировании медицинских систем и процессов активно используются алгоритмы распознавания для определения принадлежности объектов к тому или иному классу. Из немалого количества статистических методов классификации рассмотрим кластерный и дискриминантный анализы.

Целью исследования является получение адекватных математических моделей, которые впоследствии будут использованы при разработке информационно-программного обеспечения системы оценки состояния и выбора схемы лечения пациентов с патологией мочевыделительной системы.

Материалы и методы исследования

В результате обследования 100 пациентов отделения урологии БУЗ ВО «ВГКБСМП№10» в возрасте от 20 до 88 лет был выставлен диагноз «хронический пиелонефрит». Гендерно-возрастной состав пациентов, госпитализированных с подозрением на пиелонефрит: 66 женщин и 34 мужчины. Средний возраст больных пиелонефритом составил 52 года.

Для компьютерной обработки была создана система, которая состоит из клинических, лабораторных и инструментальных классификационных признаков, полученных в процессе обследования больных с патологией мочевыделительной системы. Для исключения малозначимых признаков использовался метод априорного ранжирования мнения экспертов. В качестве понятия «признак» использовались анамнестические данные, а также данные результатов лабораторных и инструментальных исследований пациентов.

Для выделения больных по группам лечения хронического пиелонефрита использовался кластерный анализ. Кластеризация данных проводилась методом Уорда. Для построения дендограммы использовалось манхэттенское расстояние. Статистический анализ медицинской информации проводился в программе «STATISTICA». Происходило разбиение выборки, которая состоит из 100 историй болезни пациентов урологического отделения.

Результаты классификации пациентов с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью продемонстрированы на рисунке 1.

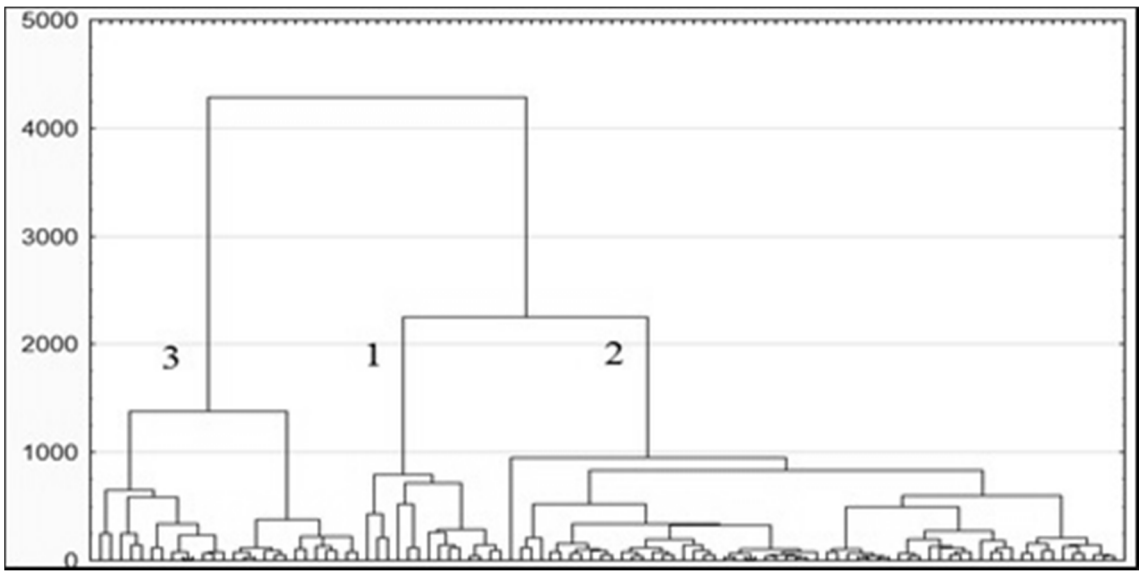


Рис. 1. Дендрограмма иерархической классификации

Итак, к первой группе отнесены 13 пациентов отделения урологии, которых отличает нормальный уровень лейкоцитов в ОАК и ОАМ. Для первого класса пациентов характерны такие признаки, как МКБ при ультразвуковом исследовании. Отличием второго кластера является увеличенное значение лабораторных показателей. К этой группе были отнесены 65 пациентов. Тогда как третий кластер включает в себя 22 пациента, которых характеризует наиболее обширное поражение почек, наблюдаемое при ультразвуковом исследовании. Также пациентам 3 группы характерны гематурия и лейкоцитурия.

Выборка из 100 пациентов урологического отделения разделилась на группы в четком соответствии с выбираемыми типами терапии:

1 кластер – стандартная схема лечения (без операции с применением курса антибактериальной терапии);

2 кластер – стандартная схема лечения в совокупности с литокинетической терапией;

3 кластер – операционное вмешательство, применение стандартной схемы лечения.

Для того чтобы минимизировать риски выбора неподходящей схемы лечения, был использован еще один метод статистического анализа, который имеет математический аппарат, отличный от кластерного анализа. Ключевой целью дискриминантного анализа является получение линейной совокупности переменных, которые позволяют провести деление выборки на классы.

Основной чертой дискриминантного анализа является то, что разделение выборок определяется в зависимости от величин собственных чисел. Чем выше собственное число, тем сильнее будет разделение исходных данных.

Первая дискриминантная классификационная функция имеет максимальное собственное число, а соответственно, обладает самой большой разделительной способностью. Вторая дискриминантная классификационная функция имеет максимальную разделительную способность. Разделительная способность дискриминантных функций оценивается по отношению собственного числа дискриминантной функции к сумме всех собственных чисел полученных дискриминантных функций. Получение дискриминантных классификационных функций было произведено в специальном модуле Basic Statistics программы Statistica.

Численное моделирование

Ключевой задачей проведения дискриминантного анализа является получение уравнений, в которых в качестве независимых переменных значатся результаты инструментальной и лабораторной диагностики, а в качестве зависимой – тактика лечения.

Статистическая значимость оценивалась с применением остаточной дискриминантной способности (способность переменных разграничивать группы до определения функции, если не брать во внимание информацию, которая получена с помощью ранее вычисленных функций). Для этого использовалась λ-статистика Уилкса, которая может принимать значения в диапазоне от 0 до 1. Если λ-статистика Уилкса приближается к 0, то различаемость классов выше, чем λ-статистика, приближающаяся к 1. В нашем случае значение критерия Уилкса λ=0,0075668 близко к 0, что говорит о хорошей различаемости классов.

Как видно из рисунка 1, все объекты были верно классифицированы.

Дискриминантные классификационные функции для каждого типа лечения имеют следующий вид:

$$Y1 = -137{,}8 + 0{,}505 * x1 - 0{,}027 * x2 + 0{,}306 * x3 + 0{,}07 * x4 + 8{,}657 * x5 + 1{,}532 * x6 + 4{,}855 * x7 + 0{,}558 * x8 - 0{,}005 * x9 + 0{,}213 * x10 + 2{,}162 * x11 + 1{,}66 * x12 - 0{,}222 * x13 + 3{,}164 * x14 + 4{,}265 * x15 + 0{,}72 * x16$$

$$Y2 = -151{,}896 + 0{,}531 * x1 - 0{,}6 * x2 + 0{,}29 * x3 + 0{,}079 * x4 + 9{,}149 * x5 + 1{,}487 * x6 + 5{,}498 * x7 + 0{,}586 * x8 + 0{,}005 * x9 + 0{,}243 * x10 + 2{,}198 * x11 + 1{,}576 * x12 - 0{,}25 * x13 + 3{,}577 * x14 + 4{,}554 * x15 + 1{,}949 * x16$$

$$Y3 = -431{,}747 + 0{,}638 * x1 - 0{,}163 * x2 + 0{,}079 * x3 + 0{,}06 * x4 + 1{,}816 * x5 + 3{,}566 * x6 + 5{,}073 * x7 + 0{,}884 * x8 - 0{,}38 * x9 + 0{,}25 * x10 + 2{,}009 * x11 + 1{,}858 * x12 - 0{,}279 * x13 + 154{,}329 * x14 + 5{,}152 * x15 + 2{,}213 * x16$$

$$Y4 = -222{,}754 + 0{,}516 * x1 - 0{,}08 * x2 + 0{,}77 * x3 + 0{,}61 * x4 + 5{,}136 * x5 + 2{,}99 * x6 + 5{,}739 * x7 + 1{,}28 * x8 - 0{,}139 * x9 + 0{,}236 * x10 + 2{,}353 * x11 + 2{,}007 * x12 - 0{,}256 * x13 + 71{,}083 * x14 + 3{,}863 * x15 + 2{,}357 * x16$$

$$Y5 = -233{,}199 + 0{,}559 * x1 - 0{,}09 * x2 - 0{,}107 * x3 + 0{,}063 * x4 + 7{,}1 * x5 + 3{,}421 * x6 + 5{,}666 * x7 + 1{,}138 * x8 - 0{,}167 * x9 + 0{,}227 * x10 + 2{,}292 * x11 + 1{,}845 * x12 - 0{,}261 * x13 + 74{,}483 * x14 + 3{,}261 * x15 + 3{,}844 * x16,$$

где *Y1* – преимущественно консервативная терапия антибактериальными, спазмолитическими и противовоспалительными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами;

Y2 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме контактной литотрипсии (КЛТ);

Y3 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме дистанционной литотрипсии (ДЛТ);

Y4 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме перкутанной нефролитолапаксии (ПНЛТ);

*Y*5 – открытая операция и консервативное лечение;

*X*1 – уровень гемоглобина в ОАК;

*X*2 – уровень эритроцитов в ОАК;

*X*3 – уровень лейкоцитов в ОАК;

*X*4 – СОЭ в ОАК;

*X*5 – белок в ОАМ;

*X*6 – лейкоциты в ОАМ;

*X*7 – эритроциты в ОАМ;

*X*8 – уровень глюкозы в биохимическом анализе крови;

*X*9 – уровень мочевины в биохимическом анализе крови;

*X*10 – уровень креатинина в биохимическом анализе крови;

*X*11 – общий белок в биохимическом анализе крови;

*X*12 – обобщенные результаты УЗИ и КТ диагностики;

*X*13 – размеры камня в мочеточнике;

*X*14 – размеры камня в почке;

*X*15 – результаты посева мочи;

*X*16 – результаты внутривенной урографии.

На основе полученных математических моделей была протестирована тестовая выборка из 25 пациентов отделения урологии (12 – преимущественно консервативная терапия антибактериальными, спазмолитическими и противовоспалительными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами; 5 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме контактной литотрипсии (КЛТ); 4 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме дистанционной литотрипсии (ДЛТ); 2 – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме перкутанной нефролитолапаксией (ПНЛТ); 1 – открытая операция и консервативное лечение.

Для визуализации результатов анализа была построена диаграмма рассеивания, которая представлена на рисунке 2.

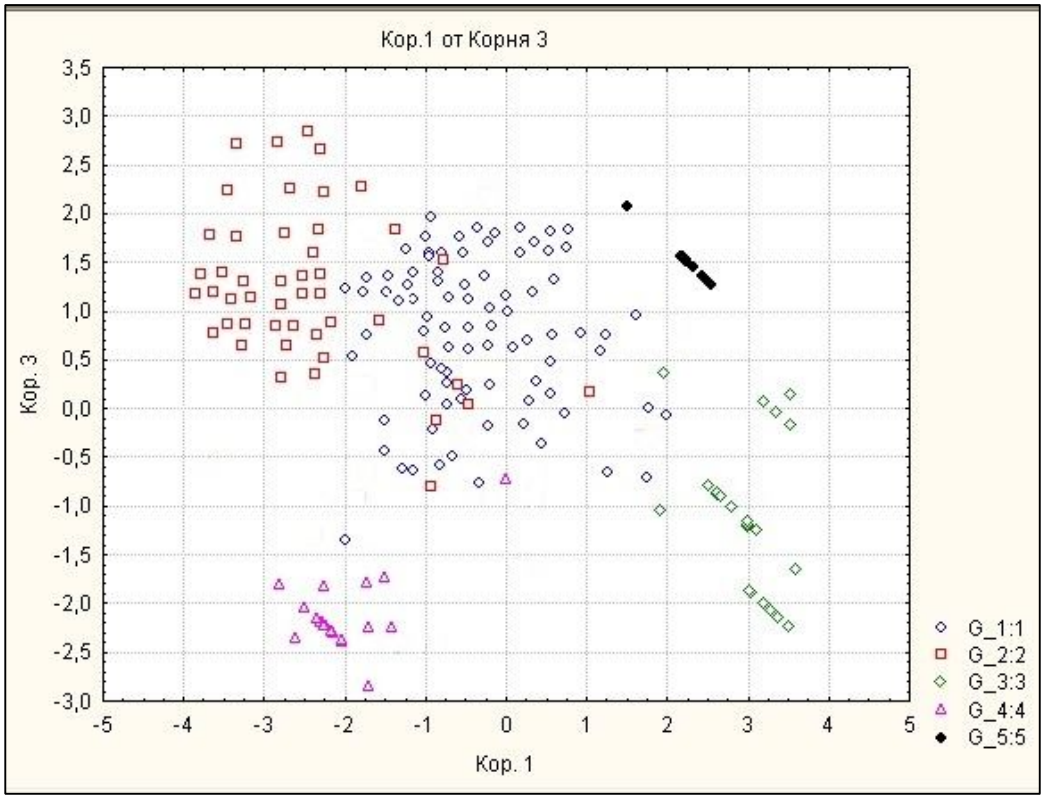


Рис. 2. Диаграмма рассеивания

Квадратиками обозначается консервативная терапия антибактериальными, спазмолитическими и противовоспалительными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами.

Кружками отмечена консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме контактной литотрипсии (КЛТ).

Ромбы – консервативная терапия в сочетании с оперативным лечением в объеме дистанционной литотрипсии (ДЛТ).

Треугольники отображают консервативную терапию в сочетании с оперативным лечением в объеме перкутанной нефролитолапаксией (ПНЛТ).

Черные кружки обозначают открытую операцию и консервативное лечение.

Из диаграммы видно, что исходная выборка поделилась на 5 классов. Однако 3, 4 и 5 классы распределены более четко, чем 1 и 2 классы. Близость первых двух классов обусловлена незначительными различиями в схемах лечения, остальные классы кардинально отличаются от первых.

Обсуждение результатов и заключение

По итогам тестирования двоим пациентам из тестовой выборки была назначена неверная терапия, то есть достоверность выбора тактики лечения составила 92%. Высокая достоверность полученных моделей позволяет сделать вывод о том, что дискриминантный анализ подходит для задач диагностики и выбора тактики лечения. По результатам анализа клинических и лабораторных показателей построена прогностическая модель, позволяющая оценить принадлежность пациента к определенной категории больных с конкретной схемой лечения.

Также в результате проведения дискриминантного анализа были определены переменные, которые вносят наиболее весомый вклад в патогенетическую картину болезней мочеполовой системы и

несут максимальную диагностическую нагрузку. Это позволяет сделать вывод, что важными критериями для принятия решения о выборе схемы лечения пациента являются такие показатели, как наличие результатов внутривенной урографии и ультразвукового исследования, а также такие лабораторный показатели, как белок и уровень лейкоцитов и эритроцитов в ОАМ.

Таким образом, для принятия решения о проведении дистанционной литотрипсии или перкутанной нефролитолапаксии огромную роль играет показатель $X14$ (размеры камня в почке), в то время как для назначения контактной литотрипсии имеют большое значение такие параметры, как $X13$ (размеры камня в мочеточнике), $X5$ (белок в ОАМ), $X8$ (глюкоза в ОАК). Для проведения открытой операции ведущими показателями являются X6 (лейкоциты в ОАМ), $X3$ (уровень лейкоцитов в ОАК), $X12$ (обобщенные результаты УЗИ и КТ-диагностики), $X16$ (результаты внутривенной урографии).

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что пациенты с хроническим пиелонефритом и мочекаменной болезнью той или иной степени тяжести объединяются в различные области, однако разделение, которое дает метод кластерного анализа, является недостаточно четким. Сочетание двух методов статистического моделирование, а именно дискриминантного и кластерного анализов, дает возможность максимально точно выбрать необходимую схему лечения, а также определить наиболее значимые классификационные переменные.

Список литературы

1. Savas L., Guvel S., Onlen Y. Nosocomial urinary tract infections: microorganisms, antibiotic sensitivities and risk factors // WestIndianMed. 2006. N 55 (3). P. 188–193.

2. Лоран О. Б., Синякова Л. А. Воспалительные заболевания органов мочевой системы: актуальные вопросы // МИА. 2008. С. 88.

3. Смирнов А. В., Добронравов В. А., Каюков И. Г. Эпидемиология и социально-экономические аспекты хронической болезни почек // Нефрология. 2006. Т. 10, № 1. С. 7–13.

4. Урология: Национальное руководство / под ред. Н. А. Лопаткина. М.: ГЭОТАР- Медиа, 2009. С. 434–451.

5. Коровин Е. Н., Родионов О. В. Методы обработки биомедицинских данных. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2007.

6. Коровин Е. Н., Левенков К. О., Рябчунова Л. В. Анализ и алгоритмизация процессов диагностики и выбор тактики лечения хронического пиелонефрита на основе имитационного моделирования // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15, № 1. С. 84–87.

7. Кластерный анализ данных по выбору тактики лечения хронического пиелонефрита / К. О Левенков, А. С. Турбин, Е. Н. Коровин, А. В. Кузьменко, Т. А. Гяургиев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16, № 4. С. 857–861.

8. Разработка нейронной сети для поставновки диагноза «хронический пиелонефрит» / В. Н. Коровин, Е. Н. Коровин, К. О. Левенков, М. В. Лущик // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 585–588, 647–651.

9. Интеллектуализация процесса диагностики хронического пиелонефрита на основе априорного ранжирования мнения экспертов / Е. Н. Коровин, В. Н. Коровин, К. О. Левенков, М. В. Лущик // Системный анализ и управление в биомедицин-

ских системах. 2016. Т. 15, № 4. С. 647–651.

10. Гяургиев Т. А., Баркалова Е. М., Кривошеева Е. В. Анализ эффективности применения фототерапии в различные фазы хронобиологической активности у женщин с хроническим циститом в стадии обострения // Закономерности и тенденции инновационного развития общества. 2017. № 3. С. 150–154.

11. Гяургиев Т. А. Отдаленные результаты применения фототерапии и хронотерапии в лечении женщин с хроническим циститом // Наука России: цели и задачи: сборник научных трудов по материалам международной научной конференции. Воронеж, 2017. С. 9–11.

12. Кузьменко А. В., Кузьменко В. В., Гяургиев Т. А. Хронобиологический подход к терапии хронического рецидивирующего бактериального цистита в стадии обострения //Урология. 2017. № 2. С. 60–65.

13. Хронобиологический статус больных с хроническим простатитом на фоне аденомы простаты / А. В. Кузьменко, В. В. Кузьменко, Т. А. Гяургиев, И. И. Баранников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16, № 3. С. 513–516.

14. Хронобиологические аспекты применения пролита супер септо у больных с инфекционно-воспалительными заболеваниями органов мочевыделительной системы / А. В. Кузьменко, В. В. Кузьменко, Т. А. Гяургиев, Д. Е. Строева // Урология. 2015. № 4. С. 19–23.

15. Оценка эффективности хронотерапии и фототерапии в комплексном лечении больных хроническим рецидивирующим бактериальным циститом в стадии обострения / Т. А. Гяургиев, А. В. Кузьменко, Ж. В. Власова, М. Н. Химичева // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 422–425.

16. Гяургиев Т. А., Кузьменко А. В., Лавренов А. Л. Морфометрический анализ эффективности хронотерапии и фототерапии в лечении больных хроническим рецидивирующим бактериальным циститом в стадии обострения // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 477–481.

17. Кузьменко А. В., Гяургиев Т. А., Титов А. Ю. Оценка влияния различных видов литокинетической терапии на состав конкремента при мочекаменной болезни с использованием спектрального анализа // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 540–543.

18. Лечение больных с хроническим рецидивирующим бактериальным циститом в стадии обострения в комплексе с фототерапией с использованием аппарата "Светозар"/ Т. А. Гяургиев, А. В. Кузьменко, В. М. Вахтель, П. А. Лукьянович // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 821–824.

19. Коровин Е. Н., Новикова Е. И., Сергеева М. А. Построение дерева решения, обеспечивающего эффективность процесса диагностики гиперпластических процессов эндометрия // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 2 (19). С. 108–113.

Поступила в редакцию 25.06.18

UDC 681.3

E. N. Korovin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia) (e-mail: korovin@saums.vorstu.ru)

K. O. Levenkov,Post-Graduate Student, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia) (e-mail: kirlevenkov@mail.ru)

A. S. Turbin, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko (Voronezh, Russia) (e-mail: sapphir93@yandex.ru)

A. V. Kuzmenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko (Voronezh, Russia) (e-mail: kuzmenkoav09@yandex.ru)

T. A. Gyaurgiev, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko (Voronezh, Russia) (e-mail: Tima001100@mail.ru)

DEVELOPMENT OF MODELS OF SELECTING TACTICS OF TREATMENT OF PATIENTS WITH CHRONIC PYELONEPHRITIS AND URINARY-SCALE DISEASE BASED ON STATISTICAL MODELING

The article examines the process of assessing the validity of the treatment regimen for chronic pyelonephritis, based on selected diagnostic indicators using statistical modeling methods. 100 case histories of patients of urological department at the Voronezh City Clinical Emergency Hospital No. 10 at the age of 20 to 88 years were analyzed. Evaluation of the functional state of patients was carried out according to the results of laboratory diagnosis, ultrasound, intravenous urography and computed tomography. Laboratory tests include a general blood test, general urine analysis, a biochemical blood test, and urine culture. Clustering of data was carried out by the Ward method. To construct the dendogram, the Manhattan distance was used. Statistical analysis of medical information was carried out in the program "STATISTICA". As a result of clustering, 3 groups were identified. Mathematical models of discriminant functions were obtained in the program "STATISTICA". The value of the Wilkes criterion λ = 0.0075668 is close to 0, which indicates a good class discrimination. As a result of discriminant analysis, 5 directions of therapy were formed: Y1 - mainly conservative therapy with antibacterial, antispasmodic and anti-inflammatory drugs in combination with physiotherapeutic procedures; Y2 - conservative therapy in combination with operative treatment in the volume of contact lithotripsy (KLT); Y3 - conservative therapy in combination with operative treatment in the volume of remote lithotripsy (DLT); Y4 - conservative therapy in combination with operative treatment in the volume of percutaneous nephrolitholapaxy (PNLT); Y5 - open surgery and conservative treatment. The combination of two methods of statistical modeling, namely, discriminant and cluster analyzes, makes it possible to select the necessary treatment scheme as precisely as possible, and also to determine the most significant classification variables.

Key words: *chronic pyelonephritis, urolithiasis, discriminant functions, cluster analysis, Ward method, Wilks' stalistics, urinary tract infections.*

For citation: Korovin E. N., Levenkov K. O., Turbin A. S., Kuzmenko A. V., Gyaurgiev T. A. Development of models of selecting tactics of treatment of patients with chronic pyelonephritis and urinary-scale disease based on statistical modeling. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 89–98 (in Russ.).

***

References

1. Savas L., Guvel S., Onlen Y. Nosocomial urinary tract infections: microorganisms, antibiotic sensitivities and risk factors. WestIndianMed, 2006, no. 55 (3), pp. 188–193.

2. Loran O. B., Sinyakova L. A. Vospalitel'nye zabolevaniya organov mochevoj sistemy: aktual'nye voprosy. MIA, 2008, p. 88.

3. Smirnov A. V., Dobronravov V. A., Kayukov I. G. Ehpidemiologiya i social'no-ehkonomicheskie aspekty hronicheskoj bolezni pochek. Nefrologiya, 2006, vol. 10, no. 1, pp. 7–13.

4. Urologiya: Nacional'noe rukovodstvo; ed. by N. A. Lopatkin. Moscow, 2009, pp. 434–451.

5. Korovin E. N., Rodionov O. V. Metody obrabotki biomedicinskih dannyh. Voronezh, 2007.

6. Korovin E. N., Levenkov K. O., Ryabchunova L. V. Analiz i algoritmizaciya processov diagnostiki i vybor taktiki lecheniya hronicheskogo pielonefrita na osnove imitacionnogo modelirovaniya. Sis-

temnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2016, vol. 15, no. 1, pp. 84–87.

7. Levenkov K. O., Turbin A. S., Korovin E. N., Kuz'menko A. V., Gyaurgiev T. A. Klasternyj analiz dannyh po vyboru taktiki lecheniya hronicheskogo pielonefrita. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 857–861.

8. Korovin V. N., Korovin E. N., Levenkov K. O., Lushchik M. V. Razrabotka nejronnoj seti dlya postavnovki diagnoza «hronicheskij pielonefrit». Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 585–588, 647–651.

9. Korovin E. N., Korovin V. N., Levenkov K. O., Lushchik M. V. Intellektualizaciya processa diagnostiki hronicheskogo pielonefrita na osnove apriornogo ranzhirovaniya mneniya ehkspertov. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2016, vol. 15, no. 4, pp. 647–651.

10. Gyaurgiev T. A., Barkalova E. M., Krivosheeva E. V. Analiz ehffektivnosti primeneniya fototerapii v razlichnye fazy hronobiologicheskoj aktivnosti u zhenshchin s hronicheskim cistitom v stadii obostreniya. Zakonomernosti i tendencii innovacionnogo razvitiya obshchestva, 2017, no. 3, pp. 150–154.

11. Gyaurgiev T. A. Otdalennye rezul'taty primeneniya fototerapii i hronoterapii v lechenii zhenshchin s hronicheskim cistitom // Sbornik nauchnyh trudov po materialam mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Nauka Rossii: celi i zadachi». Voronezh, 2017, pp. 9–11.

12. Kuz'menko A. V., Kuz'menko V. V., Gyaurgiev T. A. Hronobiologicheskij podhod k terapii hronicheskogo recidiviruyushchego bakterial'nogo cistita v stadii obostreniya. Urologiya, 2017, no. 2, pp. 60–65.

13. Kuz'menko A. V., Kuz'menko V. V., Gyaurgiev T. A., Barannikov I. I. Hronobiologicheskij status bol'nyh s hronicheskim prostatitom na fone adenomy prostaty. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2017, vol. 16, no. 3, pp. 513–516.

14. Kuz'menko A. V., Kuz'menko V. V., Gyaurgiev T. A., Stroeva D. E. Hronobiologicheskie aspekty primeneniya prolita super septo u bol'nyh s infekcionno-vospalitel'nymi zabolevaniyami organov mochevydelitel'noj sistemy. Urologiya, 2015, no. 4, pp. 19–23.

15. Gyaurgiev T. A., Kuz'menko A. V., Vlasova Zh. V., Himicheva M. N. Ocenka ehffektivnosti hronoterapii i fototerapii v kompleksnom lechenii bol'nyh hronicheskim recidiviruyushchim bakterial'nym cistitom v stadii obostreniya. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 422–425.

16. Gyaurgiev T. A., Kuz'menko A. V., Lavrenov A. L. Morfometricheskij analiz ehffektivnosti hronoterapii i fototerapii v lechenii bol'nyh hronicheskim recidiviruyushchim bakterial'nym cistitom v stadii obostreniya. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 477–481.

17. Kuz'menko A. V., Gyaurgiev T. A., Titov A. Yu. Ocenka vliyaniya razlichnyh vidov litokineticheskoj terapii na sostav konkrementa pri mochekamennoj bolezni s ispol'zovaniem spektral'nogo analiza. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2015, vol. 14, no. 3, pp. 540–543.

18. Gyaurgiev T. A., Kuz'menko A. V., Vahtel' V. M., Luk'yanovich P. A. Lechenie bol'nyh s hronicheskim recidiviruyushchim bakterial'nym cistitom v stadii obostreniya v komplekse s fototerapiej s ispol'zovaniem apparata "Svetozar". Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 821–824.

19. Korovin E. N., Novikova E. I., Sergeeva M. A. Postroenie dereva resheniya, obespechivayushchego ehffektivnost' processa diagnostiki giperplasticheskih processov ehndometriya. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, no. 2 (19), pp. 108–113.

УДК 534.61

М. В. Орда-Жигулина, канд. техн. наук, доцент, Южный научный центр Российской Академии наук (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: jigulina@mail.ru)

Д. В. Орда-Жигулина, младший научный сотрудник, Южный научный центр Российской Академии наук (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: dinazhigulina@mail.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ «ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ» ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО АНАЛИЗА КРОВИ МЕТОДОМ ОПТОАКУСТИЧЕСКОЙ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ В МОБИЛЬНОМ ЗДРАВООХРАНЕНИИ

В настоящее время актуальной научной проблемой является разработка современных медицинских цифровых технологий для обработки, передачи и хранения полученных в ходе биомедицинских исследований данных. Это необходимо для интегрирования как уже существующих медицинских методов исследования, так и впервые разрабатываемых в мобильное здравоохранение (mHealth), которое в настоящее время широко развивается. В рамках мобильного здравоохранения можно осуществлять дистанционную диагностику, мониторинг и лечение заболеваний, популяционную профилактику болезней, оказание помощи посредством телемедицины людям, находящимся в труднодоступных районах, и т. д. При этом использование мобильных вычислительных устройств позволяет организовать контакт и обмен информацией между врачом и пациентом в любое время и практически в любой географической точке. В результате взаимодействия между врачом и пациентом в рамках концепции мобильного здравоохранения возникают большие объемы первично полученных данных, которые требуется структурировать, обрабатывать, передавать и хранить. Все это целесообразно делать с помощью технологии «туманных вычислений» в части первичной и промежуточной обработки данных между врачом, пациентом и сервером медицинского учреждения.

В статье описывается принцип работы медицинской информационной системы на примере анализа крови посредством оптоакустической проточной цитометрии как неинвазивного метода исследований и приведена схема электрическая функциональная диагностического модуля для измерения спектра оптоакустического сигнала, который возникает при воздействии инфракрасного лазерного излучения на сосуд пациента. Внедрение такой системы в медицинских учреждениях позволит снизить затраты на содержание стационарных рабочих мест, оптимизировать рабочие процессы и упростить обработку и хранение информации без потери качества и эффективности.

Ключевые слова*: системы сбора и обработки данных, электронное здравоохранение, мобильное здравоохранение, туманные вычисления, медицинская система.*

Ссылка для цитирования: Орда-Жигулина М. В., Орда-Жигулина Д. В. Применение «туманных вычислений» для неинвазивного анализа крови методом оптоакустической проточной цитометрии в мобильном здравоохранении // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 99–108.

***

Введение

В настоящее время актуальной научной проблемой является разработка современных медицинских цифровых технологий для интегрирования в существующие методы биомедицинских исследований на базе новых информационных технологий, одной из которых являются «туманные вычисления». В частности, согласно опубликованным данным [1–4], становится актуальным применение такой новой информационной технологии, как «туманные вычисления» в медицинских системах [1, 2].

Термин «туманные вычисления» первоначально был придуман в промышленности как метафора, объясняющая архитектуру построения вычислительной системы: «туман» – это программно-технические средства, находящиеся между «облаком» (центром обработки данных) и «землей» (устройства конечных пользователей) [3].

Кроме того, в настоящее время широко развивается мобильное здравоохранение (mHealth) [5–9]. Оно позволяет осуществлять дистанционную диагностику, мониторинг и лечение заболеваний, популяционную профилактику болезней, оказание помощи посредством телемедицины людям, находящимся в труднодоступных районах, и

т. д. [5, 8]. Мобильные сети охватывают 85 процентов населения земного шара, а пользователей, обладающих мобильным телефонами, около семи миллиардов человек [10]. Поэтому использование мобильных устройств позволяет организовать контакт и обмен информацией между врачом и пациентом в любое время и практически в любой географической точке. В результате этого взаимодействия возникает большой объем данных, которые требуется правильно структурировать и обработать. Следовательно, становятся актуальными задачи по созданию и усовершенствованию технологий, методов и алгоритмов обработки данных, возникающих в процессе применения существующих биомедицинских методов исследования состояния здоровья человека.

Неотъемлемой частью mHealth являются системы обработки данных, которые используют в себе устройства мобильной связи и персональные вычислительные устройства; включают в себя системы сбора и обработки медицинских данных, сложные функциональные средства и приложения, каналы и технологии передачи данных [6]. Существенным преимуществом систем мобильного здравоохранения является возможность использования уже существующих систем связи и применение любых мобильных вычислительных устройств для обработки медицинских данных и мониторинга здоровья пациента. Данное решение снижает стоимость системы обработки данных, так как позволяет экономить на инфраструктуре создания новых систем.

Как следует из опубликованных данных [6, 11], экономическим преимуществом мобильного здравоохранения перед традиционными методами биомедицинских исследований являются: снижение стоимости медицинских и профилактических мероприятий без потери качества и эффективности здоровьесберегающих мер [6, 8, 11].

Постановка задачи

Целью проведенного научного исследования была разработка технологии оптоакустической (далее – ОА) проточной цитометрии и ее последующая интеграция в mHealth. Данная технология может быть реализована в виде мобильного приложения для разработанной авторами системы неинвазивного анализа крови на базе метода ОА проточной цитометрии, которая будет доступна в обычном ритме жизни человека, без очередей в больницах и даже личного посещения врача.

Согласно опубликованным в литературе данным, метод ОА проточной цитометрии в настоящее время является одним из развивающихся направлений медицинской диагностики. Данный метод пока не имеет клинического применения, для него ведутся лабораторные исследования [12–19], и пока не разработаны алгоритмы обработки данных и системы, которые позволили бы получать, хранить и обрабатывать данные о параметрах крови пациента в режиме реального времени и без посещения медицинского учреждения.

Кроме того, применение современных информационно-коммуникационных технологий в части оперативной передачи данных и обработки информации требует разработки малозатратных алгоритмов и принципов построения системы, так как датчики, используемые в ОА проточной цитометрии, измеряют большие объемы данных об амплитуде и спектре акустических волн, которые необходимо не только передавать, но и анализировать.

Полученные большие объемы данных целесообразно обрабатывать с помощью технологии «туманных вычислений» [1–3], в которой используются ресурсы «на земле» – мобильные телефоны, планшеты и другие цифровые устройства, а не центральные узлы сети, как в «облачных вычислениях». Таким образом, обработка данных осуществляется на месте, а каналы передачи данных становятся менее загружены. Более подробно достоинства концепции «туманных вычислений» рас-

смотрены в [2], где описывается создание медицинской системы, с помощью которой можно будет наблюдать за конкретным органом человека с целью предотвращения его критического состояния.

Кроме того, применение мобильных устройств и систем связи позволяет существенно снизить затраты медицинских учреждений на внедрение электронной системы обработки медицинских данных за счет использования уже существующей инфраструктуры при создании новых высокотехнологичных рабочих мест в лечебных учреждениях.

Метод, предложенный в статье

С учетом вышеперечисленных преимуществ, которые может дать применение «туманных вычислений» при построении системы неинвазивного анализа крови на базе ОА проточной цитометрии, авторами была предложена технология mHealth, структура которой приведена на рисунке 1.

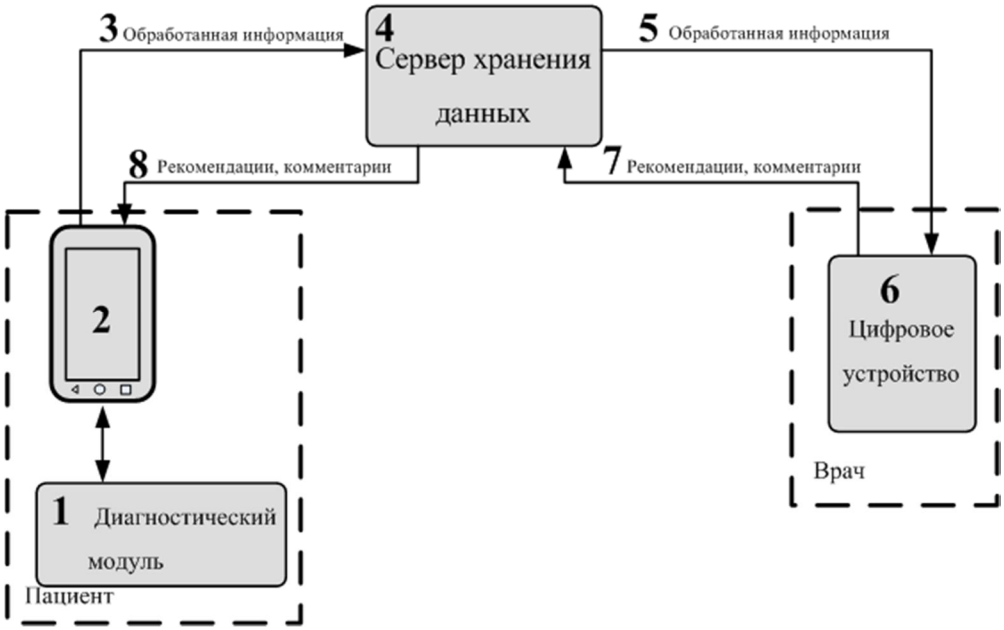


Рис. 1. Технология неинвазивного анализа крови на базе метода ОА проточной цитометрии с использованием «туманных вычислений»: 1 – диагностический модуль (далее – ДМ); 2 – мобильное устройство пациента, на котором происходит обработка полученной информации посредством специализированного мобильного приложения; 3 – передача данных на сервер, на котором сохраняется копия данных; 4 – сервер хранения данных; 5 – передача обработанной информации врачу; 6 – прием и анализ полученной информации на мобильном устройстве врача и принятие им решений; 7 – отправка рекомендаций и комментариев от врача на сервер, где сохраняется копия данных; 8 – передача данных на мобильное устройство пациента

Пациент дома абсолютно безопасно может сделать неинвазивный анализ крови с помощью диагностического модуля (1), данные от которого передаются на смартфон или любое другое цифровое устройство (2), поддерживающее технологии беспроводной связи и имеющее подключение к интернету. При передаче данных (3, 7 и 8) на сервер (4), разгружается сеть, которая передает не весь объем полученных данных, а уже обработанную часть (5), содержащую полезную информацию для анализа врачом (6).

При такой архитектуре системы можно обеспечить конфиденциальность, а сохраненная на сервере информация сможет служить доказательством при возникновении спорных ситуаций между врачом и пациентом. С помощью предложенных принципов можно реализовать систему слежения за параметрами крови пациента в обычном ритме жизни, без очередей в больницах и даже личного посещения врача.

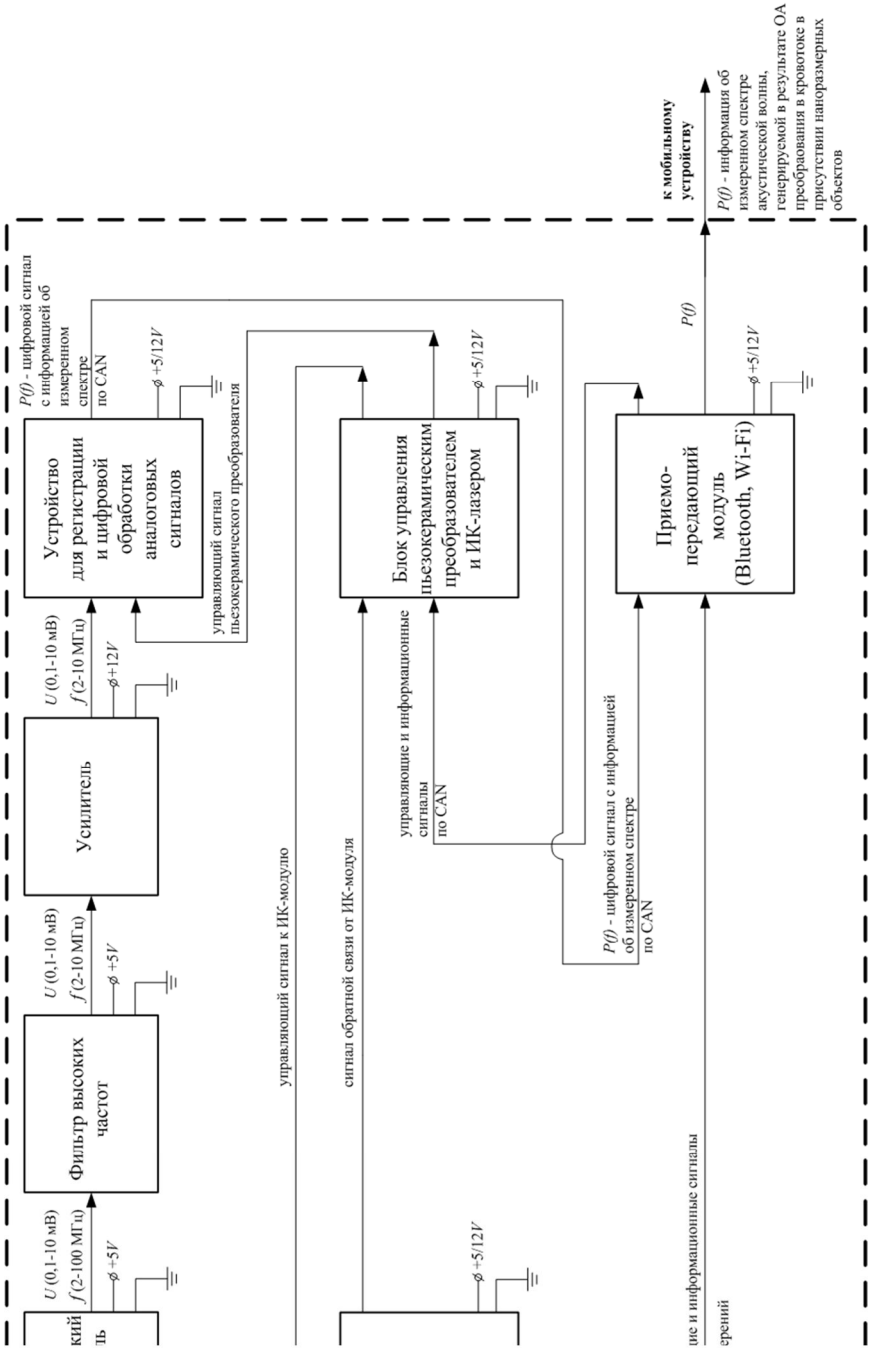


Рис. 2. Функциональная схема диагностического модуля

Имитационное моделирование

Для проверки теории был разработан диагностический модуль (1), показанный на рисунке 2.

Измеренный пьезокерамическим преобразователем сигнал преобразуется с помощью программно-технических средств (далее – ПТС) ДМ в пакеты данных для ПТС первого мобильного вычислительного устройства (далее – МВУ). Далее по линии CAN управляющие команды от ПТС МВУ1 передаются обратно на блок ПТС ДМ для управления инфракрасным лазерным модулем и пьезокерамическим преобразователем. Кроме того, ПТС МВУ1 формируют графические и текстовые файлы в удобном для врача виде, в которых содержится информация о присутствии наноразмерных объектов в крови пациента. Эта информация передается по Wi-Fi или GPRS между МВУ1 и МВУ2, а также на ПТС сервера медицинского учреждения (далее – СМУ), где информация архивируется и хранится, а в случае возникновения спорных ситуаций может быть отправлена на мобильные устройства и врача, и пациента, а также администрации медицинского учреждения.

Интерфейсом между пациентом и диагностическим модулем является оригинальное мобильное приложение, через которое пациент управляет запуском диагностического модуля и через него же получает рекомендации от врача. История проводимых исследований и комментарии врача к ним также доступны через это мобильное приложение.

Информационно-управляющие сигналы от мобильного устройства пациента МВУ1 передаются на вход приемопередающего модуля, который поддерживает интерфейсы и протоколы передачи данных Wi-Fi и Bluetooth. Далее сигналы по CAN (Controller Area Network) передаются на блок управления пьезокерамическим преобразователем и ИКЛМ, который начинает генерировать оптический сигнал малой мощности, направленный к коже пациента. Пьезокерамический преобразователь принимает акустический сигнал, который затем пропускается через фильтр и усилитель.

Спектр принятого акустического сигнала, который несет информацию о параметрах крови пациента, показан на рисунке 3.

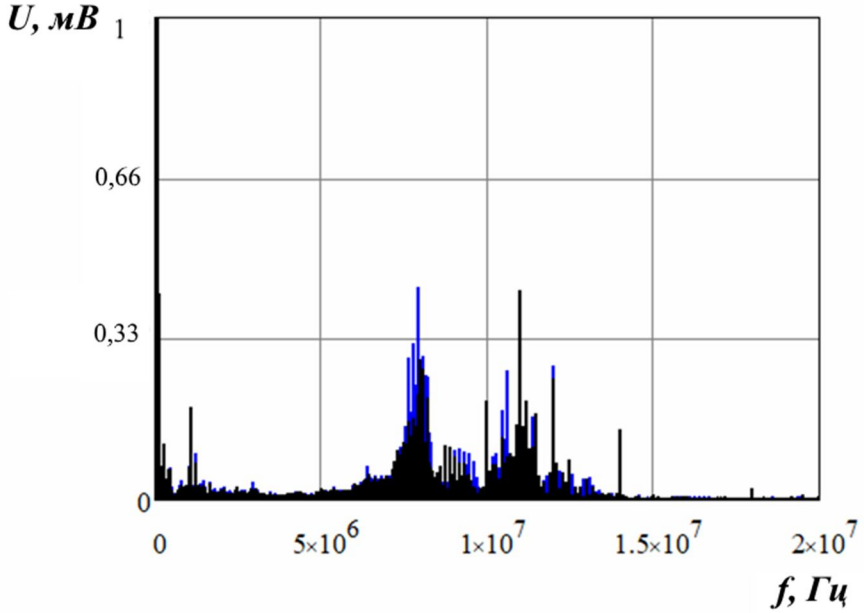


Рис. 3. Спектр принятого оптоакустического сигнала

Далее принятый спектр отправляется на устройство регистрации и цифровой обработки аналоговых сигналов, которое может сформировать файл с первично обработанными данными $P(f)$, которые содержат информацию об уровне измеренного акустического сигнала, и эти обработанные данные отправляются на мобильное вычислительное устройство каждого пациента (МВУ1). При этом объем вычислительной нагрузки, приходящейся на каждое МВУ пациента, может быть оценен согласно методике, изложенной в [20].

Данные исследования планируется провести в дальнейшем, для верификации экспериментальных исследований разработанной технологии неинвазивного анализа крови методом ОА проточной цитометрии, для того чтобы оценить показатели надежности и вычислительную нагрузку в зависимости от объема пересылаемых данных в разработанной системе.

Обсуждение результатов и заключение

В предложенной технологии неинвазивного анализа крови на базе метода ОА проточной цитометрии учтен опыт разработки и внедрения уже существующих приложений для мобильных телефонов, которое позволяют осуществлять, например, мониторинг сахара в крови, вести электронный дневник и получать рекомендации врача в режиме реального времени [21–23].

Разработанная технология обеспечивает решение следующих основных задач:

– ведение и корректировка базы данных, содержащей информацию о дате и параметрах анализа крови пациента;

– отображение графической информации о параметрах анализа крови пациента в согласованной с врачом и утвержденной администрацией медицинского учреждения форме;

– отображение числовой и текстовой (сообщения) диагностической информации в согласованной с врачом и утвержденной администрацией медицинского учреждения форме;

– отображает предупреждения и сообщения об ошибках в работе системы и диагностического модуля;

– отображает подсказки пользователю;

– обеспечивает защиту от несанкционированного доступа и разграничение прав пользователей (пациента, врача и администрации медицинского учреждения).

Одним из преимуществ технологии неинвазивного анализа крови является уменьшение латентности, так как обработка медицинских данных чувствительна к временным задержкам. Сокращение времени обработки данных прямо пропорционально увеличению процента выживаемости среди пациентов [2].

Также важной особенностью предложенной технологии является возможность использования уже существующих вычислительных ресурсов пациента и медицинского учреждения (лечащего врача), так как при обработке данных используются «туманные вычисления». При этом затраты медицинского учреждения сведены к минимуму, а затраты пациента заключаются в приобретении диагностической системы и мобильного приложения.

Выводы

Внедрение предложенной авторами технологии неинвазивного анализа крови на базе метода ОА проточной цитометрии с применением концепции «туманных вычислений» для реализации в mHealth может привести к экономии времени и ресурсов пациента и уменьшить время ожидания консультации лечащего врача. Со стороны медицинского учреждения – привести к экономии затрат на содержание стационарных рабочих мест за счет использования уже существующей инфраструктуры медицинского учреждения и существующих вы-

числительных ресурсов (мобильных устройств врача и пациентов), к упрощению хранения информации и повышению уровня безопасности при сохранении конфиденциальности и врачебной тайны и без потери качества и эффективности медицинского обслуживания.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 01201354238 и ПФИ Президиума РАН №I.30 «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации (ГЗ ЮНЦ РАН, №гр. проекта А18-118011290099-9)» и в рамках реализации проекта РФФИ №18-05-80092.

Список литературы

1. Tuan Nguyen Gia, Mingzhe Jiang, Amir-Mohammad Rahmani. Fog Computing in Healthcare Internet of Things: A Case Study on ECG Feature Extraction // IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing. 2015. P. 356–363.

2. Frank Alexander Kraemer, Anders Eivind Braten, Nattachart Tamkittikhun. Fog computing in healthcare – a review and discussion // EEE Access. 2017. Vol. 5. P. 9206–9222.

3. Aazam M., Huh E.N. E-HAMC: Leveraging Fog Computing for Emergency Alert Service // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops). 2015. P. 518–523.

4. Каляев И.А., Мельник Э.В. Метод мультиагентного распределения ресурсов в интеллектуальных многопроцессорных вычислительных системах // Наука Юга России. 2007. № 3 (4). С. 37–46.

5. Агаджанов М. mHealth — «мобильное» здравоохранение в современном мире [Электронный ресурс]. Электронный ресурс для IT-специалистов, издаваемый компанией «ТМ»: [сайт]. [2014]. URL: https://habr.com/company/medgadgets/blog/227159/ (дата обращения: 08.10.2018).

6. Мобильное здравоохранение. Новые горизонты здравоохранения через технологии мобильной связи: доклад о результатах второго глобального обследования в области электронного здравоохранения. 2013. Серия «Глобальная обсерватория по электронному здравоохранению». Т. 3. 112 с.

7. Колосов А. С., Прошин А. В. Применение медицинских мобильных приложений в практике амбулаторно-поликлинического звена // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 1 (67). С. 55–57.

8. Никитин П. В., Мурадянц А. А., Шостак Н. А. Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы // Клиницист. 2015. № 4. С. 13–20.

9. Мобильные технологии на службе охраны здоровья / О. П. Честнов, С. А. Бойцов, А. А. Куликов, Д. И. Батурин // Медицинские технологии. 2015. № 2. С. 6–10.

10. Pew Internet & American Life Project. Internet, Broadband, and Cell Phone Statistics [Электронный ресурс]. Pew Reseach Center: [сайт]. [2010]. URL: http://www.pewinternet.org/Reports/2010/Internetbroadband-and-cell-phone-statistics.aspx?r=1 (дата обращения: 07.10.2018).

11. Проект: Единая государственная информационная система здравоохранения (ЕГИСЗ). TAdviser.ru – площадка для топ-заказчиков и поставщиков ИТ в России [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Единая_государственная_информационная_система_здравоохранения_(ЕГИСЗ) (дата обращения: 07.10.2018)

12. In vivo noninvasive analysis of graphene nanomaterial pharmacokinetics using photoacoustic flow cytometry / Dmitry A. Nedosekin, Jacqueline Nolan, Chengzhong Cai, Shawn E. Bourdo, Zeid Nima Alexandru S. Biris, Vladimir P. Zharov // Journal of Applied Toxicology. 2017. Vol. 37 (11). P. 1297–1304.

13. Optimized signal detection and analysis methods for in vivo photoacoustic flow cytometry / Qiyan Wang, Quanyu Zhou, Ping Yang, Xiaoling Wang, Zhenyu Niu, Yuanzhen Suo, Hao He, Wenyuan Gao, Shuo Tang, Xunbin Wei // Biophotonics and Immune Responses XII. 2017. Vol. 10065.

14. Simultaneous ultrasound and photoacoustics based flow cytometry / Vaskar Gnyawali, Eric M. Strohm, Scott S. H. Tsai, Michael C. Kolios // Photons Plus Ultrasound: Imaging and Sensing. 2018. Vol. 10494.

15. Label-free counting of circulating cells by in vivo photoacoustic flow cytometry /Quanyu Zhou, Ping Yang, Qiyan Wang, Kai Pang, Hui Zhou, Hao He, Xunbin Wei // Biophotonics and Immune Responses XIII. 2018. Vol. 10495.

16. Кравчук Д. А., Орда-Жигулина Д. В., Слива Г. Ю. Экспериментальные исследования оптоакустического эффекта в движущейся жидкости // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 4 (189). С. 246–254.

17. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Математическое моделирование оптико-акустического сигнала от эритроцитов // Вестник новых медицинских технологий. 2018. № 1. С. 96–101.

18. Кравчук Д. А. Особенности формирования оптоакустических волн в биологических тканях // Инженерный вестник Дона: электронный журнал. 2007. № 1 (48). С. 23.

19. Starchenko I.B., Kravchuk D.A., Kirichenko I.A. An Optoacoustic Laser Cytometer Prototype // Biomed. Eng. (NY). Springer. 2018. Vol. 51, N 5. P. 308–312.

20. Мельник Э. В., Клименко А. Б., Иванов Д. Я. Модель задачи распределения вычислительной нагрузки для информационно-управляющих систем на базе концепции туманных вычислений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 2. С. 174–187.

21. Больница на дому с удаленным контролем врачей [Электронный ресурс] // mHealth. Мобильная медицина в России и мире: [сайт] [2018]. URL: https://mhealthrussian.wordpress.com/2018/04/03/больница-на-дому-с-удаленным-контролем/ (дата обращения: 08.10.2018).

22. Абдуллаев В. Г., Чуба И. В. Т.К.А. Мобильные приложения для здоровья // Медицинская информатика и инженерия. 2014. Vol. 3. P. 89–92.

23. Топ-10 мобильных приложений для системы здравоохранения [Электронный ресурс] // ТЕЛЕМЕДИЦИНА. RU. Первое профильное СМИ: [сайт]. [2018]. URL: https://telemedicina.ru/news/world/top-10-mobilnyh-prilozheniy-dlya-sistemy-zdravoohraneniya (дата обращения: 08.10.2018).

Получено 25.07.2018

UDC 534.61

M. V. Orda-Zhigulina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southern Scientific Center of the RAS (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: jigulina@mail.ru)

D. V. Orda-Zhigulina, Junior Researcher, Southern Scientific Center of the RAS (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: dinazhigulina@mail.ru)

FOG COMPUTING APPLICATION FOR NON-INVASIVE BLOOD TEST BY OPTOACOUSTIC FLOW CYTOMETRY FOR MHEALTH

It is important to develop modern medical digital technologies for processing, transmitting and storing the data of biomedical research. This is necessary to integrate both existing medical research methods and those first developed in mobile healthcare (mHealth). In mHealth it is possible to carry out remote diagnostics, moni-

toring and treatment of diseases, population prevention of diseases, rendering assistance through telemedicine to people, etc. At the same time mobile computing devices allows to organize contact and exchange of information between doctor and patient all over the world anytime. Big data base needs a lot of calculations and huge amount of computers. So «fog computing» could optimize this big data.

In this paper technology and principles of the mobile application mHealth, are discussed. It is presented the system of non-invasive blood test which is based on optoacoustic flow cytometry and "fog computing." Also the smart sensor which is consisted of infrared laser and piezoceramic sensor is described.

***Key words**: data collection and processing systems, eHealth, mHealth, medical system, fog computing.*

For citation: Orda-Zhigulina M. V., Orda-Zhigulina D. V. Fog computing application for non-invasive blood test by optoacoustic flow cytometry for mhealth. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 99–108 (in Russ.).

***

References

1. Tuan Nguyen Gia, Mingzhe Jiang, Amir-Mohammad Rahmani. Fog Computing in Healthcare Internet of Things: A Case Study on ECG Feature Extraction. IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing, 2015, pp. 356–363.

2. Frank Alexander Kraemer, Anders Eivind Braten, Nattachart Tamkittikhun. Fog computing in healthcare – a review and discussion. EEE Access, 2017, vol. 5, pp. 9206–9222.

3. Aazam M., Huh E.N. E-HAMC: Leveraging Fog Computing for Emergency Alert Service. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015, pp. 518–523.

4. Kalyaev I.A., Mel'nik Eh.V. Metod mul'tiagentnogo raspredeleniya resursov v intellektual'nyh mnogoprocessornyh vychislitel'nyh sistemah. Nauka Yuga Rossii, 2007, no. 3 (4), pp. 37–46.

5. Agadzhanov M. mHealth – «mobil'noe» zdravoohranenie v sovremennom mire. Ehlektronnyj resurs dlya IT-specialistov, izdavaemyj kompaniej «TM»: [sajt]. [2014]. URL: https://habr.com/ company/medgadgets/blog/227159/ (accessed 08.10.2018).

6. Mobil'noe zdravoohranenie. Novye gorizonty zdravoohraneniya cherez tekhnologii mobil'noj svyazi. Doklad o rezul'tatah vtorogo global'nogo obsledovaniya v oblasti ehlektronnogo zdravoohraneniya. 2013. Seriya «Global'naya observatoriya po ehlektronnomu zdravoohraneniyu», vol. 3, 112 p.

7. Kolosov A. S., Proshin A. V. Primenenie medicinskih mobil'nyh prilozhenij v praktike ambulatorno-poliklinicheskogo zvena. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2018, no. 1 (67), pp. 55–57.

8. Nikitin P. V., Muradyanc A. A., Shostak N. A. Mobil'noe zdravoohranenie: vozmozhnosti, problemy, perspektivy. Klinicist, 2015, no. 4, pp. 13–20.

9. Chestnov O. P., Bojcov S. A., Kulikov A. A., Baturin D. I. Mobil'nye tekhnologii na sluzhbe ohrany zdorov'ya. Medicinskie tekhnologii, 2015, no. 2, pp. 6–10.

10. Pew Internet & American Life Pro-ject. Internet, Broadband, and Cell Phone Statistics. Pew Reseach Center: [sajt]. [2010]. URL: http://www.pewinternet.org/Reports/2010/Internetbroadband-and-cell-phone-statistics.aspx?r=1 (accessed 07.10.2018).

11. Proekt: Edinaya gosudarstvennaya informacionnaya sistema zdravoohrane-niya (EGISZ). TAdviser.ru – ploshchadka dlya top-zakazchikov i postavshchikov IT v Rossii. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/ Proekt:Edinaya_gosudarstvennaya_informacionnaya_sistema_zdravoohraneniya_ (EGISZ) (accessed 07.10.2018)

12. Dmitry A. Nedosekin, Jacqueline Nolan, Cheng-zhong Cai, Shawn E. Bourdo,

Zeid Nima Alexandru S. Biris, Vladimir P. Zharov. In vivo noninvasive analysis of graphene nanomaterial pharmacokinetics using photoacoustic flow cytometry. Journal of Applied Toxicology, 2017, vol. 37 (11), pp. 1297–1304.

13. Qiyan Wang, Quanyu Zhou, Ping Yang, Xiaoling Wang, Zhenyu Niu, Yuanzhen Suo, Hao He, Wenyuan Gao, Shuo Tang, Xunbin Wei Optimized signal detection and analysis methods for in vivo photoacoustic flow cytometry. Biophotonics and Immune Responses XII, 2017, vol. 10065.

14. Vaskar Gnyawali, Eric M. Strohm, Scott S. H. Tsai, Michael C. Kolios Simultaneous ultrasound and photoacoustics based flow cytometry. Photons Plus Ultra-sound: Imaging and Sensing, 2018, vol. 10494.

15. Quanyu Zhou, Ping Yang, Qiyan Wang, Kai Pang, Hui Zhou, Hao He, Xunbin Wei Label-free counting of circulating cells by in vivo photoacoustic flow cytome-try. Biophotonics and Immune Responses XIII, 2018, vol. 10495.

16. Kravchuk D. A., Orda-Zhigulina D. V., Sliva G. Yu. Ehksperimental'nye issledovaniya optoakusticheskogo ehffekta v dvizhushchejsya zhidkosti. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki, 2017, no. 4 (189), pp. 246–254.

17. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Matematicheskoe modelirovanie optikoakusticheskogo signala ot ehritrocitov. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij, 2018, no. 1, pp. 96–101.

18. Kravchuk D. A. Osobennosti formirovaniya optoakusticheskih voln v biologicheskih tkanyah. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj zhurnal, 2007, no. 1 (48), p. 23.

19. Starchenko I.B., Kravchuk D.A., Kirichenko I.A. An Optoacoustic Laser Cytometer Prototype. Biomed. Eng. (NY). Springer, 2018, vol. 51, no. 5, pp. 308–312.

20. Mel'nik Eh. V., Klimenko A. B., Ivanov D. Ya. Model' zadachi raspredeleniya vychislitel'noj nagruzki dlya informacionno-upravlyayushchih sistem na baze koncepcii tumannyh vychislenij. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2018, no. 2, pp. 174–187.

21. Bol'nica na domu s udalennym kontrolem vrachej. Mobil'naya medicina v Rossii i mire: [sajt]. [2018]. URL: https://mhealthrussian.wordpress.com/2018/04/03/bol'nica-na-domu-s-udalennym-kontrolem/ (accessed 08.10.2018).

22. Abdullaev V. G., Chuba I. V. T.K.A. Mobil'nye prilozheniya dlya zdorov'ya. Medicinskaya informatika i inzheneriya, 2014, vol. 3, pp. 89–92.

23. Top-10 mobil'nyh prilozhenij dlya sistemy zdravoohraneniya. TELEMEDICINA. RU. Pervoe profil'noe SMI: [sajt]. [2018]. URL: https://telemedicina.ru/news/world/top-10-mobilnyh-prilozheniy-dlya-sistemy-zdravoohraneniya (accessed 08.10.2018).

УДК 615.47:616-072.7

М. В. Артеменко, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: artem1962@mail.ru)

В. Н. Мишустин, д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» (Курск, Россия) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ САМООРГАНИЗАЦИОННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Реализации задач развития телемедицины, повышение результативности массовых осмотров, скрининга социально значимых заболеваний и донозологической диагностики обусловливают необходимость разработки и эффективного применения автоматизированных систем поддержки принятия решений на различных этапах медицинского обслуживания населения. Учитывая специфику регистрируемой медицинской информации о пациенте, в работе рассматривается модификация метода анализа иерархий, дополняя его концептуальными особенностями самоорганизационного моделирования: свобода выбора решений на каждом итерационном шаге, внешнее дополнение, целенаправленный случайный поиск.

Матрица предпочтений формируется на основе вычисляемых значений внутренних и внешних критериев, в качестве которых предлагается использовать индикаторы функциональных и корреляционных различий, определяемые по приведенным авторским формулам. В качестве индикатора корреляционных различий применяется значение максимального градиента функциональных отличий.

В работе рассматриваются три способа формирования матрицы предпочтений: «стратегия поликритериального внешнего дополнения», «стратегия полного внешнего дополнения», «итерационная поликритериальная стратегия». Предлагаемые подходы позволяют на основе матрицы предпочтений, элементы которой над главной диагональю являются внешним информационным дополнением элементов под главной диагональю, получать ранжированные рекомендации решений для реализации диагностического процесса.

Реализации предлагаемого подхода функционирования базы знаний системы поддержки принятия альтернативных решений предлагается осуществлять согласно информационно-аналитической модели формирования вектора предпочтений в медицинской экспертной системе, предварительно оценивая значения частных критериев выбора альтернатив. Модель представляет собой структуру, состоящую из следующих модулей: база данных, базы внутренних и внешних критериев, модули формирования вектора и матрицы предпочтений, модули формирования решающих правил и вектора предпочтений. Область применения – автоматизированные системы поддержки принятия диагностических решений, медицинские экспертные системы.

***Ключевые слова**: диагностика, метод анализа иерархий, самоорганизационное моделирование, системы поддержки принятия решений.*

Ссылка для цитирования: Артеменко М. В., Мишустин В. Н. Применение самоорганизационного метода анализа иерархий в автоматизированных системах поддержки принятия диагностических решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 109–118.

***

Введение

Развитие информационного, постиндустриального общества обусловливает повышенные требования к качеству оказания медицинской помощи населению, включая профилактику заболеваний. В стратегических направлениях развития «цифровой медицины» это достигается путем разработки и применения методов и средств, достижений искусственного интеллекта и синергетического моделированич в СППДР (системах поддержки принятия диагностических решений) в автоматизированных рабочих местах врачей различных специализаций [1].

Одна из базовых парадигм применения методологий системного анализа в медицинской прикладной области является то, что кластеры определенных состояний органов и физиологических систем организма характеризуются определенными, диагностически специфиче-

скими и чувствительными структурами данных регистрируемых индикаторных признаков [2–6].

В процессе конструирования медицинских экспертных систем (МЭС) требуют научного и инженерно-медицинского разрешения такие проблемы, как: формирование групп индикаторных (или, как минимум, информативных) признаков, синтез множеств альтернативных решений (особенно это проявляется в алгоритмах дифференциальной диагностики), выбор тезауруса дружественного интерфейса. Вопросам формирования репрезентативного набора информативных прямых и латентных признаков в различных метриках и на основе различных методов исследования структуры медико-специфичных данных посвящено множество теоретико-практических исследований (см., например, работы [7–10]).

Синтез альтернативных решений в медицинских приложениях имеет особенности использования в условиях неопределенности и применения различных робастных подходов к формированию импликаций. Основные направления представлены в работах Л. Ластеда, M. Iezerman, K. Owens, P. Саттона и др. [11–13]. Поскольку возрастающие объемы множеств данных, по которым формируются решающие правила, на первом этапе проектирования СППДР приводят к появлению большого количества альтернативных (в том числе «тупиковых») решений, то приобретает актуальность проблема организации автоматического выбора (селекции) наиболее продуктивных.

Достаточно хорошо разработанным и апробированным в социологии и экономике является подход формирования множества альтернативных решений на основе метода анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Л. Саати [14, 15]. Поскольку описание объектов в указанных предметных областях близко к описанию биомедицинских объектов (выборки малых объемов, большая размытость значений регистрируемых характеристик, высокие риски последствий принятия неправильных решений и т. п.), то предлагается использовать в рассматриваемом случае модифицированный МАИ, дополнив его методиками самоорганизационного моделирования (реализованными в методе группового учета аргументов – МГУА [16]).

В работе [17] в качестве критериев селекции итерационных алгоритмов МГУА, применяемых для моделирования функций продукционных решающих правил, предлагается использовать индикаторы корреляционных и функциональных различий между кластерами состояний (процессов) в качестве внутренних и внешних критериев.

Материалы и методы

Учитывая специфику предметной области, личный опыт [17], в функционирование медицинской экспертной системы (МЭС) предлагается заложить следующий базовый алгоритм:

1. Осуществляется формирование базы данных МЭС, в которую включаются только информативные признаки, нормируемые в единичный диапазон.

2. Синтезируются решающие правила соотнесения объекта к определенному кластеру для базы знаний МЭС.

3. Осуществляется диагностика состояния пациента с помощью МЭС. Для каждого альтернативного кластера ω_k вычисляются значения меры дальности от модального центра по следующей формуле:

$$K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_k}} = \frac{1}{\frac{1}{m}\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(c_j - c_{j.\omega_k})^2} + \varepsilon}, \quad (1)$$

где m – количество моделей в ω_k;

ε – ошибка вычислений;

c_j – измеряемое значение признака j;

c_{j,ω_l} – модальное значение признака j в ω_k.

По значениям мер $K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_k}}$ оценивается значение коэффициента уверенности U_{ω_k}:

$$U_{\omega_k} = 1 - \frac{\sum_{l=1, l\neq k}^{L} K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_k}}}{L \cdot \max\left(\frac{K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_l}}}{\sum_{r=1}^{L} K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_r}}}\right) \cdot \sum_{r=1}^{L} K_{\{c\}-\{c\}_{\omega_r}}}, \quad (2)$$

где L – количество кластеров состояний.

Тогда для вычисления значений «индикатора функциональных различий» Ifd_{ω_l} применяется формула

$$Ifd_{\omega_l} = U_{\omega_l} - \prod_{k=0, k\neq l} (1 - U_{\omega_k}). \quad (3)$$

4. В базу знаний МЭС импортируются решающие правила:

А: *ЕСЛИ* $K_{\{c\}-\{C\}_{\omega_k}} = max_j(K_{\{c\}-\{C\}_{\omega_j}})$, *ТО состояние пациента соотносится к* ω_k *с уверенностью* U_{ω_k}.

Б: *ЕСЛИ* $Ifd_{\omega_k} > Ifd_c)\&(U_{\omega_k} \geq (1 - \prod_{l=1, l\neq k}^{L} (1 - U_{\omega_l}))\& \sum_{l=1. l\neq k}^{L} (U_{\omega_l}) \neq 0)$,

ТО состояние пациента соотносится к ω_k *с уверенностью* U_{ω_k},

где Ifd_c – пороговое значение (рекомендуется Ifd_c=0,5).

Правило А соотносит состояние к наиболее близкому из кластеру в пространстве состояний. Правило Б – к тому классу ω_k, у которого уверенность соотнесения к классу превышает неуверенность соотнесения к другим классам. Назовем это правило «*альтернативным*».

После применения правил А и Б МЭС вычисляет значение интегрального коэффициента уверенности Uw_k правильной классификации (диагностики):

$$Uw_k = (1-a)\cdot(1-b)\cdot(1-U_{w_k}^2) + (a-b)^2\cdot(1-U_{w_k} + U_{w_k}^2) + a\cdot b\cdot U_{w_k}\cdot(2-U_{w_k}). \quad (4)$$

5. Осуществляется коррекция базы знаний МЭС в ходе накопления диагностического опыта.

В процессе исследования состояний различных физиологических систем или органов пациента регистрируются разнообразные сигналы (ЭКГ и т. п.). В качестве характеристик структуры данных предлагается применять в этом случае хорошо зарекомендовавшие себя при решении задач распознавания образов определенные функции сигналов: дифференциальная и интегральная, энтропийная, автокорреляционная, спектральная (различных порядков).

Это позволяет в качестве индикаторной переменной использовать максимальный градиент функциональных различий [17].

Значение индикатора корреляционных различий Ikd_{ω_l} тогда определяется как

$$Ikd_{\omega_l} = \frac{MGFD_{\omega_l}}{n-1}. \quad (5)$$

Рассмотренный подход успешно применялся при решающих модулях СППДР для [18]: диагностики герпеса и онкологических заболеваний желудка, болезней печени; оценки степени напряжения функционального состояния оператора ЭВМ; прогноза здоровья новорожденного.

Дифференциальная диагностика предполагает присутствие проблемы выбора в вершинах деревьев графа решений, которая разрешается путем анализа матрицы коэффициентов парных различий $PRD_{k,l}$ (k,l – «индексы» решений).

В данном случае технология выбора хорошо формализуется методом анализа иерархий [14]. Элементы матрицы PRD предлагается определять экспертным путем или путем применения частотного анализа возникновения альтернативных ситуаций. Поскольку последнее основывается на доказательной медицине [19], положения которой не

соблюдаются в случае большого количества кластеров, то предлагается применять следующий подход к вычислению матрицы *RPD*.

В классическом варианте для элементов матрицы *RPD* характерны соотношения:

$$RPD_{l,\mathrm{k}} = 1 - RPD_{k,\mathrm{l}},$$
$$RPD_{k,\mathrm{k}} = 1,$$
$$0 \le RPD_{l,\mathrm{k}} \le 1. \qquad (6)$$

Для решения задачи использования множества различных критериев $\{CSA\}_{NA}$ (*NA* – количество альтернатив) предлагается разбить $\{CSA\}_{NA}$ на подмножества: внутренние $\{CSA\}_{Ni}^{Int}$ (применяются на обучающей выборке) и внешние дополнения $\{CSA\}_{Ne}^{Ext}$ (применяются на экзаменационной выборке). При этом *NA=Ni+Ne*.

Матрицу *{RPD}* в этом случае предлагается формировать следующими способами.

Способ 1. Элементы *{RPD}* вычисляются как

$$RPD_{k,l} = f(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Int}),$$
$$RPD_{\mathrm{l,k}} = 1 - \varphi(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Ext}),$$
$$RPD_{k,k} = 1. \qquad (7)$$

Затем, согласно Т. Саати, определяется собственный вектор матрицы *{RPD},* на основании которого СППДР формирует различные рекомендации. Элементы матрицы, стоящие под главной диагональю, вычисляются согласно функциям $f(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Int})$, а над главной диагональю – функциями $\varphi(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Ext}$.

Если $f(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Int}) = \varphi(\{\mathrm{CSA}\}_{Ni}^{Ext}$, обучающие и экзаменационные подвыборки подчинены одному закону распределения, то получаем классический вариант *{RPD}* для анализа иерархий [14].

«С*тратегией поликритериального внешнего дополнения*» назовем рассмотренный процесс.

Способ 2. «С*тратегия полного внешнего дополнения*».

Матрица предпочтений *{RPD}* в данном случае вычисляется как

$$RPD_{k,l} = \psi(CSA_m),$$
$$RPD_{l,\mathrm{k}} = 1 - \theta(\neg \mathrm{CSA}_m), \qquad (8)$$

где $CSA_m \subset \{CSA\}_{Ni}^{Int} \cup \{CSA\}_{Ne}^{Ext}$;

$CSA_m = \{CSA\}_{Ni}^{Int} \cup \{CSA\}_{Ne}^{Ext} - CSA_m$;

$m = random(NA)_{k,l}$;

$RPD_{l,l} = 1$.

Затем определяется вектор собственных значений матрицы *RPD* и формируются рекомендации по выбору диагностического решения.

Элементы под главной диагональю вычисляются с помощью функции $\psi(CSA_m)$ от случайно выбранной оператором *random*() альтернативы CSA_m. Остальные элементы матрицы используются в дальнейшем в качестве внешнего дополнения. Для вычисления их значений применяется функция $\theta(\neg \mathrm{CSA}_m)$.

Способ 3. «*Итерационная поликритериальная стратегия*».

Для вычисления матрицы предпочтений предлагается использовать следующий алгоритм:

1. Применяя функции $\psi(CSA_m)$, вычисляют элементы матрицы *RPD* , стоящие под главной диагональю. Применяя функции (1- $\psi(CSA_m)$) – элементы матрицы, стоящие над главной диагональю.

2. Определяется собственный вектор матрицы *W(RPD)*.

3. Вычисляются элементы матрицы предпочтений «второго порядка» $\{RPD^*\}$. Положительная разница между соответствующими элементами собственного вектора определяет значения элементов, стоящих под главной диагональю матрицы $\{RPD^*\}$, отрицательная – элементов, стоящих над главной диагональю.

4. Пункты 2 и 3 повторяются, пока множество критериев (согласно собственному вектору матрицы предпочтений) не является пустым (иначе – переходим к п.5).

5. Финальное решение принимается по итоговому вектору *W(RPD)*.

Таким образом, в предлагаемых способах применяется принцип внешнего дополнения самоорганизационного моделирования.

Реализация

Реализация предлагаемого модифицированного МАИ представлена информационно-аналитической моделью (моделью формирования вектора предпочтений в МЭС), приведенной на рисунке.

Описание работы основных модулей модели приведено в разделе «Материалы и методы». «Модуль стратегий формирования вектора предпочтений» позволяет ЛПР (лицу, принимающему решение – медицинскому работнику) анализировать совокупность стратегий формирования вектора предпочтений: внешнего поликритериального дополнения, итерационно-поликритериального и полного внешнего дополнения.

Отказ ЛПР от всех восьми сочетаний рассмотренных стратегий предполагает формирование вектора предпочтений в неавтоматическом режиме с учетом диагностического опыта ЛПР.

Финальный вариант вектора диагностических предпочтений $\overline{FPr}$ формируется следующим образом. После применения выбранных стратегий имеется несколько вариантов векторов $W(PRD)_{1,2,3,0}$ (0 соответствует стратегии «диагностического опыта»).

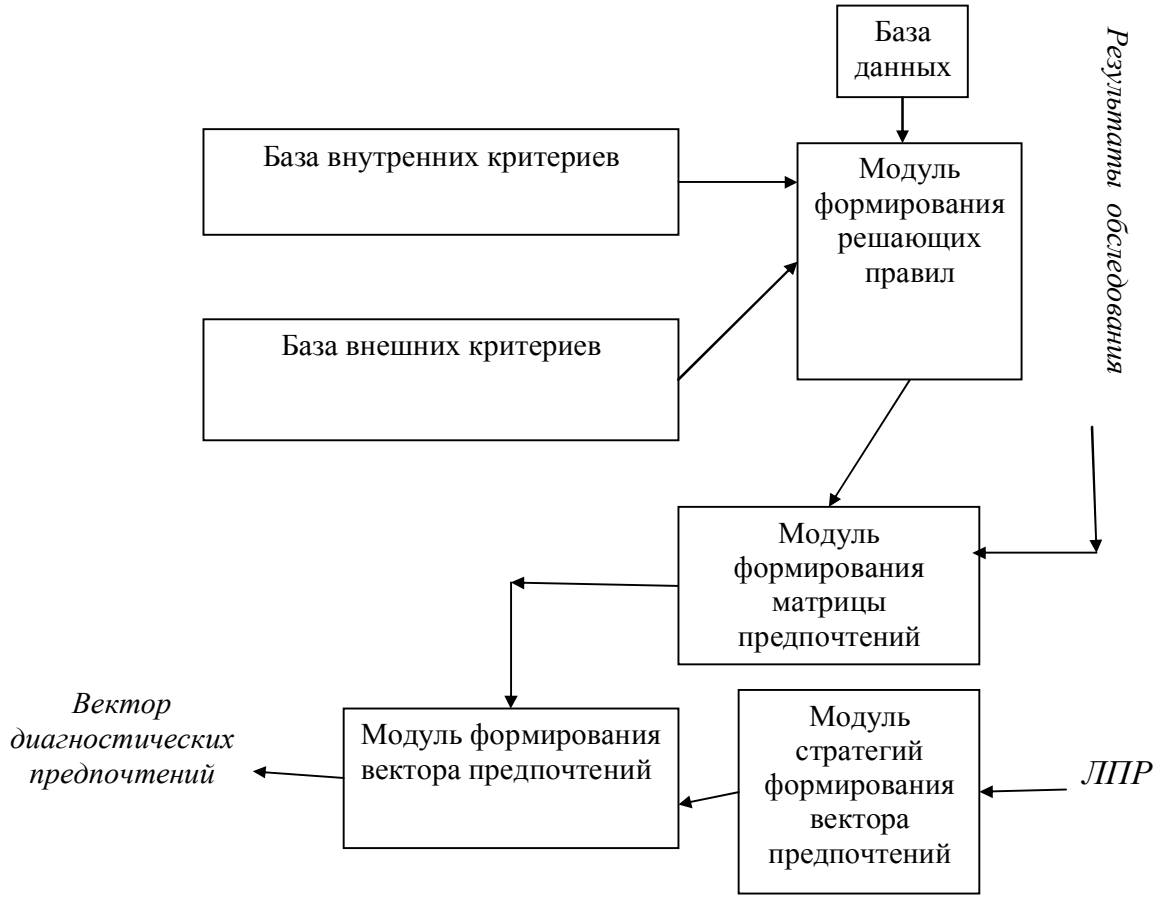


Рис. Информационно-аналитическая модель формирования вектора предпочтений диагностических решений

Для каждого из них получаем вектор предпочтений частной стратегии:

$$Pr_i = \{\frac{Pr_{i,1}}{con(Pr_{i,1})}, \frac{Pr_{i,2}}{con(Pr_{i,2})}, ..., \frac{Pr_{i,L}}{con(Pr_{i,L})}\}, \quad (10)$$

где i=1, 2, 3, 0 – номер выбранной стратегии;

$con(Pr_{i,j})$ – уверенность в том, что альтернатива j имеет предпочтение $Pr_{i,j}$;

L – количество альтернатив;

$$Pr_{i,j} = \begin{cases} 1, & если \quad W_j \in [\max(W_j)\cdot(1-\varepsilon_j); \max(W_j)] \\ \dfrac{1}{\ln(\dfrac{\max(W_j)}{W_j\cdot(1-\varepsilon_j)})}, & иначе \end{cases} \quad (11)$$

$$con(Pr_{i,j}) = \frac{Pr_{i,j}}{\sum_{j=1}^{L} Pr_{i,j}}, \quad (12)$$

$\varepsilon_j = \dfrac{\Delta W_j}{W_j}$ – относительная допустимая погрешность W_j (определяется ЛПР, рекомендуется выбирать в диапазоне от 0,01 до 0,1).

По полученным векторам частных стратегий определяем составляющие вектора $\overline{FPr}$ как

$$FPr_j = \frac{\sum_{i=0}^{3}(Pr_{i,j}\cdot con(Pr_{i,j}))}{\sum_{i=0}^{3}(con(Pr_{i,j}))}.$$

Результаты вычислительного эксперимента

Выбор определенной стратегии выбора альтернатив во многом обусловливается структурой данных и целями исследования, субъективно обоснованными мнениями исследователей.

В частности, рассмотрим результаты формирования множества информативных признаков для решения классификационной задачи исходов тромбоэмболии в процессе эндопротезирования. Анализировались индикаторные возможности 130 признаков, рекомендованных медиками-экспертами, и два класса исходов заболевания: «летальный» – *OutD* и «не летальный» – *OutR*. Исходные выборки формировались соответственно по 400 историям болезней пациентов хирургического отделения Курской областной больницы. В качестве сравнения использовались результаты применения интегрального метода формирования множества информативных признаков, использующего частные критерии и коэффициенты Кендалла в качестве весовых коэффициентов [20, 21].

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице.

Кроме рангов признаков, вычисленных интегральным методом, учитывающим специфичность обработки бинарных признаков [21] (способ 0), способами 1-3 и совокупным способом (способ 4), которые представлены в данной работе (формулы (7), (8), итерационный алгоритм и (11) соответственно), для каждого признака x_i вычислялись значения классификационного индикатора IK_i, отражающего индикаторные возможности признака, следующим образом.

Методом, предложенным в работе [22], для множества всех первоначально регистрируемых признаков {X} на обучающей выборке определяется линейная дискриминантная функция, разделяющая классы *OutD* и *OutR*. На экзаменационной выборке определяется значение диагностической эффективности ACC_0. Формируется множество $\{X\}_{-i}=\{X\}\setminus x_i$, на котором аналогичным образом вычисляется значение ACC_i. По полученным значениям определяется величина IK_i по формуле

$$IK_i = 1 - \frac{ACC_i}{ACC_0}.$$

Результаты ранжирования признаков (фрагмент)

Признак	X4	X101	X100	X99	X31	X122	X123	X9	X37
Ранг по способу 0	87	86	80	75	61	60	60	43	43
Ранг по способу 1	90	89	91	88	86	54	56	52	52
Ранг по способу 2	92	92	89	91	85	76	75	75	72
Ранг по способу 3	87	87	82	76	78	65	72	64	72
Ранг по способу 4	92	92	91	90	90	90	75	54	56
IK	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.65	0.62	0.59	0.59

Примечание. X4 – возраст более 40 лет; X9 – недостаточность кровенаполнения; X31 – обезболевание по типу блокады; X37 – срок ТЭЛА одни сутки; X99 – размеры тромба до 6 мм; X100 – размеры тромба 6-8 мм; X101 – размеры тромба более 8 мм; X122 – поставлен диагноз эмболического тромбоза; X123 – поставлен диагноз неэмболического тромбоза.

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

1. Ранговые значения признаков, полученные различными способами, не противоречат друг другу, верифицируя полученные результаты.

2. Корреляция классификационного индикатора с рангами информативных признаков на 5-6% выше ранее используемых в случае применения предлагаемых методов, что подчеркивает их большую эффективность.

Выводы

Переходы состояний физиологических систем из одного в другое, в процессе развития заболевания или терапии, идентифицируются определенными регистрируемыми признаками. Моделирование структуры информативных признаков и использование впоследствии выделенных диагностических индикаторов позволяет с помощью модифицированного метода анализа иерархий формализовать процесс формирования кортежа диагностических альтернативных решений (гипотез). Это способствует внедрению метода в качестве основы функционирования экспертных модулей автоматизированных систем поддержки принятия диагностических решений при формировании базы знаний.

Список литературы

1. Кобринский Б. А. Телемедицина в системе практического здравоохранения. 2-е изд., стер. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2016. 238 с.

2. Чеченин Г. И. Системный подход и системный анализ в здравоохранении и медицине. Новокузнецк: МАОУДПОИПК, 2011. 348 с.

3. Артеменко М. В., Дронова Т. А. Количественная оценка различий соорганизации физиологических функций в диагностическом процессе // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. XIII, № 2. С. 127–129.

4. Артеменко М. В., Кореневский Н. А., Дронова Т. А. Применение показателей системной организации в диагностическом процессе //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2003. Т. 2, № 1. С. 16–20.

5. Завьялов А. В. Соотношение функций организма: экспериментальный и клинико-физиологический аспекты. М.: Медицина, 1990. 160 с.

6. Артеменко М. В., Подвальный Е. С., Старцев Е. А. Метод комплексной оценки и выборка состава информативных признаков в задачах оценки состояния биотехнических систем // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 9. С. 38–44

7. Загоруйко Н.Г., Кутненко О. А. Алгоритм GRAD для выбора информативного подпространства признаков [Электронный ресурс]. Институт математики СО РАН. URL: http://pandia.ru/text/78/248/79351.php.

8. Kiseleva T. V., Toropchina E. V. Expert systems in medical diagnostics analysis of functioning // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75, N 7. P. 1316–1322.

9. Колесникова С. Н. Методы анализа информативности разнотипных признаков // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 1 (6). С. 48–54.

10. Artemenko M. V., Kalugina N. M., Dobrovolsky I. I. The formation of a set of informative features based on the functional relational shifts between the data structure field observations // European Journal of Natural History. 2016. № 6. С. 43–48.

11. Ластед Л. Введение в проблему принятия решений в медицине: [пер. с англ.]. М., 1971. 288 с.

12. Artemenko M. V., Dobrovolsky I. I. Automated training test-system of doctors trauma on the basis of expert module support diagnostic decisions // Collection 3rd the International Conference «Research, Innovation and Education» 25-30 January 2016. London, 2016. N 1. P. 226–237.

13. Ijzerman M., Van T. A., Bridges J. A comparison of analytic hierarchy process and conjoint analysis methods in assessing treatment alternatives for stroke rehabilitation. The Patient -Centered Outcomes Research. 2012. Vol. 5, is. 1. P. 45–56.

14. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети: монография / пер. с англ. О. Н. Андрейчиковой ; науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. 4-е изд. М.: URSS: ЛЕНАНД, 2015. 360 с

15. Saaty T. L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics). 2008. Vol. 102 (2). P. 251–318.

16. Орлов А. А. Принципы построения архитектуры программной платформы для реализации алгоритмов метода группового учета аргументов // Управляющие системы и машины. 2013. № 2. С. 65–71.

17. Индикаторы дифференциальной диагностики в системах поддержки принятия классификационных решений с использованием метода анализа иерархий [Электронный ресурс] / М. В. Артеменко, И. И. Добровольский, Н. М. Калугина, М. В. Писарев // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-1. С. 15–22. URL: https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40919.

18. Синтез гибридных нечетких решающих правил для классификации клинических вариантов течения генетального герпеса на основе моделей системных взаимосвязей / Н. А. Кореневский, М. И. Лукашов, М. В. Артеменко, Н. М. Агарков // Фундаментальные исследования. 2014. № 10-5. С. 901–907.

19. Клюшин Д., Петунин Ю. Доказательная медицина. Применение статистических методов. Вильянс: Диалектика, 2008. 320 с.

20. Методы диагностики и факторы риска прогноза тромбоэмболии в системах поддержки принятия решений / Р. А. Крупчатников, В. Н. Мишустин, М. В. Артеменко, И. И. Добровольский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, №1 (22). С. 69–81.

21. Добровольский И. И. Автоматизированная система прогнозирования и профилактики венозного тромбоэмболизма при эндопротезировании крупных суставов: дис. … канд. техн. наук. Курск, 2018. С. 68–94, 145–153

22. 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.

Поступила в редакцию 25.07.18

UDC 615.47:616-072.7

M. V. Artemenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: artem1962@mail.ru)

V. N. Mishustin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Kursk State Medical University (Kursk, Russia) (e-mail: vladimirshef2011@yandex.ru)

APPLICATION OF THE SELF-ORGANIZATIONAL METHOD OF THE ANALYSIS OF HIERARCHIES IN THE AUTOMATED SYSTEMS OF SUPPORT OF ADOPTION OF DIAGNOSTIC DECISIONS

Realization of problems of development of telemedicine, increase in effectiveness of mass surveys, screening of socially important diseases and preclinical diagnosis cause need of development and effective use of the automated systems of support of decision-making at various stages of medical care of the population. Considering specifics of the registered medical information on the patient, in work modification of the known method of the analysis of hierarchies is considered, complementing it with conceptual features of self-organizational modeling: freedom of choice of decisions on each iterative step, external addition, purposeful casual search. The matrix of preferences is formed on the basis of the calculated values of internal and external criteria as which it is offered to use the indicators of functional and correlation distinctions determined by the given author's formulas. As the indicator of correlation distinctions the value of the maximum gradient of functional differences is applied. In work three ways of formation of a matrix of preferences are considered: "strategy of polycriteria external addition", "strategy of full external addition", "iterative polycriteria strategy". The offered approaches allow on the basis of a matrix of preferences which elements over the main diagonal are external information addition of elements under the main diagonal, to receive the ranged recommendations of decisions for realization of diagnostic process. Realization of the offered approach of functioning of the knowledge base of system of support of adoption of alternative decisions is offered to be carried out according to information and analytical model of formation of a vector of preferences in medical expert system, previously estimating values of private criteria of the choice of alternatives. The model represents the structure consisting of modules: database, bases of internal and external criteria, modules of formation of a vector and matrix of preferences, modules of formation of decisive rules and vector of preferences. A scope – the automated systems of support of adoption of diagnostic decisions, medical expert systems.

***Key words**: diagnostics, method of the analysis of hierarchies, self-organizational modeling, systems of support of decision-making.*

For citation: Artemenko M. V., Mishustin V. N. Application of the self-organizational method of the analysis of hierarchies in the automated systems of support of adoption of diagnostic decisions. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 109–118 (in Russ.).

***

References

1. Kobrinskij B. A. Telemedicina v sisteme prakticheskogo zdravoohraneniya. 2th ed. Moscow; Berlin, 2016. 238 p.

2. Chechenin G. I. Sistemnyj podhod i sistemnyj analiz v zdravoohranenii i medicine. Novokuzneck, 2011. 348 p.

3. Artemenko M. V., Dronova T. A. Kolichestvennaya ocenka razlichij soorganizacii fiziologicheskih funkcij v diagnosticheskom processe. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij, 2006, vol. XIII, no. 2, pp. 127–129.

4. Artemenko M. V., Korenevskij N. A., Dronova T. A. Primenenie pokazatelej sistemnoj organizacii v diagnosticheskom processe. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2003, vol. 2, no. 1, pp. 16–20.

5. Zav'yalov A. V. Sootnoshenie funkcij organizma: ehksperimental'nyj i kliniko-fiziologicheskij aspekty. Moscow, Medicina Publ., 1990. 160 p.

6. Artemenko M. V., Podval'nyj E. S., Starcev E. A. Metod kompleksnoj ocenki i vyborka sostava informativnyh priznakov v zadachah ocenki sostoyaniya biotekhnicheskih system. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2016, no. 9, pp. 38–44

7. Zagorujko N. G., Kutnenko O. A. Algoritm GRAD dlya vybora informativnogo podprostranstva priznakov. Institut

matematiki SO RAN. URL: http://pandia.ru/text/78/248/79351.php.

8. Kiseleva T. V., Toropchina E. V. Expert systems in medical diagnostics analysis of functioning. Automation and Remote Control, 2014, vol. 75, no. 7, pp. 1316–1322.

9. Kolesnikova S. N. Metody analiza informativnosti raznotipnyh priznakov. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika, 2009, no. 1 (6), pp. 48–54.

10. Artemenko M. V., Kalugina N. M., Dobrovolsky I. I. The formation of a set of informative features based on the functional relational shifts between the data structure field observations. European Journal of Natural History, 2016, no. 6, pp. 43–48.

11. Lasted L. Vvedenie v problemu prinyatiya reshenij v medicine. Moscow, 1971. 288 p.

12. Artemenko M. V., Dobrovolsky I. I. Automated training test-system of doctors trauma on the basis of expert module support diagnostic decisions. Collection 3rd the International Conference «Research, Innovation and Education» 25-30 January 2016. London, 2016, no. 1, pp. 226–237.

13. Ijzerman M., Van T. A., Bridges J. A comparison of analytic hierarchy process and conjoint analysis methods in assessing treatment alternatives for stroke rehabilitation. The Patient -Centered Outcomes Research, 2012, vol. 5, is. 1, pp. 45–56.

14. Saati T. L. Prinyatie reshenij pri zavisimostyah i obratnyh svyazyah. Analiticheskie seti. Moscow, URSS: LENAND, 2015. 360 p.

15. Saaty T. L. Relative Meas-urement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics), 2008, vol. 102 (2), pp. 251–318.

16. Orlov A. A. Principy postroeniya arhitektury programmnoj platformy dlya realizacii algoritmov metoda gruppovogo ucheta argumentov. Upravlyayushchie sistemy i mashiny, 2013, no. 2, pp. 65–71.

17. Artemenko M. V., Dobrovol'skij I. I., Kalugina N. M., Pisarev M. V. Indikatory differencial'noj diagnostiki v sistemah podderzhki prinyatiya klassifikacionnyh reshenij s ispol'zovaniem metoda analiza ierarhij. Fundamental'nye issledovaniya, 2016, no. 11-1, pp. 15–22. URL: https:// fundamental-research.ru/ru/article/view?id= 40919.

18. Korenevskij N. A., Lukashov M. I., Artemenko M. V., Agarkov N. M. Sintez gibridnyh nechetkih reshayushchih pravil dlya klassifikacii klinicheskih variantov techeniya genetal'nogo gerpesa na osnove modelej sistemnyh vzaimosvyazej. Fundamental'nye issledovaniya, 2014, no. 10-5, pp. 901–907.

19. Klyushin D., Petunin Yu. Dokazatel'naya medicina. Primenenie statisticheskih metodov. Vil'yans, Dialektika Publ., 2008. 320 p.

20. Krupchatnikov R. A., Mishustin V. N., Artemenko M. V., Dobrovol'skij I. I. Metody diagnostiki i faktory riska prognoza tromboehmbolii v sistemah podderzhki prinyatiya reshenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, vol. 7, no. 1 (22), pp. 69–81.

21. Dobrovol'skij I. I. Avtomatizirovannaya sistema prognozirovaniya i profilaktiki venoznogo tromboehmbolizma pri ehndoprotezirovanii krupnyh sustavov. Diss. kand. tekhn. nauk. Kursk, 2018, pp. 68–94, 145–153.

22. 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.

УДК 615.47

А. В. Быков, канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, Консультативная поликлиника БМУ КОКБ (Курск, Россия) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

С. А. Пархоменко, майор медицинской службы, ведущий хирург, Центральный военный клинический госпиталь им. А. А. Вишневского (Москва, Россия) (e-mail: saparhomenko@mail.ru)

Л. В. Стародубцева, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

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

А. В. Бойцов, канд. техн. наук, ОАО «Фармстандартлексредства» (Курск, Россия) (e-mail: soul2023@mail.ru)

Е. В. Цимбал, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, ФГБУ «3 Центральный военный клинический госпиталь им. А. А. Вишневского» (Москва, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

ВЫБОР СХЕМ ПРОФИЛАКТИКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГАНГРЕНЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПО КЛАССАМ СТЕПЕНИ УВЕРЕННОСТИ В ЕЁ ПОЯВЛЕНИИ И РАЗВИТИИ

В работе рассматриваются вопросы повышения качества оказания помощи больным, предрасположенным или страдающим гангреной нижних конечностей, которая может закончиться ампутацией и даже летальным исходом. В ходе проведённых исследований было показано, что задача выбора схем профилактики, препятствующих появлению и развитию гангрены нижних конечностей, относится к классу плохоформализуемых задач с нечёткой структурой данных, что послужило основанием для выбора в качестве базового аппарата исследований методологии синтеза гибридных нечётких решающих правил. При этом показано, что для обеспечения эффективных профилактических мероприятий целесообразно учитывать показатель уверенности в прогнозе появления и развития исследуемого заболевания.

В ходе синтеза прогностических нечётких решающих правил был обоснован выбор информативных признаков, получаемых в ходе опросов и осмотров, инструментальных и лабораторных методов исследования. В качестве базовых элементов нечётких решающих правил получены функции принадлежности к классу «высокий риск развития гангрены», которые агрегируются в нечёткое правило оценки уверенности в том, что у пациента разовьётся 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. Для каждого из выбранных классов разработана соответствующая схема профилактики, эффективность которой проверялась с использованием теории измерения латентных переменных и синтеза математической модели их выбора в зависимости от степени риска возникновения гангрены нижних конечностей.

В ходе проведённых статистических испытаний было показано, что по сравнению с традиционными схемами профилактики использование предлагаемой модели позволяет увеличить скорость достижения положительных результатов на 58% и снизить риск ампутации конечностей на 78%.

Полученные результаты позволяют рекомендовать предлагаемые математические модели к использованию в практике работы сосудистых хирургов и ангиологов.

***Ключевые слова**: гангрена, нижние конечности, прогнозирование, математическая модель, нечёткая логика, схемы лечения, модель Г. Раша.*

Ссылка для цитирования: Выбор схем профилактики возникновения гангрены нижних конечностей по классам степени уверенности в её появлении и развитии / А. В. Быков, С. А. Пархоменко, Л. В. Стародубцева, С. Н. Родионова, А. В. Бойцов, Е. В. Цимбал // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 119–131.

***

Введение

Гангрена нижних конечностей относится к классу опасных заболеваний, часто приводящих к ампутации конечностей и даже смерти пациента. Одной из важных задач ведения пациентов с критической ишемией нижних конечностей с высоким риском заболевания гангреной нижних конечностей (ГНК) является своевременное выявление отрицательных тенденций с проведением мероприятий, предотвращающих появление и развитие этой патологии.

В современной литературе можно найти много рекомендаций по профилактике и лечению ГНК [5, 6, 10, 11, 25, 26], однако, несмотря на достижения современной медицины, количество ампутаций нижних конечностей и смертельных исходов у больных с гангреной нижних конечностей остаётся достаточно высокой [3, 7, 12, 25, 26]. В работах [2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 14] показано, что для повышения эффективности ведения больных с критической ишемией нижних конечностей (КИНК), включая ГНК, необходимо при выборе схем профилактики и лечения основываться на использовании интегральных показателей, характеризующих индивидуальное состояние организма человека и особенности протекания КИНК. Однако в этих работах отсутствует обоснование выбора адекватных схем профилактики гангрены нижних конечностей, что снижает эффективность борьбы с этим заболеванием [7].

Постановка задачи

В работах [3, 7, 10, 11, 13] было показано, что одной из важных задач, связанных с повышением качества медицинского обслуживания больных с ГНК, является достаточно точная оценка возможности появления и развития гангрены нижних конечностей. В свою очередь, своевременный и точный прогноз позволит выбирать адекватные схемы профилактики и лечения, снимая риски инвалидизации, ампутации и смерти.

В работе [3] для прогнозирования возникновения ГНК предлагается использовать модификацию нечёткой накопительной модели Е. Шортлифа:

$$\mathrm{UGB}(q+1) = \mathrm{UGB}(q) + \\ + \mu_{\Gamma}(X_{i+1})[1 - \mathrm{UGB}(q)], \qquad (1)$$

где UGB(q) – уверенность в возникновении и развитии гангрены нижних конечностей по группе признаков $X(x_1,...,x_i)$;

$\mu_{\omega_\Gamma}(x_{i+1})$ – функции принадлежности к классу «высокий риск возникновения ГНК» по базовой переменной x_{i+1}; UGB(1)=$\mu_\Gamma(x_1)$;

x_1 – качество жизни (КЖ);

x_2 – лодыжечный плечевой индекс (ЛПИ);

x_3 – реографический индекс (РИ);

x_4 – температура тела (Т);

x_5 – частота сердечных сокращений (ЧСС);

x_6 – систолическое артериальное давление (САД);

x_7 – частота дыхания (ЧДД);

x_8 – величина СОЭ у мужчин (СОЭМ);

x_9 – величина СОЭ у женщин (СОЭЖ);

x_{10} – количество лейкоцитов (Л).

Частная математическая модель (1) была получена с использованием методологии синтеза гибридных нечётких решающих правил, описанных в работах [18, 21, 24, 27, 30, 33, 34, 35].

Специально проведёнными исследованиями было установлено, что качество прогноза наступления искомой патологии значительно улучшается, если в известную модель ввести дополнительные информативные признаки, характеризующие гемостазиологический и иммунный статус организма.

Среди гемостазиологических признаков были отобраны:

x_{11} – D-димер (ДД);

x_{12} – гомоцестиин (GC);

x_{13} – тромбоциты (TR);

x_{14} – активированное частичное протромбиновое время (АЧТВ).

Среди иммунологических признаков предложено использовать:

x_{15} – систему комплемента (SK);

x_{16} – антитела к компонентам эндотоксинов (АКЭ);

x_{17} – антитела к сосудистой стенке (АСС).

Из достаточно редко используемых в медицинской практике показателей эксперты предложили оценить прогностические возможности уровня психоэмоционального напряжения и энергетические характеристики биологически активных точек (БАТ), «связанных» с ГНК.

Учитывая рекомендации работ [3, 7, 8, 12, 24], в которых решаются задачи прогнозирования с аналогичной структурой данных, синтез дополнительных частных и финальной прогностической модели проводится в соответствии с общими рекомендациями, изложенными в работах [18, 21, 24, 27, 30, 33, 34, 35].

Основным базовым элементом прогностических моделей является функция принадлежности $\mu_{\omega_Г}(x_i)$ к классу «высокий риск возникновения ГНК с базовой переменной x_i». Частные уверенности в риске возникновения ГНК по группе гемостазиологических признаков (UGG) и группе иммунологических признаков (UGI) определяются по формуле, аналогичной (1), со «своими» функциями принадлежности.

Уверенность UGT в риске возникновения ГНК по группе биологически активных точек (БАТ) определялась в соответствии с рекомендациями работ [15, 19, 20, 24, 28, 29]. Уверенность в риске возникновения ГНК от длительного психоэмоционального напряжения UYH определялась в соответствии с рекомендациями [16, 17, 22, 24, 31, 32].

В соответствии с рекомендациями [3, 24] финальная прогностическая уверенность URV в риске возникновения ГНК определяется выражением

$$\mathrm{URV}(q+1) = \mathrm{URV}(q) + \\ + \mu_V(Q_{q+1})[1 - \mathrm{URV}(q)], \qquad (2)$$

где $\mathrm{UGV}(1) = \mu_V(Q_1)$;

Q_1=UGB;
Q_2=UGG;
Q_3=UGI;
Q_4=UGT;
Q_5=UYH;

$\mu_V(Q_{q+1})$ – функция принадлежности к классу «высокий риск возникновения ГНК по показателю Q_{q+1}».

В работах [3, 6, 10, 13] было показано, что при выборе схем профилактики целесообразно использовать шкалу уверенности в возникновении заболеваний ω_l, в частности шкалу URV (модель 2), на которой выделяются классы риска возникновения ГНК, для каждого из которых целесообразно (с точки зрения эффективности профилактики) назначать «свою» схему профилактики.

На экспертном уровне был получен следующий алфавит классов степени риска возникновения ГНК:

$\omega_н$ – низкий риск возникновения ГНК;

$\omega_с$ – средний риск возникновения ГНК;

$\omega_в$ – высокий риск возникновения ГНК;

$\omega_о$ – очень высокий риск возникновения ГНК.

С учётом нечёткой природы выделенных классов состояний и рекомендаций [3, 4, 24] каждый из них определён соответствующими функциями принадлежности $\mu_\ell(\mathrm{URV})$, графики которых приведены на рисунке 1.

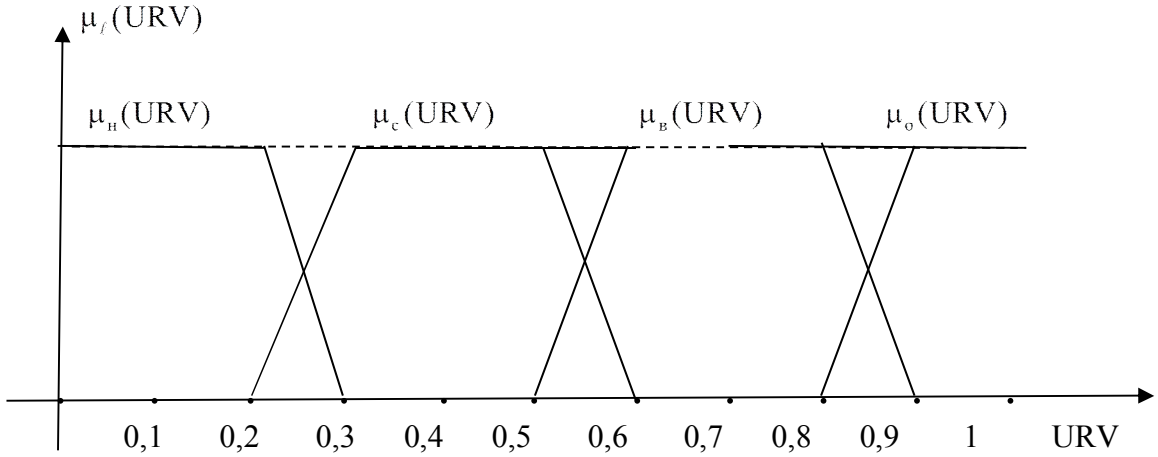


Рис. 1. Графики функций принадлежности к классам степени риска возникновения ГНК

Решение о классификации Ω_ℓ (l=н,с,в,о) принимается в соответствии с выражением

$$\Omega_\ell^{\text{v}} = \\ = \max\{\mu_{\text{н}}(\text{URV}), \mu_{\text{с}}(\text{URV}), \mu_{\text{в}}(\text{URV}), \mu_{\text{о}}(\text{URV})\}.$$

В соответствии с рекомендациями [6, 10, 11] выбор схем профилактики определяется системой продукционных правил:

$$ЕСЛИ\,(\Omega_\ell^{\text{v}}), ТО\,(Q_\ell), \qquad (3)$$

где Q_ℓ – схема лечения, соответствующая классу ω_ℓ.

В работах [6, 11, 23, 24] было показано, что эффективность выбранных экспертами схем профилактики целесообразно проверить, используя теорию измерения латентных переменных с моделью Г. Раша, реализуемую интерактивным пакетом RUMM 2020 [24, 36, 37, 38]. Технология использования модели Г. Раша для анализа эффективности схем профилактики и лечения описана в работах [1, 6, 11, 23, 24].

Обсуждение результатов и заключение

В ходе проводимых исследований эксперты для каждого из выбранных классов степени риска возникновения ГНК выбрали схемы лечения, приведённые в таблице 1.

Таблица 1

Соответствие схем профилактики рискам возникновения ГНК

Класс риска	Схемы профилактики
$\Omega_\ell^{\text{v}} = \mu_{\text{н}}$	Q_1: неотон 1г + физ. р-р 200,0 №10; РЭМЛ сердца, сосудов; ХЛМС; НМГ - клексан 0,4 п/к №10
$\Omega_\ell^{\text{v}} = \mu_{\text{с}}$	Q_2: неотон 2г + физ. р-р 200,0 №10; РЭМЛ сердца, сосудов; ХЛМС; НМГ - клексан 0,4 п/к №10; актовегин 1000 мг+200 физ. р-р в/в №10
$\Omega_\ell^{\text{v}} = \mu_{\text{в}}$	Q_3: этоксидол 0,4 + физ. р-р 200,0 в/в №10; РЭМЛ сердца, сосудов; ХЛМС физ. р-р 200,0+100(200) мкг алпростана в/в №10-20; НМГ - клексан 0,4 п/к 2 р/ сутки №20
$\Omega_\ell^{\text{v}} = \mu_{\text{о}}$	Q_4 этоксидол 0,4 + физ. р-р 200,0 в/в №10; физ. р-р 200,0 + 10,0 цитофлавина в/в №10; физ. р-р 200,0 + 4,0 весел-дуэф в/в №10; физ. р-р 200,0+100мкг алпростана в/в №10-20; РЭМЛ н/к; ХЛМС

Понятие эффективности схем профилактики по отношению к конкретным схемам (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4) с позиций теории измерения латентных переменных является латентной переменной L, а схемы Q_1,Q_2,Q_3,Q_4 – индикаторными переменными [1, 6, 11, 13, 24].

В соответствии с общими рекомендациями по синтезу гибридных нечётких решающих правил и по использованию пакета RUMM 2020 при оптимизации лечебно-оздоровительных мероприятий для выбранных базовых препаратов и схем профилактики была сформирована группа экспертов, количественный состав которой (8 человек) выбирался по требованиям, принятым в квалиметрии. Согласованность действий экспертов группы проверялась по коэффициенту коррадиации W(W=0,89).

Для выбранных схем профилактики три эксперта по результатам наблюдений за состоянием нижних конечностей по десятибалльной шкале дали оценку эффективности схем лечения Q_1,Q_2,Q_3,Q_4.

Фрагмент работы экспертов по оценке эффективности анализируемых схем профилактики представлен в таблице 2.

В результате обработки данных таблицы 2 диалоговым пакетом RUMM 2020 была получена таблица ранжирования индикаторных переменных по критерию хи-квадрат (рис. 2).

Таблица 2

Значения эффективности индикаторных переменных схем профилактики по трём экспертам (фрагмент)

Пациенты	Эксперты	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
1	1	9	6	7	7
1	2	8	8	6	7
1	3	8	7	9	9
2	1	10	7	8	7
2	2	7	8	8	7
2	3	8	7	8	8
3	1	9	7	8	7
3	2	7	6	9	8
3	3	8	6	7	9

INDIVIDUAL ITEM-FIT for Analysis Name Q01 - Chi Square Probability Order

	Seq	Item	Type	Location	SE	FitResid	DF	ChiSq	DF	Prob
1	1	I0001	Poly	0,638	0,095	1,246	63,75	0,714	2	0,699692
4	4	I0004	Poly	0,009	0,085	1,023	63,75	1,894	2	0,387879
3	3	I0003	Poly	-0,294	0,092	0,336	63,75	2,477	2	0,289870
2	2	I0002	Poly	-0,353	0,119	0,760	63,75	2,929	2	0,231221

Рис. 2. Ранжирование лекарственных препаратов по $\chi^2_{\text{критич.}}$ Prob

Анализ результатов работы программы RUMM 2020 показал, что все четыре схемы лечения имеют $\chi^2_{\text{критич.}}\ \Pr ob > 0,05$. Следовательно, с точки зрения модели Г. Раша эти схемы достаточно надёжно характеризуют латентную переменную эффективности профилактики ГНК. Целесообразность использования схем лечения Q1, Q2, Q3, Q4 подтверждается и графиком их соответствия, приведённым на рисунке 3.

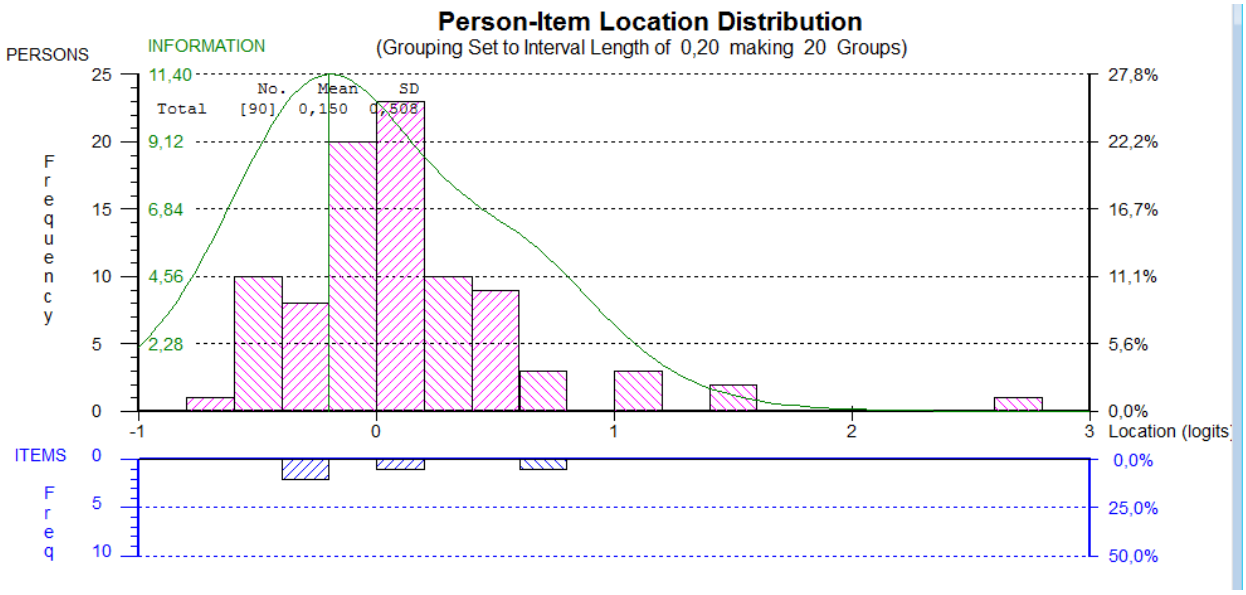


Рис. 3. График соответствия уровня интегрального показателя латентной переменной набору индикаторных переменных

Анализ этого графика показывает, что все четыре схемы не отличаются от среднего уровня интегрального показателя более чем на 0,5 логит, что говорит об их адекватности [23, 36, 37, 38].

С учётом выбранных эффективных схем лечения алгоритм их выбора описывается следующим набором продукционных правил:

$$\begin{cases} \text{ЕСЛИ } (\Omega^{v}_{\ell} = \omega_{н}), \text{ ТО } (Q_1), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega^{v}_{\ell} = \omega_{в}), \text{ ТО } (Q_2), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega^{v}_{\ell} = \omega_{c}), \text{ ТО } (Q_3), \\ \text{ЕСЛИ } (\Omega^{v}_{\ell} = \omega_{o}), \text{ ТО } (Q_4). \end{cases} \quad (4)$$

Эффективность модели (4) выбора схем профилактики проверялась в сравнении с традиционными схемами ведения пациентов с ГНК [25, 26]. В ходе сопоставительного анализа было установлено, что по сравнению с традиционными схемами лечения использование предлагаемого алгоритма по различным критериям оценки эффективности позволяет увеличить скорость достижения положительных результатов на 58% и снизить риск ампутации конечностей на 73%.

Полученные в работе математические модели позволяют дифференцировать степень риска возникновения ГНК: низкий, средний, высокий, очень высокий. Для выделенных классов разработана модель выбора адекватных схем профилактики (всего 4 схемы). В ходе проведённых статистических испытаний было показано, что по сравнению с традиционными схемами профилактики использование предлагаемого алгоритма позволяет увеличить скорость достижения положительных результатов на 58% и снизить риск ампутации конечностей на 73%.

Полученные математические модели следует использовать в медицинской практике сосудистых хирургов и ангиологов как в виде программного обеспечения смартфонов и планшетных компью-

теров, так и в составе мощных систем поддержки принятия решений, включая медицинские системы.

Широкое внедрение полученных результатов в медицинскую практику позволит дифференцировать состояние пациентов с высоким риском возникновения ГНК, выбирая адекватные схемы профилактики, а в случае развития критических состояний позволяет подобрать адекватную процессу нарастания некробиотических изменений в ишемизированной конечности схему лечения. Своевременная и адресная узкоспецифичная помощь сохраняет опорную функцию конечности даже при органосохраняющей ампутации, что позволяет снизить госпитализацию больных.

Список литературы

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

2. Быков А. В. Формирование пространства информативных признаков для оценки состояния пациентов с хроническими облитерирующими заболеваниями нижних конечностей // Известия Юго-Западного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 1 (26). С. 97–108.

3. 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. № 4 (25). С. 95–103.

4. Быков А. В. Модель оценки эффективности медикаментозного лечения критической ишемии нижних конечностей // Наука, образование, общество: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (30 сентября 2016 г.). Тамбов: ООО Консалтинговая компания ЮКОМ, 2016. Ч. 2. С. 19–22.

5. Выбор и обоснование рациональных схем лечения пациентов с сочетанной ишемической патологией различных органов / А. В. Быков, Е. А. Бойцова, С. Н. Кореневская, Е. А. Кониченко // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2017. № 2. С. 254–260.

6. Оценка эффективности и выбор схем лечения при сочетанных ишемических поражениях в условиях доминирующей сердечной патологии / А. В. Быков, Е. А. Бойцова, С. Н. Кореневская, С. А. Пархоменко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 17, № 1. С. 114–122.

7. Прогнозирование появления и развития гангрены нижних конечностей с использованием нечетких интеллектуальных технологий: монография / А. В. Быков, С. Н. Кореневская, С. А. Пархоменко, Л. В. Стародубцева, И. И. Хрипина. Курск: «Издательский дом ВИП», 2017. 420 с.

8. Синтез нечеткой математической модели оценки степени тяжести ишемического процесса нижних конечностей по показателям гемостаза / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, Е. А. Бойцова, С. А. Пархоменко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 17, № 1. С. 92–100.

9. Обоснование выбора схем лечения сочетанных ишемических процессов с ведущей патологией нижних конечностей с использованием теории измерения латентных переменных / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, Е. А. Бойцова, О. В. Филатова // Известия Юго-

Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. № 1 (22). С. 100–113.

10. Оптимизация схем профилактики критической ишемии нижних конечностей на основе нечетких моделей оценки динамики развития этого заболевания / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, С. А. Пархоменко, Т. Н. Говорухина, З. У. Зейдан // Здоровье и образование в XXI веке: электронный научно-образовательный вестник. 2017. Т. 19, № 12. С. 64–67.

11. Оптимизация схем лечения больных критической ишемией нижних конечностей на фоне сахарного диабета / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, И. И. Хрипина, С. А. Пархоменко // Сахарный диабет и хирургические инфекции: сборник научных трудов 3-го научно-практического конгресса. М.: Изд-во «Перо», 2017. С. 38–40.

12. Использование интеллектуальных технологий при ведении больных с критической ишемией нижних конечностей / А. В. Быков, Н. А. Кореневский, И. И. Хрипина, С. А. Пархоменко // Кардиостим-2018: сборник тезисов. СПб., 2018. С. 54.

13. Оценка уверенности в развитии гангрены нижних конечностей на основе моделей Г. Раша и Е. Шортлифа / А. В. Быков, С. А. Пархоменко, А. В. Бойцов, И. И. Хрипина // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2017. Т. 16, № 4. С. 878–883.

14. 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.

15. 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.

16. Конева Л. В., Кореневская С. Н., Дегтярев С. В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека // Системный анализ. 2012. Т. 11, № 4. С. 993–1000.

17. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С. Н. Кореневская, Е. С. Шкатова, М. А. Магеровский, А. Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. № 5. С. 24–27.

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

19. Кореневский Н. А., Лазурина Л. П. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики. Курск, 2000. 177 с.

20. 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.

21. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоёмкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 31–40.

22. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н. А. Кореневский, О. И. Филатова, М. И. Лукашов, Р. А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С .4–9.

23. Кореневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей

Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37–40.

24. 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.

25. 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.

26. Сосудистая хирургия. Национальное руководство / под ред. В. С. Савельева, А. И. Кириенко. М.: ГЭОТАР – Медиа, 2014. 464 с.

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

28. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevskiy, A. Kuzmin, F. Ionescou // Computer methods in biomechanies and biomedical engineering. 2012. Vol. 15, N 7. P. 681–689.

29. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevskiy, F. Ionescou, A. Smith // Computer methods in biomechanies and biomedical engineering. 2013. Vol. 16, N 3. P. 302–313.

30. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System // Biomedical Engineering. 2015. Vol. 49, is.1. P. 46–49.

31. Fuzzy determination of the human's level of physcho-emotional / N. Korenevskiy, R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, F. Ionescou, E. Al-Kasabeh, A. P. Smith // IFMBE Proceedings. "4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam". 2013. P. 213–216.

32. System for studing specific features of attention and memory / N. A. Korenevsy, D. E. Skopin, A. A. Kuzmin, R. T. Al-Kasabeh // Biomedical Engineering. 2010. Vol. 44, N 1. P. 32–35.

33. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis / N. A. Korenevsky, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 169–172.

34. Desing of network-based fuzzy knowledge based for medical decision-making support systems / N. A. Korenevsky, S. A. Gorbatenko, R. A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. 2009. Vol. 43, N 4. P. 187–190.

35. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems // Biomedical Engineering Journal. 2008. Vol. 42, N 2. P. 67–72.

36. 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.

37. Smith E. V., Smith M. S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. Marle Grove, Minnesota: JAM Press, 2004. 689 p.

38. Smith R. M. Rasch Measurement Models: Interpreting WINSTEPS/BIGSTEPS and Facets Output. Gainesville, Florida: JAM Press, 1995.

Поступила в редакцию 19.07.18

UDC 615.47

A. V. Bykov, Candidate of Medical Sciences, cardiovascular surgeon, Consultative Clinic BMU KOKB (Kursk, Russia) (e-mail: bikov-av@yandex.ru)

S. A. Parkhomenko, Major of Medical Service, Leading Surgeon, Central Military Clinical Hospital named. A.A. Vishnevsky (Moscow, Russia) (e-mail: saparhomenko@mail.ru)

L. V. Starodubtseva, Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

S. N. Rodionova, Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

A. V. Boytsov, Candidate of Engineering Sciences, Department of Pharmstandarting Company (Kursk, Russia) (e-mail:kstu-bmi@yandex.ru)

E. V. Cymbal, Doctor for endovascular diagnosis and treatment of the Federal State Budgetary Institution “3 Central Military Clinical Hospital named. A. A. Vishnevsky" (Moscow, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

CHOICE OF SCHEME OF PREVENTION OF THE EMERGENCE OF GANGRENE OF THE LOWER EXTREMITIES BY CLASSES OF THE DEGREE OF CONFIDENCE IN ITS DEVELOPMENT AND DEVELOPMENT

The paper addresses the issues of improving the quality of care for patients who are predisposed or suffering from gangrene of the lower extremities, which may result in amputation and even death. In the course of the research it was shown that the task of choosing prevention schemes that prevent the emergence and development of lower extremity gangrene belongs to the class of poorly formalized tasks with a fuzzy data structure, which served as the basis for choosing the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules as the basic tool for research. It has been shown that in order to ensure effective preventive measures, it is advisable to take into account an indicator of confidence in the prediction of the emergence and development of the studied disease. During the synthesis of prognostic fuzzy decision rules, the choice of informative features obtained during surveys and surveys, instrumental and laboratory research methods was justified. As the basic elements of the fuzzy decision rules, the functions of belonging to a class have a high risk of developing gangrene, which are aggregated into a fuzzy rule for assessing the confidence that the patient will develop gangrene of the lower extremities. On the scale of confidence in the development of gangrene, experts identified the secondary functions of belonging to such predictable classes of patient states as: I - low confidence in the development of gangrene; II-average 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 on classification is made according to the maximum value of the prognostic functions of membership. For each of the selected classes, an appropriate prevention scheme has been developed, the effectiveness of which was tested using the theory of measuring latent variables and the synthesis of a mathematical model of their choice depending on the degree of risk of gangrene of the lower extremities.

In the course of statistical tests, it was shown that, compared with traditional prevention schemes, using the proposed model can increase the rate of positive results by 58% and reduce the risk of limb amputation by 78%.

The results obtained allow us to recommend the proposed mathematical models for use in the practice of vascular surgeons and angiologists.

***Key words**: gangrene, lower limbs, prediction, mathematical model, fuzzy logic, treatment regimens, G. Rush model.*

For citation: Bykov A. V., Parkhomenko S. A., Starodubtseva L. V., Rodionova S. N., Boytsov A. V., Tsymbal E. V., Cymbal E. V. Choice of scheme of prevention of the emergence of gangrene of the lower extremities by classes of the degree of confidence in its development and development. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 119–131 (in Russ.).

***

References

1. Bojcov A. V., Lazurina L. P., Korenevskaya S. N., Shutkin A. N. Primenenie teorii izmereniya latentnyh peremennyh dlya formirovaniya prostranstva informativnyh priznakov v zadachah ocenki funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2014, no. 6 (57), pp. 52–58.

2. Bykov A. V. Formirovanie prostranstva informativnyh priznakov dlya ocenki sostoyaniya pacientov s hronicheskimi obliteriruyushchimi zabolevaniyami nizhnih konechnostej. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2018, vol. 8, no. 1 (26), pp. 97–108.

3. Bykov A. V. Prognozirovanie vozniknoveniya i razvitiya gangreny nizhnih konechnostej na osnove nechetkih modelej prinyatiya reshenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, no. 4 (25), pp. 95–103.

4. Bykov A. V. Model' ocenki ehffektivnosti medikamentoznogo lecheniya kriticheskoj ishemii nizhnih konechnostej. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Nauka, obrazovanie, obshchestvo». Tambov: OOO Konsaltingovaya kompaniya YUKOM, 2016, pt. 2, pp. 19–22.

5. Bykov A. V., Bojcova E. A., Korenevskaya S. N., Konichenko E. A. Vybor i obosnovanie racional'nyh skhem lecheniya pacientov s sochetannoj ishemicheskoj patologiej razlichnyh organov. Sistemnyj analiz i upravlenie v biotekhnicheskih sistemah. 2017, no. 2, pp. 254–260.

6. Bykov A. V., Bojcova E. A., Korenevskaya S. N., Parhomenko S. A. Ocenka ehffektivnosti i vybor skhem lecheniya pri sochetannyh ishemicheskih porazheniyah v usloviyah dominiruyushchej serdechnoj patologii. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 114–122.

7. Bykov A. V., Korenevskaya S. N., Parhomenko S. A., Starodubceva L. V., Hripina I. I. Prognozirovanie poyavleniya i razvitiya gangreny nizhnih konechnostej s ispol'zovaniem nechetkih intellektual'nyh tekhnologij. Kursk, 2017. 420 p.

8. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Bojcova E. A., Parhomenko S. A. Sintez nechetkoj matematicheskoj modeli ocenki stepeni tyazhesti ishemicheskogo processa nizhnih konechnostej po pokazatelyam gemostaza. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 92–100.

9. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Bojcova E. A., Filatova O. V. Obosnovanie vybora skhem lecheniya sochetannyh ishemicheskih processov s vedushchej patologiej nizhnih konechnostej s ispol'zovaniem teorii izmereniya latentnyh peremennyh. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, no. 1 (22), pp. 100–113.

10. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Parhomenko S. A., Govoruhina T. N., Zejdan Z. U. Optimizaciya skhem profilaktiki kriticheskoj ishemii nizhnih konechnostej na osnove nechetkih modelej ocenki dinamiki razvitiya ehtogo zabolevaniya. Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke: ehlektronnyj nauchno-obrazovatel'nyj vestnik, 2017, vol. 19, no. 12, pp. 64–67.

11. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Hripina I. I., Parhomenko S. A. Optimizaciya skhem lecheniya bol'nyh kriticheskoj ishemiej nizhnih konechnostej na fone saharnogo diabeta. Sbornik nauchnyh trudov 3-go nauch-noprakticheskogo kongressa «Saharnyj diabet i hirurgicheskie infekcii». Moscow, Pero Publ., 2017, pp. 38–40.

12. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Hripina I. I., Parhomenko S. A.

Ispol'zovanie intellektual'nyh tekhnologij pri vedenii bol'nyh s kriticheskoj ishemiej nizhnih konechnostej. Kardiostim-2018. St. Petersburg, 2018, p. 54.

13. Bykov A. V., Parhomenko S. A., Bojcov A. V., Hripina I. I. Ocenka uverennosti v razvitii gangreny nizhnih konechnostej na osnove modelej G. Rasha i E. Shortlifa. Sistemnyj analiz i upravlenie v biotekhnicheskih sistemah, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 878–883.

14. Bykov A. V., Korenevskij N. A., Ustinov A. G. Nechetkij algoritm prognoza razvitiya ishemicheskoj bolezni konechnostej dlya razlichnyh ehtapov vedeniya pacienta. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2016, № 2 (19), pp. 142–155.

15. 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.

16. Koneva L. V., Korenevskaya S. N., Degtyarev S. V. Ocenka urovnya psihoehmocional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, harakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka. Sistemnyj analiz, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 993–1000.

17. Korenevskaya S. N., Shkatova E. S., Magerovskij M. A., Shutkin A. N. Apparatno-programmnyj kompleks dlya psihofiziologicheskih issledovanij na baze platformy ANDROID c AFE-interfejsom. Medicinskaya tekhnika, 2016, no. 5, pp. 24–27.

18. Korenevskij N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenij na nechetkih setevyh modelyah v zadachah medicinskoj diagnostiki i prognozirovaniya. Telekommunikacii, 2006, no. 6, pp. 25–31.

19. Korenevskij N. A., Lazurina L. P. Ehnergoinformacionnye modeli refleksodiagnostiki. Kursk, 2000. 177 p.

20. 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.

21. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kollektivov gibridnyh nechyotkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnyh system. Naukoyomkie tekhnologii, 2014, vol. 15, no. 12, S. 31–40.

22. Korenevskij N. A., Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. Kompleksnaya ocenka urovnya psihoehmocional'nogo napryazheniya. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2009, no. 5, pp. 4–9.

23. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Bojcova E. A. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya na osnove modelej G. Rasha. Medicinskaya tekhnika, 2015, no. 6, pp. 37–40.

24. 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 p.

25. Savel'ev V. S., Koshkin V. M., Karalkin A. V. Patogenez i konservativ-noe lechenie tyazhyolyh stadij obliteriruyushchego ateroskleroza arterij nizhnih konechnostej. Moscow, OOO Medicinskoe informacionnoe agentstvo Publ., 2010. 216 p.

26. Sosudistaya hirurgiya. Nacional'noe rukovodstvo; ed. by V. S. Savel'ev, A. I. Kirienko. Moscow, GEHOTAR – Media Publ., 2014. 464 p.

27. Shutkin A. N., Korenevskaya S. N., Fedyakin V. V. Proektirovanie baz znanij medicinskih ehkspertnyh sistem s ispol'zovaniem kollektivov nechyotkih pravil. Informacionnye proekty v medicine i pedagogike. Kursk, 2014, pp. 61–64.

28. Al-Kasasbeh R., Al-shamasin M., Korenevskiy N., Kuzmin A., Ionescou F. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic. Computer methods in biomechanies and biomedical engineering, 2012, vol. 15, no. 7, pp. 681–689.

29. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making. Computer methods in biomechanies and bi-omedical engineering, 2013, vol. 16, no. 3, pp. 302–313.

30. Korenevskiy N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert System. Biomedical Engineering, 2015, vol. 49, is.1, pp. 46–49.

31. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R., Al-shamasin M., Ionescou F., Al-Kasabeh E., A. P. Smith Fuzzy determination of the human's level of physcho-emotional. IFMBE Proceedings. "4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam", 2013, pp. 213–216.

32. Korenevsy N. A., Skopin D. E., Kuzmin A. A., Al-Kasabeh R. T. System for studing specific features of attention and memory. Biomedical Engineering, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 32–35.

33. Korenevsky N. A., Degtyarev S. V., Seregin S. P., Novikov A. V. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis. Biomedical Engineering, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 169–172.

34. Korenevsky N. A., Gorbatenko S. A., Krupchatnikov R. A., Lukashov M. I. Desing of network-based fuzzy knowledge based for medical decision-making support systems. Biomedical Engineering, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 187–190.

35. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A., Gorbatenko S. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. Biomedical Engineering Journal, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 67–72.

36. 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.

37. Smith E. V., Smith M. S. Introduction to Rasch Measurement Theory, Models and Applications. Marle Grove, Minnesota, JAM Press, 2004. 689 p.

38. Smith R. M. Rasch Measurement Models: Interpreting WINSTEPS/BIGSTEPS and Facets Output. Gainesville, Florida, JAM Press, 1995.

УДК 611.737.004

В. Ф. Бонилья, магистрант, Технологический университет «Equinoccial» (Кито, Эквадор) (e-mail: fbonilla@ute.edu.ec)

А. В. Литвин, канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail: alit2010@rambler.ru)

Е. А. Лукьянов, канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия) (e-mail:lea_rnd@mail333.com)

Л. В. Стародубцева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ В БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «ИНВАЛИД – ПРОТЕЗ – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

Целями проведенных исследований является разработка электромиографического устройства управления (ЭУУ) в биотехнических системах (БТС) «инвалид - протез - окружающая среда» в условиях наличия разнообразных помех.

Задача создания надежных устройств управления в биотехнических системах «инвалид – протез, функционирующий в различных условиях окружающей среды» остается актуальной, несмотря на значительные усилия по созданию надежных, устройств управления. Окружающая среда характеризуется наличием разнообразных помех и шумов, различных по своей природе, которые усложняют процесс управления, кроме этого на процесс управления влияют различные физиологические помехи. Цифровая фильтрация может заметно искажать исходный биомедицинский сигнал.

Примененная неинвазивная технология снятия поверхностного электромиографического (пЭМГ) сигнала позволила упростить задачу управления протезом верхней конечности. Выполнен анализ электромиографических методов управления, сформированы требования к ЭУУ протезом верхней конечности.

В ЭУУ пЭМГ-сигнал используется для формирования необходимых входных векторов управления, в нейронных сетях, определяющих фазы и параметры движения при сгибании – разгибании предплечья. Сигнал пЭМГ снимался Ag-AgCl электродами, установленными на двуглавой мышце плеча, усиливался биоусилителем и через интерфейс USB передавался в Matlab. Низкочастотные шумы удалялись аналоговым ФВЧ, а высокочастотные помехи устранялись вейвлет-фильтрацией.

Разработана структурная схема ЭУУ, приведены передаточные функции функциональных модулей устройства. Разработано программное обеспечение в системе Simulink-Matlab с последующей конвертацией в код СИ++ для управляющего микроконтроллера. Разработанное ЭУУ для БТС «инвалид – протез – окружающая среда» обладает достаточной точностью и быстродействием.

***Ключевые слова**: электромиограмма, устройство управления, биотехническая система, искусственная нейронная сеть, Matlab, Simulink, вейвлет-преобразование, вейвлет-фильтрация, искусственная нейронная сеть, распознавание событий, имитационная модель устройства управления.*

Ссылка для цитирования: Синтез электромиографического устройства управления в биотехнической системе «инвалид – протез – окружающая среда» / В. Ф. Бонилья, А. В. Литвин, Е. А. Лукьянов, Л. В. Стародубцева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 3 (28). С. 132–140.

***

Введение

Задача создания надежных устройств управления в биотехнических системах «инвалид – протез, функционирующий в различных условиях окружающей среды» остается актуальной, несмотря на значительные усилия по созданию надежных, миниатюрных и простых устройств управления [1]. Окружающая среда характеризуется наличием разнообразных помех и шумов, различных по своей природе.

Целями проведенных исследований является разработка устройства управления в биотехнических системах «инвалид – протез – окружающая среда» (ЭУУ БТС И-П-С)

Материалы и методы

В ЭУУ БТС И-П-С используется поверхностный электромиографический сигнал для формирования необходимых входных векторов управления, которые

используются в нейронных сетях, определяющих начало и конец движения, величину угла и скорость сгибания – разгибания предплечья без нагрузки и с нагрузкой. Низкочастотные шумы удалялись аналоговым ФВЧ, а высокочастотные помехи устранялись вейвлет-фильтрацией. Выделение информативных параметров выполнялось во временной и частотной областях. Для структурно-параметрического синтеза использовалось имитационное моделирование.

В настоящее время разработано большое количество конструкций биоэлектрических протезов руки [3, 4-8], которые используют в основном две системы управления протезами: без распознавания параметров ЭМГ-сигналов и с выделением параметров для последующего управления протезом [1, 7].

Системы управления протезами без распознавания параметров ЭМГ-сигнала проектируются с применением методов иерархического, порогового, пропорционального управления или с использованием теории конечных автоматов [2, 7].

Несмотря на то, что ЭМГ-сигналы являются по своей природе стохастическими, при мышечных сокращениях наблюдаются повторяющиеся изменения совокупности параметров (патернов) ЭМГ-сигнала. Выделение паттернов для задач управления протезами возможно из совокупности параметров пЭМГ-сигнала, определенных во временной и частотной областях [2, 6].

Исследования [3] показали, что характеристики ЭМГ-сигналов, снимаемых игольчатыми и поверхностными электродами, являются одинаковыми по точности (95-99%) классифицирования параметров движения конечности, поэтому ввиду ряда причин более предпочтительным для управления протезом является использование пЭМГ-сигнала.

Важным фактором при работе ЭУУ протезом является время, затрачиваемое на вычислительные операции при определении параметров пЭВГ-сигнала и распознавания паттернов движения. В работе [5] показано, что клинический максимум допустимой временной задержки составляет 200-300 мс,

При функционировании БТС И-П-С в реальном масштабе времени анализ пЭМГ-сигналов выполняется для периодически обновляемого сегмента данных. Для сегментации биомедицинских сигналов используются в основном два метода – сегментация смежными и перекрывающими окнами. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки [8]. В работе [6] было показано, что временной размер сегмента данных менее 128 мс при частоте дискретизации 1000 Гц приводит к заметной вариабельности параметров пЭМГ.

Параметры биомедицинских сигналов для формирования управлений можно определять как во временной, так и частотно-временной областях [8].

Метод управления протезом с использованием параметров временной области (МПВО) основан на анализе амплитуды сигнала. Основные вычисляемые параметры биопотенциалов пЭМГ-сигнала во временной области подробно описаны в работах [7–9]. Этот метод применяется для управления простыми протезами верхних конечностей. В то же время на амплитуду пЭМГ-сигнала оказывают влияние расположение электродов, толщина мышечных тканей под электродами, распределение двигательных единиц в волокнах мышцы, а также применяемая система регистрации сигнала [9]. В этой связи этот метод не является эффективным для устройств формирования сложного управления.

Методы определения параметров в частотно-временной области устраняют ограничения МПВО. К таким методам относятся кратковременное преобразование Фурье (STFT) и вейвлет-преобразование (WT)

Информацию о движении верхней конечности можно получить с помощью различных классификаторов, которые сопоставляют текущие паттерны биосигнала с известными параметрами [2]. В ран-

них системах управления на основе ЭМГ-сигнала применялся статистический классификатор, выполняющий линейный дискриминантный анализ. Такой анализ прост в реализации, но не обладает достаточной надежностью распознавания. Проведенные исследования показали преимущества классификации параметров с использованием пакетного вейвлет-преобразования [12] и искусственных нейронных сетей (ИНС) [2, 10].

Анализ выполненных работ [1-8] и собственные исследования [9-12] использованы при структурном синтезе ЭУУ БТС И-П-С (рис.1).

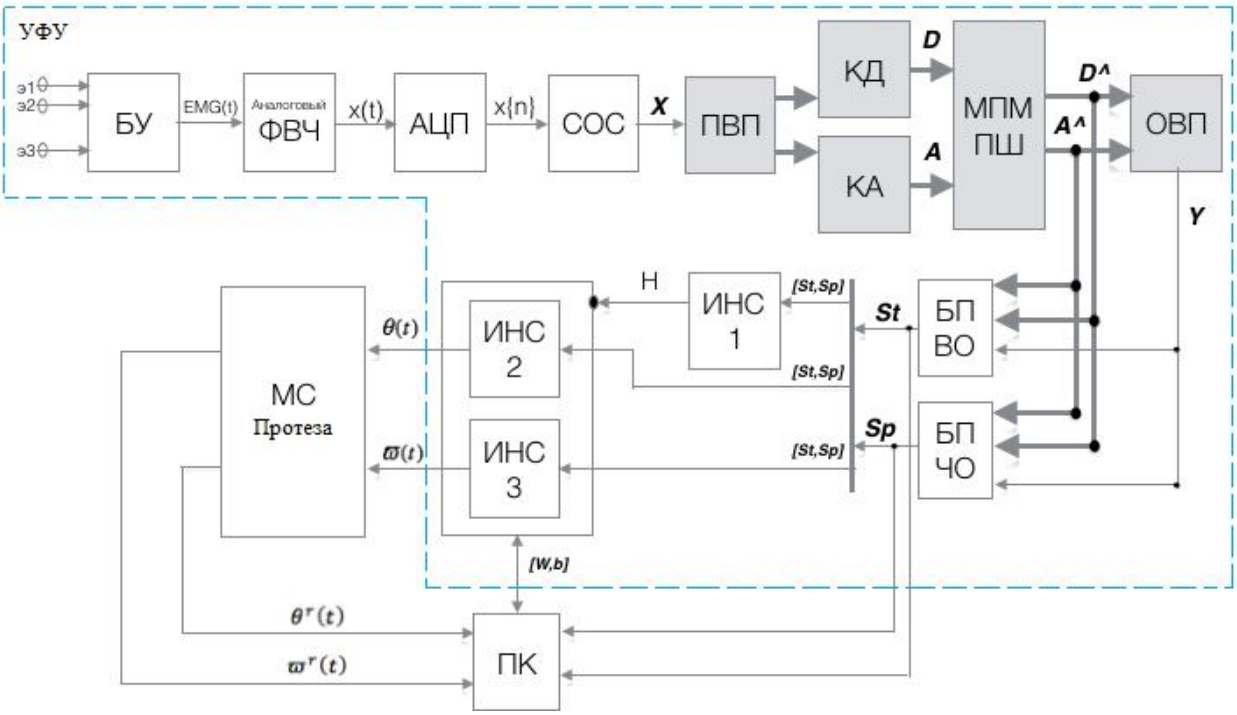


Рис. 1. Функциональная схема ЭУУ БТС И-П-С

Основными функциональными блоками ЭУУ БТС И-П-С являются:

БУ – биоусилитель с регулируемым коэффициентом усиления в диапазоне 1000–3000. На выходе БУ формируется исходный сигнал EMG(t), который кроме информации о мышечной активности содержит различные помехи [12].

ФВЧ – аналоговый фильтр верхних частот с частотой среза f_c=6 Гц. ФВЧ удаляет из EMG(t) низкочастотные шумы, вызывающие дрейф нулевой линии. На выходе ФВЧ формируется сигнал $x(t)$.

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь с частотой квантования 1000 Гц, разрядность 16 бит.

СОС – скользящая оконная сегментация. Блок формирует вектор значений биопотенциалов **x** размерностью N=128 отсчетов.

$$\mathbf{x} = [x\{j\}], j = 1 \dots N \qquad (1)$$

ПВП – блок, реализующий прямое дискретное вейвлет-разложение $\mathbf{x}_n$ для вейвлет-фильтрации [12] и определения параметров пЭМГ-сигнала, связанных с паттернами при движении верхней конечности.

$$X[a,b] = DWT(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{N} x\{j\} \sum_{j}^{j+1} \phi_{a,b}(j) \ , \qquad (2)$$

где $\phi_{a,b}(j) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{j-b}{a}\right)$ – материнский вейвлет конечной длины;

$a = 1 \dots N$ – параметр перемещения окна;

$b = 0 \dots N - 1$ – параметр растяжения или сжатия.

КА – блок вычисления коэффициентов аппроксимаций вейвлет-преобразования $A_n^{(i)}$.

$$A_n^{(i)} = \sum_{k=0}^{N-1} g_k A^{(i-1)};$$
$$i = 1 \dots 6; A_n^{(0)} = \mathbf{x}, \quad (3)$$

где g – импульсный отклик низкочастотного фильтра.

КД – блок вычисления коэффициентов детализаций вейвлет-преобразования $D_n^{(i)}$.

$$D_n^i = \sum_{k=0}^{N-1} h_k A^{(i-1)};$$
$$i = 1 \dots 6;\ A_n^{(0)} = \mathbf{x}, \quad (4)$$

где h – импульсный отклик высокочастотного фильтра

МПО – мягкий пороговой оператор подавления шума [3, 4].

Экспериментально установлено [12], что мягкий пороговый оператор наиболее эффективен при высоком уровне шума.

Математически метод пороговой вейвлет-фильтрации можно записать в следующем виде:

$$\tilde{x}_{di}(l) = \begin{cases} |\tilde{x}_{di}(l)| - \delta_i & |\tilde{x}_{di}(l)| \geq \delta_i, \\ 0, & |\tilde{x}_{di}(l)| < \delta_i, \end{cases} \quad (5)$$

где di – индекс коэффициентов детализации ДВП на уровне i;

δ_i – амплитуда шумов.

ОВП – блок, реализующий обратное вейвлет-преобразование IDWT

$$\tilde{x}_n = IDWT(\tilde{X}). \quad (6)$$

БПВО – блок определения параметров сигнала пЭМГ во временной области. В этом блоке вычисляются: IEMG – интегрированный параметр пЭМГ-сигнала, *var* – дисперсия биопотенциалов пЭМГ-сигнала, *ZC* – число пересечений нулевой линии, *MFL* – максимальная фрактальная длина ЭМГ-сигнала [5, 8, 9].

БПЧО – блок определения параметров пЭМГ-сигнала в частотной области. В этом блоке вычисляются частотные параметры: *MNP* – среднее значение спектральной мощности сигнала, *MNF* – средняя частота сигнала, SM3 – третий статистический начальный момент [5].

ИНС1 – искусственная нейронная сеть для распознавания наличия движения в локтевом суставе. На вход ИНС1 поступают параметры статистического анализа пЭМГ-сигнала $Ph = [St(Y)]^T$ со значениями *IEMG, var*, *ZC, MFL,* определенные каждые 128 мс. На выходе ИНС1 формируется сигнал *H* наличия/отсутствия (0/1 соответственно) движения предплечья:

$$H = \\ = F_2^{NN1}\left(W_2^{NN1} F_1^{NN1}\left(W_1^{NN1} ph + b_1^{NN1}\right) + b_2^{NN1}\right), \quad (7)$$

где F_1^{NN1} и F_2^{NN1} – функции активации нейронов ИНС1;

$$F_1^{NN1}(net) = F_2^{NN1}(net) = \frac{1}{1+e^{-net}}, \quad (8)$$

$W_1^{NN1} \in \Re^{10x4}$ и $W_2^{NN1} \in \Re^{1x10}$ – матрицы весовых коэффициентов, а $b_1^{NN1} \in \Re^{10x4}$ и $b_2^{NN1} \in \Re$ – векторы пороговых значений ИНС1, полученных после процесса обучения.

ИНС2 – искусственная нейронная сеть для оценки углового перемещения локтевого сустава. На ее вход поступают параметры

$$p_\varphi = \\ = \left[St(Y)\ Sp(Y)\ St(D^m)\ Sp(D^m)\ St(A^6)\ Sp(A^6)\right]^T, \\ m = \{5,6\}$$

статистического и спектрального анализа пЭМГ-сигнала со значениями *IEMG, VAR, ZC, MFL, MNP, MNF, SM3* и значениями вейвлет-коэффициентов детализаций D^m и аппроксимации A^6.

Выход ИНС2 – угол θ перемещения предплечья, определяется следующей зависимостью:

$$\theta = F_2^{NN2}\left(W_2^{NN2} F_1^{NN2}\left(W_1^{NN2} ph + b_1^{NN2}\right) + b_2^{NN2}\right); (9)$$

$$F_1^{NN2}(net) = \frac{1}{1+e^{-net}};\ F_2^{NN1}(net) = net,\ (10)$$

где F_1^{NN1} и F_2^{NN1} – функции активации нейронов ИНС2;

$W_1^{NN2} \in \Re^{20x18}$ и $W_2^{NN2} \in \Re^{1x20}$ – матрицы весовых коэффициентов;

$b_1^{NN2} \in \Re^{20}$ $b_2^{NN2} \in \Re$ – векторы пороговых значений ИНС2, полученных после процесса обучения ИНС2.

ИНС3 – искусственная нейронная сеть для оценки угловой скорости предплечья. На вход этого блока поступают параметры $p_\omega = \left[St(Y) \quad Sp(Y)\right]^T$ статистического и спектрального анализа пЭМГ-сигнала со значениями *IEMG, VAR, ZC, MFL, MNP, MNF*.

Выход ИНС3 ω является оценкой угловой скорости предплечья и определяется по формуле

$$\bar{\omega} = F_2^{NN3}\left(W2^{NN3} F_1^{NN3}\left(W1_1^{NN3} p_\omega + b_1^{NN3}\right) + B_2^{NN3}\right), (11)$$

где F_2^{NN3} и F_1^{NN3} – функции активации нейронов ИНС2;

$W_1^{NN3} \in \Re^{15xE}$ и $W_2^{NN3} \in \Re^{1x15}$ – матрицы весовых коэффициентов;

$b_1^{NN3} \in \Re^{15}$ и $b_2^{NN3} \in \Re$ – векторы пороговых значений ИНС2, полученные после процесса обучения.

На рисунке 2 показана имитационная модель ЭУУ БТС И-П-С, созданная в среде Simulink – Matlab.

В имитационной модели реализуются следующие процедуры: вейвлет-фильтрация пЭМГ-сигнала [12], вычисление параметров пЭМГ-сигнала во временной и частотных областях [9, 11], определение начала движения предплечья, его скорости и направления с помощью искусственных нейронных сетей [10].

Цифровой сигнал пЭМГ поступает в блок сбора данных 1. Блоком 2 выполняется обработка пЭМГ-сигнала, здесь реализуются операции **СОС, ПВП, КД, КА, МПО, ОВП, БПВО, БПЧО.** В результате вычисляются 18 параметров, относящихся к временной и частотной областям, на выходе блока 2 формируются входные векторы p_h, p_θ, p_ω ИНС. В блоке 3 выполняются процедуры ИНС1 и ИНС3 по распознаванию наличия движения предплечья и определения значения скорости углового перемещения.

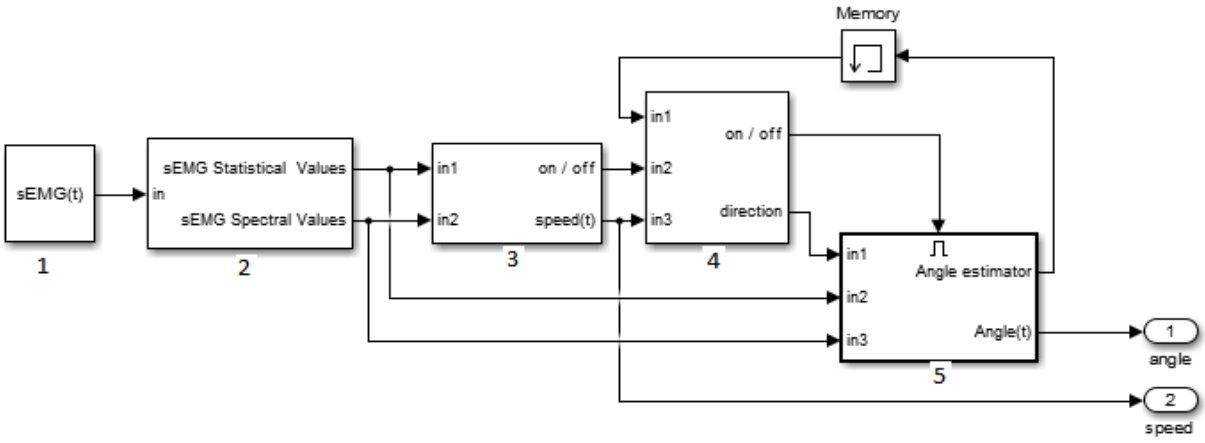


Рис. 2. Simulink модель ЭУУ БТС И-П-С верхней конечности

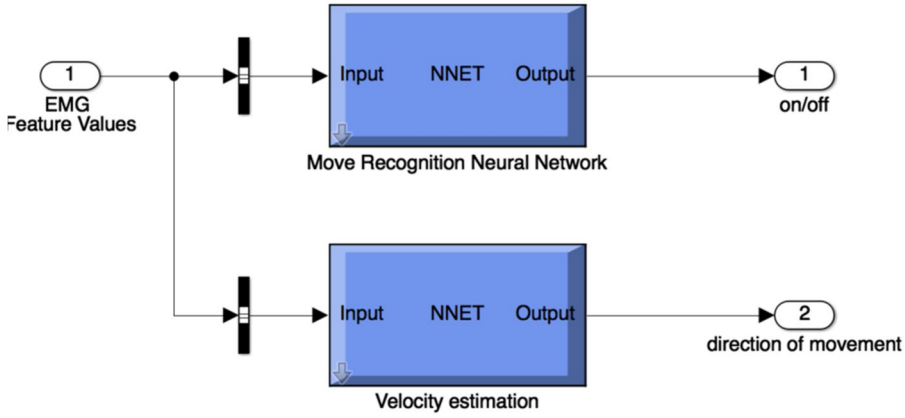


Рис. 3. ИНС2 распознавания начала сгибания /разгибания предплечья и направления движения предплечья

ИНС1 (рис. 3) определяет начало углового поворота предплечья в парасагиттальной плоскости. Если имеется движение предплечья, на выходе ИНС1 появляется единица, иначе – ноль. Оценивание угловой скорости движения предплечья выполняется ИНС3. При сгибании предплечья значение оценки угловой скорости положительное и наоборот.

После начала движения предплечья активируется ИНС2, которая вычисляет оценку угла сгибания или разгибания в реальном масштабе времени. Для управления ИНС2 используется конечный автомат (КА) (см. блок 4, рис. 2). На входы ИНС2 поступают сигналы распознавания типа совершаемого движения предплечьем от ИНС1 и значение угловой скорости, определенной с помощью ИНС3.

На рисунке 4 приведен орграф функционирования КА, управляющего ИНС2. Вершины орграфа соответствуют состояниям КА, а дуги имеют направления, по которым осуществляется переход в нужное состояние и соответствующие веса.

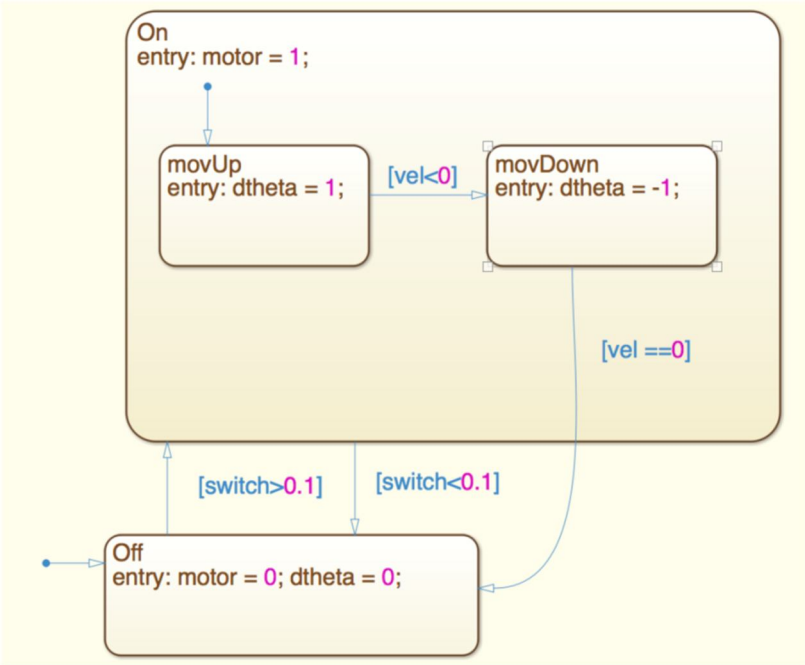


Рис. 4. Граф состояний КА

Если выход ИНС1 больше нуля и значение веса дуги перехода больше 0.1, произойдет переход КА из состояния Off в состояние On. При этом включается серводвигатель, если значение угловой скорости, определенное ИНС3, положительное. Вращение серводвигателя происходит против часовой стрелки, при этом протез руки будет выполнять сгибание и наоборот. При скорости, равной нулю, конечный автомат остановит серводвигатель, который вновь будет включен, если выход ИНС1 станет равным 1.

Каждые 128 мс ИНС2 определяет значение угла поворота предплечья. Это значение угла является входным сигналом для сервопривода протеза, и таким образом будет обеспечено следящее управление положением предплечья относительно локтевого сустава.

Программное обеспечение для анализа пЭМГ во временной и частотной области, вейвлет-фильтрации, синтеза и обучения ИНС разработано в системе Matlab–Simulink с последующей конвертацией в код *C/C++*. Размер загрузочного модуля программы управления составил 50242 байта.

Заключение

Выполнен структурный синтез устройства управления протезом верхней конечности. В разработанном ЭУУ БТС И-П-С используются современные методы цифровой обработки сигнала и интеллектуальная экспертная система с использованием ИНС. Применение мягкой вейвлет-фильтрации позволяет снизить влияние различных помех, не искажая исходный пЭМГ-сигнал, и сохранить его информативность [12]. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования обеспечили получение надежного ЭУУ в БТС «инвалид – протез – окружающая среда».

Список литературы

1. Гурфинкель В. С. Биоэлектрическое управление. М., 2012. 248 с.

2. Siti A. A. Review of Electromyography Control Systems Based on Pattern Recognition for Prosthesis Control Application // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2011. N 5(8). P. 1512–1518.

3. Hargrove L., Englehart K., Hudgins B. A comparison of surface and intramuscular myoelectric signal classication. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2007. N 54(5). P. 847-853.

4. Многофункциональный биоэлектрический протез руки, управляемый от одной усеченной мышцы/ Ф.И. Бых [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. Т. 5. № 6 (41). С. 42–46.

5. Englehart K., Hudgins B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2003. Vol. 50(7). P. 848–854.

6. Hudgins B., Parker P., Scott R. N. A new strategy for multifunction myoelectric control // IEEETrans. on Biomedical Eng. 1993. Vol. 40(1). P. 82–94.

7. Asghari Oskoei M., Hu H. Myoelectric control systems - a survey // Biomedical Signal Processing and Control. 2007. Vol. 4 (4). P. 275–294.

8. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. М.: Физматлит, 2007. С. 88–100.

9. Влияние кинематических параметров движения локтя на электромиографический сигнал двуглавой мышцы плеча / В. Ф. Бонилья [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14, № 4 (79). С. 133–141.

10. Идентификация кинематических параметров движения локтя с помощью технологий искусственных нейронных сетей / Ф. Бонилья [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. № 1 (80). С. 39–47.

11. Анализ сигнала ЭМГ двуглавой мышцы плеча в среде LabVIEW / В. Ф. Бонилья [и др.] // Инновации, экология и ресурсосберегающие технологии (ИнЭРТ-2014) [Электронный ресурс]:

труды XI Междунар. науч.-техн. форума. Ростов н/Д, 2014. С. 1394-1401. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Загл. с этикетки диска. № гос. регистрации 0321403677 от 11.02.2015.

12. Study of noise and interference of surface electromyography signal and wavelet denoising / V. F. Bonilla [et al.] // Национальная ассоциация ученых (НАУ): ежемесячный научный журнал. 2015. № 2 (7), ч. 3. С. 32–36.

Поступила в редакцию 27.07.18

UDC 611.737.004

F. V. Bonilla, Undergraduate, Universidad Tecnológica Equinoccial (Quito, Ecuador) (e-mail: fbonilla@ute.edu.ec)

A. V. Litvin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: alit2010@rambler.ru)

A. E. Lukyanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russia) (e-mail: lea_rnd@mail333.com)

L. V. Starodubtseva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: kstu-bmi@yandex.ru)

SYNTHESIS OF THE ELECTROMYOGRAPHIC CONTROL UNIT IN BIOTECHNICAL SYSTEMS "AMPUTEE – PROSTHESIS – ENVIRONMENT”

The objectives of the research is to develop an electromyographic control device (ECD) in biotechnical systems (BTS) "disabled - prosthesis - environment" in the presence of a variety of interference.

The task of creating reliable control devices in BTS "disabled prosthesis”, operating in different environmental conditions remains relevant, despite considerable efforts to create reliable control devices. The environment is characterized by a variety of noise and interference, different in nature, which complicate the control process, in addition the control process is affected by various physiological disturbances. Digital filtering can significantly distort the original biomedical signal.

The applied non-invasive technology of surface electromyography (pEMG) signal record allowed simplifying the task of upper limb prosthesis control. The analysis of electromyography control methods was performed; the requirements for the ECD by the upper limb prosthesis were formed.

In ECD sEMG signal is used to form the necessary input control vectors, in neural networks, which determine the phase and parameters of the movement of the flexion – extension of the forearm. Signal pEMG was recorded by Ag-AgCl electrodes installed on the two-headed muscle of a shoulder, after amplifying were transferred by the USB interface to Matlab.

Low-frequency noise was removed by analog HPF , and high-frequency noise was eliminated by wavelet filtering. The block diagram of the ECD is developed, the transfer functions of the device functional modules are given. The software is developed in the Simulink-Matlab system with the subsequent conversion into C++ code for the control microcontroller. The developed ECD for BTS "disabled-prosthesis-environment" has sufficient accuracy and speed.

***Key words**: electromyogram, control, BTS, wavelet filtration, mathematical model, artificial neural network, Simulink.*

For citation: Bonilla F. V., Litvin A. V., Lukyanov A. E., Starodubtseva L. V. Synthesis of the electromyographic control unit in biotechnical systems "amputee – prosthesis – environment”. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 132–140 (in Russ.).

***

References

1. Gurfinkel' V. S. Bioehlektricheskoe upravlenie. Moscow, 2012. 248 p.

2. Siti A. A. Review of Electromyography Control Systems Based on Pattern Recognition for Prosthesis Control Application. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2011, no. 5(8), pp. 1512–1518.

3. Hargrove L., Englehart K., Hudgins B. A comparison of surface and intramuscular myoelectric signal classication. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2007, no. 54(5), pp. 847-853.

4. Byh F. I., eds. Mnogofunkcional'nyj bioehlektricheskij protez ruki, upravlyaemyj ot odnoj usechennoj myshcy. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij, 2009, vol. 5, no. 6 (41), pp. 42–46.

5. Englehart K., Hudgins B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2003, vol. 50(7), pp. 848–854.

6. Hudgins B., Parker P., Scott R. N. A new strategy for multifunction my-oelectric control. IEEETrans. on Biomedical Eng., 1993, vol. 40(1), pp. 82–94.

7. Asghari Oskoei M., Hu H. Myoelectric control systems - a survey. Biomedical Signal Processing and Control, 2007, vol. 4 (4), pp. 275–294.

8. Rangajyan R. M. Analiz biomedicinskih signalov. Prakticheskij podhod. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007, pp. 88–100.

9. V. F. Bonil'ya, eds. Vliyanie kinematicheskih parametrov dvizheniya loktya na ehlektromio-graficheskij signal dvuglavoj myshcy plecha. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014, vol. 14, no. 4 (79), pp. 133–141.

10. Bonil'ya F., eds. Identifikaciya kinematicheskih parametrov dvizheniya loktya s pomoshch'yu tekhnologij iskusstvennyh nejronnyh setej. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2015, no. 1 (80), pp. 39–47.

11. Bonil'ya V. F., eds. Analiz signala EHMG dvuglavoj myshcy plecha v srede LabVIEW. Innovacii, ehkologiya i resursosberegayushchie tekhnologii (InEHRT-2014). Rostov n/D, 2014, pp. 1394-1401.

12. Bonilla V. F., eds. Study of noise and interference of surface electromyography signal and wavelet denoising. Nacional'naya associaciya uchenyh (NAU). Ezhemesyachnyj nauchnyj zhurnal, 2015, no. 2 (7), pt. 3, pp. 32–36.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. 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).

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 аннотация (200–250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

Например:

> УДК 004.9:519.8
> **А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (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 (не менее 10). Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

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.**