МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ИЗВЕСТИЯ

Юго-Западного государственного университета

Серия
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Том 8
№ 2 (27)

Курск 2018

2018. Т. 8, № 2 (27)
Научный рецензируемый журнал

ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

Основан в 2011 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

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

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

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

Редакционная коллегия

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

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА 6

Бушуев Д. А., Рубанов В. Г., Коренева Т. Ю.

Построение и исследование виртуального прототипа мотор-колеса робототехнического транспортного средства 6

Кужелева С. А., Титова Г. С., Мельник Е. В.

Автоматизация процессов управления конкурентоспособностью вуза на основе применения системно-динамических моделей 15

Богатырёв П. Ю., Коськин А. В.

Сравнение описательной емкости моделей систематизации с одним и несколькими деревьями методом имитационного моделирования 23

Ефимов П. В., Щербатов И. А.

Алгоритм идентификации явных дефектов технологического оборудования в энергетике на основе нейросетевой модели 32

Петросов Д. А., Бажанов А. Г.

Интеллектуальный структурный синтез технологических процессов на основе эволюционных методов и теории сетей Петри 41

Даееф Ф., Юдин Д. А.

Анализ динамической среды мобильного робота при его движении по неизменному пути 52

Сорокин А. И., Волков В. Н., Сорокина Ю. О.

Адаптивный алгоритм квантования цветового пространства на основе медианного сечения 63

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

Калуцкий И. В., Спеваков А. Г., Остроцкая С. В.

Модель интерактивного справочного ресурса сведений и рекомендаций в области безопасности субъектов персональных данных **73**

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **82**

Кравчук Д. А., Старченко И. Б.

Модель формирования оптоакустического сигнала от агрегированных эритроцитов **82**

Сахнов С. Н., Аксёнов В. В.

Компьютерная система управления офтальмологической службой при выявлении глаукомы и катаракты **91**

Гегерь Э. В., Федоренко С. И.

Информационная поддержка принятия решений при оценке риска профессиональной заболеваемости на основе анализа бинарных выборок..... **101**

Муха Ю. П., Безбородов С. А.

Метрологический анализ ПТК для медицинских измерений. Системный подход..... **108**

К сведению авторов **117**

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 15.05.18. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,6.
Тираж 1000 экз. Заказ 30. Цена свободная.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

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

© Юго-Западный государственный университет, 2018

2018. Volume 8, no 2 (27)
Scientific reviewed journal

PROCEEDINGSS

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

Foundel in 2011.
Publication fregnency: four times a year

Founder: Southwest State University

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

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

Editors

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

CONTENT

CONTROL, COMPUTER ENGINEERING, INFORMATION SCIENCE 6

Bushuev D. A., Rubanov V. G., Koreneva T. Y.
Construction and Investigation of Automated Guided Vehicle Hub-Motor Virtual Prototype 6

Kuzheleva S. A., Titova G. S., Melnik E. M.
Automation of the Management Processes of the Competitiveness of the Higher Education Institution on the Basis of Application of System-Dynamic Models 15

Bogatyrev P. U., Koskin A. V.
Comparision of Descriptive Capacity for the Systematization Models with One and Several Trees by Imitation Modeling 23

Efimov P. V., Sherbatov I. A.
Algorithm for Identifying Explicit Defects in Process Equipment in Power Engineering Based on the Neural Network Model 32

Petrosov D. A., Bazhanov A. G.
Intelligent Structural Synthesis of Technological Processes on the Basis of Evolutionary Methods and Petri Nets Theory 41

Daeef F., Yudin D. A.
Dynamic Environment Analysis of the Mobile Robot Moving Along the Predetermined way 52

Sorokin A. I., Volkov, V. N., Sorokina Yu. O.
Adaptive Color Space Quantization Algorithm Based On The Median Cut 63

Kalutskiy I. V., Spevakov A. G., Ostrotskaya S. V.
The Model of the Interactive Reference and Resource Information and Recommendations in the Field of Personal Data Subjects Security 73

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 82

Kravchuk D. A., Starchenko I. B.

The Model of the Formation of an Optoacoustic Signal from Aggregated Erythrocytes 82

Sakhnov S. N., Aksenov V. V.

Computer Control System of the Ophthalmic Service in the Detection of Glaucoma and Cataracts 91

Geger E. V., Fedorenko S. I.

Information Support of Decision-Marking when Assessing the Risk for Occupational Morbidity Based on Analysis of Binary Samples 101

Mucha Y. P., Bezborodov S. A.

Metrological Analysis of SHC for Medical Measurements. Systematic Approach 108

Information for Authors 117

© Southwest State University, 2018

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 681.5.017

Д. А. Бушуев, канд. техн. наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: bushuev.da@bstu.ru)

В. Г. Рубанов, д-р техн. наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: rubanov.vg@bstu.ru)

Т. Ю. Коренева, магистрант, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: gly4ka@ya.ru)

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПА МОТОР-КОЛЕСА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Статья посвящена созданию компьютерной модели мотор-колеса с бесколлекторным двигателем постоянного тока (БДПТ) и совместному моделированию динамики движения его механической части и управляющего устройства с релейным законом. Определены характеристики механической части мотор-колеса «Green E-Motion» и показана его твердотельная компьютерная модель, построенная в среде MSC.Adams, кинематически и динамически связывающая трехмерную модель корпуса и шины колеса, планетарный редуктор с шестернями, электродвигатель и подшипники, построенные с применением модуля Machinery. Представлена математическая модель в форме пространства состояния, описывающая динамику электрической части бесколлекторного двигателя постоянного тока с трапецеидальной формой обратной ЭДС и датчиками Холла, и ее интерпретация в среде MATLAB/Simulink с интеграцией механической части виртуального прототипа мотор-колеса с планетарным редуктором, на которую поступает величина движущего момента и возвращаются значения угловой скорости и положения ротора. Составлена электрическая схема замещения БДПТ с инвертором, с помощью которой получена математическая и компьютерная модель инвертора, используемого для коммутации обмоток БДПТ в зависимости от состояний датчиков Холла с учетом направления протекания фазных токов и характера коммутации. Приведена модель релейной системы автоматического регулирования частоты вращения ротора БДПТ с инвертором в составе виртуального прототипа мотор-колеса. Представлены и проанализированы результаты совместного моделирования динамики движения виртуального прототипа мотор-колеса «Green E-Motion» на основе электродвигателей Maxon motor EC160W с разомкнутой и замкнутой обратной связью релейной системы автоматического управления частотой вращения БДПТ.

***Ключевые слова**: мотор-колесо, бесколлекторный двигатель постоянного тока, виртуальный прототип, совместное моделирование динамики, математическая модель, релейный закон управления.*

Ссылка для цитирования: Бушуев Д. А., Рубанов В. Г., Коренева Т. Ю. Построение и исследование виртуального прототипа мотор-колеса робототехнического транспортного средства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 6–14.

***

Введение

Классический подход к разработке конечного продукта основывается на многочисленных итерациях процессов проектирования и последующего построения дорогостоящих и трудоемких физических прототипов [1].

В высокотехнологичных отраслях (авиастроительной и аэрокосмической, в автомобилестроении, мехатронике и робототехнике) в последнее время наметилась тенденция к применению гибкого подхода, одной из составляющих которого является компьютерное моделирование с построением виртуальных прототипов объектов и систем. Особенно это актуально при решении задач разработки и исследования новых методов повышения

надежности и обеспечения живучести. Одной из таких задач является исследование способов восстановления работоспособности автономных роботизированных транспортных средств (РТС), реализующих транспортные и логистические операции в складских помещениях при частичной потере работоспособности аппаратных средств и сбоях программного обеспечения. Ключевым элементом РТС, определяющим его возможности и характеристики, является приводной мотор [2]. Технология применения так называемых мотор-колес (hub-motor) или электродвигателей, вмонтированных в ступицу колеса, в сочетании с редукторами и тормозными механизмами позволяет существенно упростить конструкцию трансмиссии, исключает необходимость в дифференциале и улучшает массогабаритные характеристики [3; 4]. В качестве электродвигателей в мотор-колесах предпочтительнее используются бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ), которые обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с коллекторными двигателями: отсутствие коллекторного узла, компактность, увеличенный КПД, хорошая точность позиционирования.

Система управления БДПТ обычно состоит из следующих частей: бесколлекторного двигателя с нагрузкой, полупроводникового коммутационного узла и блока управления, подсистемы сенсоров для определения положения ротора, обычно на основе датчиков Холла, контроллеров момента, скорости и тока [4].

Математическая модель БДПТ содержит как линейные, так и существенно нелинейные элементы. Поэтому с точки зрения диагностики, контроля состояния и восстановления работоспособности БДПТ является более сложным объектом, требующим построения детальной математической модели поведения по сравнению с коллекторным двигателем постоянного тока.

Исследованию динамики БДПТ, в том числе с различными системами управления, посвящено большое количество работ [4–7]. В работах [8; 9] на основе аппарата нечеткой логики и имитационной модели управления идеального БДПТ предложен способ диагностики его технического состояния по трем параметрам: току, вибрации, температуре. Однако для полноценной диагностики состояния БДПТ в условиях его реальной работы в составе редукторных мотор-колес РТС с учетом робастности объекта управления, параметрических и координатных возмущений, а также для тестирования способов и алгоритмов восстановления работоспособности при частичных отказах без проведения натурных экспериментов необходимо располагать виртуальным прототипом редукторного мотор-колеса, который можно полноценно использовать в виртуальных испытаниях РТС.

В данной статье описывается процесс построения и исследования виртуального прототипа мотор-колеса в составе роботизированного транспортного средства.

Механическая модель редукторного мотор-колеса в среде MSC.Adams

При моделировании мотор-колеса с БДПТ в качестве объекта для прототипирования было взято реальное мотор-колесо фирмы «Green E-Motion», внешний вид которого представлен на рисунке 1, *а*.

Данное мотор-колесо содержит: БДПТ с двумя выводами вала, планетарную передачу (рис. 1, *б*) с пластиковыми шестернями, к внешнему кольцу которой крепится обод колеса, подшипники скольжения. В соответствии с замерами реального мотор-колеса количество зубьев солнечной шестерни $n_1 = 15$, количество зубьев внешнего кольца планетарной передачи $n_3 = 64$, количество зубьев сателлитов исходя из условия соосности $n_2 = (n_3 - n_1)/2 = 25 \in Z$, количество сателлитов $c = 3$, что подтверждает выполнение условия сборки, поскольку $(n_3 + n_1)/c = 26 \in Z$, где Z – множество целых чисел.

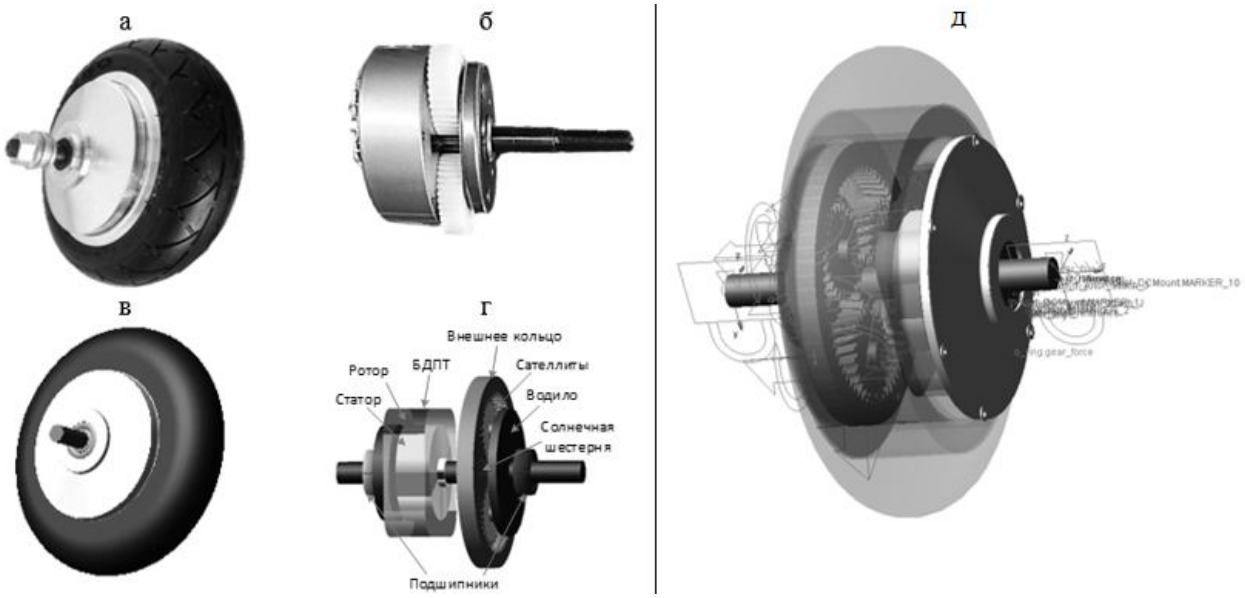


Рис. 1. Сравнение реального мотор-колеса (*а*, *б*) и его виртуального прототипа (*в*, *г*), а также внешний вид и внутреннее устройство виртуального прототипа мотор-колеса в среде MSC.Adams с отображением связей и маркеров (*д*)

Согласно определенной конфигурации передаточный коэффициент планетарной передачи

$$i = \frac{\omega_1}{-\omega_2} = -\frac{n_3}{n_1} = -4,57\,,$$

где ω_1 – угловая скорость ротора;

ω_2 – угловая скорость колеса.

Геометрия виртуального мотор-колеса (рис. 1, *в*) была реализована в среде Autodesk Inventor и импортирована вместе с массо-инерционными характеристиками в механическую часть виртуального прототипа мотор-колеса, построенного в MSC.Adams (рис. 1, *г*).

Разработанная в среде MSC.Adams компьютерная модель механической части мотор-колеса включает в себя планетарную передачу, реализованную средствами Machinery.Gear, модель двигателя, состоящего из ротора и статора, созданных в модуле Machinery.Motor, с прикладываемым внешним крутящим моментом (режим «External»), подшипников. Движущий момент двигателя вращает солнечную шестерню планетарной передачи, к сателлитам которой прикреплено водило, жестко зафиксированное с цапфой мотор-колеса, которая в свою очередь крепится к РТС, в результате чего внешнее кольцо вместе с колесом приходит во вращение (рис. 1, *д*). Внешний вид виртуального прототипа мотор-колеса с внутренним устройством представлен на рисунке 1, *д*.

Модель БДПТ с релейной системой управления в составе редукторного мотор-колеса

При моделировании использовались данные реального бесколлекторного двигателя постоянного тока EC 160 W производителя «Maxon motor», аналогичного установленному в мотор-колесе Green E-Motion. Конструктивно он представляет собой трехфазный синхронный двигатель, обмотки которого коммутируются инвертором в зависимости от сигналов, вырабатываемых тремя датчиками Холла, расположенными на статоре.

Трехфазный электродвигатель работает в двухфазном режиме, то есть две фазы, которые производят наибольший крутящий момент, включены, а третья фаза выключена. На какие две фазы подается напряжение, зависит от положения ротора. В таблице 1 представлены последовательность переключения и направление тока.

Таблица 1

Последовательность переключения

Номер позиции	Интервалы переключения	Открытые ключи		Фазные токи		
				I_a	I_b	I_c
0	$\left[0-60^o\right)$	Q_1	Q_4	+	–	нет
1	$\left[60^o-120^o\right)$	Q_1	Q_6	+	нет	–
2	$\left[120^o-180^o\right)$	Q_3	Q_6	нет	+	–
3	$\left[180^o-240^o\right)$	Q_3	Q_2	–	+	нет
4	$\left[240^o-300^o\right)$	Q_5	Q_2	–	нет	+
5	$\left[300^o-360^o\right)$	Q_5	Q_4	нет	–	+

Двигатель при соединении обмоток звездой может быть описан следующей системой уравнений в форме-пространства состояний [4–5]. Учтём, что значения ω_m (скорость вращения ротора) и θ_m (угол поворота ротора) в соответствии с нагрузкой, моментами сопротивления и моментом инерции якоря поступают из механической части модели в MSC.Adams в режиме совместного моделирования:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} I_a' \\ I_b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{R}{L} & 0 \\ 0 & -\dfrac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{2}{3L} & \dfrac{1}{3L} \\ -\dfrac{1}{3L} & \dfrac{1}{3L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ab}-E_{ab} \\ U_{bc}-E_{bc} \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ab}-E_{ab} \\ U_{bc}-E_{bc} \end{bmatrix}. \end{cases} \quad (1)$$

Символы U, I, I' и E обозначают соответственно межфазные напряжения, фазные токи и их производные и межфазные противоЭДС, R и L – сопротивление и индуктивность обмоток.

ПротивоЭДС и электрический крутящий момент могут быть записаны в следующем виде:

$$E_a = \frac{k_e}{2}\omega_m F\left(\theta_e\right), E_b = \frac{k_e}{2}\omega_m F\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$E_c = \frac{k_e}{2}\omega_m F\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right), \quad (2)$$

$$M_e = \frac{k_m}{2}[F\left(\theta_e\right)I_a + F\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right)I_b + F\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right)I_c],$$

где k_e и k_m – конструктивные коэффициенты противоЭДС и крутящего момента;

M_e – электрический крутящий момент.

Электрический угол θ_e равен углу поворота ротора, умноженному на число пар полюсов p ($\theta_e = p\theta_m$).

Функция $F\left(\theta_e\right)$ дает трапециевидную форму обратной ЭДС. Один период этой функции можно записать как

$$F(\theta_e) = \begin{cases} 1, x \in \left[0, \dfrac{2\pi}{3}\right), \\ 1 - \dfrac{6}{\pi}\left(\theta_e - \dfrac{2\pi}{3}\right), x \in \left[\dfrac{2\pi}{3}, \pi\right), \\ -1, x \in \left[\pi, \dfrac{5\pi}{3}\right), \\ -1 + \dfrac{6}{\pi}\left(\theta_e - \dfrac{5\pi}{3}\right), x \in \left[\dfrac{5\pi}{3}, 2\pi\right). \end{cases} \quad (2)$$

Модель БДПТ, реализованная в среде Matlab/Simulink, представлена на рисунке 2.

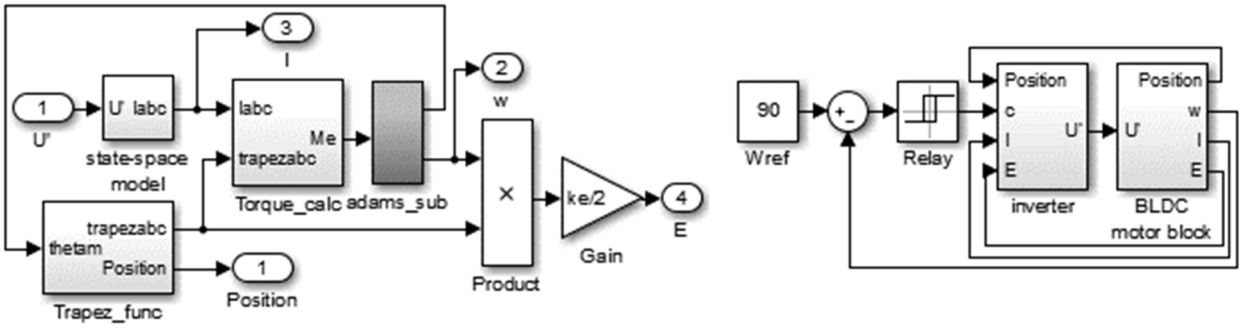
В блоке «state-space model» определена система уравнений (1) в форме пространства-состояния; в блоке «Torque_calc» задается уравнение (2); в подпрограмме «Trapez_func» формируется система уравнений (3) и сигнал, обозначающий интервал угла поворота ротора (колонка «номер позиции» таблицы 1); «adams_sub» – блок, который передаёт значение движущего момента в механическую систему мотор-колеса, смоделированную в MSC.Adams, и возвращает из неё значения угловой скорости и положения ротора БДПТ в непрерывном виде.

Регулирование скорости вращения БДПТ в составе мотор-колеса осуществляется при помощи релейной системы управления с релейным регулятором со статической характеристикой, представленной в виде системы уравнений:

$$c(\varepsilon)=\begin{cases}0, & \varepsilon<h_t,\dfrac{d\varepsilon}{dt}>0;\\ 1, & \varepsilon>=h_t,\dfrac{d\varepsilon}{dt}>0;\\ 1, & \varepsilon>h_b,\dfrac{d\varepsilon}{dt}<0;\\ 0, & \varepsilon<=h_b,\dfrac{d\varepsilon}{dt}<0,\end{cases} \quad (4)$$

где h_b – левый предел гистерезиса, а h_t – правый. В данном случае установлены значения $h_b=-1$, $h_t=1$.

На вход релейного регулятора поступает сигнал ошибки ε, в зависимости от которого включается или выключается блок управления инвертором, задающий при помощи *S*-функции выходные напряжения.



а *б*

Рис. 2. Модуль двигателя «BLDC motor block» (*а*) и модель управления БДПТ по скорости (*б*) с помощью релейного закона со статической характеристикой двухпозиционного реле с гистерезисом

Подпрограмма, реализующая инвертор и блок управления, представлена на рисунке 3, *а*.

Инвертор

Для реализации инвертора рассмотрим упрощенную схему двигателя с полупроводниковым коммутатором для положения «0» (см. рис. 3, *б*).

Исходя из схемы выведем уравнения для вариантов, когда ток, протекающий через диод, равен и не равен нулю:

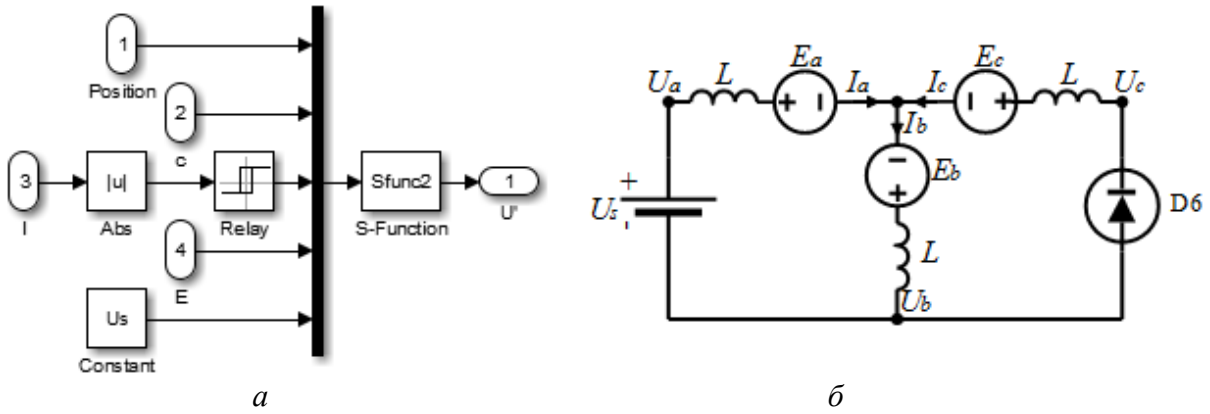
$$I_c=0: U_{ab}=U_s, U_{bc}=$$
$$=\frac{1}{2}(-U_s+E_a+E_b-2E_c);$$
$$I_c\neq 0: U_{ab}=U_s, U_{bc}=0.$$

Учтём, что

$$U'_{ab}=U_{ab}-E_{ab}=U_{ab}-E_a+E_b$$

и

$$U'_{bc}=U_{bc}-E_{bc}=U_{bc}-E_b+E_c.$$



а *б*

Рис. 3. Модель инвертора (*а*) и схема замещения БДПТ для положения 0 (*б*)

Получим

$$I_c = 0 : U'_{ab} = U_s - E_a + E_b,$$

$$U'_{bc} = \frac{1}{2}(-U_s + E_a - E_b);$$

$$I_c \neq 0 : U'_{ab} = U_s - E_a + E_b, U'_{bc} = -E_b + E_c.$$

Аналогично рассчитываем U'_{ab} и U'_{bc} для оставшихся пяти позиций.

Результаты моделирования динамики

В качестве исходных данных для моделирования использовались параметры БДПТ EC 160 W (каталожный номер 543673), представленные в таблице 2, где M_0 – максимальный пусковой момент.

На рисунке 4, *а*, *б* представлены графики крутящего момента и угловой скорости двигателя в зависимости от времени без привязки к колесу. Как видно, пусковой момент совпадает с табличным значением. Максимальная скорость на холостом ходу приблизительно составляет 3200 об/мин.

На рисунке 4, *в* представлен график угловых скоростей ротора ω_1 и колеса ω_2, полученные в результате моделирования редукторного мотор-колеса с релейной системой управления БДПТ. При $t = 1,0c$ $\omega_1 \approx 323,3$ об/мин, $\omega_2 \approx -70,71$ об/мин. Таким образом, $i = \frac{323,3}{-70,71} \approx -4,57$, что соответствует вычисленному ранее значению.

График изменения во времени управляющего воздействия представлен на рисунке 4, *г*.

Таблица 2

Параметры БДПТ

Параметр	Ед. измерения	Значение
u_s	В	24
k_e	$\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$	$7.12\cdot10^{-2}$
k_m	$\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{А}}$	$7.12\cdot10^{-2}$
p	Ом	11
R	Гн	0.113
L	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	$1.16\cdot10^{-4}$
J	$\text{Н}\cdot\text{м}$	$3.17\cdot10^{-4}$
M_0	Ом	7.54

Кроме приведенных характеристик доступны для отображения и управления все остальные характеристики БДПТ, что позволяет получать информацию о техническом состоянии привода и распознавать нештатные изменения, происходящие в устройствах.

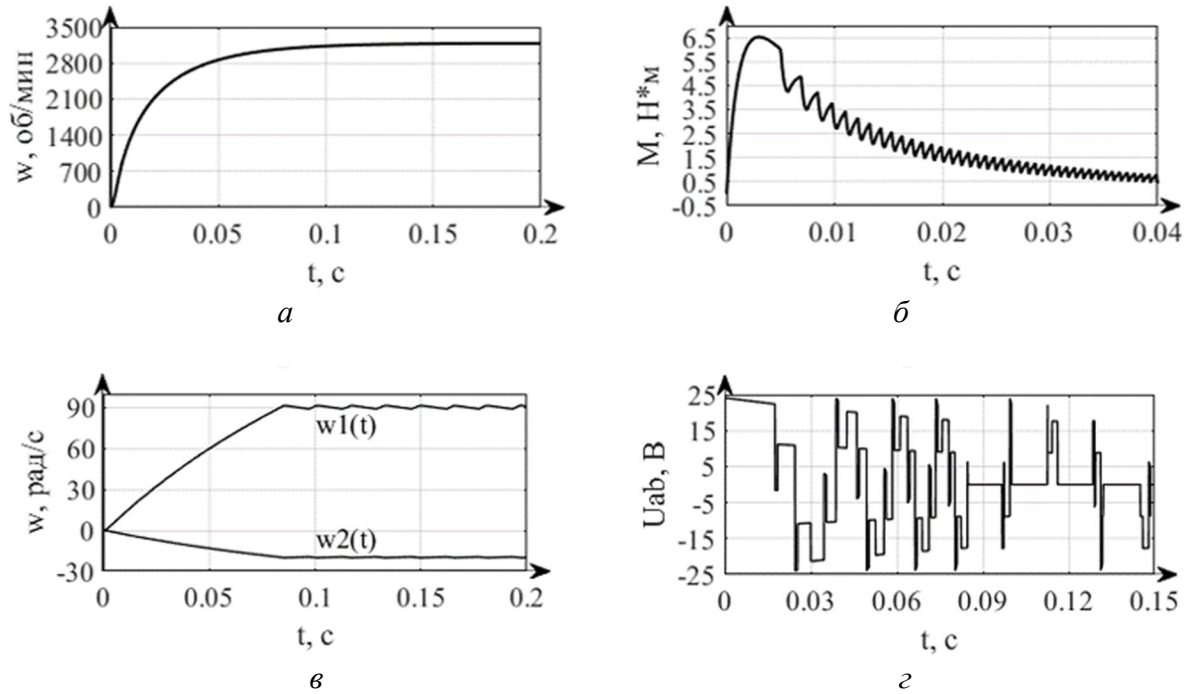


Рис. 4. Результаты моделирования: кривые разгоны для скорости вращения (*а*) и крутящего момента (*б*) БДПТ без системы автоматического управления; график изменения угловой скорости ротора БДПТ $w_1(t)$ и угловой скорости колеса $w_2(t)$ (*в*); межфазное напряжение БДПТ $U'_{ab} = U_{ab} - E_{ab}$ (*г*)

Заключение

В ходе выполненной работы с помощью программного средства Matlab/Simulink был смоделирован бесколлекторный двигатель постоянного тока на основе двигателя производства «Maxon motor» серии EC с инвертором. Полученные результаты моделирования динамики совпадают со справочными значениями и подтверждаются рядом исследований [4–7].

В модель БДПТ была интегрирована механическая часть мотор-колеса, построенного в программной системе MSC.Adams. При выполнении совместного моделирования динамики свойства модели приближаются к свойствам реального мотор-колеса, поскольку в компьютерном расчете механической части учитываются нелинейные эффекты в механической передаче, нагрузочное воздействие на колесо при установке его в РТС и т. п. Полученная модель позволяет разрабатывать методы диагностики состояния и восстановления работоспособности мотор-колес в составе роботизированного транспортного средства [10].

Исследование динамики релейной системы автоматического регулирования частоты вращения, однако, показало, что управление мощным бесколлекторным двигателем с применением релейного закона неэффективно с точки зрения затрат энергии и возможности возникновения колебательного движения. В будущем планируется применить регуляторы на основе широтно-импульсной модуляции и нечеткой логики.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта Госзадание №2.1396.2017/ПЧ.

Список литературы

1. Вигер И. Возможности технологии виртуального прототипирования на всех этапах жизненного цикла продукта // CAD/CAM/CAE Observer. 2016. №8 (108). С. 48–53.

2. Liu Z. Optimum Design and Control Research of Direct Drive Hub Motor // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2018. Vol. 82.

3. Chen Y., Lu Z. Study on control of an two hub-motor electric vehicle // IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). 2010. P. 627.

4. Lee B., Ehsani M. Advanced simulation model for brushless DC motor drives // Electric Power Components and Systems. 2003. Vol. 31, N 9. P. 841–868.

5. Çunkaş M., Aydoğdu O. Realization of fuzzy logic controlled brushless DC motor drives using Matlab/Simulink // Mathematical and Computational Applications. 2010. Vol. 15(2). P. 218–229.

6. Tashakori A., Ektesabi M., Hosseinzadeh N. Modeling of BLDC motor with ideal back-EMF for automotive applications // Proceedings of the World Congress on Engineering. 2011. WCE 2011. P. 1504–1508.

7. Model construction and verification of a BLDC motor using MATLAB/SIMULINK and FPGA control / Ming-Fa Tsai, Tran Phu Quy, Bo-Feng Wu, Chung-Shi Tseng // Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6th IEEE Conference (21-23 June 2011), 2011. P.1797–1802.

8. Diagnostics of electrical drives / I. V. Abramov, A. I. Abramov, Y. R. Nikitin, E. V. Sosnovich, P. Božek, V. Stollmann // International Conference on Electrical Drives and Power Electronics, EDPE 2015 – Proceedings. 2015. P. 364–367.

9. Control and diagnostic model of brushless DC motor / I. V. Abramov, Y. R. Nikitin, A. I. Abramov, E. V. Sosnovich, P. Božek // Journal of Electrical Engineering. 2014. Vol. 65(5). P. 277–282

10. Рыбин И. А., Рубанов В. Г. Математическая модель системы управления мобильного транспортного средства // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2017. Т. 18, № 5. С. 333–340.

Поступила в редакцию 29.03.18

UDC 681.5.017

D. A. Bushuev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: bushuev.da@bstu.ru)

V. G. Rubanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State Technological University. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: rubanov.vg@bstu.ru)

T. Y. Koreneva, Undergraduate, Belgorod State Technological University. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: gly4ka@ya.ru)

CONSTRUCTION AND INVESTIGATION OF AUTOMATED GUIDED VEHICLE HUB-MOTOR VIRTUAL PROTOTYPE

The article is devoted to the creation of a hub-motor with brushless DC motor (BLDC) computer model and co-simulation of the dynamics of its mechanical parts motion and relay controller. The characteristics of the mechanical part of the Green E-Motion hub-motor are determined and its 3D solid-state computer model which kinematically and dynamically links the model of the hull and tire of the wheel, the planetary reducer with gears, the electric motor and the bearings constructed with using the Machinery module is shown. A mathematical model in a state space form describing the dynamics of the BLDC motor electrical circuit with a trapezoidal shape of the back EMF and Hall sensors and its interpretation in the MATLAB/Simulink software with integration of mechanical part of the hub-motor virtual prototype with the planetary reducer, which input is electric motion torque and output are angular velocity and rotor position are presented. An electrical equivalent circuit for the BLDC with an inverter is created, in order to obtain the mathematical and computer model of the inverter which is used for commutating the BLDC windings depending on the states of the Hall sensors taking into account the direction of the phase currents and the commutation nature. The model of the relay system for automatic control of the BLDC rotor rotational speed with an inverter being a part of the hub-motor virtual prototype

is considered. The results of the co-simulation of the "Green E-Motion" hub-motor virtual prototype dynamics on the basis of the Maxon motor EC160W electric motor with open and closed loop of the BLDC relay automatic speed control system are presented and analyzed.

***Key words**: hub-motor, brushless DC motor, virtual prototype, dynamics co-simulation, mathematical model, relay control system.*

For citation: Bushuev D. A., Rubanov V. G., Koreneva T. Y. Construction and investigation of automated guided vehicle hub-motor virtual prototype. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 6–14 (in Russ.).

***

References

1. Viger I. Vozmozhnosti tekhnologii virtual'nogo prototipirovaniya na vsekh ehtapah zhiznennogo cikla produkta. CAD/CAM/CAE Observer, 2016, no. 8 (108), pp. 48–53.

2. Liu Z. Optimum Design and Control Research of Direct Drive Hub Motor. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2018, vol. 82.

3. Chen Y., Lu Z. Study on control of an two hub-motor electric vehicle. IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2010, p. 627.

4. Lee B., Ehsani M. Advanced simulation model for brushless DC motor drives. Electric Power Components and Systems, 2003, vol. 31, no. 9, pp. 841–868.

5. Çunkaş M., Aydoğdu O. Realization of fuzzy logic controlled brushless DC motor drives using Matlab/Simulink. Mathematical and Computational Applications, 2010, vol. 15(2), pp. 218–229.

6. Tashakori A., Ektesabi M., Hosseinzadeh N. Modeling of BLDC motor with ideal back-EMF for automotive applications. Proceedings of the World Congress on Engineering, 2011. WCE 2011, pp. 1504–1508.

7. Ming-Fa Tsai, Tran Phu Quy, Bo-Feng Wu, Chung-Shi Tseng. Model construction and verification of a BLDC motor using MATLAB/ SIMULINK and FPGA control. Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6th IEEE Conference (21-23 June 2011), 2011, pp. 1797–1802.

8. Abramov I. V., Abramov A. I., Nikitin Y. R., Sosnovich E. V., Božek P., V. Stollmann Diagnostics of electrical drives. International Conference on Electrical Drives and Power Electronics, EDPE 2015 – Proceedings, 2015, pp. 364–367

9. Abramov I. V., Nikitin Y. R., Abramov A. I., Sosnovich E. V., Božek P. Control and diagnostic model of brushless DC motor. Journal of Electrical Engineering, 2014, vol. 65(5), pp. 277–282

10. Rybin I. A., Rubanov V. G. Matematicheskaya model' sistemy upravleniya mobil'nogo transportnogo sredstva. Mekhatronika, Avtomatizaciya, Upravlenie, 2017, vol. 18, no. 5, pp. 333–340.

УДК 004.047

С. А. Кужелева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: svetlana711ist@mail.ru)

Г. С. Титова, канд. техн. наук, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: galia_titova@mail.ru)

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ВУЗА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В настоящее время высшие учебные заведения считаются полноправными участниками сформировавшегося рынка образовательных услуг. Их деятельность как функционально и организационно сложных объектов требует своевременной оценки конкурентоспособности, разработки и совершенствования технологии управления на базе автоматизированных систем.

Проведенные исследования показали, что существующие методы и средства оценки и управления конкурентоспособностью как организаций, так и созданные на их основе и адаптированные для вузов методики не отвечают потребностям практики в сложившихся условиях. Существующие подходы к оценке опираются в основном на анализ какой-либо одной группы факторов, являющейся, по мнению авторов, определяющей в оценке конкурентного преимущества (финансового, научного, технического характера). Большинство способов анализа основаны, прежде всего, на применении некоторых безразмерных коэффициентов (индикаторов), отражающих оценку основных сторон деятельности вуза.

На сегодняшний день существующие методы и средства оценки и управления конкурентоспособностью организаций, а также методики, созданные на их основе и адаптированные для вузов, не отвечают потребностям практики в сложившихся условиях, так как подходы к оценке опираются в основном на анализ какой-либо одной группы факторов, являющейся определяющей при оценке конкурентного преимущества. Однако конкурентоспособность объекта динамична, и для объективной оценки ее текущего уровня не следует ограничиваться расчетом только статических показателей.

Большинство методов комплексной оценки конкурентоспособности вуза отличаются использованием комбинации математико-статистических моделей, алгоритмов идентификации конкурентов и конкурентных позиций вузов.

Проблема осложняется недостаточной методологической проработанностью подходов в области оценки и создания специализированных систем управления конкурентоспособностью вуза, многоаспектностью исследуемых процессов и необходимостью обработки больших объемов информации о ситуациях, которая в силу специфики исследуемой предметной области отличается неоднородностью, противоречивостью и др.

В работе показано, что при построении систем автоматизации процессов управления конкурентоспобностью вуза наиболее целесообразным представляется применение системно-динамической модели (СД-модель) описания конкурентных ситуаций.

На основе предлагаемой СД-модели спроектирована паттерновая сеть выбора наиболее конкурентоспособного вуза в соответствии с заданными критериями.

Применение разработанной СД-модели позволяет также добавлять или удалять критерии оценки без внесения изменений в основу соответствующего программного обеспечения, позволяет выполнить условие масштабируемости создаваемой автоматизированной системы.

Таким образом, одним из основных путей повышения оперативности подготовки и обработки данных для обеспечения информационных потребностей управления конкурентоспособностью вуза в современных условиях может являться создание и внедрение автоматизированных систем информационной поддержки принятия решений, базирующихся на применении системно-динамических моделей.

Ключевые слова: *системно-динамическая модель, оценка конкурентоспособности, системный анализ, поддержка принятия решений и т. д.*

Ссылка для цитирования: Кужелева С. А., Титова Г. С., Мельник Е. В. Автоматизация процессов управления конкурентоспособностью вуза на основе применения системно-динамических моделей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 15–22.

***

Введение

На протяжении нескольких последних десятилетий развитие российской системы образования происходит в условиях разнообразных и стремительных перемен. В настоящее время, являясь важнейшей компонентой образовательных систем, высшие учебные заведения считаются полноправными участниками сформировавшегося рынка образовательных услуг.

Деятельность вуза как функционально и организационно сложного объекта требует разработки и совершенствования технологии управления на базе автоматизированных систем, позволяющих учитывать ряд таких взаимозависимых направлений, как организация учебной, финансовой, научной работы, исследование рынков труда и образовательных услуг и др.

Рассмотрение вуза как единицы сложной системы с внутренними и внешними взаимосвязями на основе системного подхода стало важнейшей составляющей процесса управления его конкурентоспособностью, позволяет обеспечить его лидерство в конкурентной борьбе. При этом возникает необходимость своевременной оценки конкурентоспособности вуза.

Постановка задачи

Следует отметить, что под конкурентоспособностью вуза понимается состояние (конкурентная ситуация) образовательной системы, оцениваемое по внешним и внутренним нормативным показателям. А под управлением конкурентоспособностью вуза будем понимать целенаправленное изменение внешних и внутренних нормативных показателей, характеризующих состояние образовательной системы в соответствии с поставленными стратегическими целями вуза в сложившейся конкурентной ситуации [3].

Как и для других сложных систем, для вузов характерно наличие структурных, функциональных, информационных, пространственно-временных каузальных связей, т. е. наличие неоднородных связей. При этом, рассматривая управленческий аспект, можно отметить, что он содержит ряд общих закономерностей, характерных для управленческой деятельности вообще, имеет выраженный циклический характер.

Проведенные в [2–8] исследования показали, что деятельность вузов характеризуется повышенной сложностью процессов управления с учетом множества неполной, неточной, в том числе преднамеренно искаженной информации, что ставит задачу повышения оперативности и качества обработки поступающей информации, выработки адекватных решений и первоочередной разработки метода оценки конкурентоспособности вуза с целью получения формализуемых факторов конкурентной среды.

Эффективное управление вузом в условиях конкурентной среды затруднительно без периодического исследования рынка образовательных услуг. Это направление становится важнейшим этапом оценки конкурентоспособности высшего учебного заведения в сложившихся условиях [3; 7].

Проведенные исследования показали, что существующие методы и средства оценки и управления конкурентоспособностью как организаций, так и созданные на их основе и адаптированные для вузов методики не отвечают потребностям практики в сложившихся условиях. Существующие подходы к оценке опираются в основном на анализ какой-либо одной группы факторов, являющейся, по мнению авторов, определяющей в оценке конкурентного преимущества (финансового, научного, технического характера). Большинство способов анализа основаны, прежде всего, на применении некоторых безразмерных коэффициентов (индикаторов), отражающих оценку основных сторон деятельности вуза [8].

Большинство методов комплексной оценки конкурентоспособности высшего учебного заведения отличаются исполь-

зованием комбинации математико-статистических моделей, алгоритмов идентификации конкурентов и конкурентных позиций вузов.

Существенным недостатком является использование статических показателей для оценки уровня конкурентоспособности вузов. Между тем конкурентоспособность объекта динамична, и для объективной оценки ее текущего уровня не следует ограничиваться расчетом только статических показателей.

По нашему мнению, метод управления конкурентоспособностью должен учитывать [4; 7; 8]:

– региональные особенности конкурентных условий вуза;

– многоаспектность исследуемых процессов и их взаимосвязанность;

– отсутствие возможности полной формализации всех состояний конкурентной среды;

– возможность обработки данных, представленных в разнотипных шкалах;

– учитывать изменчивость большинства показателей во времени, тот факт, что конкурентоспособность объекта динамична и для объективной оценки ее текущего уровня нельзя применять лишь статические показатели и др.

Метод, предложенный в статье

Таким образом, при построении систем автоматизации процессов управления конкурентоспобностью вуза наиболее целесообразным представляется применение системно-динамической модели описания конкурентных ситуаций, являющихся [4]:

– сложными, слабоформализованными или особо трудоемкими;

– ранее не известными, для которых необходимо подобрать и проверить стратегию управления;

– сложными для наблюдения в связи со значительной продолжительностью их развития или необходимостью контроля ситуации и др.

Однако, основываясь на результатах, изложенных в работах [6; 7], можно утверждать о наличии четкой структуры, позволяющей применить технологию шаблонов для создания системно-динамической модели.

Описание структурно-динамической модели, базируясь на работах [3; 5], может быть выполнено в нотации паттернового представления.

Моделирование

Предлагаемая авторами системно-динамическая модель (СД-модель) оценки конкурентоспособности вуза представлена на рисунке 1.

Динамика процесса определяется следующими структурными элементами: вентиль, управляющий пропускной способностью информационного канала, а также учитывающий возможность перераспределения ресурсов между элементами [4].

На рисунке 1 с помощью вентиля происходит управление информационным потоком данных. Перераспределение ресурсов происходит в связи с возникающей в системе управления реакцией на возмущения внешней среды [1].

На основе построенной СД-модели была спроектирована паттерновая сеть выбора [2] наиболее конкурентоспособного ВУЗа в соответствии с заданными критериями (рис. 2).

На основе созданной паттерновой сети можно записать систему уравнений, описывающих СД-модель оценки конкурентоспособности вуза:

$$a(g_1) = a\left(1; \gamma_{11}; \beta_{21}^{in}; \beta_{31}^{in}; \beta_{41}^{in}; \beta_{51}^{in}; \beta_{12}^{out}; \beta_{13}^{out}; \beta_{14}^{out}; \beta_{15}^{out}\right)$$
$$a(g_2) = a\left(2; \gamma_{21}; \beta_{62}^{in}; \beta_{72}^{in}; \beta_{82}^{in}; \beta_{92}^{in}; \beta_{26}^{out}; \beta_{27}^{out}; \beta_{28}^{out}; \beta_{29}^{out}\right)$$
$$a(g_3) = a\left(3; \gamma_{31}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_4) = a\left(4; \gamma_{41}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$

$$a(g_5) = a\left(5; \gamma_{51}; \beta_{56}^{in}; \beta_{105}^{in}; \beta_{115}^{in}; \beta_{im}^{in}; \beta_{510}^{out}; \beta_{511}^{out}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_6) = a\left(6; \gamma_{61}; \beta_{56}^{in}; \beta_{6r}^{out}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_7) = a\left(7; \gamma_{71}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_8) = a\left(8; \gamma_{81}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_9) = a\left(9; \gamma_{91}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_{10}) = a\left(10; \gamma_{101}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right)$$
$$a(g_{11}) = a\left(11; \gamma_{111}; \beta_{im}^{in}; \beta_{ir}^{out}\right),$$

где $a(g_i)$ – обобщенный вектор признаков;

γ_{ie} – выходные связи;

β_{im}^{in}, β_{ir}^{out} – показатели входных/выходных связей образующей g_i;

i, m, r, e – параметры вектора.

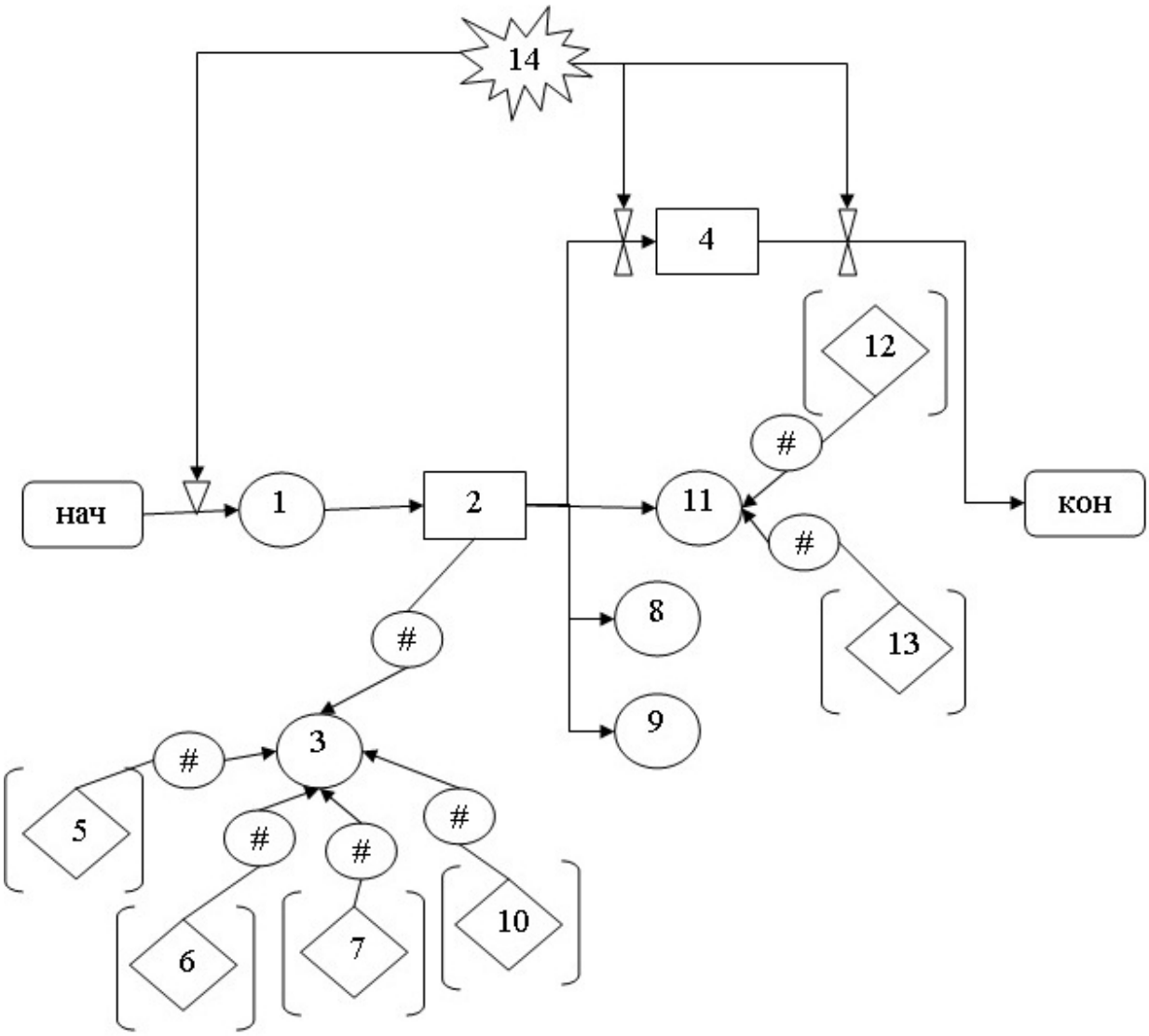


Рис. 1. СД-модель оценки конкурентоспособности вуза: 1 – общее количество вузов; 2 – сравниваемые вузы; 3 – учебный процесс; 4 – выбор наилучшего вуза; 5 – профессорско-преподавательский состав; 6 – материальная база; 7 – информационная база; 8 – цена коммерческого обучения; 9 – реклама в средствах массовой информации; 10 – инновационное обучение; 11 – дополнительное образование; 12 – информационно-образовательная среда; 13 – инфокоммуникационные технологии; 14 – внешняя среда; ∇ – вентиль, моделирующий управляющие воздействия; # – переход, моделирующий процесс выполнения управленческих решений; [ ] – анализ

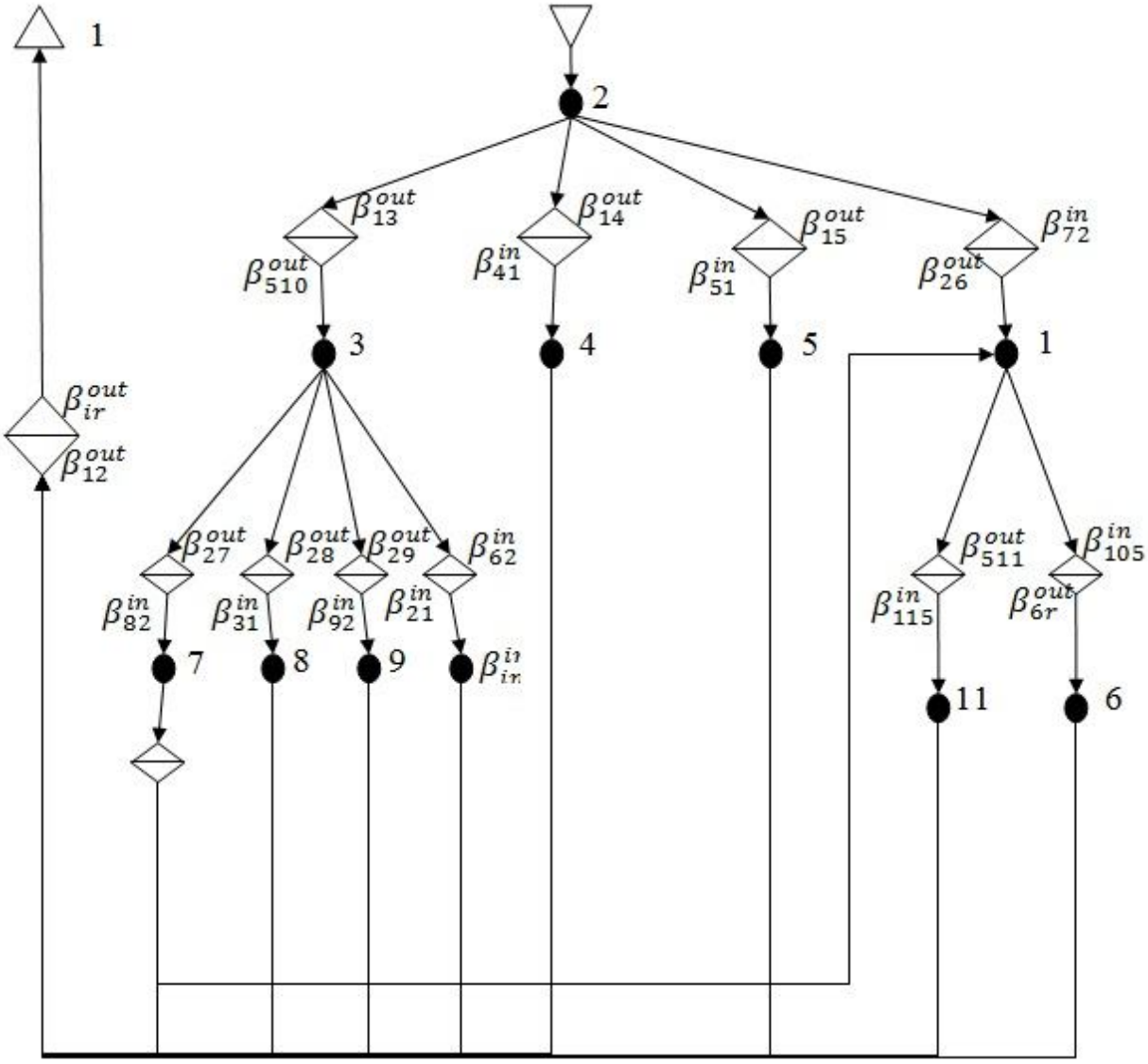


Рис. 2. Паттерновая сеть выбора наиболее конкурентоспособного вуза

Обсуждение результатов и заключение

Использование созданной системы уравнений позволяет комплексно оценить уровень конкурентоспособности вуза, используя заданные параметры оценки.

Кроме того, применение разработанной СД-модели позволяет также добавлять или удалять критерии оценки без внесения изменений в основу соответствующего программного обеспечения, позволяет выполнить условие масштабируемости создаваемой автоматизированной системы.

Таким образом, системно-динамические модели могут являться основой создания автоматизированных систем информационной поддержки принятия решений, внедрение которых позволит существенно повысить оперативность подготовки и обработки данных для обеспечения информационных потребностей управления конкурентоспособностью вуза в современных рыночных условиях.

Список литературы

1. Зотов И. В., Титова Г. С. Применение системно-динамических моделей в процессе создания информационно-аналитических систем ВУЗа // Фундаментальные исследования. 2012. № 3, ч. 1. С. 87–90.

2. Зотов И. В., Титова Г. С. Разработка алгоритма сравнения государственных образовательных стандартов с использованием IS-анализа // Телекоммуникации. 2012. № 2. С. 44–47

3. Кужелева С. А. Оценка эффективности информационных технологий // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14, № 6. С. 50–53.

4. Формирование управленческих решений по повышению конкурентоспособности высшего учебного заведения / С. А. Кужелева, А. В. Ткаченко [и др.] // Научные исследования: информация, анализ, прогноз: монография / под общей ред. проф. О. В. Кирикова. Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2007. Кн. 12. 232 с.

5. Кужелева С. А., Ткаченко К. А. Алгоритмические средства анализа конкурентных ситуаций вуза // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 1, ч. 3. С. 52–56.

6. Кужелева С. А., Титова Г. С. Повышение конкурентоспособности вуза на основе автоматизации процессов управления переориентацией обучаемых // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 63–65.

7. Кужелева С. А. Система информационной поддержки принятия решений для управления конкурентоспособностью вуза на основе ситуационного подхода // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 3. С. 194–198.

8. Титова Г. С. Информационно-аналитические системы, автоматизирующие управление учебным процессом вуза // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1. С. 73–77.

9. Ткаченко А. В., Кужелева С. А. О методических подходах к оценке конкурентоспособности высшего учебного заведения // Известия Курского государственного технического университета. 2006. № 1 (16). С. 201–206.

10. Ткаченко А. В., Кужелева С. А. Формирование конкурентных преимуществ вуза в регионе // Известия Курского государственного технического университета. 2007. № 2 (19). С. 110–116.

11. Мельник Е. В. Оптимизация методов функциональной обработки функций одной переменной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 1. С. 50–51.

12. Мельник Е. В. Применение метода интерполирования и интегрирования таблично заданной функции одной переменной с использованием эконометрических данных // Материалы и упрочняющие технологии – 2005: сб. матер. XII Российской науч.-техн. конф. (15-16 ноября 2005 г.) / Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2005. С. 200–204.

Поступила в редакцию 04.04.18

UDC 004.047

S. A. Kuzheleva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: svetlana711ist@mail.ru)

G. S. Titova, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: galia_titova@mail.ru)

E. M. Melnik, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: katemel@mail.ru)

AUTOMATION OF THE MANAGEMENT PROCESSES OF THE COMPETITIVENESS OF THE HIGHER EDUCATION INSTITUTION ON THE BASIS OF APPLICATION OF SYSTEM-DYNAMIC MODELS

Now higher education institutions are considered to be full participants in the established market of educational services. Their activity is functionally and organizationally complex objects, requires timely evaluation of competitiveness, development and improvement of management technology based on automated systems.

Studies have shown that the existing methods and tools for assessing and managing the competitiveness of organizations, and created on their basis and adapted to higher education methods do not meet the needs of the practice in the current environment. The existing approaches to evaluation are mainly based on the analysis of one group of factors, which, in the opinion of the authors, determines the assessment of competitive advantage (financial, scientific, technical). Most of the methods of analysis are based primarily on the use of some dimensionless coefficients (indicators) reflecting the assessment of the main aspects of the University.

The existing methods and tools for assessing and managing the competitiveness of organizations, as well as those created on their basis and adapted for universities, do not meet the needs of the practice in the current conditions. The existing approaches to evaluation are mainly based on the analysis of one group of factors, which, in the opinion of the authors, determines the assessment of competitive advantage (financial, scientific, technical). However, the competitiveness of the object is dynamic and for an objective assessment of its current level should not be limited to the calculation of static indicators only.

Most complex estimation methods differ university competitiveness using a combination of mathematical-statistical models, algorithms and identify competitors competitive position universities.

The problem is complicated by the lack of methodological elaboration of approaches in the field of evaluation and creation of specialized systems for managing the competitiveness of the University, the multidimensional processes under study and the need to process large amounts of information about situations, which, due to the specifics of the subject area under study, is characterized by heterogeneity, inconsistency, etc.

The paper shows that the construction of the university competitiveness management processes automation systems, the most appropriate is the use of system-dynamic model (SD model) description of the competitive situation.

On the basis of the proposed model SD-designed the current pattern select the most competitive university network in accordance with predetermined criteria.

The application of the developed SD-model also allows you to add or remove evaluation criteria without making changes to the basis of the relevant software, allows you to fulfill the condition of scalability of the created automated system.

Thus, one of the main ways to improve the efficiency of data preparation and processing to meet the information needs of University competitiveness management in modern conditions can be the creation and implementation of automated information support systems for decision-making based on the use of system-dynamic models

***Key words**: system-dynamic model, competitiveness assessment, systems analysis, decision support, etc.*

For citation: Kuzheleva S. A., Titova G. S., Melnik E. M. Automation of the management processes of the competitiveness of the higher education institution on the basis of application of system-dynamic models. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 15–22 (in Russ.).

***

References

1. Zotov I. V., Titova G. S. Primenenie sistemno-dinamicheskih modelej v processe sozdaniya informacionno-analiticheskih sistem VUZa. Fundamental'nye issledovaniya, 2012, no. 3, pt. 1, pp. 87–90.

2. Zotov I. V., Titova G. S. Razrabotka algoritma sravneniya gosudarstvennyh obrazovatel'nyh standartov s ispol'zovaniem IS-analiza. Telekommunikacii, 2012, no. 2, pp. 44–47

3. Kuzheleva S. A. Ocenka ehffektivnosti informacionnyh tekhnologij. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2016, vol. 14, no. 6, pp. 50–53.

4. Kuzheleva S. A., Tkachenko A. V., eds. Formirovanie upravlencheskih reshenij po povysheniyu konkurentosposobnosti vysshego uchebnogo zavedeniya. Nauchnye issledovaniya: informaciya, analiz, prognoz: monografiya. Voronezh, 2007. 232 p.

5. Kuzheleva S. A., Tkachenko K. A. Algoritmicheskie sredstva analiza konkurentnyh situacij vuza. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 1, pt. 3, pp. 52–56.

6. Kuzheleva S. A., Titova G. S. Povyshenie konkurentosposobnosti vuza na osnove avtomatizacii processov upravleniya pereorientaciej obuchaemyh. Naukoemkie tekhnologii, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 63–65.

7. Kuzheleva S. A. Sistema informacionnoj podderzhki prinyatiya reshenij dlya upravleniya konkurentnosposobnost'yu vuza na osnove situacionnogo podhoda. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 194–198.

8. Titova G. S. Informacionno-analiticheskie sistemy, avtomatiziruyushchie upravlenie uchebnym processom vuza. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, no. 1, pp. 73–77.

9. Tkachenko A. V., Kuzheleva S. A. O metodicheskih podhodah k ocenke konkurentosposobnosti vysshego uchebnogo zavedeniya. Izvestija Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2006. no. 1 (16), pp. 201–206.

10. Tkachenko A. V., Kuzheleva S. A. Formirovanie konkurentnyh preimushchestv vuza v regione. Izvestija Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2007, no. 2 (19), pp. 110–116.

11. Mel'nik E. V. Optimizaciya metodov funkcional'noj obrabotki funkcij odnoj peremennoj. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 1, pp. 50–51.

12. Mel'nik E. V. Primenenie metoda interpolirovaniya i integrirovaniya tablichno zadannoj funkcii odnoj peremennoj s ispol'zovaniem ehkonometricheskih dannyh. Materialy i uprochnyayushchie tekhnologii – 2005. Sb. mater. XII Rossijskoj nauch.-tekhn. konf. (15-16 noyabrya 2005 g.). Kursk, 2005, pp. 200–204.

УДК 004.9

П. Ю. Богатырёв, аспирант, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева» (Орел, Россия) (e-mail: PFight77@gmail.com)

А. В. Коськин, д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева» (Орел, Россия) (e-mail: kav1959@rambler.ru)

СРАВНЕНИЕ ОПИСАТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМАТИЗАЦИИ С ОДНИМ И НЕСКОЛЬКИМИ ДЕРЕВЬЯМИ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье рассматривается понятие описательной емкости структур, используемых для систематизации неструктурированных неформализованных документов в контексте систем управления корпоративным контентом. В работе сравнивается описательная емкость стандартной иерархической структуры и предлагаемой структуры с несколькими деревьями, представляющими классификации по разным критериям, отличительной особенностью которой является возможность сопоставления документа одновременно с несколькими узлами из различных деревьев. Сравнение производится посредством имитационного моделирования действий пользователя по поиску некоторого объекта в системе. Процесс моделирования включает в себя два этапа. На первом этапе генерируется одна или несколько иерархических структур и равномерно заполняются объектами. На втором этапе производится поиск объекта в полученной системе, при котором, во-первых, осуществляется поиск одного или нескольких узлов в иерархических структурах и, во-вторых, выбор объекта из списка сопоставленных с данным узлом или узлами. При поиске узла и при выборе объекта имитируются задержки, необходимые человеку для выбора элемента из списка некоторого размера, выбранные на основе отдельно проведенного исследования. Сравнивается время поиска объекта в структурах с одним и несколькими деревьями с разным количеством узлов при увеличении количества объектов. Делается вывод о том, что использование модели с несколькими деревьями вместо стандартной иерархической модели с одним деревом может существенно снизить трудозатраты организации на поддержание инфраструктуры для хранения неформализованных неструктурированных документов за счет одновременного учета при поиске трех факторов – количество объектов, количество узлов и количество деревьев.

***Ключевые слова**: управление корпоративным контентом, имитационное моделирование, неформализованные документы.*

Ссылка для цитирования: Богатырёв П. Ю., Коськин А. В. Сравнение описательной емкости моделей систематизации с одним и несколькими деревьями методом имитационного моделирования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 23–31.

***

Введение

В ходе деятельности любой организации, особенно организации, занимающейся инновационной или иной интеллектуальной деятельностью, образуется большое количество информационных объектов. Это рабочие файлы, письма электронной почты, статьи на внутреннем веб-портале, закладки на важные веб-ресурсы, контакты различных людей и т.д. Управление информационным контентом компании, как правило, консолидируется в ECM-системах и является одним из ключевых факторов ее эффективного функционирования [1; 3; 7]. Доступность информации позволяет быстрее и эффективнее принимать решения, экономит время на выполнение известных операций, а также позволяет накапливать опыт сотрудников и распространять его среди заинтересованных лиц. Все это выражается в уменьшении издержек, повышении скорости и качества производственных и сервисных процессов и, как следствие, приводит к увеличению конкурентоспособности организации [2; 5].

Целью исследования является разработка информационных, методологических и программных средств, которые позволят повысить эффективность систематизации неструктурированных неформализованных данных, что вызывает

наибольшие трудности в существующих системах [4; 6; 8]. Наиболее распространенными моделями систематизации в настоящее время являются иерархическая модель и модель на основе меток (теговая). Узлы иерархии и теги в ней обозначаются как «элементы модели». При этом иерархическая модель может содержать неограниченно много элементов за счет упорядочивания их в виде иерархии, но обладает низкой описательной емкостью, так как документ может быть сопоставлен только с одним узлом дерева. В теговой модели документ может быть сопоставлен с несколькими тегами, но плоская структура не позволяет представить в этой модели большое количество элементов. В [9] была предложена модель, объединяющая два подхода, которая, в том числе, включает в себя возможность построения нескольких иерархий, работающих по принципу тегов.

Под описательной емкостью понимается количество объектов, которые могут быть помещены в модель с заданным количеством элементов. Модель с большой описательной емкостью при меньшем количестве элементов может содержать большее количество наполняемых объектов. Если модель обладает малой описательной емкостью, то при увеличении количества объектов сверх порогового значения необходимо дорабатывать саму модель, добавлять в нее новые элементы и реорганизовывать старые. Сформировав единожды, модель с большой описательной емкостью можно использовать долгое время без необходимости несения дополнительных расходов на ее обслуживание и сопровождение.

В общем случае эффективность систематизации – это сложный, многофакторный критерий, который во многом имеет субъективную природу. С прикладной точки зрения эффективность систематизации можно определить с точки зрения сложности доступа к объекту (поиску объекта), сложности добавления объекта (поиску места в модели, куда необходимо добавить объект) и сложности формирования модели. В данной статье рассматривается эффективность в ограниченном смысле – как время, которое необходимо потратить пользователю на поиск объекта в модели.

Постановка задачи

В данной статье сравниваются модели систематизации с одним и несколькими деревьями, с различным количеством узлов с точки зрения их описательной емкости. Как указано выше, описательная емкость – это максимальное количество объектов, при котором модель остается работоспособной. При этом работоспособность оценивается через время поиска объекта в модели посредством имитационного моделирования действий пользователя.

Таким образом, постановка задачи состоит в исследовании динамики увеличения времени поиска объекта в модели при увеличении общего количества размещенных в модели объектов для вариантов с разным количеством деревьев и узлов в них.

Принцип работы имитационной модели и ее ограничения

Основное назначение имитационной модели – оценка времени поиска объекта. Для этого имитируются действия пользователя по поиску объекта, включающие перемещение по иерархии и выбор объекта из списка. Время, необходимое на выбор элемента списка, было получено экспериментально при помощи дополнительного исследования. В ходе исследования испытуемым предлагалось выбрать элемент из списка для различного количества элементов в нем (система проведения исследования доступна по адресу https://pfight.github.io/cognitive-research/selection-time).

Время, потребовавшееся на осуществление выбора, записывалось,

усредненные показатели для всех испытуемых были сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Время выбора элемента из списка

Количество элементов в списке	Время выбора элемента, среднее (мс)	Среднеквадратичное отклонение времени выбора элемента (мс)
< 3	800	150
3	1162	217
5	1440	346
7	1565	288
9	1844	302
11	2097	361
15	2681	410
20	3079	454
30	4548	520
40	5940	581
50	6746	612
> 50	2*n*1000/15, где n – количество элементов в списке	5*n + 350, где n – количество элементов в списке

При проведении прогонов модели был принят ряд ограничений:

1) пользователь безошибочно выбирает папку и объект;

2) время выбора на любом уровне иерархии аналогично времени выбора из списка, представленного в таблице 1. Различные эффекты запоминания определенных папок и прочее не учитываются;

3) при поиске используется простой линейный алгоритм, описанный ниже.

Наполнение иерархических структур объектами в ходе эксперимента производилось автоматически по следующим правилам:

1) объекту может быть сопоставлен только один элемент из каждого дерева;

2) общее количество элементов, сопоставленных с объектом, может быть не меньше, чем количество деревьев, но не более 3;

3) корневой элемент дерева не содержит объектов (он не учитывается в общем подсчете элементов, так как понимается как служебный элемент).

Данные ограничения, с одной стороны, сокращают множество возможных вариантов построения деревьев, делая возможным построение плана эксперимента, сопоставимого с вычислительными возможностями. С другой стороны, такая структура позволяет имитировать обычную иерархическую модель, а также соответствует принципу аспектной декомпозиции предметной области при количестве деревьев больше одного.

Алгоритм имитационной модели

Алгоритм состоит из двух частей – генерация модели систематизации и имитация действий пользователя по поиску случайного объекта в этой модели.

Генерация модели состоит в создании иерархических структур и наполнении их объектами в соответствии с планом эксперимента. Иерархические структуры генерировались случайным образом итеративно по уровням сверху вниз, так что у каждого узла оказывалось от 2 до 9 дочерних узлов (распределение случайной величины равномерное), поскольку в данном интервале частота выбора элемента из списка наиболее высокая (емкость кратковременной памяти равна 7 ± 2). Далее генерировалось заданное количество объектов, и они случайным образом ставились в соответствие узлам иерархических структур с ограничениями, описанными выше. Вероятность сопоставления любого объекта с любым узлом являлась одинаковой.

Вторая часть алгоритма – это имитация действий пользователя по поиску случайно выбранного объекта (рис. 1).

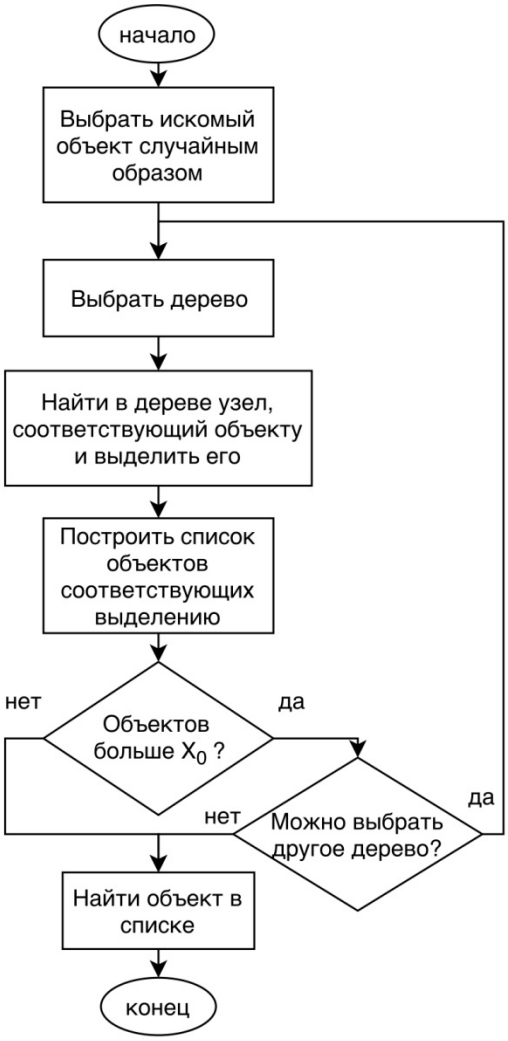


Рис. 1. Общий алгоритм имитации действий пользователя по поиску объекта

Выполнение изображенного на рисунке 1 алгоритма соответствует одному прогону имитационной модели. Время его выполнения является искомым временем поиска объекта. Значение X_0 было выбрано как 30±5.

План эксперимента

Для оценки описательной емкости необходимо оценить время поиска объекта при разном количестве объектов и разном количестве элементов в модели. При этом сравниваются модели с одним и несколькими деревьями.

Организуется трехфакторный эксперимент, где переменными величинами выступают:

– количество объектов;

– количество узлов;

– количество деревьев.

В связи с принятым ограничением объекту может быть назначено не более 3-х элементов, рациональным пределом варьирования количества деревьев является интервал от 1 до 4. Интервалы варьирования количества объектов и количества элементов были подобраны экспериментально с таким расчетом, чтобы получить граничные показатели емкости различных моделей, ограничиваясь при этом доступными вычислительными мощностями. Для элементов это интервал от 10 до 55 с шагом 15, для объектов – два интервала от 50 до 3000 с шагом 200, а от 4000 до 31000 с шагом 3000. Для каждого сочетания параметров производилось 50 прогонов имитационной модели с вычислением среднего результата. В качестве условия досрочного останова имитационного моделирования принято увеличение времени поиска объекта более чем на 20 секунд.

Результаты эксперимента

Результаты эксперимента представлены в виде набора графиков и таблиц, отображающих зависимость времени поиска объекта (сек) от количества объектов. Данные зависимости будут пониматься как оценки емкостных характеристик моделей.

На рисунках 2-5 представлены емкостные характеристики для моделей с различным количеством деревьев.

Необходимо отметить, что в середине графика меняется шаг оси абсцисс.

Углы наклона прямых при линейной интерполяции кривых методом наименьших квадратов представлены в таблице 2.

Для наглядности интерполяция производилась при масштабе оси абсцисс 1:1000.

В таблице 3 отдельно представлены фрагменты результатов моделирования для начальных частей графиков, изображенных на рисунках 2 и 4.

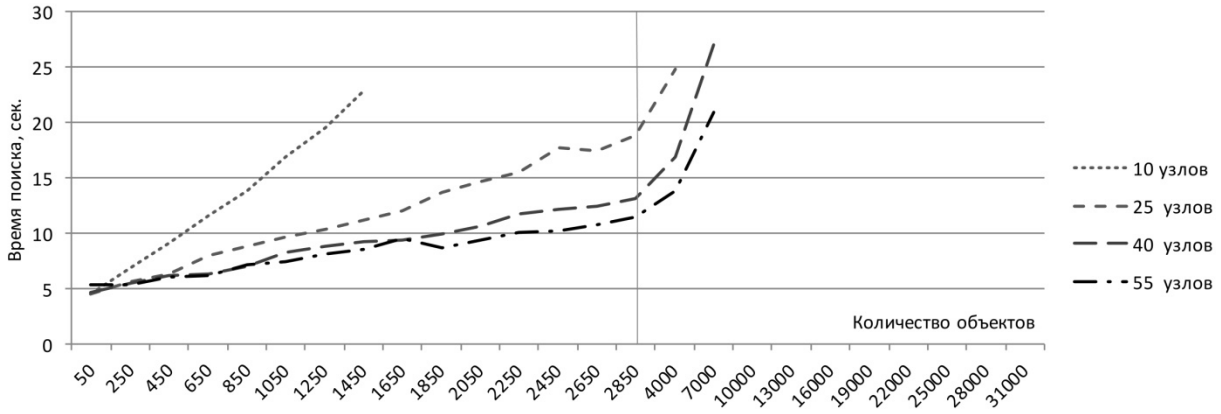


Рис. 2. Емкостная характеристика для модели систематизации, включающей 1 дерево

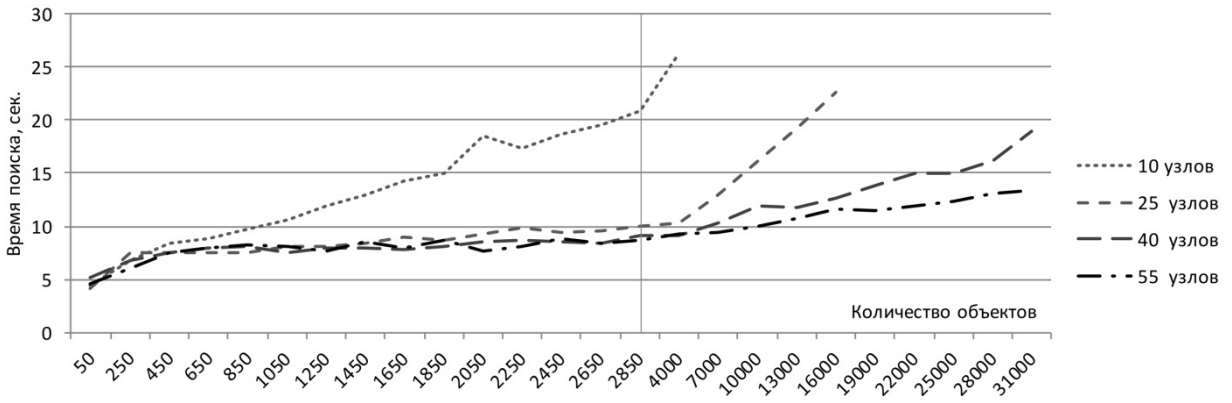


Рис. 3. Емкостная характеристика для модели систематизации, включающей 2 дерева

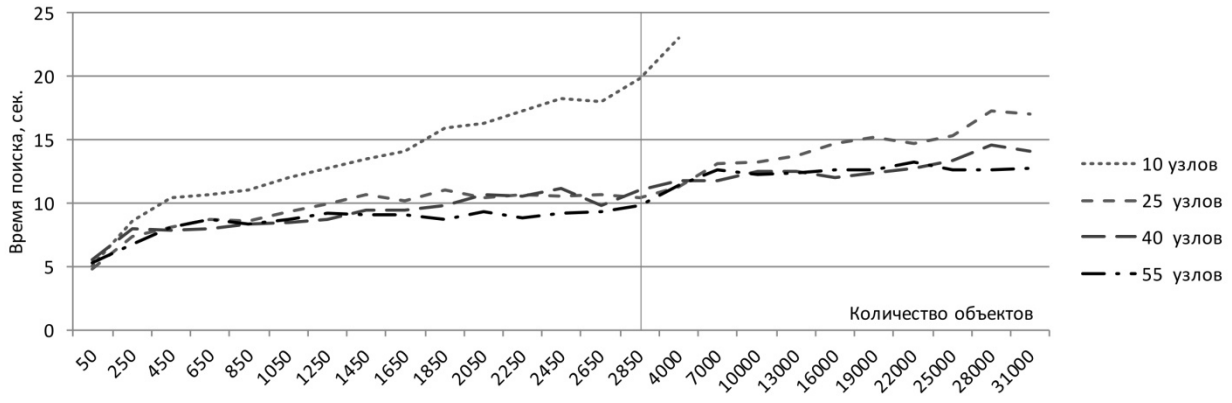


Рис. 4. Емкостная характеристика для модели систематизации, включающей 3 дерева

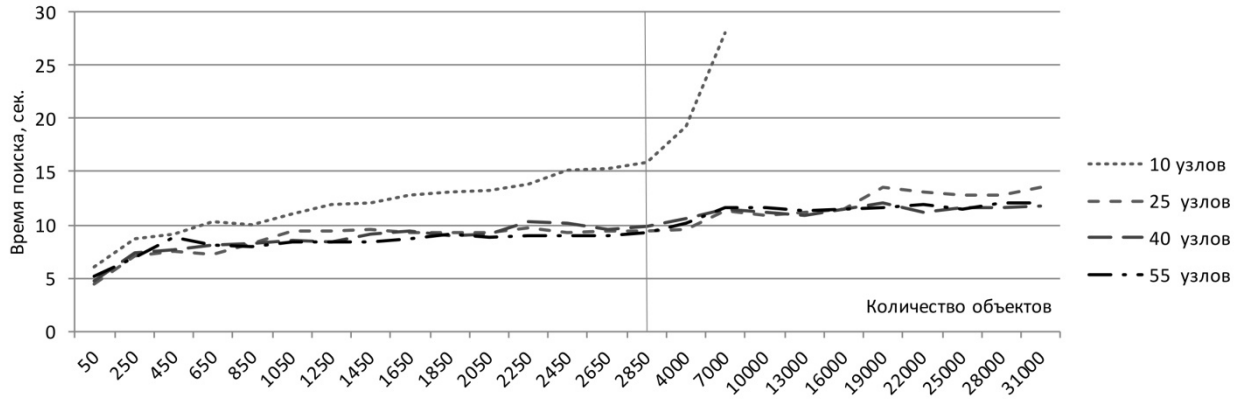


Рис. 5. Емкостная характеристика для модели систематизации, включающей 4 дерева

Таблица 2

Угол наклона линейной интерполяции емкостной характеристики при масштабе оси абсцисс 1:1000

	10 узлов	25 узлов	40 узлов	55 узлов
1 дерево	85.8°	78.9°	71.1°	65.2°
2 дерева	79.7°	45.8°	17.4°	8.9°
3 дерева	76.2°	10.8°	5.3°	1.8°
4 дерева	69.8°	7.3°	1.7°	1.2°

Таблица 3

Время поиска (сек) для моделей с 1 и 3 деревьями при малом количестве объектов

	1 дерево				3 дерева			
Количество объектов	250	450	650	850	250	450	650	850
10 узлов	6.8	9.1	11.7	13.9	8.6	10.4	10.7	11.1
25 узлов	5.7	6.4	8.0	8.8	7.4	8.1	8.6	8.6
40 узлов	5.5	6.2	6.4	7.1	8.0	7.8	8.0	8.3
55 узлов	5.4	6.1	6.3	7.1	6.8	8.2	8.7	8.4

Анализ результатов

В случае с моделью из одного дерева время поиска объекта прямо пропорционально зависит от количества объектов в целевом узле дерева. Соответственно, поиск объекта в такой модели в основном состоит из времени поиска в списке такого размера, а описательная емкость обычной иерархической модели непосредственно ограничена количеством элементов в дереве.

Иная картина наблюдается при использовании двух и более деревьев. В этом случае описательная емкость модели существенно возрастает, так как, несмотря на то, что каждый элемент каждого из деревьев может содержать значительное количество объектов, количество общих объектов, принадлежащих одновременно некоторому набору элементов, может оказаться довольно малым. При увеличении количества элементов и деревьев этот эффект многократно усилива-

ется. Так, при 3-х деревьях описательной емкости модели хватило, чтобы разместить 31000 объектов уже на 25 узлах со временем поиска 17 секунд.

Вместе с тем стоит отметить, что при количестве объектов, не превышающем в 20-30 раз количество элементов, модель с одним деревом выигрывает у моделей с несколькими деревьями. Данный эффект на графиках видно по более пологому началу графика на рисунке 2, и более детально его можно наблюдать по данным в таблице 3. Это объясняется тем, что при таких условиях в каждом узле дерева оказывается до 20-30 элементов, так что выбор элемента из данного списка может быть осуществлен достаточно быстро (согласно таблице 1). В модели с несколькими деревьями производится навигация по деревьям, которая, в свою очередь, занимает некоторое время.

Кроме того, данные закономерности справедливы только для идеальных моделей, в которых распределение объектов по узлам деревьев является равномерным. В реальных моделях описательная емкость будет меньше, и степень отличия реальных моделей от идеальных является предметом дальнейших исследований.

Заключение

По результатам моделирования можно судить о том, что при количестве объектов, превосходящем количество узлов не более чем в несколько десятков раз, модель с одним деревом эффективнее, чем модели с несколькими деревьями, с точки зрения времени, затрачиваемого на поиск нужного объекта. Тем не менее при увеличении количества объектов модель с одним деревом быстро переполняется и требует дополнительных действий для сохранения ее работоспособности.

В свою очередь, модели с несколькими деревьями обладают более высокой описательной емкостью, о значении которой можно судить по углу наклона емкостной характеристики. При этом ее величина нелинейно возрастает с ростом количества деревьев и количества узлов. Благодаря этому данные модели могут использоваться в неизменном виде на значительно большей выборке документов, подлежащих систематизации.

Это означает, что использование моделей с несколькими деревьями вместо стандартной модели с одним деревом в рамках ECM-систем может существенно снизить затраты организации на поддержание инфраструктуры для хранения неформализованных неструктурированных документов [10].

Список литературы

1. Svard P. Enterprise Content Management, Records Management and Information Culture Amidst e-Government Development. Elsevier, United States, 2017. 104 с.

2. Ashok R., Hullavarad S., O'Hare R. Taming the Information Explosion with Enterprise Content Management. Information Management, 2015. С. 231.

3. Reviewing Enterprise Content Management: A Functional Framework [Электронный ресурс] / R. K. Grahlmann, R. Helms, C. Hilhorst, S. Brinkkemper, & S. Van Amerongen. URL: http://remhelms.files.wordpress.com/2012/09/reviewing-enterprise-content-management-a-functional-framework-final1.pdf (дата обращения: 7.04.2018).

4. Тузовский А. Ф., Чириков С. В., Ямпольский В. З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / под общ. ред. В. З. Ямпольского. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 260 с.

5. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / пер. с англ. А. Трактинского. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2011. 384 с.

6. Богатырев П. Ю., Коськин А. В. Систематизация информации при реализации инновационных проектов IT-компаниями // Информационные системы и технологии. 2016. № 2 (94). С. 51–58.

7. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В. Информационные технологии управле-

ния знаниями [Электронный ресурс]. URL: http://bigc.ru/publications/bigspb/km/itkm/ (дата обращения: 7.04.2018).

8. Mechanisms for the Construction of the Service-Oriented Information System of Educational Institution Based on Technologies of Data Integration and Virtualization / A. Koskin, A. Uzharinskiy, A. Averchenkov, N. Ivkina, M. Rytov // Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS. Communications in Computer and Information Science. 2017. Vol. 754. P. 177–186.

9. Коськин А. В., Богатырев П. Ю. Структура информационного пространства организации с применением теоретико-множественного подхода к систематизации информации // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 10. С. 723–727.

10. Жук Р. В., Власенко А. В., Титенко Е. А. Системы противодействия инсайдерам // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 6 (45). С. 30–33.

Поступила в редакцию 10.04.18

UDC 004.9

P. U. Bogatyrev, Post-Graduate Student, Oryol State University named after I. S. Turgenev (Oryol, Russia) (e-mail: PFight77@gmail.com)

A. V. Koskin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Oryol State University named after I. S. Turgenev (Oryol, Russia) (e-mail: kav1959@rambler.ru)

COMPARISION OF DESCRIPTIVE CAPACITY FOR THE SYSTEMATIZATION MODELS WITH ONE AND SEVERAL TREES BY IMITATION MODELING

The concept of descriptive capacity in context of systematization of non-structured non-formalized documents in enterprise content management systems is described. The standard hierarchical approach with one tree is compared to suggested approach with several trees, where each tree represents separate classification. The specificity of suggested approach is possibility to associate document with several nodes in different trees at once. The comparison is performed with simulation model, which imitates actions of end user for searching a document in a system. Simulation consists of two steps. On the first step one or several trees is generated and evenly filled by documents. On the second step a search of the document is simulated, which includes search of one or several nodes in one or several trees, and selecting document from list of associated documents. In process of the search time delays is performed according to time of selecting of an item from a list, which is received by separate research. The time of a search of object is compared in models with one and several trees, with different count of the tree nodes and different count of the documents. The conclusion is made that using of model with several trees can reduce costs of an organization to use and maintain content management system.

Key words: *enterprise ccontent management, imitation modeling, unstructured documents*

For citation: Bogatyrev P. U., Koskin A. V. Comparision of descriptive capacity for the systematization models with one and several trees by imitation modeling. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 23–31 (in Russ.).

***

References

1. Svard P. Enterprise Content Management, Records Management and Information Culture Amidst e-Government Development. Elsevier, United States, 2017. 104 p.

2. Ashok R., Hullavarad S., O'Hare R. Taming the Information Explosion with Enterprise Content Management. Information Management, 2015, p. 231.

3. Knut R., Grahlmann R. K., Helms R., Hilhorst C., Brinkkemper S., &

Van Amerongen S. Reviewing Enterprise Content Management: A Functional Framework. URL: http://remhelms.files.wordpress.com/2012/09/reviewing-enterprise-content-management-a-functional-framework-final1.pdf (accessed 7.04.2018).

4. Tuzovskij A. F., Chirikov S. V., Yampol'skij V. Z. Sistemy upravleniya znaniyami (metody i tekhnologii); ed. by V. Z. Yampol'skij. Tomsk, 2005. 260 p.

5. Nonaka I., Takeuchi H. Kompaniya – sozdatel' znaniya. Zarozhdenie i razvitie innovacij v yaponskih firmah. Moscow, Olimp-Biznes Publ., 2011. 384 p.

6. Bogatyrev P. U., Koskin A. V. Sistematizaciya informacii pri realizacii innovacionnyh proektov IT-kompaniyami. Informacionnye sistemy i tekhnologii,. 2016, no. 2(94), p. 51–58.

7. Gavrilova T. A., Kudryavcev D. V. Informacionnye tekhnologii upravleniya znaniyami. URL: http://bigc.ru/publications/bigspb/km/itkm/ (accessed 7.04.2018).

8. Koskin A., Uzharinskiy A., Averchenkov A., Ivkina N., Rytov M. Mechanisms for the Construction of the Service-Oriented Information System of Educational Institution Based on Technologies of Data Integration and Virtualization. Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS. Communications in Computer and Information Science. 2017, vol 754, pp. 177–186.

9. Bogatyrev P. U., Koskin A. V. Struktura informacionnogo prostranstva organizacii s primeneniem teoretiko-mnozhestvennogo podhoda k sistematizacii informacii. Informacionnye tekhnologii, 2016, vol. 22, no. 10, pp. 723–727.

10. Zhuk R. V., Vlasenko A. V., Titenko E. A. Sistemy protivodejstviya insajderam. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2012, no. 6 (45), pp. 30–33.

УДК 004.89

П. В. Ефимов, студент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Астрахань, Россия) (e-mail: p1a9v9e7l@yandex.ru)

И. А. Щербатов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Астрахань, Россия) (e-mail: sherbatov2004@mail.ru)

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯВНЫХ ДЕФЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

В работе рассматривается проблема диагностики оборудования в электросетевой компании. На данный момент в энергетике наблюдается износ основных производственных активов. В условиях экономического кризиса полная замена оборудования невозможна, поэтому требуется совершенствование технического обслуживания и ремонта. В электрооборудовании могут возникнуть дефекты, которые не сразу влияют на его работоспособность. Дефекты могут быть описаны в нормативно-справочной литературе, но для идентификации каждого необходимо провести сложную диагностику. Такие дефекты называют явными. Современная система планово-предупредительного ремонта не позволяет вовремя обнаружить подобные дефекты, что повышает риск возникновения внештатных ситуаций. Описано текущее состояние автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта. Уже внедренная EAM-система является источником большого количества данных о состоянии оборудования. Предлагается использовать интеллектуальные методы обработки данных для того, чтобы производить мониторинг состояния электрооборудования на предмет наличия дефектов. Описанные в современной литературе методы не позволяют комплексно оценить все параметры, влияющие на состояние оборудования. Предлагается разработать систему диагностики, построенную на основе искусственных нейронных сетей. В статье описан формат входных данных, формализована задача поиска дефектов электрооборудования в математическом виде, описана задача обучения с учителем в контексте данной предметной области. Выбран вид нейросетевой модели, метод обучения и оценки результатов, выбраны функции активации для некоторых слоев. Описан алгоритм работы с информационной системой, затрагивающий процессы сбора и подготовки данных, выбора информативных признаков возникновения дефектов, подбора параметров нейронной сети, обучения и дальнейшего использования математической модели.

***Ключевые слова**: диагностика оборудования, управление ремонтами, дефекты, машинное обучение, обучение с учителем, задача классификации, искусственные нейронные сети, сбор данных.*

Ссылка для цитирования: Ефимов П. В., Щербатов И. А. Алгоритм идентификации явных дефектов технологического оборудования в энергетике на основе нейросетевой модели // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 32–40.

***

Введение

Основная масса производственных активов энергетических компаний России создавалась в 1950-х – 1970-х годах. Отсутствие необходимых инвестиций в электросетевой комплекс в последние 20 лет привело к значительному физическому и технологическому устареванию электрических сетей, при этом общий износ распределительных электрических сетей достиг 70% [1]. Преодоление тенденции старения основных фондов электрических сетей, сокращение капиталовложений и эксплуатационных издержек, а также создание интеллектуальных, системообразующих и распределительных электрических сетей (Smart Grid) являются актуальными задачами для Единой энергетической системы России [2; 3].

На данный момент в электросетевых компаниях при обслуживании оборудования используется система планово-предупредительных ремонтов (ППР). Недостаток данной системы состоит в том, что при составлении графика ППР специалисты руководствуются нормативными сроками проведения ремонтов, которые являются усредненными значениями и не могут дать правильную оценку состояния оборудования.

Техническое оборудование или его составная часть может быть в двух состояниях – исправном и неисправном. Исправное оборудование всегда работоспособно, отвечает требованиям технических условий, установленных заводом-производителем. Неисправное (дефектное) оборудование может быть как работоспособно, так и в состоянии отказа. При этом дефекты могут быть явными, то есть быть описаны в нормативно-справочной литературе и предусматривать проведение специализированной диагностики, которая может потребовать высоких затрат и остановки работы подразделения или предприятия. Также при системе ППР нет возможности комплексно оценить состояние оборудования и выявить несколько дефектов [4].

В условиях реализации концепции «Индустрия 4.0» в производственных компаниях [5], в том числе в энергетических, активно внедряются измерительные комплексы, осуществляющие сбор, обработку, хранение и мониторинг информации с различных датчиков распределительных электрических сетей, а также системы Enterprise Asset Management – системы управления основными фондами предприятия (EAM-системы) [6]. Данный класс информационных систем позволяет решать задачи автоматизации процессов оперативной эксплуатации и диспетчеризации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР), материально-технического и финансового обеспечения ТОиР, управления ремонтным персоналом, документационное обеспечение ТОиР, управление складскими запасами, взаимодействие с филиалами и сервисными организациями. Подходы к организации ТОиР на основе EAM-систем и актуальность перехода к обслуживанию по фактическому техническому состоянию обосновано в [7].

Наличие большого количества данных, накапливаемых в ходе работы измерительных комплексов и EAM-систем, позволяет прибегнуть к современным методам интеллектуального анализа для технической диагностики и мониторинга состояния оборудования.

В работе [8] описаны фундаментальные математические методы распознавания дефектов: статистические, пространственные, метрические и логические. Известен ряд теоретических подходов к интеллектуализации производственных процессов в различных областях [9-13]. Рассмотренные методы не позволяют комплексно рассмотреть множество параметров и точно оценить состояние оборудования, не подходят для работы с данными, содержащими пропуски и противоречия.

Для решения задачи диагностики процессов ТОиР сейчас активно применяются в производстве следующие системы:

- автоматизированная система оценки состояния силовых трансформаторов «Диагностика+», анализирующая состояние оборудования на основе метода Байеса. Байесовский подход требует большого количества предварительных статистических исследований и расчётов;
- экспертно-диагностическая и информационная система управления техническим обслуживанием высоковольтного оборудования (ЭДИС) «Альбатрос» производит ранжирование оборудования по степени отказа, вычисляя индекс технического состояния по каждому измерению. Данный метод требует длительной работы экспертов по оценке критичности параметров и регулярно поставляемые актуальные данные.

Актуальной является разработка комплексного алгоритмического обеспечения на основе методов машинного обучения, позволяющего использовать накопленный опыт без многократного обращения к экспертам для исследований, связанных с процессами технического обслуживания и ремонтом оборудования в энергетике.

Постановка задачи

В электросетевых компаниях внедряются EAM-системы разных разработ-

чиков в зависимости от количества производственных активов, необходимых функций, текущего состояния ИТ-предприятия.

Рассмотрим особенности информационной базы EAM-систем на примере программного продукта «Бест: Система управления производственными активами». Данный продукт разработан на платформе «1С: Предприятие» и предназначен для автоматизации деятельности по электроснабжению, газораспределению, водоснабжению и водоотведению, передаче тепловой энергии. В данной системе осуществляется паспортизация оборудования, включающая учет не только статических (постоянных), но и динамических (изменяющихся) параметров, а также ведется учет всех дефектов оборудования, выявленных в процессе эксплуатации [14].

На основе данных, имеющихся в EAM-системе, можно сформировать выборку для обучения математической модели. Данные из системы «Бест: Система управления производственными активами» поступают в виде двух текстовых файлов. В каждой строке первого файла содержатся инвентарный номер, группа оборудования, наименование параметра, значение параметра, дата, на которую данное значение актуально (рис. 1).

Во втором файле содержатся данные о дефектах, возникших в процессе эксплуатации оборудования (рис. 2).

```
СВ547;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;06.02.2013 15:21;3,75
СВ547;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;11.04.2013 14:43;4,042
90080684;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;25.01.2013 11:04;3,25
90083065;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;18.10.1979 0:00;3,528
СВ550;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;19.03.2014 15:13;1,27
90080684;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;25.01.2013 11:24;1,39
СВ550;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;19.03.2014 15:27;1,785
СЦ19096;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;15.02.2013 13:06;0,948
90082692;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;09.01.2013 8:21;3,557
СВ504;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;06.02.2013 15:21;3,81
СЦ19092;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;15.02.2013 13:48;1,782
СЦ19092;ТС 27-110кВ 2-х обмоточные;R обмотки постоянному току ВН3_С;15.02.2013 13:55;0,9033
```

Рис. 1. Фрагмент данных об оборудовании

```
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Механическая неисправность привода ПБВ;14.02.2014 10:19
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Механическое повреждение (деформация);14.02.2014 10:19
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;14.02.2014 10:19
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;14.02.2014 10:19
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;14.02.2014 10:19
СВ510    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;14.02.2014 10:19
СВ535    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;26.01.2016 14:55
СВ535    ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;25.01.2016 8:19
СЦ19087  ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;25.02.2015 0:00
СЦ19087  ;ТС 27-110кВ  2-х обмоточные;Нагрев контактных соединений;26.06.2015 0:00
```

Рис. 2. Фрагмент «сырых» данных о дефектах, полученных для трансформатора ТС 27-110кВ

Далее данные из системы «Бест: Система управления производственными активами» преобразуются к формату кросс-таблицы с полями: инвентарный номер, группа оборудования, дата, значения параметров (список параметров, различный для каждой группы оборудования), дефект.

Под диагностикой будем понимать группировку данных, включающих статистику значений параметров, которые впоследствии обрабатываются алгоритмом идентификации для выдачи информации о наличии или отсутствии дефектов. Мониторинг – накопление данных для дальнейшего анализа.

Пусть x – это признаковое описание объекта (значения параметров оборудования в определенный момент времени); X – пространство объектов; $y = y(x)$ – ответ на объекте x (дефект, соответствующий оборудованию в данный момент времени); Y – пространство ответов (перечень всех возможных дефектов для определенной группы оборудования).

Постановка задачи машинного обучения звучит следующим образом: для обучающей выборки $X = (x_i, y_i)_{i=1}^{l}$ нужно найти такой алгоритм $a \in A$, при котором будет достигаться минимум функции ошибки:

$$Q(a, X) \to \min .$$

Поскольку имеется ограниченный перечень возможных ответов (дефектов), задачу можно отнести к классу задач классификации.

Предлагаемый метод идентификации дефектов

Искусственные нейронные сети – одно из часто используемых семейств алгоритмов решения задачи классификации. Искусственная нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов) [16].

Каждый искусственный нейрон на вход получает N сигналов (рис. 3). Каждый параметр умножается на свой вес w_i. Результаты произведений суммируются, и полученное число передается функции активации φ, которая формирует выходной сигнал a.

Работу одного нейрона можно также описать следующей формулой:

$$a = \varphi(\sum_{i=1}^{N} w_i x_i) .$$

Несколько нейронов, связанные в один или несколько слоев, образуют полноценную искусственную нейронную сеть. У искусственной нейронной сети обязательно должен быть входной слой, принимающий параметры, а также выходной слой, формирующий выходной сигнал. Выход каждого нейрона выходного слоя показывает вероятность наличия определенного дефекта или полной исправности оборудования. Между входным и выходным слоями присутствуют скрытые слои (рис. 4).

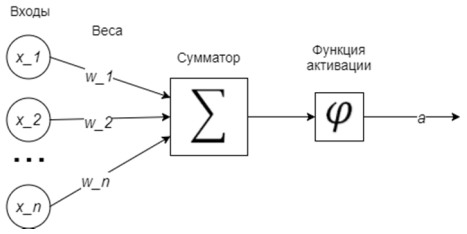


Рис. 3. Строение искусственного нейрона

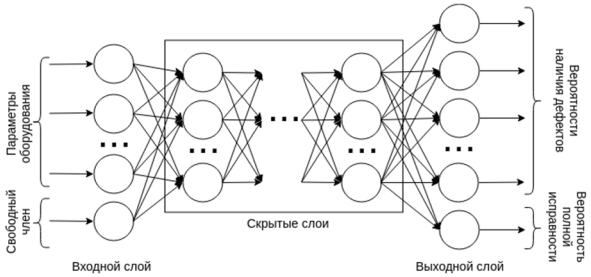


Рис. 4. Структура многослойной искусственной нейронной сети с прямым распространением сигнала

Для решения задачи идентификации дефектов были выбраны сети с прямым распространением сигнала, у которых выходы одного слоя строго связаны с входами следующего. Рекуррентные нейронные сети (имеющие циклы в связях нейронов) используются для анализа текстов и изображений.

Число нейронов входного слоя на один больше числа параметров оборудования для того, чтобы учесть свободный член (см. рис. 4). На вход «лишнего» нейрона всегда подается единица. Число нейронов выходного слоя на один больше числа возможных дефектов оборудования. Это необходимо для вычисления вероятности отсутствия дефектов.

Для каждого слоя можно отдельно выбрать функцию активации. Функция активации возвращает значение от -1 до +1.

Обычно используются следующие функции активации (рис. 5): линейная, сигмоидная, гиперболический тангенс, функция-выпрямитель (ReLu - Rectified Linear unit) [15].

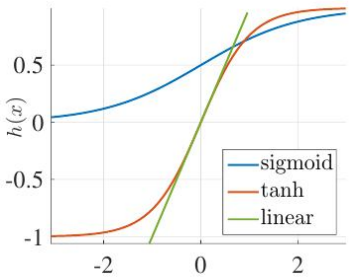


Рис. 5. Графики некоторых функций активации

Для нейронов выходного слоя будем использовать сигмоидную функцию активации, так как она возвращает вероятность отношения объекта к определенному классу. Тогда сумма всех выходных сигналов будет равна 1.

Работа нейрона с сигмоидной функцией активации описывается следующей формулой:

$$a = \frac{1}{1 + \exp(-w^T x)}.$$

Так как в качестве функции активации предполагается использование гладких функций, для обучения алгоритма идентификации дефектов выбрана модификация метода градиентного спуска – метод обратного распространения ошибки.

При использовании данного метода обучения многократно выполняются следующие действия:

1) сформировать выходной сигнал на объекте из обучающей выборки. Сигнал идет вперед от входа к выходу;

2) вычислить ошибку;

3) последовательно от выхода к входам изменить веса в сторону уменьшения ошибки. Изменение весов вычисляется с помощью градиента.

Задача обучения с учителем сводится к нахождению оптимальных параметров w, то есть таких параметров, при которых значение функции ошибки Q минимально.

В задаче классификации часто используется кросс-энтропия:

$$Q = -\sum_{i=1}^{l} (y_i \ln a(x_i w) - (1 - y_i) \ln(1 - a(x_i w))).$$

Функция ошибки Q показывает количество правильных ответов алгоритма идентификации дефектов на обучающей выборке.

Проведение численного моделирования

Алгоритм идентификации явных дефектов оборудования на основе искусственных нейронных сетей включает в себя следующие этапы (рис. 6):

Этапы 1 – 2. Загрузить исторические данные о выбранной группе оборудования, если они отсутствуют в системе. Необходимые данные содержатся в следующих документах: паспорт оборудования, журнал изменения параметров оборудования, ведомость дефектов, они фиксируются в ЕАМ-системе предприятия.

Этап 3. Эксперт среди введенных статических и динамических параметров выбирает те, которые, по его мнению, характеризуют возникновение дефектов оборудования. В роли эксперта выступает сотрудник предприятия, знакомый с особенностью работы данного оборудования.

Этапы 4 – 5. Если эксперт не уверен, влияет ли определенный параметр на возникновение дефекта, он может определить корреляцию между интересующими параметрами и дефектами. Так как дефекты относятся к категориальному признаку, необходимо использовать ранговую корреляцию Спирмена.

Этап 6. Для оптимизации использования метода градиентного спуска и его модификаций необходимо провести нормализацию данных.

Для этого для каждого значения признака необходимо вычесть его среднее и разделить на стандартное отклонение:

$$x_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s},$$

где $\bar{x} = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l} x_i$ – среднее значение признака на выборке,

$s = \sqrt{\frac{1}{l-1}\sum_{i=1}^{l}(x_i - \bar{x})^2}$ – стандартное отклонение признака на выборке.

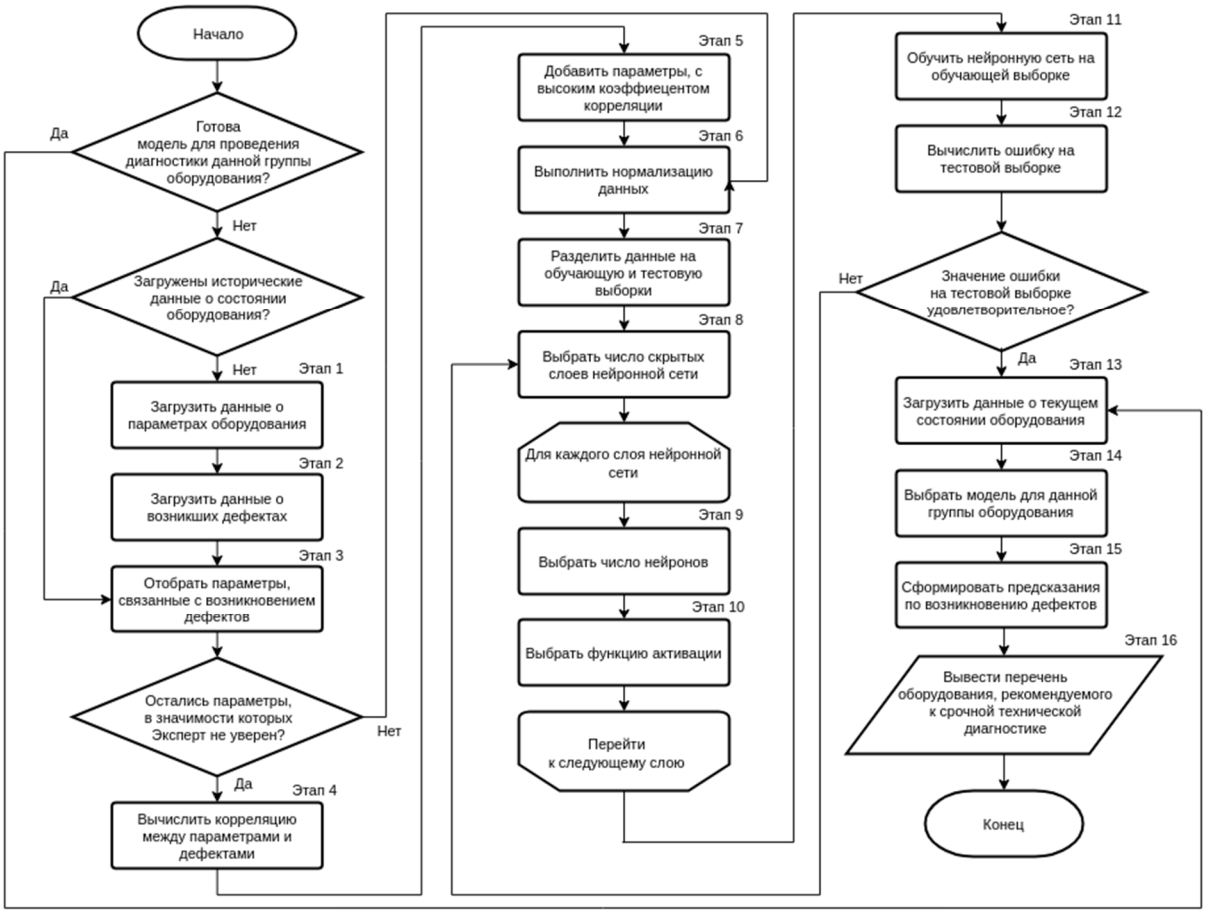


Рис. 6. Алгоритм работы информационной системы для диагностики электрооборудования

Этап 7. Разделить выборку на обучающую и тестовую. Обычно для тестирования выделяется 30% исходной выборки.

Этап 8 – 10. Выбрать число скрытых слоев. Для каждого слоя определяется число нейронов и функция активации.

Этап 11. Провести обучение нейронной сети.

Этап 12. На тестовой выборке составляется прогноз и вычисляется значение функции наибольшего правдоподобия. Если значение большое, то необходимо вернуться к этапу 8. Иначе архитектуру нейронной сети и значения весов можно сохранить для дальнейшего использования.

Этап 13. Из ЕАМ-системы загружаются данные о текущем состоянии оборудования.

Этап 14. Для данного оборудования выбирается обученная модель.

Этап 15 – 16. Прогнозируется наличие явных дефектов в оборудовании. Оборудование, у которого высокая вероятность наличия дефекта, рекомендуется к срочной технической диагностике.

Описанный выше алгоритм позволяет проводить диагностику оборудования в режиме реального времени, не останавливая функционирование оборудования. Интеграция программного обеспечения на основе алгоритма идентификации явных дефектов с ЕАМ-системой электросетевой компании позволит оптимизировать штатный состав персонала, участвующего в проведении диагностики.

Было проведено тестирование метода на примере диагностики трансформатора ТС 27-110 кВ. Были собраны данные

о значениях 220 параметров у 298 устройств за 180 дней с периодичностью 3 дня (см. рис. 1). Также известны данные о 60 различных дефектах, выявленных персоналом за данный промежуток времени (см. рис. 2). Экспертом было отобрано 99 параметров, которые, согласно его мнению, помогут идентифицировать дефект.

Следовательно, на входном слое 100 нейронов, а на выходном – 61 нейрон. Принято решение о добавлении одного скрытого слоя.

Число нейронов в скрытом слое было вычислено по правилу геометрической пирамиды:

$$k = \sqrt{nm} \approx 78,$$

где n – число нейронов входного слоя;

m – число нейронов выходного слоя.

30% от полученной выборки были оставлены для проведения тестирования. Обучение проводилось за 100 эпох, в каждой эпохе участвовало 200 объектов из обучающей выборки. По итогам обучения точность на обучающей выборке составила 81%, а на выборке для тестирования – 79%.

Заключение

Была сформулирована задача классификации, а также выбрано семейство алгоритмов для решения задачи идентификации явных дефектов технологического оборудования в энергетике. Определены общая структура искусственной нейронной сети, метод обучения и тестирования модели. Количество скрытых слоев, число нейронов и функции активации в них определяются опытным путем отдельно для каждой группы оборудования. Описан алгоритм работы в системе идентификации явных дефектов в энергетике.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. М., 2009. 59 с.

2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf (дата обращения: 19.03.2018).

3. Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosseti.ru/investment/ science/tech/doc/tehpolitika.pdf (дата обращения: 21.03.2018).

4. Ящура А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 504 с.: ил.

5. Цуриков Г. Н., Щербатов И. А. Применение промышленного интернета вещей на объектах энергетики // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2018. № 2. С. 97–100.

6. Ханова А. А., Ганюкова Н. П. Совершенствование метода анализа основных фондов предприятия на основе имитационного моделирования // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318, № 6. С. 5–10.

7. Мошкин С. А., Елтышев Д. К. Аналитический обзор подходов к оценке приоритетов при эксплуатации электроэнергетических объектов // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. 2015. Т. 1. С. 221–226.

8. Биргер И. А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

9. Сомов Д. С., Кочкаров А. А. Применение индикаторного подхода в мониторинге и технической диагностике сложных систем // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: материалы конференции с международным участием / Институт проблем управления им. Трапезникова РАН. М., 2010. С. 1064–1070.

10. Попов Н.Н., Вайчик И.С. Применение граф-моделей в технической диагностике // Наука, техника и образование. 2015. № 1 (7). С. 13–16.

11. Шпрехер Д.М. Диагностика технических состояний горных машин на

основе интеллектуального анализа данных // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2013. № 2. С. 69–73.

12. Многоагентные системы в технической диагностике сложных технических объектов / Т. А. Мирталибов, С. Н. Фролов, А. Л. Ханис, Е. А. Титенко // Известия Юго-Западного государственного университета. 2015. Т. 1, № 3 (60). С. 18–25.

13. Елтышев Д.К. Интеллектуализация процесса диагностики состояния электротехнического оборудования // Информатика и системы управления. 2015. № 1 (43). С. 72–82.

14. Проталинский О. М., Кладов О. Н. Автоматизированная система управления паспортизацией электрооборудования на предприятии // Автоматизация и IT в энергетике. 2015. № 9 (74). С. 5–7.

15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer, 2009. 745 с.

16. Ханова А. А., Шубина О. В. Формирование сбалансированной системы показателей предприятия на основе искусственных нейронных сетей (на примере грузового порта) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 1. С. 187–194.

17. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. 480 с.: ил.

Поступила в редакцию 05.04.18

UDC 004.89

P. V. Efimov, Student, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia) (e-mail: p1a9v9e7l@yandex.ru)

I. A. Sherbatov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia) (e-mail: sherbatov2004@mail.ru)

ALGORITHM FOR IDENTIFYING EXPLICIT DEFECTS IN PROCESS EQUIPMENT IN POWER ENGINEERING BASED ON THE NEURAL NETWORK MODEL

The paper considers the problem of equipment diagnostics in the electric grid company. At the moment, there is a wear in the power industry of the main enterprise assets. In the conditions of the economic crisis, complete replacement of equipment is impossible, therefore, maintenance and repair require improving. In electrical equipment there may be defects that do not immediately affect its performance. Defects can be described in the normative reference literature, but for the identification of each it is necessary to conduct a complex diagnosis. Such defects are called explicit. The modern system of preventive maintenance does not allow to detect such defects in time, which increases the risk of occurrence of extraordinary situations. The current state of automation of maintenance and repair processes is described. The already implemented EAM-system is the source of a large amount of data on the state of equipment. It is proposed to use intelligent data processing techniques in order to monitor the condition of electrical equipment for defects. The methods described in the modern literature do not allow to comprehensively evaluate all parameters affecting the state of the equipment. It is proposed to develop a diagnostic system based on artificial neural networks. The article describes the format of input data, formalizes the problem of searching for defects in electrical equipment in mathematical form, describes the task of supervised learning in the context of the given subject area. The type of the neural network model, the method of learning and evaluation of the results, the activation functions for some layers are selected. The algorithm of work with the information system, affecting the processes of data collection and preparation, selection of informative signs of defects, selection of neural network parameters, training and further use of the mathematical model is described.

***Key words**: equipment diagnostics, repair management, defect, machine learning, supervised learning, classification problem, artificial neural networks, data collection.*

For citation: Efimov P. V., Sherbatov I. A. Algorithm for identifying explicit defects in process equipment in power engineering based on the neural network model. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 32–40 (in Russ.).

***

References

1. Ehnergeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda. Moscow, 2009. 59 p.

2. Programma «Cifrovaya ehkonomika Rossijskoj Federacii». URL: http://static.government.ru/ media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf (accessed 19.03.2018).

3. Polozhenie PAO «Rosseti» o edinoj tekhnicheskoj politike v ehlektrosetevom komplekse. URL: http://www.rosseti.ru/ investment/ sci-ence/tech/doc/tehpolitika.pdf (accessed 21.03.2018).

4. Yashchura A. I. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta ehnergeticheskogo oborudovaniya. Moscow, 2006. 504 p.

5. Curikov G. N., Shcherbatov I. A. Primenenie promyshlennogo interneta veshchej na ob"ektah ehnergetiki. Mehatronika, avtomatika i robototekhnika, 2018, no. 2, pp. 97–100.

6. Hanova A. A., Ganyukova N. P. Sovershenstvovanie metoda analiza osnovnyh fondov predpriyatiya na osnove imitacionnogo modelirovaniya. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011, vol. 318, no. 6, pp. 5–10.

7. Moshkin S. A., Eltyshev D. K. Analiticheskij obzor podhodov k ocenke prioritetov pri ehkspluatacii ehlektroehnergeticheskih ob"ektov. Innovacionnye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika, 2015, vol. 1, pp. 221–226.

8. Birger I. A. Tekhnicheskaya diagnostika. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 240 p.

9. Somov D. S., Kochkarov A. A. Primenenie indikatornogo podhoda v monitoringe i tekhnicheskoj diagnostike slozhnyh system. Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya. Materialy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut problem upravleniya im. Trapeznikova RAN. Moscow, 2010, pp. 1064–1070.

10. Popov N. N., Vajchik I. S. Primenenie graf-modelej v tekhnicheskoj diagnostike. Nauka, tekhnika i obrazovanie, 2015, no. 1 (7), pp. 13–16.

11. Shprekher D. M. Diagnostika tekhnicheskih sostoyanij gornyh mashin na osnove intellektual'nogo analiza dannyh. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Ehlektromekhanika, 2013, no. 2, pp. 69–73.

12. Mirtalibov T. A., Frolov S. N., Hanis A. L., Titenko E. A. Mnogoagentnye sistemy v tekhnicheskoj diagnostike slozhnyh tekhnicheskih ob"ektov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2015, vol. 1, no. 3 (60), pp. 18–25.

13. Eltyshev D. K. Intellektualizaciya processa diagnostiki sostoyaniya ehlektrotekhnicheskogo oborudovaniya. Informatika i sistemy upravleniya, 2015, no. 1 (43), pp. 72–82.

14. Protalinskij O. M., Kladov O. N. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya pasportizaciej ehlektrooborudovaniya na predpriyatii. Avtomatizaciya i IT v ehnergetike, 2015, no. 9 (74), pp. 5–7.

15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer, 2009. 745 p.

16. Hanova A. A., Shubina O. V. Formirovanie sbalansirovannoj sistemy pokazatelej predpriyatiya na osnove iskusstvennyh nejronnyh setej (na primere gruzovogo porta). Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika, 2011, no. 1, pp. 187–194.

17. Nikolenko S., Kadurin A., Arhangel'skaya E. Glubokoe obuchenie. St. Petersburg, Piter Publ., 2018. 480 p.

УДК 519.876.2

Д. А. Петросов, канд. техн. наук, доцент, Белгородский аграрный университет им. В. Я. Горина (Белгород, Россия) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

А. Г. Бажанов, канд. техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: all_exe@mail.ru)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

В настоящее время существует задача разработки новых методов интеллектуального структурного и параметрического синтеза технологических систем, которые будут обладать универсальностью применения в различных предметных областях и высоким быстродействием. Такого рода методы предлагается строить на основе четырех современных направлений: имитационном моделировании, эволюционных методов, теории сетей Петри и параллельных вычислений. Следовательно, все четыре направления должны быть объединены одним математическим аппаратом, который поддерживает как программную, так и аппаратную реализацию. В работе рассматривается возможность применения генетических алгоритмов к решению задачи структурного синтеза технологических процессов, подразумевая дальнейший переход на параметрический синтез и подключение технологии GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах). Для описания работы генетического алгоритма и элементной базы, на основе которой будет происходить процедура синтеза, предлагается использование математического аппарат теории сетей Петри. Предложенный подход ориентирован на синтез систем с фиксированной структурой. При определении структуры используется распространенная методология IDEF3. Применение данной методологии обусловлено тем, что она позволяет выявить точки потенциальных разветвлений, которыми являются логические перекрестки. Для иллюстрации работы генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри были созданы модели всех видов перекрестков методологии IDEF3 и модели процессов, которые протекают при выращивании озимой пшеницы. Проведено имитационное моделирование с использованием программного средства PIPE v 5. Данное программное средство распространяется бесплатно и предназначено для моделирования работы сетей Петри. В результате вычислительного эксперимента были получены модели технологического процесса выращивания озимой пшеницы, которые соответствуют заданному критерию экономической выгоды для условного сельскохозяйственного предприятия.

***Ключевые слова**: технологические процессы, имитационное моделирование, теория сетей Петри, генетические алгоритмы.*

Ссылка для цитирования: Петросов Д. А., Бажанов А. Г. Интеллектуальный структурный синтез технологических процессов на основе эволюционных методов и теории сетей Петри // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 41–51.

***

Введение

Одним из направлений современной науки является разработка интеллектуальных методов для систем поддержки принятия решений [1; 2], в данном направлении ведется множество исследований как в отечественными [3–5], так и зарубежными учеными.

Одной из задач данного направления является разработка методов интеллектуального структурного синтеза дискретных систем [6]. В совокупности исследований в данной предметной области можно определить два ведущих направления.

В первом задача структурного синтеза решается на предметном уровне, не выходя за рамки конкретного типа, в редких случаях класса, технических объектов. Основной массив работ в этой парадигме выполнен специалистами-схемо-техниками в области цифровой, вычислительной техники и информационных систем.

Второе направление – разработка универсальных методов структурного синтеза, применимых для различных тех-

нических объектов и не зависящих от отраслевой или цеховой специфики.

При синтезе систем принято представлять три основных направления:

1. Параметрический синтез.
2. Структурный синтез.
3. Синтез конструкций.

В качестве основных для решения задачи структурного синтеза приняты следующие направления:

1. Формальный синтез.
2. Специализированные методы синтеза.
3. Компьютерный синтез.
4. Эвристический синтез.
5. Комбинаторно-логические методы синтеза.
6. Интеллектуальные методы синтеза.

Наиболее распространенным математическим аппаратом для описания процедуры синтеза является теория графов (графоаналитические метода).

К примеру, в комбинаторно-логических методах принято решать задачу синтеза с помощью следующих методов:

1. Морфологический синтез.
2. Синтез «Вперед».
3. Синтез по А-деревьям.
4. Синтез по многодольным графам.
5. Синтез по ориентированным гиперграфам.
6. Логические системы синтеза.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что задача создания универсального метода структурного синтеза для интеллектуальных систем поддержки принятия решений является актуальной.

Постановка задачи

Задача структурного синтеза технологической системы может быть представлена следующим образом.

Дано:

$$S = \langle K, E \rangle,$$

где S – технологическая система, интеллектуальный синтез которой следует провести;

K – структура синтезируемой системы;

E – состав системы.

Система S может состоять из множества элементов:

$$E = (E_1, ..., E_R),$$

где E_i – i-й компонент технологической системы;

R – общее количество компонентов, которые входят в систему.

Каждому компоненту системы соответствует конкретный экземпляр, то есть на место каждого компонента в синтезируемой системе можно поставить определенное количество аналогов, выполняющих одинаковую функцию.

Математически это можно записать следующим образом:

$$E_i = \{ E_{ij} \}_{j=1}^{M_i},$$

где E_{ij} – j-экземпляр для i-го компонента;

M – общее количество экземпляров.

Допустим, что синтезируемая технологическая система должна обладать некоторым множеством свойств:

$$U = \{ U_k \}_{k=1}^{L},$$

тогда при синтезе технологической системы S требуется подобрать такую конфигурацию компонентов $E_{ij(k_0)}$, чтобы совокупность их свойств давала требуемый результат при функционировании системы S.

Так как в качестве математического инструментария для описания самой системы S и средства интеллектуального синтеза был выбран математический инструментарий сетей Петри, следовательно, требуется представить данную систему в соответствующем виде.

Каждому компоненту $E_{ij(k_0)}$ с заданным свойством будет представлена имитационная модель на основе сети Петри PN_{ij}. В качестве структуры может выступать соотношение между выходами предыдущего компонента OUT_i (i-я выходная позиция) и входами следующего IN_i (i-я входная позиция), соединенных дугой через переход T, то есть

$$F : T \to \bigcup_{i=1}^{R} (IN_i \cup OUT_i).$$

Такое соответствие полностью определяет структуру синтезируемой технологической системы с использованием сетей Петри [5, с. 207].

Таким образом, синтезируемую технологическую систему можно представить в виде

$$PN = \langle PN_1, \ldots, PN_i, \ldots, PN_R, T, F \rangle.$$

В данной работе для определения стоимости технологического процесса будем сравнивать вес метки (начальное значение равно 0), который инкрементируется в соответствии со стоимостью той или иной операции при имитационном моделировании, полученной в результате синтеза PN_i. В дальнейшем сравним это значение с заданным, разность между эндогенной переменной и эталонным значением и будет значением функции приспособленности.

Чем меньше модуль значение функции, тем ближе полученная в результате интеллектуального синтеза модель технологической системы к искомой.

Метод, предложенный в статье

В данном исследовании структура синтезируемой технологической системы остается фиксированной, однако ее следует создать.

Для этого будем использовать методологию IDEF3, которая позволит описать технологический процесс. На рисунке 1 показан пример технологического процесса выращивания озимой пшеницы с помощью технологии нулевой обработки почвы No Till (упрощенная модель процесса составлена с привлечением агрономов Белгородского ГАУ им. В. Я. Горина).

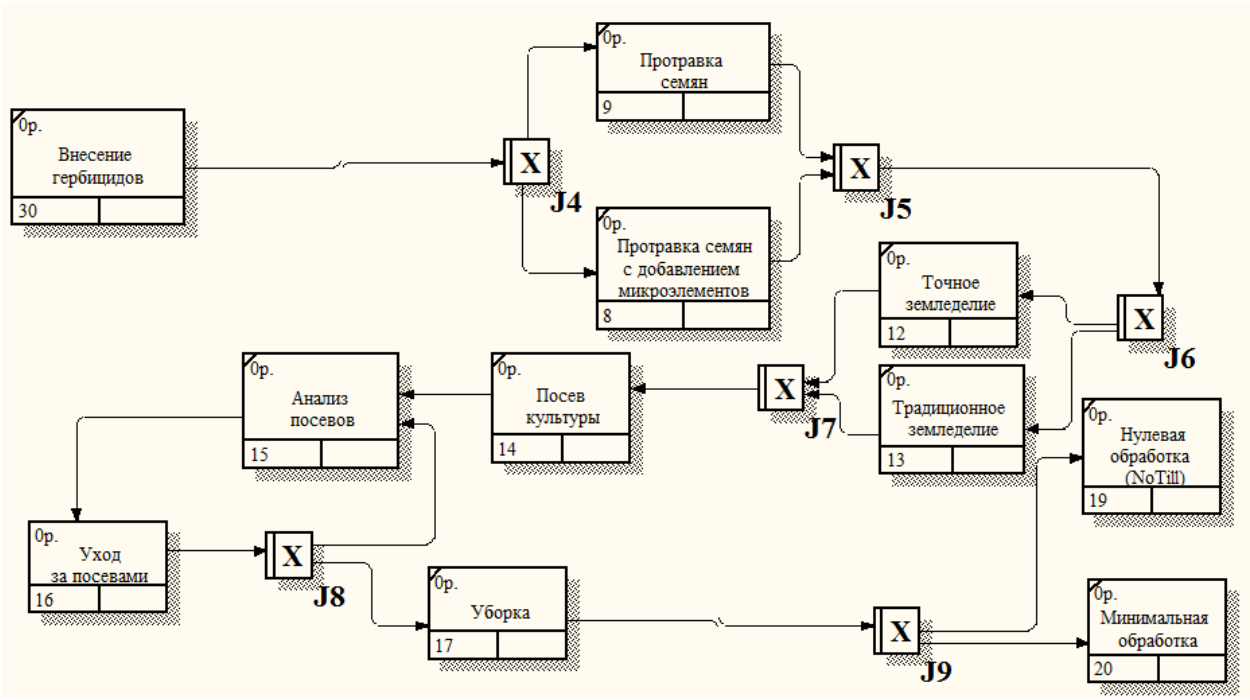


Рис. 1. Пример технологического процесса выращивания озимой пшеницы с помощью технологии нулевой обработки почвы No Till

Согласно мнению специалистов агрономов, технологический процесс выращивания озимой пшеницы является устоявшимся с учетом региональной особенности, но в нем есть разветвления, которые могут в значительной мере влиять как на качество, так и на количество урожая. Эти точки и должны быть подвер-

жены синтезу. В данной работе рассматривается возможность синтеза технологического процесса в соответствии с экономическими требованиями, поэтому для каждого процесса будет назначена стоимость его выполнения и синтез будет осуществляться на всех компонентах.

На данной диаграмме разветвления в технологическом процессе связи между элементами указаны с помощью перекрестков. Именно изменения в этих местах процесса могут влиять на эндогенные переменные системы. Взаимосвязь остальных элементов системы остается неизменной.

Моделирование компонентов и их взаимосвязь в предлагаемой модели интеллектуального структурного синтеза осуществляется с помощью теории сетей Петри, поэтому требуется создать элементную базу моделей на выбранном математическом аппарате.

Для полноценного функционирования структуры, которая не будет подвергаться изменению, требуется создать модели перекрестков на основе сетей Петри:

– синхронные «ИЛИ», «И»;

– асинхронные «ИЛИ», «И», «Исключающее ИЛИ».

Кроме того, следует учесть, что данные перекрестки могут быть как разветвляющими (J4), так и объединяющими (J5).

На рисунке 2 показаны разработанные модели для перекрестка «ИЛИ».

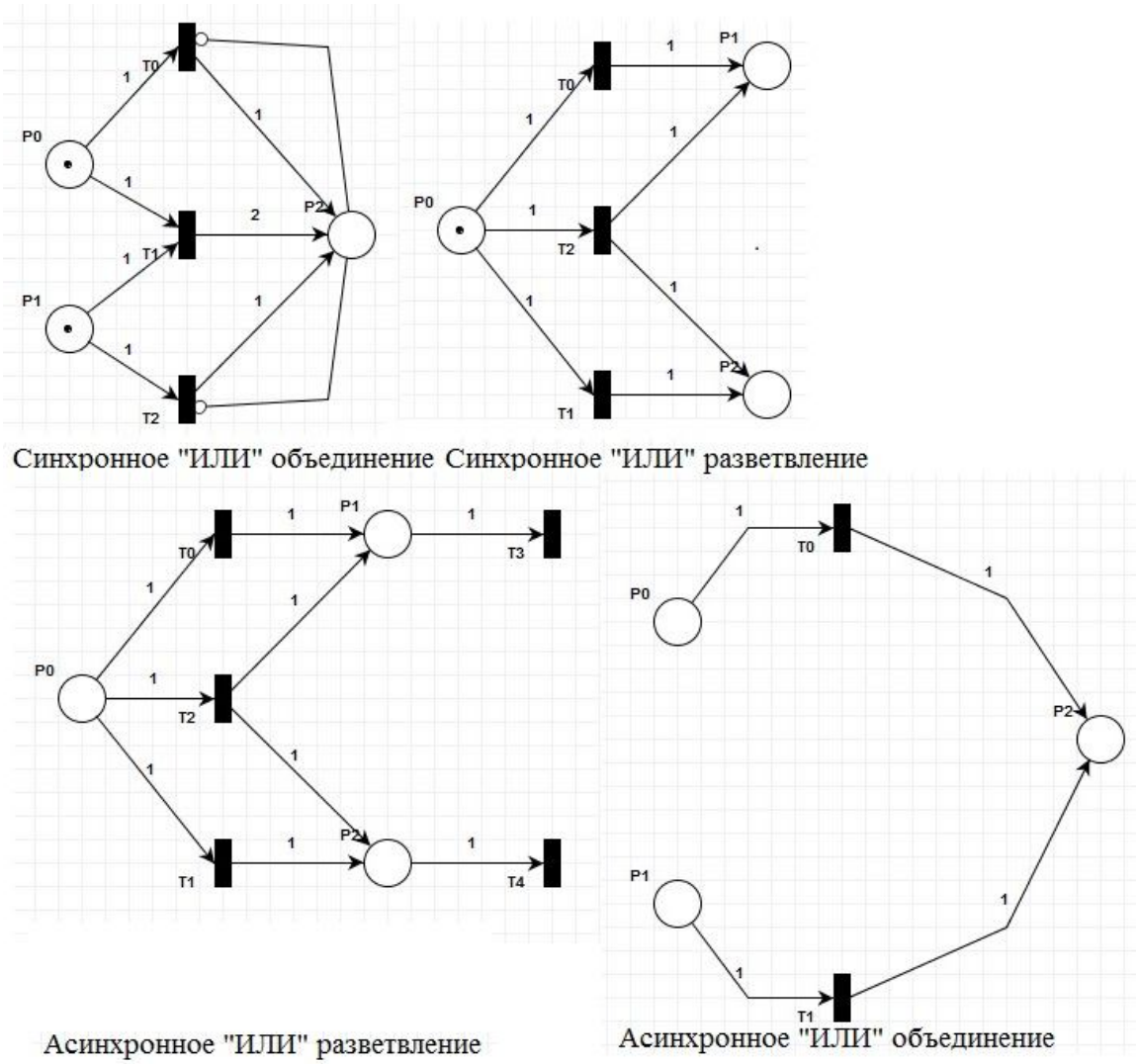


Рис. 2. Модели перекрестка «ИЛИ» на основе сетей Петри

Так как логический перекресток данного типа в методологии IDEF3 может функционировать в синхронном и асинхронном режиме, а также может выполнять функции объединения и разветвления процессов, то требуется разработать четыре модели. Работа перекрестка синхронного «ИЛИ» на объединение подразумевает, что один или несколько процессов (входящих в перекресток) должны быть закончены одновременно, асинхронное «ИЛИ» не ставит задачу одновременного окончания процессов.

При разветвлении (выход соединительных дуг из перекрестка) при синхронном «ИЛИ» один или несколько процессов запускаются одновременно, а в случае асинхронного представления один или несколько процессов запускаются, но не обязательно одновременно.

На рисунке 3 показаны разработанные модели перекрестка «И» на основе сетей Петри.

Перекресток логическое «И» также представлен четырьмя моделями. Отличие логического «И» от «ИЛИ» заключается в том, что все процессы должны быть исполнены или запущены. При синхронном представлении процессы начинаются или заканчиваются одновременно, а при асинхронном одновременность запуска процессов не обязательна.

На рисунке 4 показаны модели перекрестка «Исключающее ИЛИ». Исключающее «ИЛИ» работает только в асинхронном режиме, так как возможен запуск или окончание только одного процесса, поэтому для данного вида логического перекрестка разработано две модели на основе математического аппарата сетей Петри.

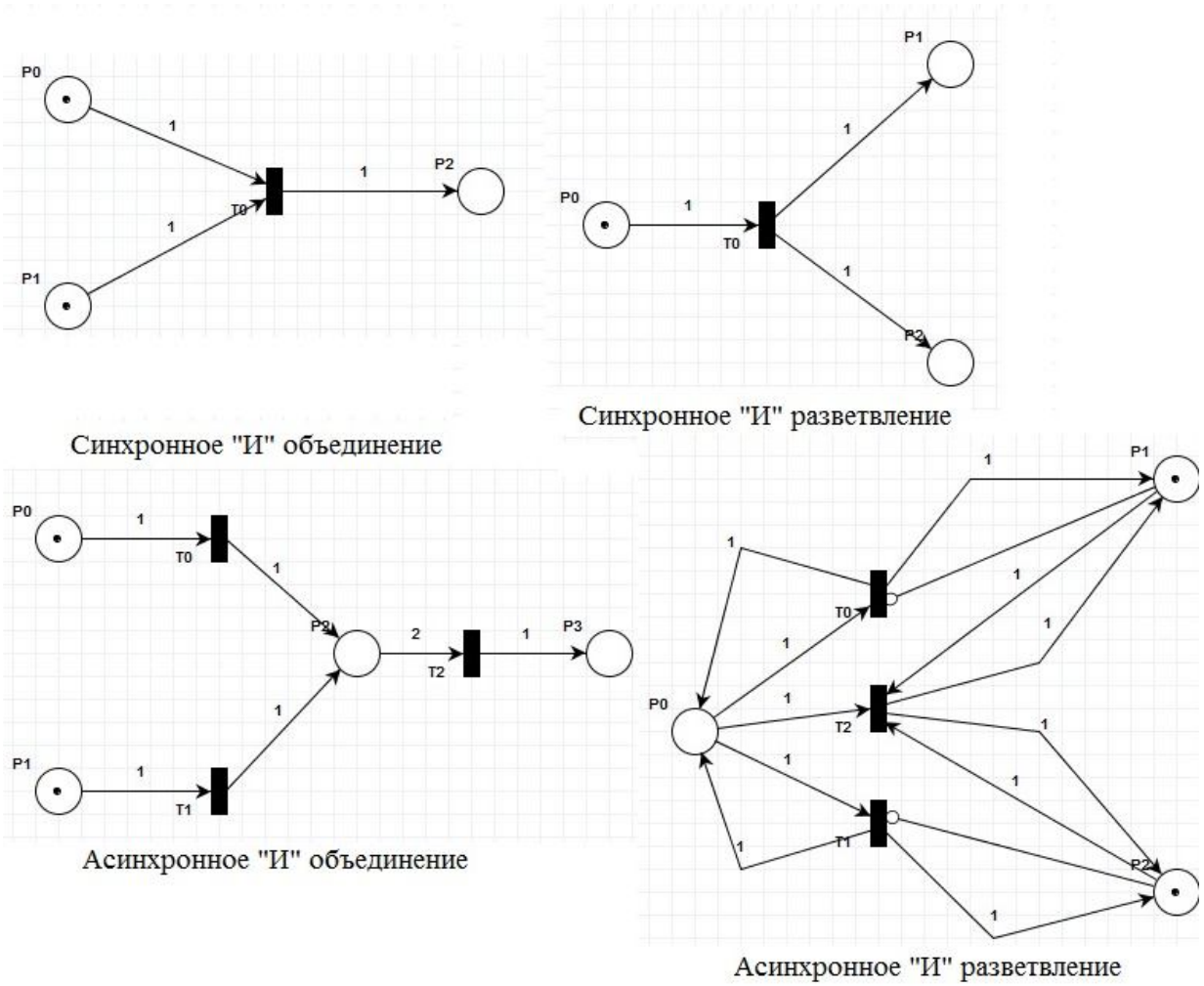


Рис. 3. Модели перекрестка «И» на основе сетей Петри

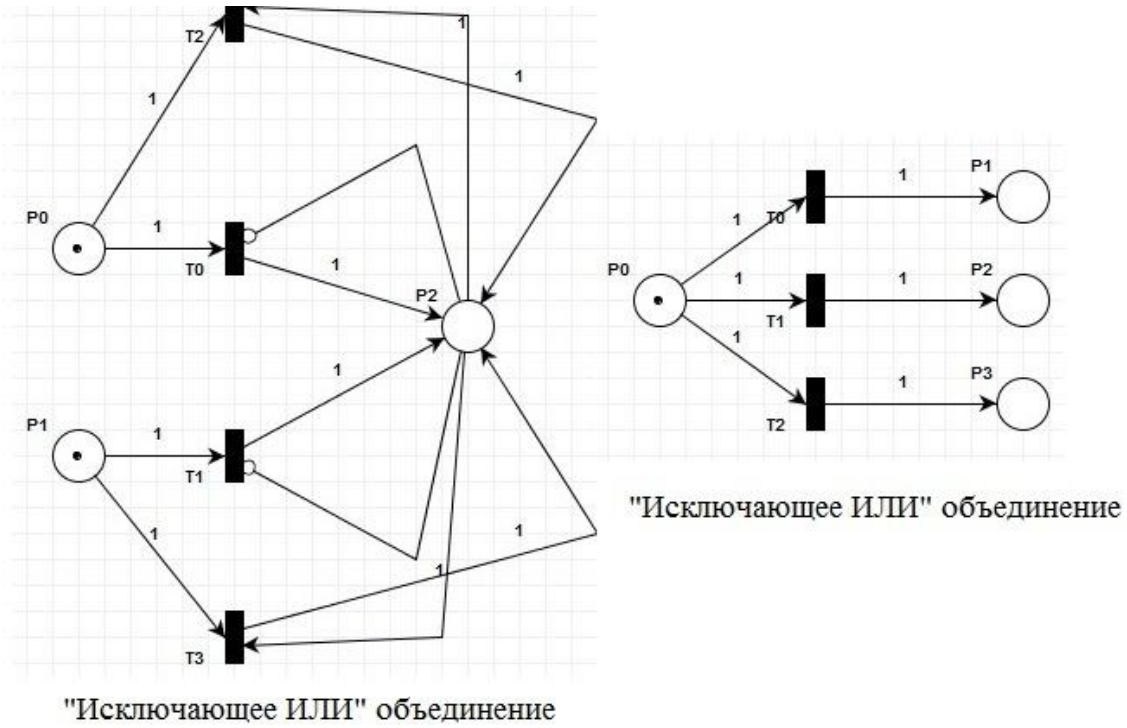


Рис. 4. Модели перекрестка «Исключающее ИЛИ» на основе сетей Петри

Кроме логических перекрестков требуется провести моделирование процессов. В зависимости от решаемой задачи модели процесса могут отличаться, так как в данной работе требуется произвести синтез технологической системы, которая будет удовлетворять затратам аграрного предприятия на процесс выращивания озимой пшеницы, следовательно, модель процесса можно представить следующим образом (рис. 5).

Перекресток T_0 изменяет предыдущий вес метки H (в начале вычислительного эксперимента значение равно 0), инкрементируя его на стоимость операции.

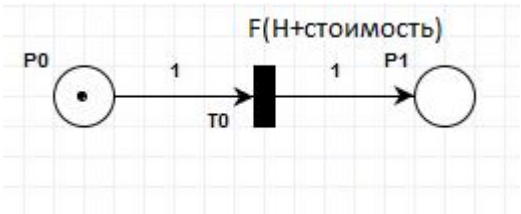


Рис. 5.Упрощенная модель технологического процесса, которая решает задачу расчета стоимости операции

После создания элементной базы следует разработать модель, которая будет отражать работу генетического алгоритма. Для описания работы генетического алгоритма предлагается использовать такое расширение сетей Петри, как вложенные сети. В данном представлении метка первого уровня является сетью. Это свойство и предлагается использовать. Каждая макрометка первого уровня разработанной модели будет представлять собой сеть Петри, которая моделирует работу синтезируемой технологической системы и является генотипом популяции.

На рисунке 6 показана модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри.

Роль операторов генетического алгоритма исполняют переходы верхнего уровня сети: переход SEL (оператор отбора), переходы $CROSS_i$ (оператор скрещивания), переходы MUT_i (оператор мутации), переход RED (оператор редукции).

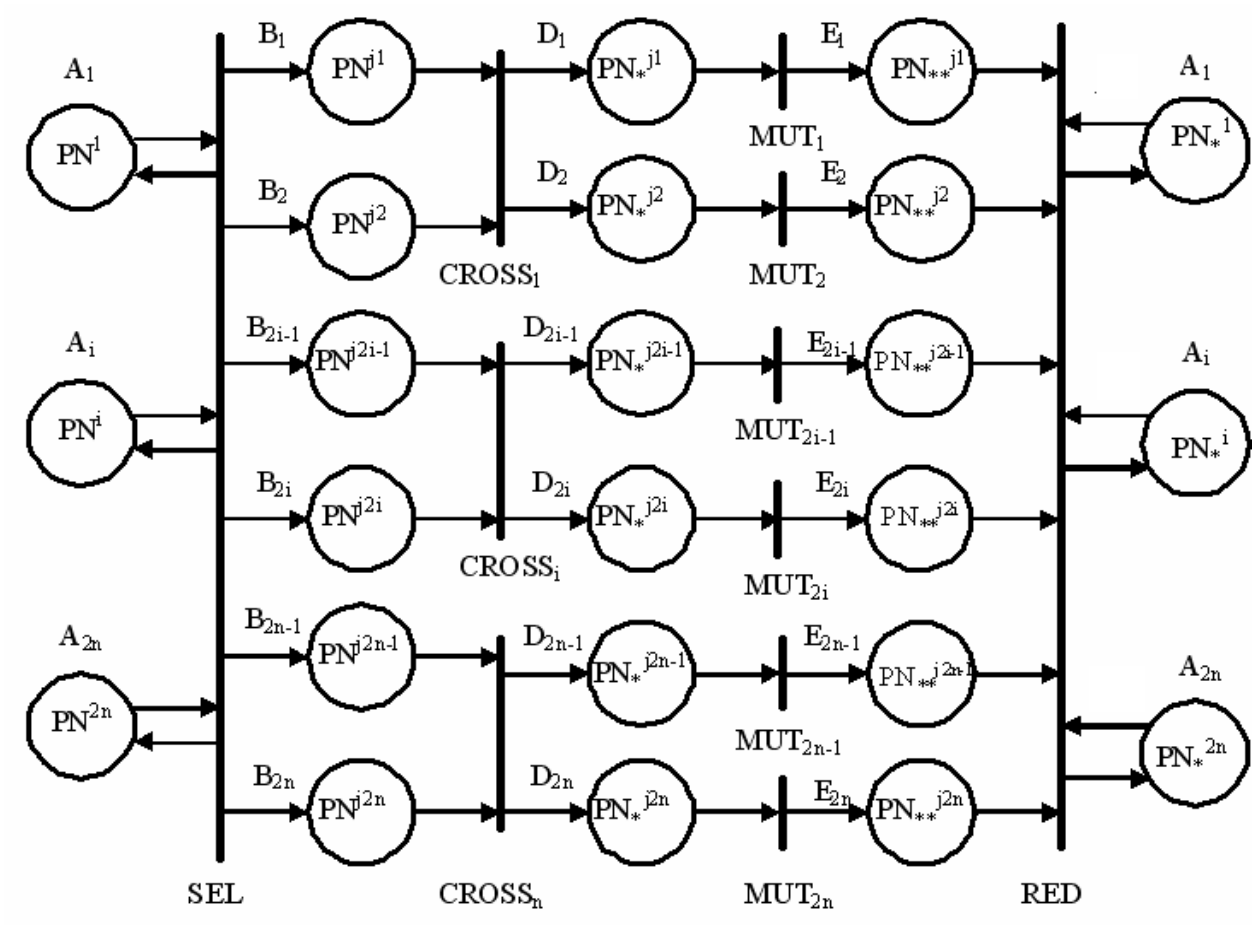


Рис. 6. Модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри

Работу операторов генетического алгоритма представляют следующим образом:

1. Оператор SEL (Select) подготавливает начальную популяцию (вычисляет функцию приспособленности, значение, меньшее или равное заданной сумме в денежном эквиваленте, которую готово затратить аграрное предприятия на выполнение технологического процесса), оценивает сгенерированные случайным образом особи и подготавливает пары для скрещивания (например, лучшие с лучшими).

2. Оператор CROSS выполняет обмен частью элементов технологической системы родителей, тем самым порождает так называемых потомков.

3. Оператор MUT выполняет замену элемента технологической системы на любой возможный.

4. Оператор RED (Reduction) выполняет оценку полученного поколения, вычисляя функцию приспособленности. Особи с худшим значением функции уничтожаются оператором, в популяции остаются только особи с лучшей функцией приспособленности, что отражает «элитарную стратегию».

Работа предложенной модели продолжается с оставшимися особями до выполнения требований останова:

1. Найдено решение.

2. Закончилось время на поиск решения.

3. Обработано определенное количество популяций.

Вычислительный эксперимент

В таблице представлены варианты стоимости каждого из процессов, которые возникают при выращивании озимой пшеницы.

№	Название операции	Условное обозначение	Стоимость, т.р.
1	Внесение гербицидов	ВГ200	200
		ВГ150	150
		ВГ300	300
2	Протравка семян	ПС0	0
		ПС500	500
		ПС700	700
3	Протравка семян с добавлением микроэлементов	ПСМ1000	1000
		ПСМ0	0
		ПСМ1500	1500
4	Точное земледелие	ТочЗ1000	1000
		ТочЗМ0	0
		ТочЗМ1500	1500
5	Традиционное земледелие	ТЗ100	100
		ТЗ150	150
		ТЗ0	0
6	Посев культуры	ПК500	500
		ПК600	600
		ПК700	700
7	Анализ посевов	АП200	200
		АП300	300
		АП400	400
8	Уход за посевами	УП1000	1000
		УП1050	1050
		УП1300	1300
9	Уборка	У1000	1000
		У1400	1400
		У2000	2000
10	No Till	No Till	0
11	Минимальная обработка	МО1000	1000
		МО1050	1050
		МО2000	2000

Таким образом на основании представленных компонентов и экземпляров будет сформирована начальная популяция по следующей структуре:

$$< \text{ВГ}, \text{X}, \text{Обработка семян E}ij, X, \text{Вид земледелия E}ij, \text{X}, \text{ПК}, \text{АП}, \text{УП E}ij, \text{X}, \text{У}, \text{Обработка почвы E}ij >$$

где X – вид перекрестка (не подвергается воздействию операторов генетического алгоритма).

Пример особи популяции:

ВГ150, X, ПС500, ПСМ 1000, X, ТЗ100, ТочЗ1000, X, ПК600, АП300, УП1050, X, У1000, No Till

Макрометка в виде сети Петри, соответствующая представленной особи, показана на рисунке 7.

Был реализован поиск решения при требовании бюджета выращивания в 5 500 тысяч рублей.

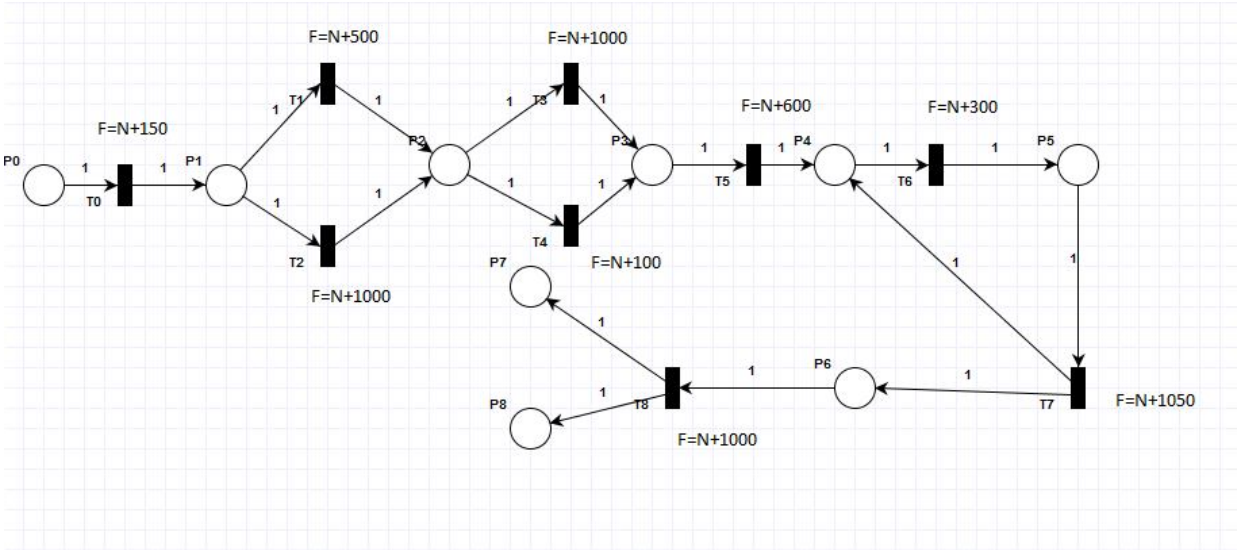


Рис. 7. Пример особи популяции на основе сетей Петри

В результате имитационного моделирования был получен ряд удовлетворяющих решений за 5 секунд:

ВГ150, Х, ПС0, ПСМ 1000, Х, ТЗ100, ТочЗ0, Х, ПК600, АП300, УП1050, Х, У1000, No Till

ВГ300, Х, ПС0, ПСМ 1000, Х, ТЗ0, ТочЗ1000, Х, ПК700, АП400, УП1300, Х, У1400, No Till

ВГ150, Х, ПС0, ПСМ 1000, Х, ТЗ0, ТочЗ1000, Х, ПК700, АП400, УП1300, Х, У1400, No Till

Обсуждение результатов и заключение

В данной работе предложен подход к созданию нового метода синтеза технологических систем, который базируется на трех современных теориях: имитационном моделировании, теории сетей Петри и эволюционных методах. Полученные модели являются универсальным средством для синтеза дискретных систем, обладают свойством параллелизма и могут быть применены как при программной, так и при аппаратной реализации.

В статье рассматривается пример построения технологического процесса выращивания озимой пшеницы на основе предложенного подхода для анализа экономических показателей, однако возможно оценивание и таких показателей, как экологичность, технологичность и т.д. Для этого требуется разработать библиотеку моделей элементов в нужной предметной области. Ранее данный метод был применен к задачам синтеза систем документооборота [7], синтеза вычислительной техники на базе триггерных элементов [8], а также создания роботизированного комплекса для строительной печати [9].

Стоит отметить, что предлагаемые модели дают возможность управлять процессом поиска решений путем перенастройки функционирования переходов, моделирующих работу операторов генетического алгоритма в процессе работы [10], что может в существенной мере снизить время поиска решений. Параллелизм, заложенный в суть предлагаемого метода за счет применяемых математических инструментариев, может быть использован совместно с технологией GPGPU.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ: № 16-29-12911-офи_м.

Список литературы

1. Булгаков С. С. Перспективы внедрения нейронных сетей в реализацию систем поддержки принятия решений // Молодой ученый. 2016. № 4 (108). С. 344–345.

2. Стрельцова Е. Д., Богомягкова И. В., Стрельцов В. С. Модель распознающего автомата в системе поддержки принятия решений по управлению межбюджетным регулированием//Научные ведомости. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. № 1 (144). С. 157–163.

3. Юдицкий С. А., Магергут В. З., Чуев А. В. Бинарные сетевые дорожные карты процессов управления проектами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 4. С. 1–9.

4. Юдицкий С. А., Магергут В. З., Чуев А. В. Моделирование потоковых систем обработки мобильных объектов на индикаторных сетях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2015. № 5. С. 41–43.

5. Агентоцентрическое моделирование организационно-технологических систем / В. А. Игнатенко, А. Г. Бажанов, Д. А. Юдин, А. В. Чуев, С. А. Юдицкий // Системы управления, связи и безопасности. М.: Изд-во ООО "Корпорация "Интел Групп". 2016. № 2. С. 249–294.

6. Магергут В. З., Рубанов В. Г., Чуев А. С. Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 149 с.

7. Эволюционная процедура структурного и параметрического синтеза имитационных моделей систем документооборота / В. А. Ломазов, В. Л. Михайлова, Д. А. Петросов, Д. Б. Ельчанинов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. Т. 28, № 1. С. 204.

8. Петросов Д. А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. 2009. № 3. С. 139-143.

9. Control system of robotic complex for constructions and buildings printing / A. G. Bazhanov, D. A. Yudin, V. A. Porkhalo, E. B. Karikov // Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies. IEEE Xplore. Rzeszow, 2016. P. 23–31. DOI: 10.1109/DT.2016.7557145.

10. Петросов Д. А. Адаптивный структурно-параметрический синтез больших дискретных систем с заданным поведением с использованием искусственных нейронных сетей класса RAAM // Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы в XXI веке: сборник статей Международной научно-практичес-кой конференции. Белгород, 2017. С. 69–74.

Поступила в редакцию 12.04.18

UDC519.876.2

D. A. Petrosov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod Agrarian University. V. Ya. Gorina (Belgorod, Russia) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

A. G. Bazhanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: all_exe@mail.ru)

INTELLIGENT STRUCTURAL SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON THE BASIS OF EVOLUTIONARY METHODS AND PETRI NETS THEORY

At present there is a task of developing new methods of intelligent structural and parametric synthesis of technological systems that will have the high speed and versatility of application in various subject areas. Such methods are proposed to be constructed on the basis of four modern directions: simulation, evolutionary methods, the Petri nets theory and parallel computations. Consequently, all this four directions must be united by one mathematical apparatus, which supports both software and hardware implementation. The paper considers the possibility of applying genetic algorithms to solution of the structural synthesis problem of technological processes, implying a further transition to parametric synthesis and connection of GPGPU technology (General purpose computing for graphics processing units). To describe the work of the genetic algorithm and the ele-

ment base on the basis of which the synthesis procedure will occur, it is proposed to use the mathematical apparatus of the Petri nets theory. The proposed approach is focused on the synthesis of systems with a fixed structure. To determine the structure we use a common methodology IDEF3. The application of this methodology is due to the fact that it allows to identify the points of potential branchings, which are logical intersections. To illustrate the work of genetic algorithm on the basis of embedded Petri nets we create the models of all types of intersections with IDEF3 methodology and models of the processes that occur during the cultivation of winter wheat. The simulation was carried out using the software PIPE v. 5. This is freeware which is intended for modeling the operation of Petri nets. As a result of the computational experiment we obtain the technological process models of growing winter wheat, which correspond to the specified criterion of economic benefit for a conditional agricultural enterprise.

Keywords: *technological processes, simulation, Petri nets theory, genetic algorithms.*

For citation: Petrosov D. A., Bazhanov A. G. Intelligent structural synthesis of technological processes on the basis of evolutionary methods and petri nets theory. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 41–51 (in Russ.).

***

References

1. Bulgakov S. S. Perspektivy vnedreniya nejronnyh setej v realizaciyu sistem podderzhki prinyatiya reshenij. Molodoj uchenyj, 2016, no. 4 (108), pp. 344–345.

2. Strel'cova E. D., Bogomyagkova I. V., Strel'cov V. S. Model' raspoznayushchego avtomata v sisteme podderzhki prinyatiya reshenij po upravleniyu mezhbyudzhetnym regulirovaniem. Nauchnye vedomosti. Seriya: Istoriya. Politologiya. Ehkonomika. Informatika, 2013, no. 1 (144), pp. 157–163.

3. Yudickij S. A., Magergut V. Z., Chuev A. V. Binarnye setevye dorozhnye karty processov upravleniya proektami. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2013, no. 4, pp. 1–9.

4. Yudickij S. A., Magergut V. Z., Chuev A. V. Modelirovanie potokovyh sistem obrabotki mobil'nyh ob"ektov na indikatornyh setyah. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2015, no. 5, pp. 41–43.

5. Ignatenko V. A., Bazhanov A. G., Yudin D. A., Chuev A. V., Yudickij S. A. Agentocentricheskoe modelirovanie organizacionno-tekhnologicheskih system. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. Moscow, OOO "Korporaciya "Intel Grupp" Publ., 2016, no. 2, pp. 249–294.

6. Magergut V. Z., Rubanov V. G., Chuev A. S. Formalizaciya i analiz diskretnyh organizacionno-tekhnologicheskih sistem so strukturirovannymi agentami na indikatornyh setyah. Belgorod, 2016. 149 p.

7. Lomazov V. A., Mihajlova V. L., Petrosov D. A., El'chaninov D. B. Ehvolyucionnaya procedura strukturnogo i parametricheskogo sinteza imitacionnyh modelej sistem dokumentooborota. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya. Politologiya. Ehkonomika. Informatika, 2013, vol. 28, no. 1, p. 204.

8. Petrosov D. A. Matematicheskaya model' formirovaniya konfiguracii vychislitel'noj tekhniki na osnove triggerov. Vestnik IzhGTU im. M. T. Kalashnikova, 2009, no. 3, pp. 139-143.

9. Bazhanov A. G., Yudin D. A., Porkhalo V. A., Karikov E. B. Control system of robotic complex for constructions and buildings printing. Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies. IEEE Xplore. Rzeszow, 2016, pp. 23–31. DOI: 10.1109/DT.2016.7557145.

10. Petrosov D. A. Adaptivnyj strukturno-parametricheskij sintez bol'shih diskretnyh sistem s zadannym povedeniem s ispol'zovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej klassa RAAM. Naukoemkie tekhnologii i intellektual'nye sistemy v XXI veke. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Belgorod, 2017, pp. 69–74.

УДК 004.896

Ф. Дааеф, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия) (e-mail: ferasit87@gmail.com)

Д. А. Юдин, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: ydin.da@bstu.ru)

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО НЕИЗМЕННОМУ ПУТИ

В статье рассматриваются методы анализа динамической среды мобильного робота при его движении в целевую точку на неизменном пути, а также технические решения, применимые для этой задачи. Описываются подходы к вычислению расстояния, на котором должен быть обнаружен подвижный объект, и определению требуемого угла обзора видеокамеры бортовой системы технического зрения для своевременного предотвращения столкновений. Разработан алгоритм обнаружения подвижных препятствий размером более 25 см и алгоритм определения расстояния до них в ближней и дальней зоне робота на основе данных от бортовой видеокамеры и ультразвукового датчика. Предложен подход к определению скорости подвижных объектов в среде на основе анализа последовательности изображений. Для оценки проекции скорости препятствия на направление движения робота используется коэффициент нормированного локального масштабирования. В качестве ограничений выступают максимальные абсолютные скорость и ускорение, которые может развивать мобильный робот. Они равны соответственно 1,5 м/с и 0,3 м/с^2. Описывается программно-аппаратная реализация разработанных подходов на основе гусеничного шасси, подтвердившая их применимость к анализу динамической среды мобильного робота в реальных условиях. Программное обеспечение, входящее в состав программно-аппаратного комплекса, обеспечивает навигацию робота в среде с подвижными объектами-препятствиями и визуализацию этого процесса в реальном масштабе времени. Разработанные подходы могут быть применены в составе бортовых систем навигации и управления мобильных робототехнических комплексов или транспортных средств, используемых при автоматизации транспортных операций в складских помещениях и цехах предприятий.

***Ключевые слова**: мобильный робот, динамическая среда, навигация, система технического зрения, обнаружение объектов, программно-аппаратный комплекс.*

Ссылка для цитирования: Даееф Ф., Юдин Д. А. Анализ динамической среды мобильного робота при его движении по неизменному пути // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 52–62.

***

Введение

Управление мобильными роботами в динамически изменяющейся окружающей среде является важным направлением, которое стало предметом многих исследований в течение последних 20 лет. Для успешного достижения мобильным роботом заданной целевой точки важную роль играет сенсорная информация, которая обрабатывается бортовой системой управления и навигации. Чем больше информации от различных бортовых датчиков анализируется, тем больше возможностей для успешного достижения поставленной перед роботом цели при движении в конкретной среде.

Навигация мобильного робота в динамической среде является одной из самых сложных изучаемых задач. Существует большое количество решений, позволяющих роботу идентифицировать статические препятствия, которые могут появиться перед ним в заранее известной среде. В то же время вопрос учета движущихся препятствий при управлении мобильным роботом еще недостаточно изученным. Предлагаемые подходы имеют, как правило, существенные ограничения. Например, в работах [1; 2] используются дорогостоящие лазерные сканеры для обнаружения подвижных препятствий, скорость которых должна быть линейной. В исследованиях [3; 4] рассматривается навигация робота на основе бортовой камеры с анализом видеоданных методами машинного обучения. Опи-

санные в них подходы имеют ограничения по быстродействию и среде, в которой может двигаться робот. Кроме того, необходимо предварительное обучение моделей распознавания объектов среды на основе больших массивов данных.

В настоящей статье рассматривается навигация мобильного робота на заданном и неизменном пути в динамической среде с помощью двух источников сенсорной информации: бортовой системы технического зрения и ультразвукового датчика. То есть управление роботом осуществляется с учетом подвижных препятствий (других роботов, людей и т. п.).

Постановка задачи

В настоящей работе рассматриваются подходы к анализу динамической среды транспортного робота, который движется по определенному неизменному маршруту. Подобная задача возникает при автоматизации транспортных операций в складских помещениях или цехах предприятий, в которых присутствуют движущиеся объекты – другие роботы, люди и т. п.

Складские роботы, как правило, могут двигаться с максимальной абсолютной скоростью $V_{r\max} = 1 \div 1{,}5$ м/с и ускорением $A_{r\max} = 0{,}1 \div 0{,}7$ м/с^2. Примем максимальные абсолютные скорость и ускорение робота $V_{r\max} = 1{,}5$ м/с, $A_{r\max} = 0{,}3$ м/с^2.

В ходе движения робот, не отклоняясь от маршрута, должен избегать столкновений с подвижными объектами (см. рис. 1), которые могут появляться на его пути и которые должны быть обнаружены бортовой системой технического зрения и ультразвуковым датчиком расстояния. Будем считать, что объекты могут двигаться в произвольном направлении с постоянной скоростью, максимальная величина которой равна $V_{o\max} = 1{,}5$ м/с.

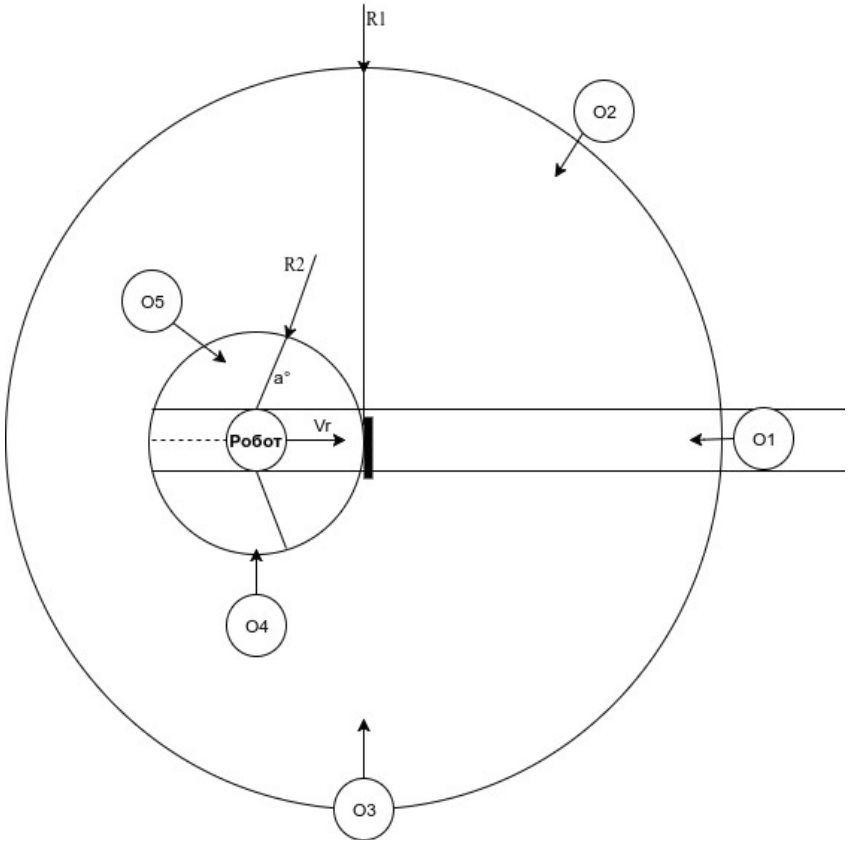


Рис. 1. Пример среды, в которой движется мобильный робот, содержащей подвижные объекты-препятствия O1–O5: $R1 = S_n$ – расстояние, на котором нужно обнаружить подвижное препятствие; $R2 = S_r$ – расстояние до полного торможения робота; α = F_{ov} – угол обзора бортовой видеокамеры

Необходимо произвести расчет минимального расстояния, на котором нужно успеть обнаружить объект, чтобы избежать столкновения, и требуемого угла обзора видеокамеры бортовой системы технического зрения, разработать алгоритм обнаружения подвижных объектов бортовой системой технического зрения робота, определения расстояния до них, а также их линейных скоростей перемещения.

Также в ходе работы необходимо осуществить программно-аппаратную реализацию предлагаемых подходов к анализу динамической среды мобильного робота.

Расчет расстояния, на котором должен быть обнаружен подвижный объект, для своевременного предотвращения столкновения с ним

Отношение между постоянным ускорением робота A_r, текущей скоростью V_r и расстоянием до полного торможения S_r определяется формулой

$$V_r = \sqrt{2 \cdot (-A_r) \cdot S_r}, \qquad (1)$$

где S_r – расстояние, которое проедет робот до полного торможения

Расстояние, на котором робот должен найти препятствие, чтобы успеть затормозить, вычисляется как

$$S_r = \frac{{V_r}^2}{2 \cdot (-A_r)}. \qquad (2)$$

Если робот может двигаться с максимальной скоростью $V_{r\max}$ = 1,5 м/с и ускорением A_r = – 0,3 м/с^2, то расстояние торможения робота S_r = 3,75 м.

Такой расчет корректен, если в окружающей среде робота есть только статические препятствия. В реальных ситуациях обычно возможно появление различных подвижных объектов – других роботов или людей. В настоящей работе мы рассматриваем именно второй случай подвижных препятствий.

В этом случае формула для определения расстояния S_n, на котором нужно найти подвижное препятствие, движущееся с постоянной скоростью, будет иметь следующий вид:

$$S_n = S_r + V_o \cdot T_t\,,$$

где V_o – проекция скорости подвижного объекта на направление движения робота;

T_t – время торможения робота.

Время торможения T_t робота можно вычислить как

$$T_t = \frac{V_r}{-A_r}.$$

При максимальном ускорении и скорости робота расчетное время торможения T_t= 1,5 / 0,3 = 5 с.

Допустим, что максимальная скорость подвижных объектов не превышает $V_{0\max}$ = 1,5 м/с, так что они должны быть обнаружены на расстоянии не менее чем S_n = 3,75 + 1,5·5 = 11,25 м, если объект движется навстречу роботу.

Определим требуемое поле зрения (угол обзора камеры по горизонтали), чтобы робот смог вовремя обнаружить подвижный объект с помощью бортовой системы технического зрения (см. рис. 1). В ходе решения задачи принимаются во внимание только объекты, которые находятся перед роботом (например, объекты O_4 и O_5 на рис. 1 не учитываются).

Примем, что объект движется перпендикулярно направлению движения робота с максимальной скоростью $V_{0\max}$ (как, например, объект O_3 на рис. 1).

В этом случае минимальный угол обзора по горизонтали F_{ov} бортовой видеокамеры робота должен быть не менее

$$F_{ov} \approx 2 \cdot \arctan\,(V_{0\max} \cdot T_t / S_r).$$

Для представленных ограничений нужное поле зрения $F_{ov} \approx$ 127°.

Подход к определению расстояния до подвижного препятствия, найденного на изображении

Робот может оснащаться тремя типами датчиков для обнаружения препятствий: лазерными, ультразвуковыми и видеокамерами. В [1] и [2] используются лазерные сканеры, которые достаточно

дороги в сравнении с ценой ходовой части робота. Ультразвуковые датчики дешевые, но их не хватит, для того чтобы обнаружить препятствия на нужном расстоянии. Как правило, дальность действия ультразвуковых датчиков составляет до 4 метров, в то время как в общем случае по условиям задачи необходимо обнаруживать препятствие на расстоянии до 11,25 м (S_n). Применение видеокамеры для детектирования подвижных объектов лишено указанных недостатков, однако используется допущение, что в среде использования робота хорошая видимость и освещенность.

Чтобы бортовая система технического зрения робота смогла обнаружить объекты, они должны занимать более чем 20×20 пикселей на изображении разрешением 640×480 пикселей.

В рассматриваемой модели робота используется камера Raspberry Pi Camera [5] с разрешающей способностью 640×480 пикселей, фокусным расстоянием 35 мм, размером светочувствительной матрицы 3,76 × 2,74 мм.

В нашем случае расстояние до объекта S может быть вычислено на основе геометрических параметров его изображения:

$$S = F \cdot H_{or} \cdot H_i \,/\, (H_{oi} \cdot H_s), \qquad (3)$$

где F – фокусное расстояние;

H_{or} – реальная высота объекта;

H_i – высота изображения (H_i = 480 пикселей);

H_{oi} – высота объекта на изображении;

H_s – высота светочувствительной матрицы.

Высота подвижных объектов, которые мы будем детектировать на изображении (люди или роботы), больше 25 см. На изображении это должно соответствовать области в 10 пикселей по высоте.

В этом случае максимальное расстояние, на котором можно обнаружить самый маленький объект, вычислим на основе формулы (3):

$S = 0{,}035 \cdot 0{,}25 \cdot 480/(20 \cdot 0{,}0027) = 77{,}7$ м.

Что в несколько раз превышает требуемое расстояние в 11,25 м.

Алгоритм обнаружения подвижных объектов бортовой системой технического зрения робота

Существенной сложностью при обнаружении объектов бортовой системой технического зрения является то, что бортовая камера и объекты могут двигаться одновременно. Эта сложность в настоящей работе преодолевается с помощью алгоритма, состоящего из трех этапов обработки и анализа изображений:

1) обнаружить объекты на изображениях от движущейся камеры;

2) определить расстояние от робота до всех найденных объектов;

3) определить скорость подвижных объектов в среде на основе анализа последовательности изображений.

Рассмотрим подробнее каждый из этапов.

• *Обнаружение объектов на изображениях от движущейся камеры.*

Существует ряд исследований для обнаружения движущегося объекта с движущейся камеры, показавших результаты с различной эффективностью.

В работах [6, 7] изложен подход, основанный на сшивке последовательности изображений и построении панорамы фона и вычитании соответствующей области из исходного изображения. Этот подход связан с накоплением ошибок, и его применение ограничивается поворотными видеокамерами, для которых построение панорамы наиболее эффективно.

Исследование [8] посвящено анализу взаимосвязей между ключевыми точками на последовательности кадров с учетом перспективной трансформации (гомографии). Однако простое объединение существующих методов вычитания фона с компенсацией движения связано с двумя проблемами, связанными с движением камеры. Первая проблема возникает из-за неточной оценки движения камеры из последовательностей изображений, что приводит к множеству ложных срабаты-

ваний, связанных с ошибкой компенсации. Вторая проблема возникает в случае, когда объект движется медленно относительно движения камеры.

Подход множественного отслеживания объектов на основе их ключевых точек в областях переднего плана рассмотрен в [9]. Он имеет ограничения по точности и полноте обнаружения объектов и недостаточно эффективно работает, если объекты медленно перемещаются относительно фона.

В современной работе [10] приведен метод обновления фона с помощью вероятностных моделей, учитывающих движение фона, движение переднего плана и изменения освещения. Обновленный фон затем вычитается из исходного изображения для выделения движущихся объектов и получения бинаризованного изображения.

Недостаток обнаружения объектов, движущихся с малой скоростью относительно фона, может быть эффективно устранен с помощью статистических детекторов.

Обнаружение объектов в реальном времени может быть осуществлено с помощью каскадных классификаторов на основе метода Виолы Джонса [11]. Однако он имеет ограничения при распознавании объектов, которые имеют сложную форму.

Глубокие свёрточные нейронные сети показывают наивысшие показатели эффективности при распознавании заданных типов объектов, на которых они обучены. Архитектуры сетей FCN [12; 13] или Mask RCNN [14] могут быть применены как для сегментации изображения и обнаружения объектов, движущихся относительно любого фона. Однако они характеризуются требовательностью к вычислительным ресурсам и требуют наличия производительного графического процессора для работы в реальном масштабе времени.

При решении задачи избегания столкновений мобильного робота с любыми возможными препятствиями с линейным размером, большим 25 см, сложно сформировать обучающую выборку для нейросетевого алгоритма. Кроме того, с учетом реализации алгоритма на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi целесообразно применить менее ресурсоемкий подход из [10], на выходе которого формируется черно-белая картинка, белый цвет на которой соответствует подвижным объектам, а чёрный – неподвижному фону.

• *Определение расстояния от робота до всех найденных объектов.*

Для нахождения расстояния до объектов могут применяться три подхода:

а) использование 3D-камеры, которая строит карту глубин на основе стереопары изображений. Например, камера ZED [15] ценой в 500 долл. имеет диапазон расстояний на карте глубин от 0.5 до 20 метров, угол обзора в 110°, возможность интеграции с операционными системами реального времени и Matlab;

б) использование стереопары недорогих видеокамер и реализация быстродействующих алгоритмов построения карты глубин на базе GPU и технологии CUDA [16; 17];

в) использование одной камеры и определение расстояний от робота до найденных объектов на основе формулы (3) и более точного подхода агрегирования изменений локального масштаба [18] для ключевых точек, которые можно найти на последовательности кадров методом Ши-Томази [19].

Для рассматриваемой задачи третий подход является наиболее предпочтительным и удобным в реализации на базе одноплатного компьютера.

• *Определение скорости подвижных объектов в среде на основе анализа последовательности изображений.*

Существуют решения подзадач, которые относятся к данному этапу. Например, определение скорости движения самого робота изложено в [20], нахождение скорости подвижных объектов по изображениям от стационарной камеры исследовано в работах [21; 22].

Но эти подзадачи отличаются от поставленной задачи, когда и камера, и объекты движутся. В настоящей статье предлагается новый подход к вычислению скорости подвижных объектов в среде с двигающейся камерой.

Используется допущение, что подвижные объекты имеют постоянную скорость, считаются неподвижными, если скорость их перемещения невелика, траектория объекта не часто и мало меняется, максимальная скорость объекта V_{omax} = 1,5 м/с.

Также полагается что объекты и робот находятся в одной плоскости в двумерном пространстве, где ось *X* совпадает с направлением движения робота, а ось *Y* перпендикулярна к оси движения (рис. 2).

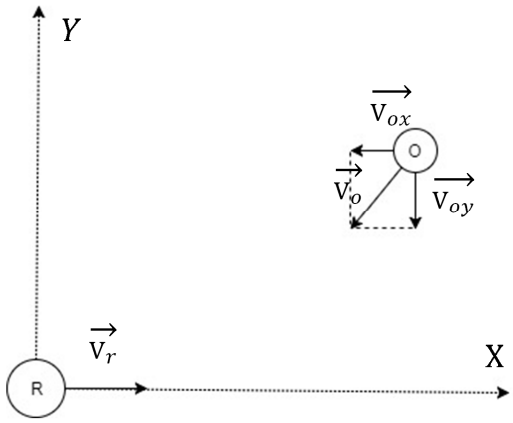


Рис. 2. Пояснения к определению скорости подвижного объекта

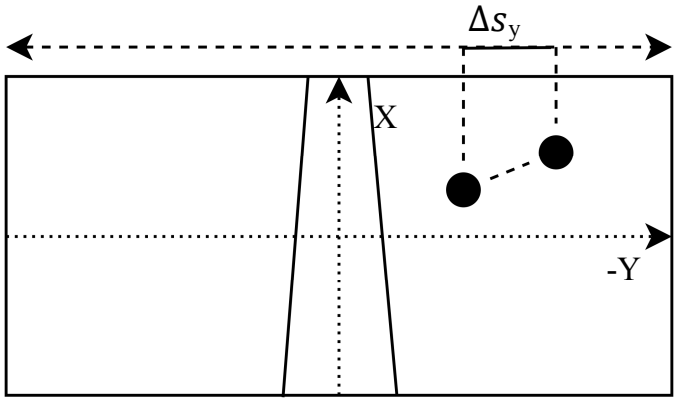


Рис.3. Иллюстрация движения объекта на изображении от камеры робота

Так, нам надо определить скорость (V_{ox}) и (V_{oy}).

Предлагаемый подход содержит следующие основные шаги для определения скорости каждого из объектов:

1. Определение центра масс найденного объекта на изображении, его ключевых точек [19] и их уточнение на основе метода оптического потока [23].

2. Определение проекции скорости V_{oy} объекта на ось *Y*. Для того чтобы определить скорость на ось *y*, необходимо использовать смещение центра масс вдоль оси Y (рис. 3).

Аналогично с формулой (3) получим

$$\Delta s_{yr} = S \cdot \Delta s_y \cdot H_s \,/\, (F \cdot H_i), \qquad (4)$$

где Δs_{yr} – перемещение центра масс объекта по оси *Y*, м;

S – расстояние от объекта, определенное по формуле (3);

F – фокусное расстояние;

H_i – высота изображения;

Δs_y – перемещение центра масс объекта по оси *y* (в пикселях);

H_s – высота светочувствительной матрицы.

Проекция скорости объекта V_{oy} относительно системы координат мобильного робота вычисляется с использованием формулы (4):

$$V_{oy} = \Delta s_{yr} \,/\, t\,,$$

где *t* – время между двумя кадрами.

3. Определение проекции скорости V_{ox} объекта на ось *X*.

Если размер найденного объекта заранее известен, то проекция скорости на ось X приближенно может быть найдена на основе формулы (3):

$$V_{ox} =$$
$$= F \cdot H_{or} \cdot H_i \,/\, H_s \cdot (1/H_{oi2} - 1/H_{oi1})/t,$$

где H_{oi1} и H_{oi2} – соответственно высота объекта (в пикселях) на предыдущем и текущем кадре;

t – время между двумя кадрами.

Если размер объекта заранее не известен, то можно использовать подход, описанный в работе [18].

Для центра масс объекта определяем коэффициент нормированного локального масштабирования M:

$$\mathrm{M}_{\text{цм}}^{(j)} = \frac{\sum_{p_k^{(j)} \in \mathrm{D}(P_i^{(j)})} \left(\left\| P_{\text{цм}}^{(j)} - P_k^{(j)} \right\| - \left\| P_{\text{цм}}^{(j-b)} - P_k^{(j-b)} \right\| \right)}{\sum_{p_k^{(j)} \in \mathrm{D}(P_i^{(j)})} \left(\left\| P_{\text{цм}}^{(j-b)} - P_k^{(j-b)} \right\| \right)},$$

где $\mathrm{M}_{\text{цм}}^{(j)}$ – коэффициент нормированного локального масштабирования для центра масс объекта на j-м кадре;

$\mathrm{D}\left(P_i^{(j)}\right)$ – множество ключевых точек объекта;

$P_i^{(j)}$ – координата i-й точки в j-м кадре;

b – номер предыдущего кадра, с которым сравнивается текущий кадр.

Проекция скорости объекта на ось X в этом случае приближенно может быть найдена как

$$V_{ox} = \lambda \cdot \mathrm{M}_{\text{цм}}^{(j)},$$

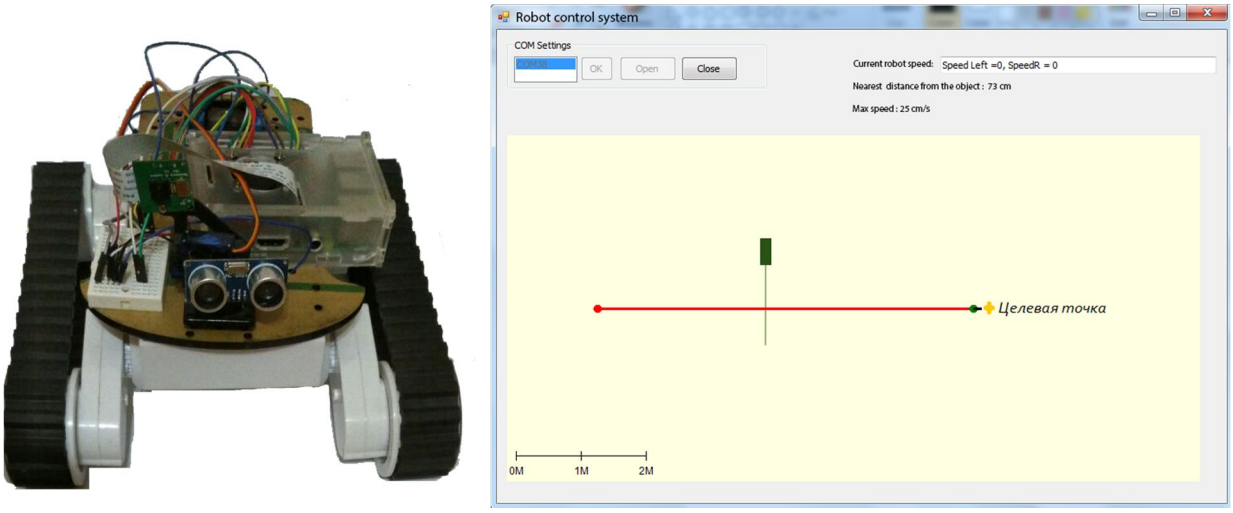
где λ – коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально при калибровке.

В ходе движения робота может возникнуть ситуация, когда объект занимает большую часть изображения, а алгоритмы обнаружения объекта могут не сработать. На этот случай для обнаружения объектов в ближней зоне целесообразно использовать один или несколько ультразвуковых датчиков, которые надежно позволяют определять параметры перемещения подвижных объектов на пути мобильного робота [24].

Тестирование разработанных подходов к анализу динамической среды мобильного робота

Для апробации предложенных подходов к анализу динамической среды мобильного робота создан программно-аппаратный комплекс на основе гусеничного шасси с бортовой системой на базе одноплатного компьютера Raspberry PI 3, видеокамеры Raspberry PI Camera v1 и ультразвукового датчика (рис. 4, *а*), который представляет собой уменьшенную физическую модель транспортно-складского робота.

Программное обеспечение позволяет задавать путь робота для бортовой системы управления, визуализировать движение мобильного робота и отображать возникающие подвижные препятствия и их траектории перемещения (рис. 4, *б*).



а) *б*)

Рис. 4. Программно-аппаратная реализация предлагаемых подходов анализа динамической среды мобильного робота: *а* – гусеничное шасси с бортовой системой управления с видеокамерой и ультразвуковым датчиком; *б* – программный комплекс для навигации робота в среде с подвижными объектами-препятствиями

На основе программно-аппаратного комплекса успешно произведено тестирование разработанных подходов обнаружения подвижных объектов, определения расстояния до них и их скорости.

Заключение

Детальный анализ современных подходов к динамическому анализу среды мобильного робота при его движении в целевую точку на неизменном пути позволил разработать подход к вычислению расстояния, на котором должен быть обнаружен подвижный объект, для своевременного предотвращения столкновения с ним, алгоритм обнаружения подвижных препятствий в ближней и дальней зоне робота на основе данных от бортовой видеокамеры и ультразвукового датчика, подход к определению расстояния до подвижного объекта, найденного на изображении, и проекций его скорости.

Осуществленная программно-аппаратная реализация предложенных подходов на основе мобильного робота с гусеничным шасси подтверждает их применимость к анализу динамической среды в реальных условиях при навигации транспортных роботов в складских и цеховых помещениях.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-3130.2017.9 (договор №14.Z56.17.3130-МК).

Список литературы

1. Tentacle-based Moving Obstacle Avoidance for Omnidirectional Robots with Visibility Constraints / A. Khelloufi, N. Achour, R. Passama, A. Cherubini // 30th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2017.

2. Герасимов В.Н. Способ определения параметров динамических препятствий по данным лазерного дальномера // 21 век: фундаментальная наука и технологии: материалы III международной научно-практической конференции. М., 2014. Т. 3. С. 155–157.

3. Sullivan K., Lawson W. Deep Obstacle Avoidance. Naval Research Laboratory,Washington DC, USA, 2016.

4. A machine learning approach to visual perception of forest trails for mobile robots / A. Giusti, J. Guzzi, D. Ciresan, F. He, J. Rodriguez, F. Fontana, M. Faessler, C. Forster, J. Schmidhuber, G. Caro, D. Scaramuzza, L. Gambardella // IEEE Robotics and Automation Letters, 2016.

5. Camera module v1. URL: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/README.md.

6. Mittal A., Huttenlocher D.P. Scene modeling for wide area surveillance and image synthesis // CVPR, 2000.

7. Amri S., Barhoumi W., Zagrouba E. A robust framework for joint background/foreground segmentation of complex video scenes filmed with freely moving camera // Multimed. Tools Appl. 2010. № 46 (2–3),

8. Evaluation of foreground detection methodology for a moving camera / T. Minematsu, H. Uchiyama, A. Shimada, H. Nagahara, R.-I. Taniguchi // 21st Korea– Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 2015.

9. Moving object detection and tracking from video captured by moving camera / W.-C. Hu, C.-H. Chen, T.-Y. Chen, D.-Y. Huang, Z.-C. Wu // J. Vis. Commun. Image Represent 30 (C). 2015.

10. Yun K., Lim J., Choi J.Y. Scene conditional background update for moving object detection in a moving camera // Pattern Recognition Letters, 2017.

11. Распознавание транспортных средств и регистрация их траектории движения на последовательности изображений / Д. А. Юдин, Н. Г. Горшкова, А. С. Кныш, С. В. Фролов // Вестник

БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 139–148.

12. Юдин Д. А., Патракова Е. Д. Применение полностью сверточной нейронной сети для сегментации дефектов кровли на изображении // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: международная научно-практическая конференция (6 апреля 2018 г., Белгород). Белгород, 2018. С. 19–23.

13. Software for roof defects recognition on aerial photographs / D. Yudin, A. Naumov, A. Dolzhenko, E. Patrakova // Journal of Physics Conference Series. 2018.

14. R-CNN / K. He, G. Gkioxari, P. Dollar, R. Girshick Mask // arXiv:1703.06870v3 [cs.CV], 2018.

15. ZED. The camera that senses space and motion. Stereo Labs. URL: https://www.stereolabs.com/zed/specs/.

16. Real-timeGPU-based local stereo matching method / J. Zhang, J.-F. Nezan, M. Pelcat, J.-G. Cousin // Proc. IEEE Conf. DASIP. Oct., 2013. P. 209–214.

17. Real-time local stereo via edge-aware disparity propagation / X. Sun, X. Mei, S. Jiao, M. Zhou, Z. Liu, H. Wang // Pattern Recognition Letters, 2014.

18. Pundlik S., Peli E., Luo G. Time to collision and collision risk estimation from local scale and motion // Advances in Visual Computing: Proceedings of the 7th International Symposium. 2011. Vol. 6938. P. 728–737.

19. Shi J., Tomasi C. Good Features to Track // IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition, 1994. P. 593–600.

20. Mitchell J. Autonomous Vehicle Speed Estimation from dashboard cam, 2017. URL: https://chatbotslife.com/ autonomous-vehicle-speed-estimation-from-dashboard-cam-ca96c24120e4.

21. Wang J. X. Research of vehicle speed detection algorithm in video surveillance // International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP 2016), 2016.

22. Kiran M. J., Roy K.S. A Video Surveillance System for Speed Detection in Vehicles // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). 2013. Vol. 4, is. 5.

23. Alvarez L., Weickert J., Sanchez J. Reliable estimation of dense optical flow fields with large displacements // International Journal of Computer Vision. 2000. Vol. 39(1). P. 41–56.

24. Study on ultrasonic obstacle avoidance of mobile robot based on fuzzy controller / S. Cui, X. Su, L. Zhao, Z. Bing, G. Yang // International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), 2010.

Поступила в редакцию 13.04.18

UDC 004.896

F. Daeef, Post-Graduate Student, St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great (St. Petersburg, Russia) (e-mail: ferasit87@gmail.com)

D. A. Yudin, Associate Professor, Belgorod State Technological University n.a. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: ydin.da@bstu.ru)

DYNAMIC ENVIRONMENT ANALYSIS OF THE MOBILE ROBOT MOVING ALONG THE PREDETERMINED WAY

The article considers methods of dynamic environment analysis of a mobile robot when it moves to the target point along predetermined path as well as technical solutions applicable to this task. Authors describe an

approach to calculating the distance at which a movable object is to be detected and to determining the required viewing angle of the video camera of the onboard vision system for timely prevention of collisions. Authors have developed algorithm for detecting mobile obstacles larger than 25 cm and determining the distance to them in the near and far zone of the robot based on data from an onboard video camera and an ultrasonic sensor. An approach to the moving object speed determination based on an analysis of the image sequence is proposed. To estimate the obstacle speed projection on the robot motion direction the coefficient of normalized local scaling is used. The limitations of developed approaches are the maximum absolute speed and acceleration that the mobile robot can have. They are respectively equal to 1.5 m/s and 0.3 m/s^2. Authors describe the software and hardware implementation of the developed approaches based on the caterpillar chassis. Obtained results had confirmed applicability of the implementation to the analysis of the dynamic environment of the mobile robot in real conditions. The developed software provides navigation of the robot in an environment with movable obstacles and visualization of this process in real time. The developed approaches can be applied as part of on-board navigation and control systems of mobile robotic complexes or vehicles used in automation of transport operations in warehouses and production halls of enterprises.

Key words: *mobile robot, dynamic environment, navigation, machine vision system, object detection, software and hardware complex.*

For citation: Daeef F., Yudin D. A. Dynamic environment analysis of the mobile robot moving along the predetermined way. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 52–62 (in Russ.).

***

References

1. Khelloufi A., Achour N., Passama R., Cherubini A. Tentacle-based Moving Obstacle Avoidance for Omnidirectional Robots with Visibility Constraints. 30th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2017.

2. Gerasimov V.N. Sposob opredeleniya parametrov dinamicheskih prepyatstvij po dannym lazernogo dal'nomera. 21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii. Materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Moscow, 2014, vol. 3, pp. 155–157.

3. Sullivan K., Lawson W. Deep Obstacle Avoidance. Naval Research Laboratory,Washington DC, USA, 2016.

4. Giusti A., Guzzi J., Ciresan D., He F., Rodriguez J., Fontana F., Faessler M., Forster C., Schmidhuber J., Caro G., Scaramuzza D., Gambardella L. A machine learning approach to visual perception of forest trails for mobile robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2016.

5. Camera module v1. URL: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/README.md.

6. Mittal A., Huttenlocher D.P. Scene modeling for wide area surveillance and image synthesis. CVPR, 2000.

7. Amri S., Barhoumi W., Zagrouba E. A robust framework for joint background/foreground segmentation of complex video scenes filmed with freely moving camera. Multimed. Tools Appl, 2010, no. 46 (2–3).

8. Minematsu T., Uchiyama H., Shimada A., Nagahara H., Taniguchi R.-I. Evaluation of foreground detection methodology for a moving camera. 21st Korea– Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 2015.

9. Hu W.-C., Chen C.-H., Chen T.-Y., Huang D.-Y., Wu Z.-C. Moving object detection and tracking from video captured by moving camera. J. Vis. Commun. Image Represent 30 (C), 2015.

10. Yun K., Lim J., Choi J.Y. Scene conditional background update for moving object detection in a moving camera. Pattern Recognition Letters, 2017.

11. Yudin D. A., Gorshkova N. G., Knysh A. S., Frolov S. V. Raspoznavanie transportnyh sredstv i registraciya ih traektorii dvizheniya na posledovatel'nosti

izobrazhenij. Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova, 2016, no. 6, pp. 139–148.

12. Yudin D. A., Patrakova E. D. Primenenie polnost'yu svertochnoj nejronnoj seti dlya segmentacii defektov krovli na izobrazhenii. Nauka i obrazovanie: otechestvennyj i zarubezhnyj opyt. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (6 aprelya 2018 g., Belgorod). Belgorod, 2018, pp. 19–23.

13. Yudin D., Naumov A., Dolzhenko A., Patrakova E. Software for roof defects recognition on aerial photographs. Journal of Physics Conference Series, 2018.

14. He K., Gkioxari G., Dollar P., Girshick R. Mask R-CNN. arXiv:1703.06870v3 [cs.CV], 2018.

15. ZED. The camera that senses space and motion. Stereo Labs. URL: https://www.stereolabs.com/zed/specs/.

16. Zhang J., Nezan J.-F., Pelcat M., Cousin J.-G. Real-timeGPU-based local stereo matching method. Proc. IEEE Conf. DASIP,Oct., 2013. P. 209–214.

17. Sun X., Mei X., Jiao S., Zhou M., Liu Z., Wang H. Real-time local stereo via edge-aware disparity propagation. Pattern Recognition Letters, 2014.

18. Pundlik S., Peli E., Luo G. Time to collision and collision risk estimation from local scale and motion. Advances in Visual Computing: Proceedings of the 7th International Symposium, 2011, vol. 6938, pp. 728–737.

19. Shi J., Tomasi C. Good Features to Track. IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition, 1994, pp. 593–600.

20. Mitchell J. Autonomous Vehicle Speed Estimation from dashboard cam, 2017. URL: https://chatbotslife.com/ autonomous-vehicle-speed-estimation-from-dashboard-cam-ca96c24120e4.

21. Wang J. X. Research of vehicle speed detection algorithm in video surveillance. International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP 2016), 2016.

22. Kiran M. J., Roy K.S. A Video Surveillance System for Speed Detection in Vehicles. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2013, vol. 4, is. 5.

23. Alvarez L., Weickert J., Sanchez J. Reliable estimation of dense optical flow fields with large displacements. International Journal of Computer Vision, 2000, vol. 39 (1), pp. 41–56.

24. Cui S., Su X., Zhao L., Bing Z., Yang G. Study on ultrasonic obstacle avoidance of mobile robot based on fuzzy controller. International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), 2010.

УДК 004.896

А. И. Сорокин, аспирант, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», мл. науч. сотрудник, ОФ ФИЦ ИУ РАН (Орел, Россия) (e-mail: andrey-sorok@yandex.ru)

В. Н. Волков, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (Орел, Россия) (e-mail: vadimvolkov@list.ru)

Ю. О. Сорокина, ассистент, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (Орел, Россия) (e-mail: smilova@rambler.ru)

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ КВАНТОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОСНОВЕ МЕДИАННОГО СЕЧЕНИЯ

В высококачественном цветном изображении присутствуют миллионы различных цветов. Квантование цифрового изображения заключается в уменьшении цветовой гаммы изображения, что подразумевает сокращение информации о цвете таким образом, чтобы полученное изображение было как можно более схоже с исходным. Квантование изображений является важной задачей в компьютерной графике и обработке изображений, так как это значимый этап при обработке и преобразовании цветовой карты изображения, в частности при сегментации. Важной задачей при уменьшении цветов изображения является задача балансировки между сложностью и качеством.

Существует большое количество методов и алгоритмов, используемых для решения данной задачи. Задача квантования цвета обычно состоит из двух частей: первая – создание цветовой палитры; вторая – отображение пикселей в цветах созданной палитры. Существуют два способа создания палитры – зависимый от изображения и независимый. Определение общей палитры методами, независимыми от изображения, осуществляется без учета содержания изображения, что зачастую приводит к снижению качества результата. Генерация палитры изображения зависимыми методами происходит на основе цветового распределения изображения, что улучшает качество преобразований, но может значительно увеличивать вычислительную сложность.

В работе для уменьшения палитры изображения представлен адаптивный алгоритм квантования. Он основан на разбиении цветового пространства методом медианного сечения. Первоначально осуществляется разбиение значений гистограммы, содержащей текущие цвета, на диапазоны, а затем их доразбиение медианным сечением до необходимого числа цветов в палитре. Приведены экспериментальные данные, показывающие результаты применения алгоритма к изображениям.

***Ключевые слова**: квантование цвета, медианное сечение, кластер, палитра, куб, гистограмма, цветовая карта.*

Ссылка для цитирования: Сорокин А. И., Волков В. Н., Сорокина Ю. О. Адаптивный алгоритм квантования цветового пространства на основе медианного сечения // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 8, № 2 (27). С. 63–72.

***

Введение

Цветные цифровые изображения высокого качества содержат большое количество цветов. Например, 24-битное изображение в формате RGB может содержать более 16 миллионов цветов – 2^{24}. В некоторых задачах использование такого насыщенного цветового пространства является затратным, так как происходит существенное увеличение вычислительной нагрузки. В частности, к таким задачам относится сегментация изображения на основе цветовых характеристик [1].

Для уменьшения сложности цветового пространства применяют такую операцию, как квантование. Квантование цвета – это процесс, который уменьшает количество различных цветов в цифровом изображении с учетом того, что восстановленное изображение должно быть визуально как можно более близким к исходному [2]. Также квантование явля-

ется составной частью многих алгоритмов сжатия изображения с потерями [3].

Цветовое квантование можно представить следующим образом [4]: имея множество P^d, которое является конечномерным пространством цветов, а d – размерность пространства данных, необходимо получить отображение квантования $l: P^n \to H'$, где H' – уменьшенная палитра изображения.

На практике необходимо определить карту квантования $l: H \to H'$, где $H \subset P^d$ – множество цветов изображения. Таким образом происходит замена цвета $h \in H$ его отображением $l(h) \in H'$.

Квантование цвета обычно состоит из двух этапов [2]:

1) создание цветовой карты с некоторым необходимым набором цветов – 8-256 [5], выбранных из возможных комбинаций RGB;

2) отображение каждого цветного пикселя изображения наиболее подходящим цветом созданной палитры.

Сложности здесь добавляет тот факт, что задача квантования цветового пространства является NP-полной [6].

В статье рассматривается способ грубого квантования цветов изображения без существенного ухудшения качества цвета, дающий возможность дифференцирования частей изображения и определения областей интереса в плоскости сцены на основе идентификации представителей каждого цвета, при помощи алгоритмов сегментации [7].

Задачи квантования

При создании алгоритмов квантования возникают две основные задачи. С одной стороны, алгоритм должен выполняться за приемлемое время t. С другой стороны, дисторсия цвета $d(H)$ воспроизведенного изображения на основе созданной палитры должна адекватно отображать цветовые характеристики изображения. Существуют два способа создания палитры [2]: независимые от изображения методы и зависимые от изображения.

Независимые от изображения методы определяют общую палитру без учета какого-либо конкретного содержимого изображения. Они являются наиболее простым решением с низким t. Но визуальное искажение получаемого изображения относительно исходного может быть существенным.

Квантованные изображения с более высоким качеством получают путем создания набора типичных цветов для входного изображения, то есть они генерируют палитру на основе цветового распределения изображения. Эти методы называются адаптивными или методами квантования, зависящими от изображения.

Необходимо отметить, что здесь нельзя использовать простое перечисление всех возможных вариантов множества H, так как их количество огромно [3]. В результате разбиение H достигается путем использования различных эвристик. Качество их работы определяется на основе некоторых критериев. Необходимо отметить, что определение критериев для характеристики качества воспринимаемого изображения все еще является открытой проблемой [3].

Методы квантования

Ввиду всего вышеупомянутого можно говорить о том, что квантование цветного изображения заключается в поиске баланса между качеством получаемого изображения и временем t, непосредственно зависящим от вычислительной сложности. Для достижения такого баланса используются **различные группы методов** [3], таких как:

1. *Методы кластеризации*.

Выполняют разделение цветового пространства в соответствии с некоторыми критериями. Входными данными

таких алгоритмов являются, таким образом, набор цветов изображения *H'* и частота появления каждого цвета *h* в изображении.

2. *Методы средневзвешенной ошибки.*

В общем случае можно говорить о том, что в данной группе методов квантования используется значение среднеквадратичного расстояния (отклонения) исходного изображения от квантованного.

3. *Методы сопоставления.*

Для того чтобы свести к минимуму искажение изображения между входным изображением и выходным, происходит сопоставление каждого цвета *h*.

4. *Методы сглаживания.*

Группа методов, использующих цветовое тонирование для цветных изображений.

Наиболее известными алгоритмами квантования являются: однородная квантизация [8]; медианное сечение (Хекберт) [9]; алгоритм кластеризации на основе октодеревьев (Блумберг) [10]. Также для оптимизации процесса квантования использовались теории вычислительных интеллектов, такие как нейронные сети, конкурентное обучение, GA [11] и др. Все они имеют свои плюсы и минусы и используются на определенном классе задач.

Основной подход

При конструировании представленного в статье алгоритма ключевыми факторами были простота реализации алгоритма, время его выполнения и качество получаемых квантованных изображений.

Одним из наиболее популярных подходов адаптивного квантования цветового пространства является метод медианного сечения [12]. Методы, основанные на данном подходе, осуществляют разделение цветового пространства *H* на *K* кластеров за *K-1* операций набором плоскостей P_i вдоль самой длинной оси *A* (рис. 1).

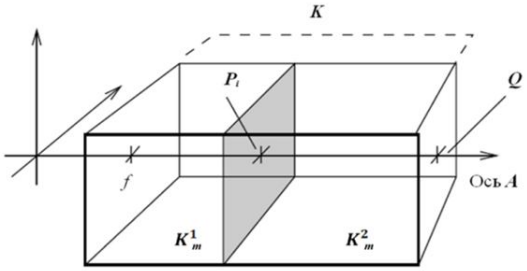


Рис. 1. Разбиение цветового пространства

Разбиение *K* происходит по значениям медианы *M*:

$$M = G[(n-1)/2]\,,\ G[i] \subset F,\ \forall i \in (0,\ n\text{-}1),$$

где *G* – упорядоченный массив цветов;

F – множество натуральных чисел.

Цветовые значения, попадающие в интервалы (*f, M*) и (*M, Q*), созданные сечением плоскости P_i, проходящей через *M,* образуют подкластеры K_m^1 и K_m^2 с центройдами ζ_1и ζ_2 соответственно. Такое разбиение цвета задается диаграммой Вороного [13], в которой каждая ячейка ограничивается множеством плоскостей.

На результаты данного метода сильное влияние оказывает плотность цветового пространства в интервале (*f, Q*) [14]. При высокой плотности деление цветового пространства приводит к получению ячеек с небольшим объемом и малыми отклонениями цвета. При невысокой плотности цветового пространства объем может быть достаточно большим, что значительно увеличивает ошибки. Также необходимо отметить, что выбор и упорядочивание вдоль наибольшей цветовой оси влечет за собой спектральный сдвиг в эту область. Все это оказывает влияние на формирование палитры, вследствие чего возможны неточности при квантовании [2], влияющие на перцептивный аспект.

Подход к квантованию изображения состоит в том, что происходит сокращение цветов в H путем создания гистограммы $\gamma(H)$, включающей только уникальные цвета. Затем на основе полученной гистограммы осуществляется первоначальное разделение $\gamma(H)$ на $\varepsilon \leq K/2$ первоначальных кластеров, кубов.

Первоначальное разбиение гистограммы $\gamma(H)$ осуществляется на не отсортированной последовательности, что дает возможность создать ε, которое будет охватывать присутствующие цвета на изображении в равной мере. Тем самым происходит разбиение цвета на объемы без потери цветов в диапазонах с малой плотностью цвета. Далее осуществляется доразбиение внутри полученных кубов на основе поиска медианы, сначала в самой длинной из осей, а затем и в остальных.

Таким образом, создание H' позволяет существенно снизить влияние больших объемов с низкой плотностью, а также спектральные сдвиги.

Как отмечалось ранее, важным моментом является использование данного алгоритма в задачах сегментации. Ввиду этого необходимо произвести такое $H \rightarrow H'$, чтобы не произошло потери значимых районов на изображении из-за их слияния при сегментации. Как показывает практика, такое происходит из-за малых размеров получаемой палитры. По этой причине в качестве нижней границы был взят размер H'=256, что, с одной стороны, позволит избежать потери значимых мелких фрагментов. С другой стороны, уменьшит сложность алгоритма, так как адекватное отображение цветов изображения на основе небольшой палитры требует дополнительных операций. За основу брался алгоритм, рассмотренный в [15].

Реализация алгоритма

Представленный в статье алгоритм написан на языке Object Pascal и реализован в среде разработки Borland Delphi 7.

Основными переменными, используемыми в алгоритме, являются:

1. *Gist* – целочисленный динамический одномерный массив, содержащий значения представленных на изображении цветов в поле *Color* и число пикселей, имеющих такой цвет – *Count*. Максимальное значение, которое может храниться в ячейке, равно $2^{24} - R \times G \times B$.

2. *PtrGist* – одномерный массив. Содержит указатели на значение уникальных цветов в ячейке массива *Gist*.

3. *Space* – переменная типа запись, используемая для временного хранения i-го разбиения на подкубы цветового пространства. Содержит следующие поля: *first*, *last* – содержат границы цветового объема, вычисленные по координатам векторов RGB, массива *Gist*, имеющего наибольшую длину; *value* –.сумма значений массива *Gist* в пределах текущего ограничивающего объема; *number* – номер текущего подкуба; *Rmin, Rmax, Gmin, Gmax, Bmin, Bmax* – границы по RGB внутри текущего цветового объема.

4. *ASpace*, *BSpace* – новые подкубы, расположенные справа и слева от M, созданные на основе Space.

5. *LSpace* – контейнер списков. Содержит подкубы, на которые происходит деление цветового пространства H. В него вносятся *Space*, *ASpace*, *BSpace*.

6. *Step* – шаг кластеризации.

7. *Nspace* – число подкубов на текущий момент.

8. M – медиана. Принимает индекс ячейки массива *PtrGist.*

9. *Size* – размер кластера.

10. *Longsection* – текущий самый длинный отрезок из RGB.

11. C – желаемое количество цветов в палитре H'.

12. *Step* – шаг кластеризации.

Подготовка массива *Gist*:

Шаг 1: Сбор всех цветов, присутствующих на изображении размером $a \times b$, в массив *Gist*:

$$Gist[i].Color=RGB(h_j),\ j \in (0,\ a \times b),$$
$$RGB(h_j) \in (0,z),\ z \leq 2^{24},$$

где *RGB* – стандартная функция WinAPI, на вход которой подаются значения трех компонент цвета – от 0 до 255. Возвращаемое значение функции – результирующий цвет RGB.

Шаг 2: Выполняется фильтрация массива с целью оставить в нем уникальные цвета. В результате значения *Gist[i]* содержат цвет с изображения (поле *Color*) и число пикселей данного цвета (поле *Count*).

Асимптотическая сложность данного этапа составляет *O(n log(n))*.

Основные шаги алгоритма квантования:

Шаг 1: Создание массива *PtrGist*. Значение *PtrGistx[i]* указывает на ячейку не отсортированного массива *Gist*. Асимптотическая сложность: *O(n)*.

Вход: Одномерный массив цветов, присутствующих на изображении – *Gist*.

Выход: Массив указателей *PtrGist*.

```
for i=0 to High(Gist) do
PtrGist[j] = i, j ∈ (0, n − 1);
      j:= j +1;
end.
```

Шаг 2: Вычисление размера *Size* на основе *PtrGist*, разбиение цветового пространства на *w =(C/2)* диапазонов и внесение каждого в *LSpace*. В каждом кубе осуществляется формирование значение Space.value. Сложность: *O(n log(n))*.

Вход: Пустой список *Space*.

Выход: Список *Space* с *w* внесенными кубами.

Осуществляется подсчет размера кластера:

```
size =  (High(Gist)/maxcubes);
step = 2size;
```

Обработка и внесение *w* кластеров в список *Space*:

```
while step <= High(GistPtr) do
      Высчитывается Space.value для
 i-го кластера:
      for i := (size- step) to size-1 do
            if Gist[i].Color <> 0,
            Cube.count := Cube.count
        + Gist[i].Color*Hist[i].Count;
    end;
```

Заполнение оставшихся полей *Space*, вычисление ограничивающих диапазонов.

```
end.
```

Шаг 3: Продолжение доразбиения *w* до *C* кубов на основе поиска медианы. Извлечение из *Space* текущего куба. *O(n)*.

Шаг 4: Сортировка куба с наименьшим значением *number* вдоль самой длинной оси внутри границ first – last. Используется сортировка *quicksort*. Сложность *O(n log (n))*

Шаг 5: Вычисление значения медианы. Сложность *O(n/2)*.

Шаг 3:

Вход: Отсортированный текущий куб *Space*.

Выход: Значение медианы вдоль наибольшей координатной оси.

```
Repeat
      if value >= Space.value/2 break;
      Ccolor := GistPtr[i];
      value := value +
 (Gist[Ccolor].Color*Gist[Ccolor].Co
 unt);
      i = i +1;
Until i >= Space.Last-1.
```

Асимптотическая сложность алгоритма *O(n log(n))*.

На основе вычисленных значений палитры осуществляется перевод цветов изображения в цвета созданной палитры. Для этой задачи используется евклидова метрика [7].

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 2.

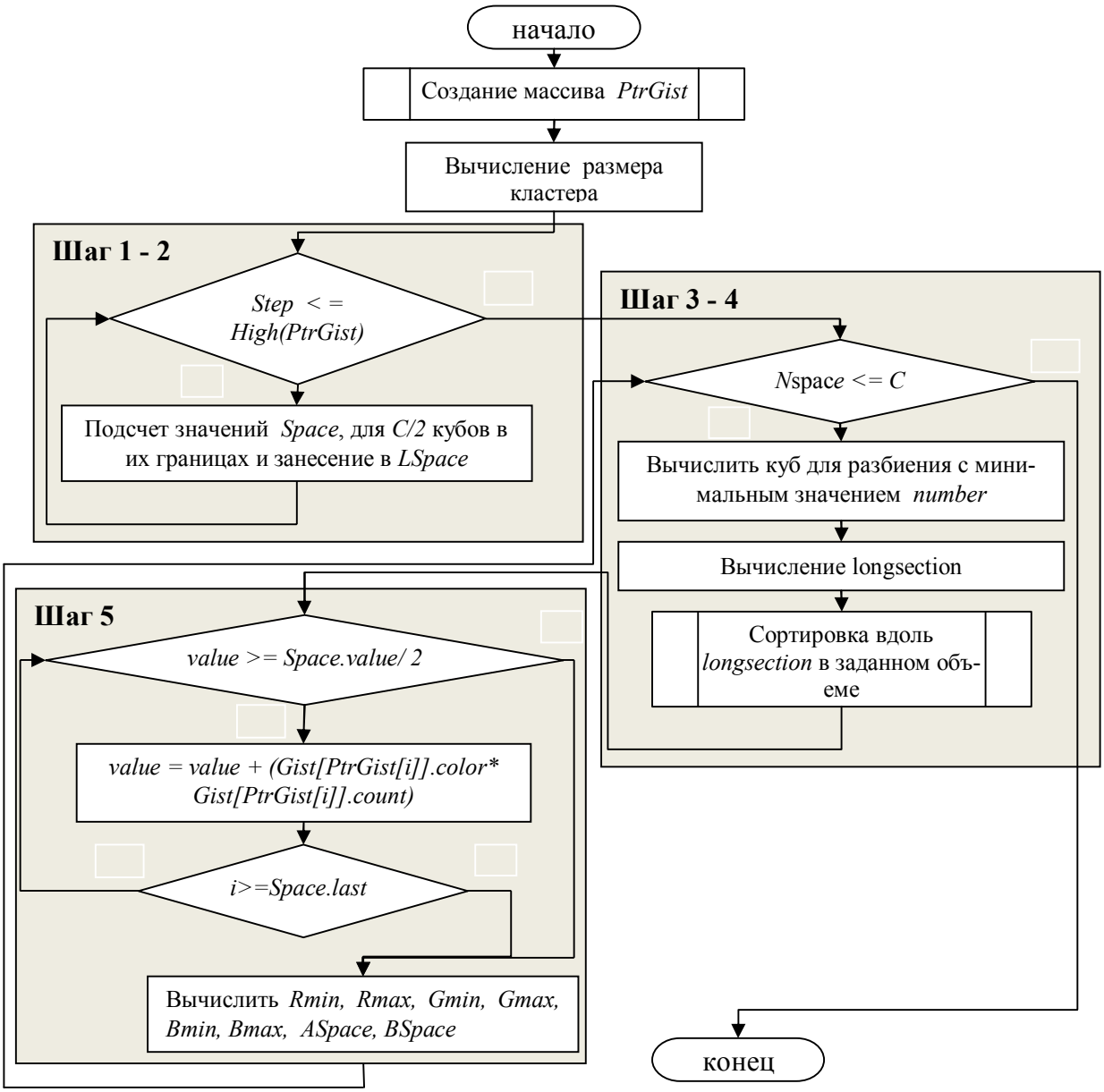


Рис. 2. Блок-схема алгоритма квантования

Результаты экспериментов

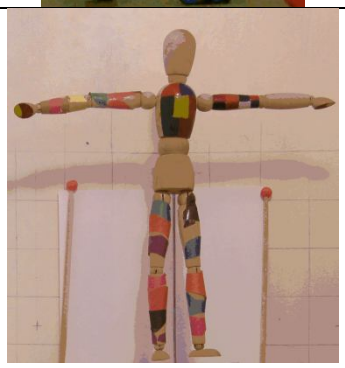
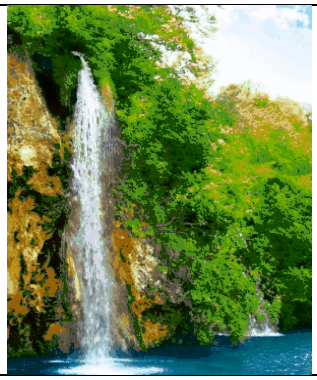
Для проверки работоспособности алгоритма были выбраны исходные изображения, представленные в таблице.

Изображения a), b) и c) получены в результате съемки фотокамерой Olympus SP-560UZ. Изображение d) взято из БД изображений. Результаты получены при обработке на ПК AMD Athlon 3 ГГц с 2 Гб оперативной памяти в Windows XP SP3 и представлены в таблице. Подсчет времени выполнения алгоритма осуществлялся при помощи команды GetTickCount.

В результате после применения алгоритма квантования на изображениях образовались однородные, хорошо идентифицируемые цветовые фрагменты благодаря более грубым перепадам цвета на границе областей.

На рисунке 3 представлено изображение *а*) и *в*), так как результаты их квантования являются наиболее наглядными. Белым цветом представлены границы цветовых фрагментов и фрагменты малого размера, которые являются шумом.

Результаты работы алгоритма

	Исходное изображение	Характеристики изображения и время выполнения алгоритма (мс)	Преобразованное к 256 цветам
а)		Размер:1290×1320 Кол. цветов: 100156 (6% уникальных цветов) Время: 32	
б)		Размер: 315×505 Кол. цветов: 41033 (26% уникальных цветов) Время: 16	
в)		Размер: 1060×1135 Кол. цветов: 77773 (7% уникальных цветов) Время: 31	
г)		Размер: 300×435 Кол. цветов: 85574 (66% уникальных цветов) Время: 15	

а) *в*)

Рис. 3. Пример однородных цветовых фрагментов на изображениях

Используя полученные данные, в которых осуществлена предварительная фрагментация, можно, используя алгоритм сегментации, создать карту сегментов. На основе такой карты появляется возможность определить области интереса и точки – представители этих областей, используя некоторые критерии.

Заключение

В представленной работе было проведено описание трехмерного метода квантования цвета изображений сечением цветовых осей. Он был исследован с точки зрения возможности создания на его основе алгоритма, простого в реализации, который может осуществлять разбиение цветового пространства без существенных потерь и формирование адаптивной палитры за приемлемое время.

В целом можно сказать, что на основании приведенных в таблице результатов представленный алгоритм квантования при C=256 справляется со своими задачами. Из возможных улучшений можно отметить следующее:

1) за счет модификации обработки цветов внутри созданного объема можно попытаться осуществить создание палитры с меньшим количеством цветов без существенных потерь для изображения;

2) для визуального уменьшения цветовых переходов на изображениях можно выполнить подсчет ошибки цветопередачи и рассеивание её по формуле Флойда-Стейнберга.

Список литературы

1. Deng Y., Manjunath B. S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001. Vol. 23, N 8. P. 800–810.

2. An efficient color quantization based on generic roughness measure / X. D. Yue, D. Q. Miao, L. B. Cao, Q. Wud, Y. F. Chen // Pattern Recognition. 2014. Vol. 47, N 4. P. 1777–1789.

3. Sharma G. Digital Color Imaging Handbook. CRC Press LLC. 2003. P. 764.

4. Velho L., Gomes J., Sobreiro M. Color image quantization by pairwise clustering // Proceedings of the 10th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. 1997. P. 203-210.

5. Scheunders P. A genetic C-means clustering algorithm applied to color image quantization // Pattern Recognition. 1997. Vol. 30, N 6. P. 859–866.

6. Wu X., Zhang K. A better tree-structured vector quantizer // Proceedings IEEE Data Compression Conference. 1991. P. 392–401.

7. Сорокин А. И. Алгоритм сегментации изображений натурных объектов // Сборник докладов 3-й школы молодых ученых ИПИ РАН (11 декабря 2012 г.). М.: ИПИ РАН, 2012. С. 55–66.

8. Hill F. S. Jr. Computer Graphics. Macmillna Publishing Co., 1990. P. 732.

9. Heckbert P. Color image quantization for frame buffer display // Computer Graphics. 1982. Vol. 16, N 3. P. 297–307.

10. Bloomberg D. S. Color quantization using octrees [Электронный ресурс]. URL: http://leptonica.net/papers/ colorquant.pdf.

11. Scheunders E. A genetic C-means clustering algorithm applied to color image quantization // Pattern Recognition. 1997. Vol. 30, N 6. P. 859–866.

12. Leptonica [Электронный ресурс]. URL: http://tpgit.github.io/UnOfficialLept-Docs/ leptonica/color-quantization.html.

13. Карабцев С. Н., Сорокин А. И. Сегментация рукописных и машинописных текстов методом диаграмм Вороного // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2010. № 1. С. 160–165.

14. Bloomberg D. S. Color quantization using modified median cut [Электронный ресурс]. URL: http://www.leptonica.com/ papers/mediancut.pdf.

15. Image J. [Электронный ресурс]. URL: https://imagej.nih.gov/ij/source/ij/ process/MedianCut.java.

Поступила в редакцию 10.04.18

UDC 004.896

A. I. Sorokin, Post-Graduate Student, Junior Researcher, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: andrey-sorok@yandex.ru)

V. N. Volkov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: vadimvolkov@list.ru)

Yu. O. Sorokina, Assistant, Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: smilova@rambler.ru)

ADAPTIVE COLOR SPACE QUANTIZATION ALGORITHM BASED ON THE MEDIAN CUT

In a high-quality color image, there are millions of different colors. The quantization of a digital image consists in reducing the color gamut of the image, which implies a reduction in information about the color, so that the resulting image is as similar as possible to the original image. Quantization of images is an important task in computer graphics and image processing, as this is a significant step in the processing and transformation of the color map of the image, in particular when segmenting. An important task when reducing the colors of an image is the task of balancing between complexity and quality.

There are a large number of methods and algorithms used to solve this problem. The task of quantizing a color usually consists of two parts: the first is the creation of a color palette; the second is the display of the pixels in the colors of the created palette. There are two ways to create a palette - image-dependent and independent. The definition of a common palette, by methods independent of the image, is carried out without taking into account the content of the image, which often leads to a decrease in the quality of the result. The generation of the image palette by dependent methods is based on the color distribution of the image, which improves the quality of the transformations, but can significantly increase the computational complexity.

In work, to reduce the image palette, the adaptive algorithm of quantization is presented. It is based on the division of the color space by the copper-section method. Initially, the values of the histogram containing the current colors are divided into ranges, and then their extrapolation by the median cross section to the required number of colors in the palette. Experimental data showing the results of application of the algorithm to images are presented.

Key words*: color quantization; median cross section; cluster; palette; cube; bar chart; color map.*

For citation: Sorokin A. I., Volkov V. N., Sorokina Yu. O. Adaptive color space quantization algorithm based on the median cut. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 63–72 (in Russ.).

***

References

1. Deng Y., Manjunath B. S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video. IEEE Trans. Pattern Analysis and Mashine Intelligence, 2001, vol. 23, no. 8, pp. 800–810.

2. Yue X. D., Miao D. Q., Cao L. B., Wud Q., Chen Y. F. An efficient color quantization based on generic roughness measure. Pattern Recognition, 2014, vol. 47, no. 4, pp. 1777–1789.

3. Sharma G. Digital Color Imaging Handbook. CRC Press LLC, 2003, p. 764.

4. Velho L., Gomes J., Sobreiro M. Color image quantization by pairwise clustering. Proceedings of the 10th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 1997, pp. 203–210.

5. Scheunders P. A genetic C-means clustering algorithm applied to color image quantization. Pattern Recognition, 1997, vol. 30, no. 6, pp. 859–866.

6. Wu X., Zhang K. A better tree-structured vector quantizer. Proceedings IEEE Data Compression Conference, 1991, pp. 392–401.

7. Sorokin A. I. Algoritm segmentacii izobrazhenij naturnyh ob"ektov. Sbornik dokladov 3-j ikoly molodyh uchenyh IPI RAN (11 dekabrya 2012 g.). Moscow, IPI RAN Publ., 2012, pp. 55–66.

8. Hill F. S. Jr. Computer Graphics. Macmillna Publishing Co., 1990, p. 732.

9. Heckbert P. Color image quantization for frame buffer display. Computer Graphics, 1982, vol. 16, no. 3, pp. 297–307.

10. Bloomberg D. S. Color quantization using octrees. URL: http://leptonica.net/ papers/colorquant.pdf.

11. Scheunders E. A genetic C-means clustering algorithm applied to color image quantization. Pattern Recognition, 1997, vol. 30, no. 6, pp. 859–866.

12. Leptonica. URL: http://tpgit.github. io/UnOfficialLept-Docs/ leptonica/color-quantization.html.

13. Karabcev S. N., Sorokin A. I. Segmentaciya rukopisnyh i mashinopisnyh tekstov metodom diagramm Voronogo. Vestnik VGU. Seriya: Cistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii, 2010, no. 1, pp. 160–165.

14. Bloomberg D. S. Color quantization using modified median cut. URL: http:// www.leptonica.com/papers/mediancut.pdf.

15. Image J. URL: https://imagej.nih. gov/ij/source/ij/ process/MedianCut.java.

УДК 004.056.5

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

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

С. В. Остроцкая, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (email:sveta.ostrotskaja@yandex.ru)

МОДЕЛЬ ИНТЕРАКТИВНОГО СПРАВОЧНОГО РЕСУРСА СВЕДЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ СУБЪЕКТОВ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В современном мире глобальной информатизации всех сфер человеческой деятельности персональные данные практически каждого субъекта обрабатываются и хранятся во многих информационных системах, различных по своей структуре, типу и отраслевой принадлежности, а также передаются в информационно-вычислительных сетях как закрытого, так и общего пользования. В связи с чем перед государством, различными организациями и самими субъектами стоит важная задача обеспечения безопасности как самих персональных данных (ПДн), так и информационных систем, их обрабатывающих.

Решение этой задачи регламентируется на законодательном уровне и помимо основного ФЗ №152 «О персональных данных» существующими нормативно-правовыми актами регуляторов в этой области, а также подчиненными ведомственными документами. Тем не менее общий уровень осведомленности операторов и субъектов персональных данных, а иногда специалистов по информационной безопасности в плане выполнения требований по защите ПДн оставляет желать лучшего.

Ключевым решением этих проблем представляется борьба с низким уровнем осведомленности вышеперечисленных категорий субъектов, повышение общего уровня компетентности граждан РФ в области защиты и обеспечения безопасности персональных данных. Иными словами – повышение правовой грамотности населения Российской Федерации, что, в свою очередь, может быть достигнуто при помощи создания единого информационного ресурса по безопасности ПДн с расширенной функциональностью.

В данной работе описывается модель интерактивно-справочного ресурса по безопасности ПДн, отличающаяся от известных справочных систем, с одной стороны, более узкой предметной областью, а с другой – наличием функционала, не присущего этим системам, позволяющего не только получать справочную информацию по нормативно-правовым актам, но и шаблоны необходимых организации документов для соблюдения требований законодательства, а также рекомендации и предложения зарегистрированных пользователей ресурса.

Ключевые слова: *персональные данные, безопасность персональных данных, справочные системы, интерактивно-справочный ресурс.*

Ссылка для цитирования: Калуцкий И. В., Спеваков А. Г., Остроцкая С. В. Модель интерактивного справочного ресурса сведений и рекомендаций в области безопасности субъектов персональных данных // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 73–81.

***

Введение

Система по защите прав субъектов персональных данных в Российской Федерации, которая сформировалась на протяжении последних нескольких лет, является эффективным механизмом, сочетающим в себе разнообразный инструментарий, отвечающий международным и общеевропейским принципам и стандартам [1].

Тем не менее, несмотря на качественно проработанную нормативно-правовую базу (НПБ) в области защиты персональных данных, создаются некото-

рые трудности, связанные с невысокой осведомленностью лиц об их правах в качестве субъектов персональных данных, а также самих операторов, руководителей разного уровня и даже начинающих специалистов по защите информации, особенно, что касается приведения информационной системы персональных данных (ИСПДн) в соответствие с требованиями законодательства.

Как и в других федеральных законах, в ФЗ №152 «О персональных данных» имеется множество ссылок на другие подзаконные акты, утвержденные уполномоченными органами, такие как ФСТЭК, Роскомнадзор и ФСБ, на которых лежат функции регуляторов в этой области [2]. Наиболее сложными из этих требований оказались обязательная сертификация средств защиты для базы ПДн и аттестация объектов. Данный вопрос и по сей день остается актуальным и вызывает много спорных мнений [3].

Постановка задачи

На сегодняшний день задача анализа и построения систем защиты персональных данных достаточно актуальна. Существуют различные требования и методики, которые регламентируют и одновременно облегчают решение указанной задачи. Тем не менее единого формализованного алгоритма, позволяющего путем четкого выполнения определенных действий получить искомый результат, сейчас нет [3].

Помимо прочего, актуальность предопределяется рядом проблем, которые связаны с наличием у отдельных операторов внутренних документов, не соответствующих требованиям действующего законодательства, и сотрудников, не имеющих специальных познаний в области защиты прав субъектов персональных данных (СПДн), а также наличием практики сбора операторами избыточных сведений персонального характера, которые запрашиваются у СПДн, и последующей дальнейшей обработки в случаях, не предусмотренных целями обработки [4].

В контексте обозначенных проблем крайне значимым с практической точки зрения представляется создание информационного ресурса, направленного на повышение общего уровня юридической грамотности и компетентности всех субъектов отношений, непосредственно связанных с персональными данными.

Ресурс позволит в интерактивной форме получить не только достоверную справочную информацию, но и практические рекомендации по целому ряду вопросов, таких как:

– приведение Информационной системы персональных данных в четкое соответствие согласно требованиям законодательства;

– подготовка документации для проведения аттестации ИСПДн;

– типовые формы различных документов о защите персональных данных;

– алгоритм действий при построении СЗПДн;

– ключевые моменты и нюансы всех работ, связанных с обеспечением защиты ПДн.

При создании такого ресурса предполагается учесть всю НПБ по вопросам, касающимся обеспечения безопасности персональных данных, а также опыт и наработки уже имеющихся справочных информационных систем, поскольку основополагающим элементом защиты ПДн является достаточное нормативно-правовое регулирование различных областей отношений, связанных с персональными данными.

Метод, предложенный в статье

Идея создания интерактивного информационно-справочного ресурса по безопасности персональных данных обу-

словлена необходимостью исключения субъективного толкования НПА в области государственно-правового регулирования персональных данных, повышения общей компетентности специалистов ИБ, руководителей разного уровня, операторов и самих субъектов ПДн [10].

Также предполагается, что ресурс оптимизирует доступ и поиск информации в области защиты ПДн, будет содержать необходимый набор шаблонов, требуемых для аттестации информационных систем персональных данных [3].

Следовательно, данный проект будет интересен: во-первых, руководителям всех организаций, являющихся операторами ПДн. Во-вторых, проект будет направлен на пользователей персональных данных, то есть людей, непосредственно осуществляющих обработку персональных данных. Также ресурс интересен субъектам персональных данных. Субъект персональных данных может в любой момент ознакомиться в справочнике со своими правами, а также проконтролировать свое руководство на выполнение необходимых и достаточных мер по обеспечению безопасности персональных данных. В-четвертых, проект окажется полезен для специалистов информационной безопасности, настоящих и будущих, так как справочный ресурс позволит повысить уровень мобильности, доступности информации, позволит быстро ознакомиться или освежить в памяти законодательную базу, просмотреть шаблоны и рекомендации по персональным данным.

Таким образом, создание данного ресурса будет являться не просто актуальным, это необходимый информационно-справочный ресурс узкой направленности, ключевой особенностью которого выступает наличие рекомендаций и шаблонов. Несмотря на широкую доступность основных НПА по безопасности ПДн в сети Интернет, обеспечить систематизированный поиск в гигантских базах данных и одновременно гарантировать достоверность приведенной информации могут только информационно-справочные поисковые системы.

Проведя сравнительный анализ между известными справочно-поисковыми системами и предлагаемой моделью интерактивного справочного ресурса, можно сказать, что несомненным плюсом всех этих систем является доступность. Следующим критерием, по которому оценивались системы, является достоверность информации, где сразу же проигрывают интерент-форумы. Удобство системы – важный фактор, тесно связанный с количеством документов, так как узконаправленная система всегда лучше, чем масштабная. В справочно-поисковых системах «Гарант», «Консультант Плюс» количество документов измеряется миллионами, и чтобы найти необходимую информацию, необходимо ввести правильный запрос, быть может, просмотреть не один документ, что влечет за собой временные потери, потому что это является критически важным для современного общества.

Существенное отличие интерактивного справочного ресурса – это наличие рекомендательной базы. Помимо прочего, ресурс предполагает наличие шаблонов, опираясь на которые можно создать документ конкретно под каждый тип организации, либо же взять готовые и заполнить их. Также в интерактивном справочном ресурсе будут описаны ситуации, проблемы, которые часто возникают у потенциальных пользователей системы.

В таблице отражены качественные критерии, по которым проводилось сравнение предлагаемой модели и известных справочно-информационных ресурсов в области нормативно-правовой документации.

Сравнительный анализ систем

Название системы	Доступность	Достоверность информации	Удобство	Время обновления инф.	Кол-во документов	Рекомендательная часть
Гарант/ Консультант Плюс	+	+	-	+	млн.	-
Форумы для ИБ специалистов	+	-	-	-	не определено	+
«Справочник»	+	+	+	+	все необходимые	+

В итоге можно сделать вывод, что справочный ресурс на основе предлагаемой модели будет лидировать по большинству критериев.

Требования предъявляются исходя из основных задач, присущих данному ресурсу, а именно – обеспечение доступа к актуальной правовой информации пользователей. Основными из них являются:

– удобство поиска документов по базе данных;

– проведение быстрого поиска необходимых документов;

– получение сведений обо всех изменениях в законодательстве;

– разъяснения специалистов;

– набор типовых решений.

Все документы, хранящиеся в справочной системе, должны будут поддерживаться в актуальном состоянии и полностью соответствовать требованиям законодательной базы. Буквально за несколько секунд можно будет получить доступ к любому нормативному документу в действующей редакции с учетом последних изменений.

Информационная система представляет собой профессиональное решение для специалистов, регулярно применяющих в своей деятельности нормы права, непосредственно относящиеся к вопросам безопасности персональных данных. Отличительной особенностью данной системы будет являться наличие технических и технологических документов и ориентация, в некоторой степени, на технических специалистов, специалистов информационной безопасности.

Пользователям данной системы будут доступны электронные тексты действующего законодательства, документы международного права, образцы документов, формы отчетности, справочные материалы, консультации и рекомендации по данному вопросу.

При создании информационно-справочной системы можно руководствоваться схемой, представленной на рисунке 1, где описаны связи внутри компонентов данной системы.

На рисунке 1 представлена четкая структура того, как формируются блоки, составляющие основу информационного ресурса. Данная структурно-функциональная схема предназначена для получения релевантной информации по организации системы.

На рисунке 2 представлена структура формирования вкладок предполагаемого web-интерфейса, которые напрямую соответствуют модулям схемы, представленной на рисунке 1.

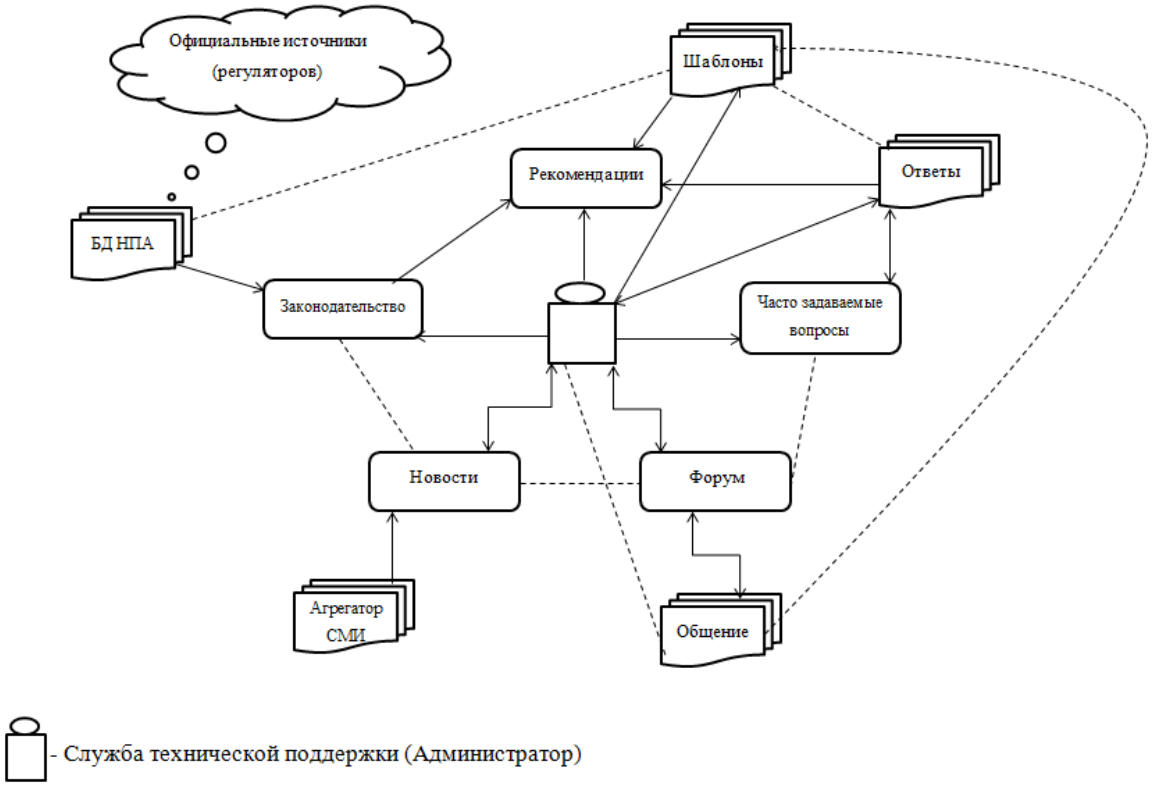


Рис. 1. Структурно-функциональная схема связей внутри модулей системы

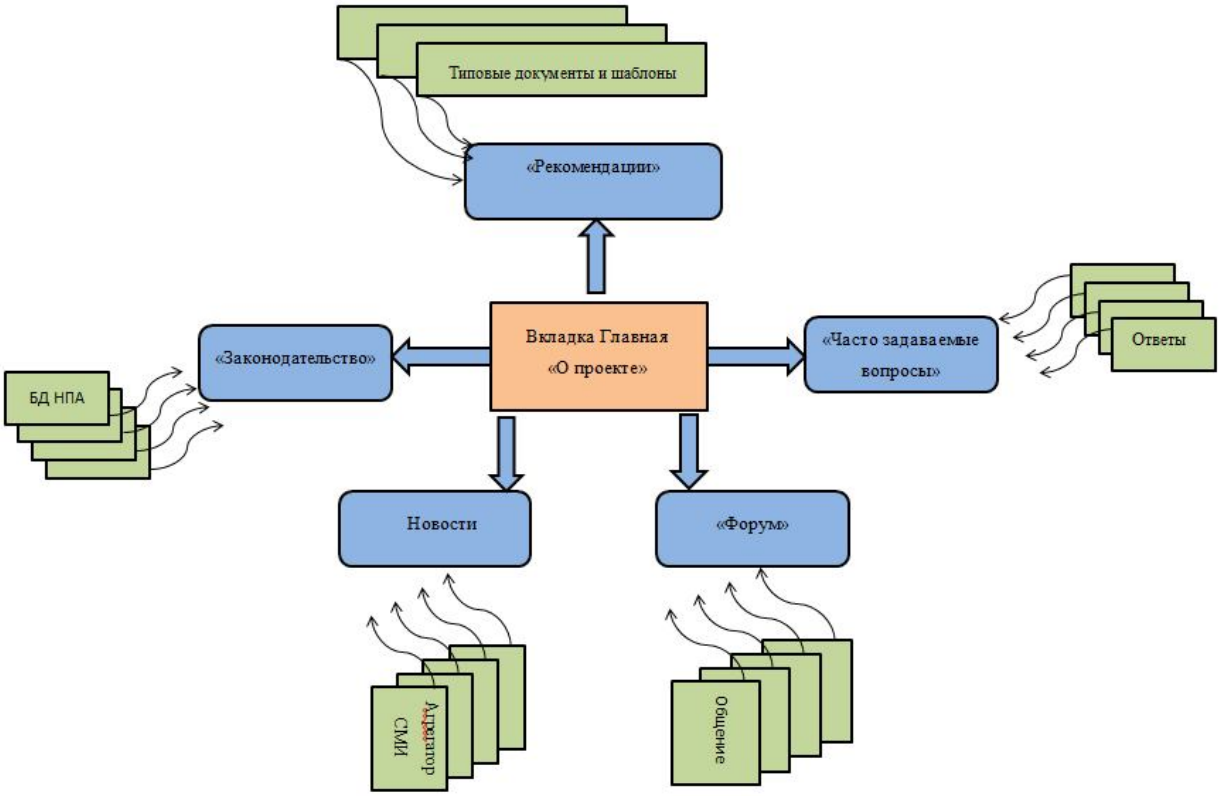


Рис. 2. Структурно-функциональная схема расположения вкладок

Модуль «Законодательство» формируется на основе базы данных нормативно-правовых актов, поступающих на основе прямых договоров об информационном обмене с органами власти и управления, судебными инстанциями, и имеет однонаправленную связь.

Модуль «Часто задаваемые вопросы» формируется исходя из однонаправленной связи с форумом посредством ИБ-специалиста. Специалист анализирует данные, полученные в ходе живого общения на форуме, с учетом своих знаний и умений формирует вкладку, которая, в свою очередь, имеет двунаправленную связь со вкладкой «Рекомендации», являющейся ключевой особенностью данной информационной системы. Информация, находящаяся на данной вкладке имеет сложную структуру, состоящую из связей с другими вкладками. Следовательно, «Рекомендации» формируются на основе законодательства, часто задаваемых вопросов, последних новостей под руководством ИБ-специалиста.

Модуль «Новости» формируется как при помощи агрегатора СМИ (новостного агрегатора), так и при помощи ИБ-специалиста, который будет иметь возможность написать новость самостоятельно. Возможность пользователей самостоятельно размещать новости не предусмотрена.

Численное моделирование (эксперимент)

В процессе моделирования интерактивного справочного ресурса была подтверждена адекватность предлагаемой модели. На вход модели подавался предварительно подготовленный тестовый набор запросов в произвольной форме в области безопасности субъектов ПДн. Далее группой экспертов производилась оценка времени и вероятности получения искомой информации и полноты соответствия запросу.

На рисунке 3 представлена временная диаграмма выполнения запросов, где отражены сравнительные результаты предлагаемой модели и известных информационно-справочных систем «Гарант» и «Консультант Плюс». На диаграмме видно, что предлагаемая модель лидирует по скорости обработки запросов.

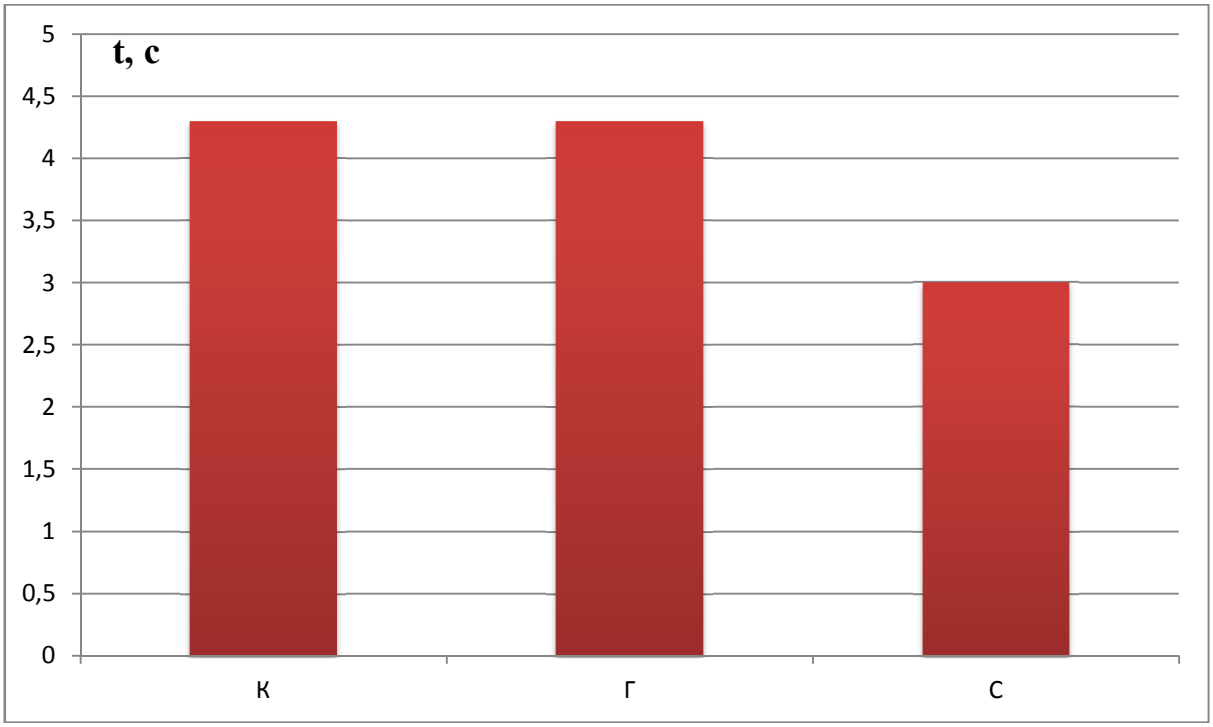


Рис. 3. Диаграмма временных параметров обработки запроса: К – «Консультант Плюс»; Г – «Гарант»; С – модель интерактивного справочного ресурса

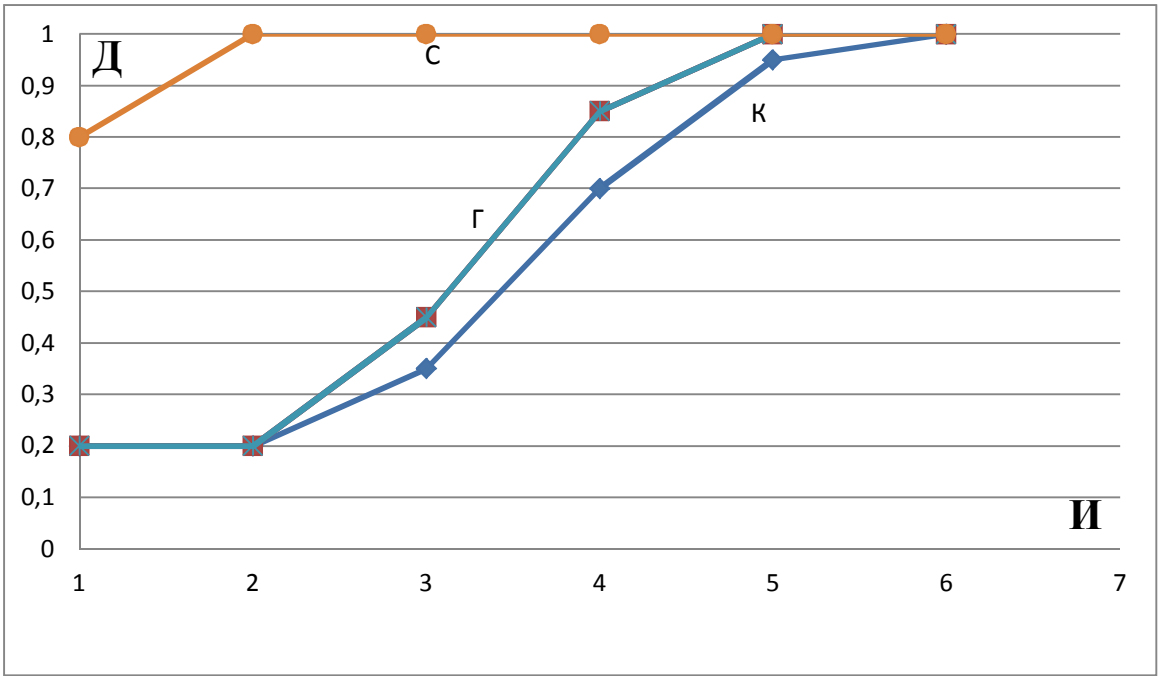


Рис. 4. График зависимости достоверности результата тестовых запросов от количества итераций: К – «Консультант Плюс»; Г – «Гарант»; С – модель интерактивного справочного ресурса

На рисунке 4 представлен график зависимости достоверности информации от количества итераций обработки запросов.

Как видно из результатов тестирования модели и сравнения с аналогами, выдача достоверного результата запроса для предлагаемой модели происходит уже на второй итерации, в то время как для известных справочных систем этот показатель начинается с 5-6 итераций подготовленных тестовых запросов.

Заключение

Предлагаемая к разработке модель интерактивного справочного ресурса сведений и рекомендаций в области безопасности субъектов персональных данных имеет ряд преимуществ, среди которых необходимо выделить следующие:

– полный набор методического обеспечения, необходимый и достаточный для организации типовых решений по организации защиты ИСПДн;

– выявлены моменты, которые вызывают наибольшую сложность при работе с персональными данными;

– предоставлен полный перечь НПА, связанных с персональными данными;

– четкая структура из взаимосвязанных разделов с разделенными функциями для последующего web-проектирования;

– удобный, отвечающий современным тенденциям интерфейс;

– широкий спектр развития информационного ресурса.

Учитывая вышеописанные преимущества модели, ее практическая реализация и внедрение на сегодняшний день является весьма актуальной задачей с практической точки зрения.

Список литературы

1. Стратегия институционального развития и информационно-публичной деятельности в области защиты прав субъектов персональных данных на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/ 71370118/ (дата обращения: 13.04. 18).

2. Спеваков А. Г., Фисун А. П. Основы правового обеспечения информационной безопасности: учебное пособие. Курск, 2013. Ч. 2. 303 с.

3. Калуцкий И. В., Рудак И. И., Бирюков В. И. Алгоритм автоматизированного построения комплекса защиты персональных данных // Телекоммуникации. 2015. № 5.

4. Обезличивание персональных данных при обработке в автоматизированных информационных системах / А. Г. Спеваков, И. В. Калуцкий, Д. А. Никулин, В. А. Шумайлова // Телекоммуникации. 2016. № 10. С. 16–20.

5. Спеваков А. Г., Фисун А. П. Основы правового обеспечения информационной безопасности: учебное пособие. Курск, 2013. Ч. 1. 150 с.

6. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ. URL: http://base.garant.ru/12125268/ (дата обращения: 13.04. 18).

7. Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах [Электронный ресурс]: приказ ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. №17 URL: http://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/ (дата обращения: 13.04. 18).

8. Спеваков А. Г., Панищев В. С., Таныгин М. О. Информационная безопасность: учебное пособие. Курск, 2016. 208 с.

9. Безопасность персональных данных, социальные сети и реклама в глобальной сети INTERNET / М. А. Ефремов, И. В. Калуцкий, М. О. Таныгин, И. И. Рудак // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 1 (22). С. 27–33.

10. Обзор подходов к определению актуальных угроз информации телекоммуникационным системам и предложения по их совершенствованию / М. А. Ефремов, И. В. Калуцкий, М. О. Таныгин, А. Г. Фрундин // Телекоммуникации. 2017. № 5. С. 27–33.

Поступила в редакцию 16.04.18

UDC 004.056.5

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

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

S. V. Ostrotskaya, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sveta.ostrotskaja@yandex.ru)

THE MODEL OF THE INTERACTIVE REFERENCE AND RESOURCE INFORMATION AND RECOMMENDATIONS IN THE FIELD OF PERSONAL DATA SUBJECTS SECURITY

In the modern world of global Informatization of all spheres of human activity, the personal data of almost every subject, are processed and stored in many information systems, different in structure, type and industry, and are transmitted in information and computer networks, both private and public. In this connection, the state, various organizations and the entities themselves have an important task to ensure the security of both personal data (PD) and information systems that process them.

The solution of this problem is regulated at the legislative level and in addition to the main Federal law №152 "On personal data", the existing regulatory legal acts in this area, as well as subordinate departmental documents. Nevertheless, the General level of operators awareness and personal data subjects, and sometimes information security specialists in terms of fulfilling the requirements for the protection of PD leaves much to be desired.

The key solution to these problems is to combat the low level of the above-mentioned categories awareness of subjects, to increase the General level of Russian citizens competence in the field of personal data protection and security. In other words - increase of legal literacy of the the Russian Federation's population

that, in turn, can be reached by means of creation of the uniform information resource on safety of PD with expanded functionality.

This paper describes a model of an interactive reference resource on PD security, which differs from the known reference systems on the one hand, a narrower subject area, and on the other-the availability of functionality that is not inherent in these systems, allowing not only to obtain reference information on regulatory legal acts, but also the templates of the necessary documents for the organization to comply with the requirements of legislation, as well as recommendations and suggestions of registered users of the resource.

Keywords: *personal data, personal data security, reference systems, online reference resource.*

For citation: Kalutskiy I. V., Spevakov A. G., Ostrotskaya S. V. The model of the interactive reference and resource information and recommendations in the field of personal data subjects security. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 73–81 (in Russ.).

***

References

1. Strategiya institucional'nogo razvitiya i informacionno-publichnoj deyatel'nosti v oblasti zashchity prav sub"ektov personal'nyh dannyh na period do 2020 goda. URL: http://base.garant.ru/ 71370118/ (accessed 13.04. 18).

2. Spevakov A. G., Fisun A. P. Osnovy pravovogo obespecheniya informacionnoj bezopasnosti. Kursk, 2013, pt. 2. 303 p.

3. Kaluckij I. V., Rudak I. I., Biryukov V. I. Algoritm avtomatizirovannogo postroeniya kompleksa zashchity personal'nyh dannyh. Telekommunikacii, 2015, no. 5.

4. Spevakov A. G., Kaluckij I. V., Nikulin D. A., Shumajlova V. A. Obezlichivanie personal'nyh dannyh pri obrabotke v avtomatizirovannyh informacionnyh sistemah. Telekommunikacii, 2016, no. 10, pp. 16–20.

5. Spevakov A. G., Fisun A. P. Osnovy pravovogo obespecheniya informacionnoj bezopasnosti. Kursk, 2013, pt. 1. 150 p.

6. Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii: feder. zakon ot 30 dekabrya 2001 g. № 197-FZ. URL: http://base.garant.ru/ 12125268/ (accessed 13.04. 18).

7. Ob utverzhdenii trebovanij o zashchite informacii, ne sostavlyayushchej gosudarstvennuyu tajnu, soderzhashchejsya v gosudarstvennyh informacionnyh sistemah. Prikaz FSTEHK Rossii ot 11 fevralya 2013 g. №17 URL: http://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/ (accessed 13.04. 18).

8. Spevakov A. G., Panishchev V. S., Tanygin M. O. Informacionnaya bezopasnost'. Kursk, 2016. 208 p.

9. Efremov M. A., Kaluckij I. V., Tanygin M. O., Rudak I. I. Bezopasnost' personal'nyh dannyh, social'nye seti i reklama v global'noj seti INTERNET. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, vol. 7, no. 1 (22), pp. 27–33.

10. Efremov M. A., Kaluckij I. V., Tanygin M. O., Frundin A. G. Obzor podhodov k opredeleniyu aktual'nyh ugroz informacii telekommunikacionnym sistemam i predlozheniya po ih sovershenstvovaniyu. Telekommunikacii, 2017, no. 5, pp. 27–33.

УДК 535.015 +57.087.1 + 004.418

Д. А. Кравчук, канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» ИНЭП (Таганрог, Россия) (e-mail:kravchukda@sfedu.ru)

И. Б. Старченко, д-р техн. наук, профессор, ООО «Параметрика» (Таганрог, Россия) (e-mail: ibstarchenko@gmail.com)

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ОТ АГРЕГИРОВАННЫХ ЭРИТРОЦИТОВ

Агрегация эритроцитов (красных кровяных клеток) в крови человека является нормальным явлением, гиперагрегация является патологическим состоянием. Это связано с широким спектром заболеваний, таких как острый инфаркт миокарда, церебральная ишемия, диабет и серповидноклеточная анемия. Это происходит из-за присутствия в крови больших белков плазмы или макромолекул (например, фибриногена).

Проведено двумерное моделирование оптоакустического сигнала (ОАС) на модельном срезе плазмы крови с агрегированными эритроцитами при гематокрите 40%. Разработан метод упаковки эритроцитов в агрегаты для формирования модельных образцов тканей.

В силу того, что акустические волны формируются при поглощении оптического излучения, обнаружение этих сигналов практически не чувствительно к оптическому рассеянию, поскольку ультразвуковое рассеяние в биотканях намного слабее, чем оптическое рассеяние. Оптические и термоупругие свойства ткани исследуются путем обнаружения волн давления с использованием ультразвуковых технологий после освещения лазерным излучением. Процесс теплового расширения актуален для диагностики в медицине, поскольку он может являться неинвазивным. Так как биологическая ткань имеет сходные с водой физические параметры, то формирование ОАС в жидких растворах имеет большое значение для изучения свойств тканей.

Метод может быть реализован для оценки уровня агрегации эритроцитов с помощью оптоакустического метода. Установлено, что уровень ОАС увеличивался с ростом процента агрегации эритроцитов, а также снижалась частота сигнала.

Рассчитанная модель позволяет регистрировать уровень агрегации моделируемых эритроцитов в крови с помощью эффекта оптоакустического взаимодействия при воздействии лазерного луча с длиной волны 1064 нм на модельные образцы клеток.

***Ключевые слова**: лазер, диагностика, оптоакустические волны, биожидкость, сферический поглотитель, гематокрит, спектральная плотность мощности.*

Ссылка для цитирования: Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Модель формирования оптоакустического сигнала от агрегированных эритроцитов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 82–90.

***

Введение

Оптические свойства включают оптическое рассеяние и оптическое поглощение. Оптическое рассеяние сильно связано с клеточными или субклеточными структурами ткани, такими как размер и плотность клеточного ядра [2–4]. Оптическое поглощение зависит от поглощающих биохимических соединений, представленных в биологической ткани. В пределах видимой и ближней инфракрасной области доминирующими внутренними поглощающими пигментами в ткани являются гемоглобин и меланин. Например, контраст оптического поглощения между кровью и окружающими мягкими тканями может составлять до 1000% для света с длиной волны 850 нм. Контраст оптического поглощения между опухолями и окружающими нормальными тканями может достигать 300% и даже выше в видимой области из-за высокого содержания крови в злокачественных опухолях. Поэтому ОА-методы, основанные на контрасте оптического по-

глощения, могут быть использованы для выявления метаболических процессов, связанных с гемоглобином, таких как изменения общей концентрации гемоглобина и насыщения кислородом гемоглобина (SO_2) для картирования ангиогенеза опухоли.

По сравнению с оптическим рассеянием ультразвуковое рассеяние на 2-3 порядка слабее в биологических тканях. Поэтому высокочастотный ультразвуковой сигнал обеспечивает лучшее пространственное разрешение в глубоких биологических тканях, чем существующее оптическое изображение. В результате способы визуализации, сочетающие оптический контраст с ультразвуковым детектированием, являются хорошими альтернативами для реализации высокой четкости изображения оптических свойств на большой глубине в биологических тканях.

При патологиях, включая большинство социально значимых заболеваний, таких как сахарный диабет, гипертензия, серповидная анемия, сепсис, ишемия, сердечно-сосудистые заболевания, различные типы воспалений и другие заболевания, наблюдается усиленная агрегация эритроцитов (АЭ) [1].

Оптикоаустические (АО) методы в биомедицине используют параметры: коэффициент теплового расширения, удельная теплоемкость, скорость звука, коэффициент поглощения. Эти параметры участвуют в преобразовании оптической энергии в акустическую энергию.

Постановка задачи

Когда короткоимпульсный лазер облучает биологическую ткань, широкополосные ОА-волны генерируются в результате временного термоупругого расширения внутри ткани. Поэтому используемый ультразвуковой детектор должен иметь сравнимую большую полосу пропускания и приблизительно равную чувствительность обнаружения во всей полосе частот для достижения высокого пространственного разрешения. Величина обнаруженных РА-волн пропорциональна локализованному поглощению оптической энергии в ткани, которая впоследствии может быть использована для визуализации или количественной характеристики различных тканевых структур и их физиологических функций на основе оптического поглощения.

Термическое расширение представляет собой процесс поглощения светового излучения в фиксированном объеме с последующей тепловой релаксацией. Рост температуры создает внутренне напряжение, которое распространяется через ткань. Для лазерных импульсов с малой длительностью давление линейно пропорционально плотности поглощенной энергии. Тип переходного оптоакустического процесса зависит от распределения поглощения. Доминирующий механизм при плотности мощности излучения меньше порога испарения, это термоупругое расширение [2-5].

Волновое уравнение при поглощении оптического излучения можно записать в виде

$$\nabla^2 p - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{C_p}\frac{\partial H}{\partial t}, \qquad (1)$$

где β – коэффициент теплового расширения;

C_p – теплоемкость;

v_s – скорость звука в жидкости;

H – тепловая энергия [7-10].

Будем считать поперечное распределение интенсивности света в пучке гауссовым, тогда граничное условие задачи дифракции будет в виде

$$p'\left(z=0,\tau,\mathbf{r}_\perp\right) = p_0\left(\tau\right)\exp\left(-\frac{\mathbf{r}_\perp^2}{a_0^2}\right), \qquad (2)$$

где $p_0(\tau)$ – профиль волны на границе поглощающей среды.

Гауссово поперечное распределение сохраняется, тогда решение может быть записано в следующем виде:

$$p'(z,\tau,\mathbf{r}_\perp)=\int_{-\infty}^{\infty}p_0(t)\,dt\left[\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\exp\left(-i\omega(\tau-t)-\frac{\mathbf{r}_\perp^2}{a_0^2}\frac{\omega}{\omega+i\frac{2c_0 z}{a_0^2}}\right)\left(\omega+i\frac{2c_0 z}{a_0^2}\right)^{-1}\omega\,d\omega\right], \quad (3)$$

где $\omega_a=\mu_a c_0$ – частота спектра ОА-сигнала;

$D=\omega_{DF}/\omega_a=2z/\mu_a a_0^2$ –расстояние (безразмерное), выраженное в количестве длин дифракции $L_D=\mu_a a_0^2/2$ на частоте ω_a.

Рассмотрим модель биопробы, на которую воздействует лазерный луч. Модель биопробы находится между лазером и поверхностью пьезоэлектрического преобразователя, расположенного под ней.

Параметры лазера для моделирования выберем для имеющейся установки LIMO 100-532/1064-U (табл.) [3; 4; 6].

Параметры установки
LIMO 100-532/1064-4

Длина волны лазера, λ	1064 нм
Частота импульсов, f_{rep}	10 кГц
Энергия, E	11 мДж
Длительность импульса, τ	84 нс
Луч (диаметр), *d*	3,5 мм

Методы исследования

В импульсной биомедицинской оптоакустике световой импульс нагревает поглотители внутри ткани, создавая повышение температуры, пропорциональное осажденной энергии. Световой импульс настолько короткий, что нагрев поглотителя происходит мгновенно без расширения (адиабатическое нагревание), что приводит к повышению давления. Результирующая волна давления (акустическая волна) будет распространяться через ткань и может быть обнаружена на поверхности ткани. Расстояние от оптоакустического источника до приемника можно определить, измеряя время между генерацией акустической волны (определяемой световым импульсом) и приходом акустической волны на поверхность ткани, используя скорость звука в ткани. Акустическая волна содержит информацию об оптических свойствах оптоакустического источника. Как уже упоминалось выше, необходимо ограничение, которое выполняется для длительностей светового импульса в несколько наносекунд для типичных коэффициентов поглощения (например, крови, меланина) и скорости звука в ткани.

Цель моделирования – разработать математическую модель биоткани и метод упаковки сфер (эритроцитов) в агрегаты, затем разработать математическую модель, описывающую формирование ОАС от агрегированных эритроцитов, при разных процентах агрегации.

Решая неоднородное уравнение (1), получим аналитическое решение уравнения для сферических поглотителей.

Давление ОАС на расстоянии *r* найдем как суперпозицию сферических волн, формируемых отдельными *n* источниками [2; 9; 10–14]:

$$p_f^{\Sigma}(\tau)\approx\frac{i\mu\beta F\nu_s^2}{2\pi C_p(r/a)}\int_{-\infty}^{\infty}dq\,\frac{[\sin q-q\cos q]}{q\left[(1-\rho)\left(\frac{\sin q}{q}\right)-\cos q+i\rho\nu\sin q\right]}e^{-iq\tau}\sum_{n=1}^{N}e^{-ik_f r_n}, \quad (4)$$

где q – безразмерная частота;

α – радиус поглотителя сферической формы;

$\nu=\nu_s/\nu_f$ и $\rho=\rho_s/\rho_f$ – безразмерные величины, рассчитываемые как отношения скорости звука и плотности соответственно;

s и f – индексы, соответствующие поглотителю и окружающей жидкой среде соответственно;

τ – безразмерное время;

ν_s – скорость звука в освещенной области [2; 9; 10-14].

Моделирование будем проводить для образцов крови при гематокрите 40% и при разных формах агрегации, затем исследуем полученный ОА-сигнал.

При создании плотно упакованных кластеров эритроцитов будем использовать гексагональную схему упаковки. При этом плотность упаковки окружностей (сфер) может достигать до 90% при двумерном моделировании. Такую схему упаковки можно использовать для агрегации окружностей, представляющих собой модели эритроцитов, для формирования агрегатов. Сгенерированный кластер поместим случайно в область ткани, проведем расчеты для 250 образцов ткани (рис. 4). Метод гексагональной упаковки очень быстрый, потому что ячейки размещаются в заданных местоположениях в пространстве и позволяют сформировать компактные кластеры [15; 16].

Результаты и их обсуждение

Проведенные расчеты по разработанной модели позволяют, зная закон формирования амплитуды давления оптоакустического сигнала, установить факт агрегации эритроцитов и степень агрегации. Для этого сформируем распределение эритроцитов на заданной площади 100*100 мкм, количество сфер (эритроцитов) будет равно 168 (рис. 1).

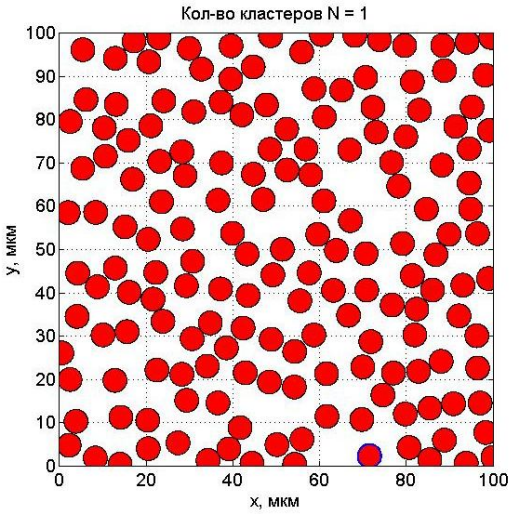


Рис. 1. Моделируемый разрез ткани неагрегированных эритроцитов. Гематокрит 40%

На рисунке 2 представлена спектральная плотность мощности 168 неагрегированных эритроцитов.

На рисунке 3 показаны сигналы от двух агрегатов с количеством эритроцитов 19 шт. в каждом (см. рис. 4) на площади моделирования, равной 10^{-8} м^2. Красным цветом выделена огибающая сигнала.

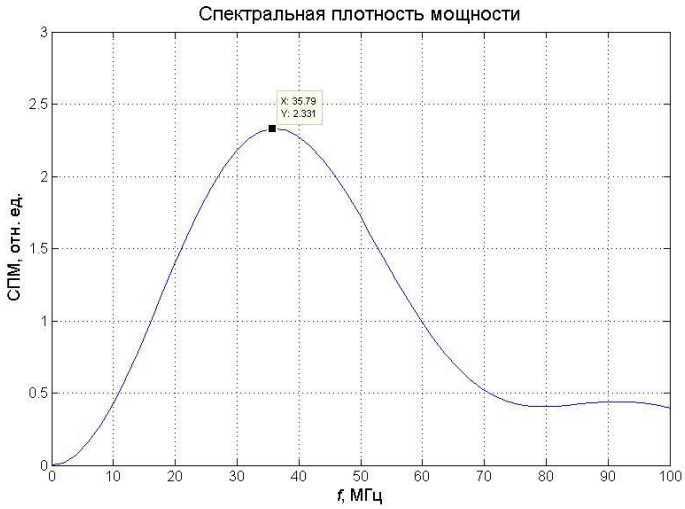


Рис. 2. Спектральная плотность мощности неагрегированных эритроцитов. Количество неагрегированных эритроцитов 168

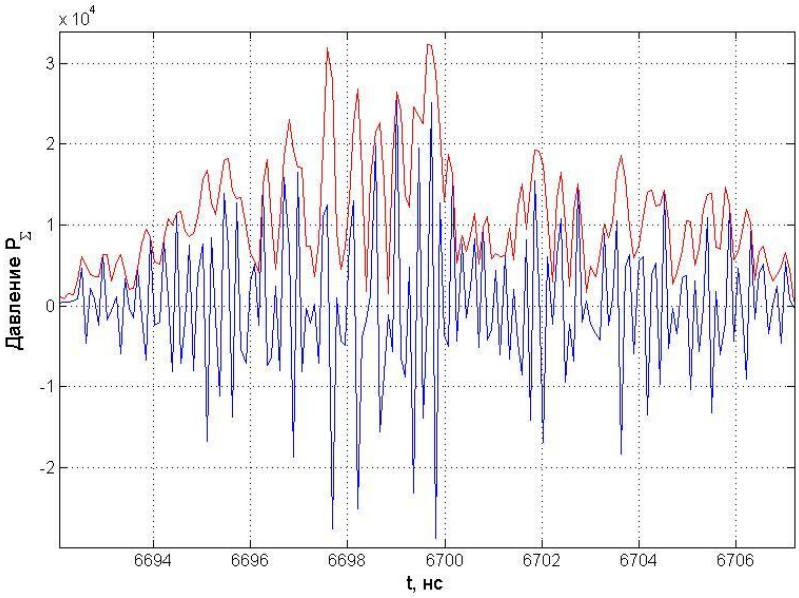


Рис. 3. Давление, создаваемое двумя агрегатами с 38 эритроцитами и 130 неагрегированными эритроцитами (по вертикальной оси – давление в безразмерных единицах)

Рисунок 4 представляет собой модельный образец крови размером 100*100 мкм и содержит два агрегированных кластера эритроцитов размером R_g = 8.99 мкм с процентом агрегации 22,6%.

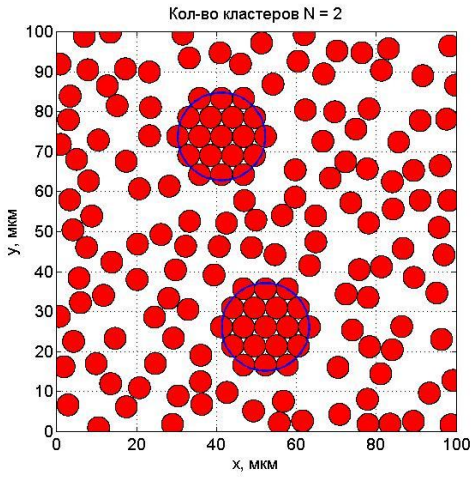


Рис.4. Количество эритроцитов в кластере 19, радиус агрегата Rg = 8,99 мкм. Количество неагрегированных эритроцитов 130. Процент агрегации 22,6%

На рисунке 5 представлена расчетная зависимость спектральной плотности мощности агрегированных эритроцитов от частоты. Количество неагрегированных эритроцитов 168.

Модель была простроена и рассчитана в оболочке Matlab, результаты расчетов представлены на рисунках 3 и 4.

В результате моделирования при заданных значениях агрегации эритроцитов (8%, 22%, 44% и 73%) было установлено, что уровень оптико-акустического сигнала увеличивался при росте процента агрегации эритроцитов, а также снижалась частота сигнала (рис. 6).

Следует отметить, что мы не учитывали эффекты двойного многократного рассеяния световых волн, а коэффициенты оптического поглощения клеток считались равными. Проведенное исследование является продолжением работы над изучением формирования оптоакустического сигнала в биологических жидкостях и позволяет продолжить исследования в направлении определения уровня оксигенации [17; 18].

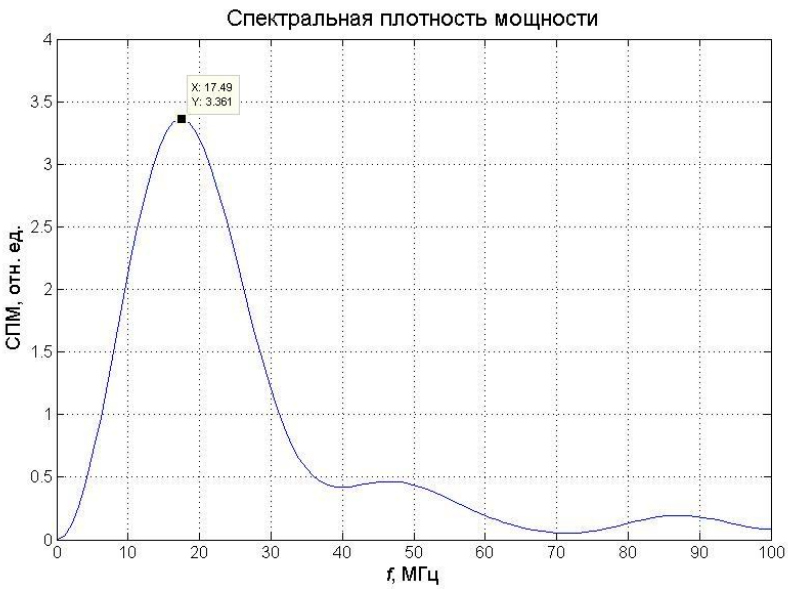


Рис. 5. Спектральная плотность мощности агрегированных эритроцитов. Процент агрегации 22,6%

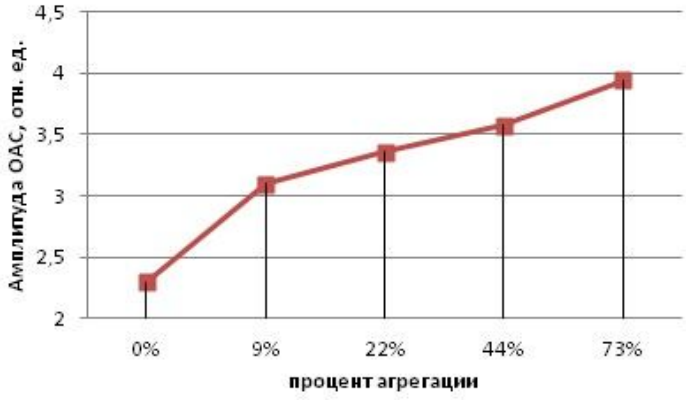


Рис. 6. Зависимость амплитуды ОАС от процента агрегации

Список литературы

1. Combined ultrasound and photoacoustic imaging to detect and stage deep vein thrombosis: Phantom and ex vivo studies / A. B. Karpiouk, S. R. Aglyamov, S. Mallidi, J. Shah, W. G. Scott, J. M. Rubin, and S. Y. Emelianov // J. Biomed. Opt. 2008. N 13 (5). P. 1–8.

2. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Математическое моделирование оптико-акустического сигнала от сферических поглотителей на примере эритроцитов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 7, № 3 (24). С. 101–107.

3. Старченко И. Б., Кравчук Д. А., Кириченко И. А. Прототип оптоакустического лазерного цитомера // Медицинская техника. 2017. № 5. С. 4–7.

4. Кравчук Д. А. Система проточной лазерной диагностики жидкостей при генерации оптоакустического сигнала на рассеивателях сферической формы // Качество и жизнь. 2017. № 4. С. 74–78

5. Кравчук Д. А. О методе моделирования оптоакустических сигналов от источников сферической формы на примере эритроцитов // Качество и жизнь. 2017. № 4. С. 78–80.

6. Starchenko I. B., Kravchuk D. A., Kirichenko I. A. An Optoacoustic Laser Cytometer Prototype // Biomedical Engineering. 2018. Vol. 51, N 5. P. 308–312.

7. Savery D., Cloutier G. Effects of red blood cell clustering and aisotropy on ultrasound blood backscatter: A Monte Carlo study // IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. 2005. Vol. 52. P. 94–103.

8. Imaging of hemoglobin oxygen saturation variations in single vessels in vivo using photoacoustic microscopy / H. F. Zhang, K. Maslov, M. Sivaramakrishnan, G. Stoica, L. V. Wang // Appl. Phys. Lett. 2007. Vol. 90. P. 1–3.

9. Diebold G. J. Photoacoustic monopole radiation: Waves from objects with symmetry in one, two and three dimensions. in Photoacoustic Imaging and Spectroscopy; edited by L. V. Wong // Taylor & Francis Group, LLC, London, 2009. P. 3–17.

10. Beard P. Biomedical photoacoustic imaging // Interface Focus 1. 2011. P. 602–631.

10. Кравчук Д. А. Экспериментальные исследования и моделирование процесса генерации оптоакустических волн // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2017. Т. 45, № 2. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234.

11. Кравчук Д. А. Теоретические исследования генерации оптоакустических волн в жидкости цилиндрическими поглотителями // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2017. Т. 46, №3. URL: http://ivdon.ru/ru/ magazine/archive/N3y2017/4350 ISSN 2073-8633.

12. Кравчук Д. А. Аналитический результат генерации оптоакустических волн для сферических поглотителей в дальнем поле // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2017. Т. 47, №4. URL: http://ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n4y2017/4436.

14. Кравчук Д. А. Применение оптоакустических методов в биомедицинских исследованиях // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2017. № 4. URL: http://www.ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n4y2017/4484.

15. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Mathematical model of aggregation of erythrocytes for a research by an optoacoustic method // Качество и жизнь. 2018. № 1 (18). С. 41–43.

16. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Моделирование процесса насыщения кислородом биологических тканей с помощью оптоакустического метода/ Институт аналитического приборостроения РАН // Научное приборостроение. Санкт-Петербург. 2018. Т. 28, № 2. С. 20–24.

17. Кравчук Д.А. Особенности формирования оптоакустических волн в биологических тканях // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал. 2018. Т. 47, № 1 (47). С. 36. URL: http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4766.

18. Кравчук Д. А., Старченко И. Б. Моделирование процесса насыщения кислородом биологических тканей с помощью оптоакустического метода / Институт аналитического приборостроения РАН // Научное приборостроение. Санкт-Петербург. 2018. Т. 28, № 2. С. 20–24.

Поступила в редакцию 23.03.18

UDC: 535.015 +57.087.1 + 004.418

D. A. Kravchuk, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southern Federal University, department of electrohydroacoustic and medical equipment (Taganrog, Russia) (email: Kravchukda@sfedu.ru)

I. B. Starchenko, Doctor of Engineering Sciences, OOO Parametika (Taganrog, Russia) (e-mail: ibstarchenko@gmail.com)

THE MODEL OF THE FORMATION OF AN OPTOACOUSTIC SIGNAL FROM AGGREGATED ERYTHROCYTES

Aggregation of erythrocytes (red blood cells) in human blood is normal, hyperaggregation is a pathological condition. This is due to a wide range of diseases, such as acute myocardial infarction, cerebral ischemia, diabetes and sickle-cell anemia. This is due to the presence in the blood of large proteins of plasma or macromolecules (for example, fibrinogen).

Two-dimensional modeling of the optoacoustic signal (OAS) on the model section of blood plasma with aggregated erythrocytes with a 40% hematocrit was carried out. Developed by the method of packing erythrocytes in aggregates for the formation of model tissue samples.

Since acoustic waves are generated by absorbing optical energy, the detection of such signals is less susceptible to optical scattering, because Acoustic scattering in biological tissues is much weaker than optical scattering. The optical and thermoelastic properties of the tissue are investigated by detecting pressure waves using ultrasonic technology after illumination with laser radiation. The mechanism of thermal expansion is of interest for use in medical diagnostics, since it can be non-invasive. Since biological tissue has physical parameters similar to water, the generation of OAS in aqueous solutions is of great importance for the visualization of tissues.

The method can be implemented to assess the level of aggregation of erythrocytes using the optoacoustic method. It was established that the OA signal level increased as the percentage of erythrocyte aggregation increased, and the frequency of the signal decreased.

The calculated model allows us to conclude that the level of aggregation of erythrocytes in the blood can be registered with the help of an optoacoustic effect resulting from the action of laser radiation with a wavelength of 1064 nm on model cell samples.

***Key words**: laser, diagnostics, optoacoustic waves, biofluids, spherical absorber, hematocrit, spectral power density.*

For citation: Kravchuk D. A., Starchenko I. B. The model of the formation of an optoacoustic signal from aggregated erythrocytes. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 8, no. 2 (27), pp. 82–90 (in Russ.).

***

References

1. Karpiouk A. B., Aglyamov S. R., Mallidi S., Shah J., Scott W. G., Rubin J. M., Emelianov S. Y. Combined ultrasound and photoacoustic imaging to detect and stage deep vein thrombosis: Phantom and ex vivo studies. J. Biomed. Opt., 2008, no. 13 (5), pp. 1–8.

2. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Matematicheskoe modelirovanie optikoakusticheskogo signala ot sfericheskih poglotitelej na primere ehritrocitov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, vol. 7, no. 3 (24), pp. 101–107.

3. Starchenko I. B., Kravchuk D. A., Kirichenko I. A. Prototip optoakusticheskogo lazernogo citomera. Medicinskaya tekhnika, 2017, no. 5, pp. 4–7.

4. Kravchuk D. A. Sistema protochnoj lazernoj diagnostiki zhidkostej pri generacii optoakusticheskogo signala na rasseivatelyah sfericheskoj formy. Kachestvo i zhizn', 2017, no. 4, pp. 74–78

5. Kravchuk D. A. O metode modelirovaniya optoakusticheskih signalov ot istochnikov sfericheskoj formy na primere ehritrocitov. Kachestvo i zhizn', 2017, no. 4, pp. 78–80.

6. Starchenko I. B., Kravchuk D. A., Kirichenko I. A. An Optoacoustic Laser Cytometer Prototype. Biomedical Engineering, 2018, vol. 51, no. 5, pp. 308–312.

7. Savery D., Cloutier G. Effect's of red blood cell clustering and aisotropy on ultrasound blood backscatter: A Monte Carlo study. IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 2005, vol. 52, pp. 94–103.

8. Zhang H. F., Maslov K., Sivaramakrishnan M., Stoica G., Wang L. V. Imaging of hemoglobi'n oxygen sa'turation variations in single vessels in vivo using p'hotoacousti'c microscopy. Appl. Phys. Lett, 2007, vol. 90, pp. 1–3.

9. Diebold G. J. Photoacoustic monopol'e radiation: Waves from objects with symmetry in one, two and three dimensions. in Photoacousti'c Imaging and Spectroscopy; edited by L. V. Wong. Taylor & Francis Group, LLC, London, 2009, pp. 3–17.

10. Beard P. Biomedical photoacoustic imaging. Interface Focus 1, 2011, pp. 602–631.

10. Kravchuk D. A. Ehksperimental'nye issledovaniya i modelirovanie processa generacii optoakusticheskih voln. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, vol. 45, no. 2. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4234.

11. Kravchuk D. A. Teoreticheskie issledovaniya generacii optoakusticheskih voln v zhidkosti cilindricheskimi poglotitelyami. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, vol. 46, no. 3. URL: http://ivdon.ru/ru/ magazine/archive/N3y2017/4350 ISSN 2073-8633.

12. Kravchuk D. A. Analiticheskij rezul'tat generacii optoakusticheskih voln dlya sfericheskih poglotitelej v dal'nem pole. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, vol. 47, no. 4. URL: http://ivdon.ru/ru/maga-zine/archive/ n4y2017/4436.

14. Kravchuk D. A. Primenenie optoakusticheskih metodov v biomedicinskih issledovaniyah. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, no. 4. URL: http://www.ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n4y2017/4484.

15. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Mathematical model of aggregation of erythrocytes for a research by an optoacoustic method. Kachestvo i zhizn', 2018, no. 1 (18), pp. 41–43.

16. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Modelirovanie processa nasyshcheniya kislorodom biologicheskih tkanej s pomoshch'yu optoakusticheskogo metoda. Institut analiticheskogo priborostroeniya RAN. Nauchnoe priborostroenie. Sankt-Peterburg, 2018, vol. 28, no. 2, pp. 20–24.

17. Kravchuk D.A. Osobennosti formirovaniya optoakusticheskih voln v biologicheskih tkanyah. Inzhenernyj vestnik Dona: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal, 2018, vol. 47, no. 1 (47). pp. 36. URL: http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4766.

18. Kravchuk D. A., Starchenko I. B. Modelirovanie processa nasyshcheniya kislorodom biologicheskih tkanej s pomoshch'yu optoakusticheskogo metoda. Institut analiticheskogo priborostroeniya RAN. Nauchnoe priborostroenie. Sankt-Peterburg, 2018, vol. 28, no. 2, pp. 20–24.

УДК 617.008:431.23(874-21)

С. Н. Сахнов, канд. мед. наук, канд. экон. наук, заслуженный врач РФ, академик РАЕН, Краснодарский филиал ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза им. акад. С. Н. Федорова» (Краснодар, Россия) (e-mail: tan_rad@mail.ru)

В. В. Аксёнов, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: vitalaxen@mail.ru)

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБОЙ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ГЛАУКОМЫ И КАТАРАКТЫ

Глаукома и катаракта являются основными причинами потери зрения и слепоты во многих странах, в том числе в Российской Федерации. Выявление данных заболеваний на ранних стадиях позволит уменьшить риск развития негативных последствий. Одним из путей решения данной проблемы считается выявление заболеваний на основе скрининговых исследований факторов риска и компьютерных технологий. Цель исследования – разработка компьютерной системы поддержки принятия решений врача-офтальмолога для выявления катаракты и глаукомы на ранних стадиях с учетом факторов риска. Разработка компьютерной системы управления офтальмологической службой при выявлении глаукомы и катаракты проводилась в соответствии с ГОСТом 24.602-86 «АСУ, состав и содержание работ по стадиям создания». Создано новое информационное обеспечение в соответствии с целью и решаемыми задачами, которое содержит многоплановую информацию о различных факторах риска глаукомы и катаракты.

Проведена адаптация математического обеспечения, представленного процедурой А. Вальда. В качестве программного продукта в компьютерной системе применялась «Statistica 6.0». Разработанная компьютерная система поддержки принятия решений врача-офтальмолога для выявления глаукомы и катаракты на ранних стадиях включает 7 подсистем: медико-демографических, социально-гигиенических факторов риска; сопутствующей офтальмологической заболеваемости, анамнестических данных, результатов объективного обследования, оценки прогностической значимости признаков и подсистему выработки рекомендаций.

Клинические испытания компьютерной системы на 123 больных с катарактой и глаукомой показали достаточную эффективность и качество формулируемых рекомендаций для врачей-офтальмологов и определение группы риска одного обследуемого за 7,8±0,9 минуты против 42,6±1,3 минуты при выявлении с помощью анкет и опросников. При применении данной компьютерной системы в 2017г. увеличилось на 23,5% число больных, прошедших профилактический офтальмологический осмотр.

Ключевые слова: *компьютерные технологии, катаракта, глаукома, офтальмология.*

Ссылка для цитирования: Сахнов С. Н., Аксёнов В. В. Компьютерная система управления офтальмологической службой при выявлении глаукомы и катаракты // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2017. Т. 8, № 2 (27). С. 91–100.

***

Введение

По данным различных исследований, в мире насчитывается от пяти до десяти миллионов человек, которые ослепли следствие глаукомы. Это заболевание занимает второе место после катаракты как наиболее распространенная причина потери зрения [1; 2; 3]. В структуре причин слепоты доля глаукомы остается стабильно большой: от 14–15% – в России и Югославии до 33% – в Норвегии [4].

Глаукома является не только распространенным, но и тяжелым заболевание глаз, которое встречается в разнообразных клинических формах у людей различного возраста, включая новорожденных [5-7]. Согласно международным публикациям, в 2010 г. в мире насчитывалось 60,5 миллиона больных глаукомой, а к 2020 г. прогнозируется число таких больных до 80 миллионов [8]. Относительно высокая распространенность глаукомы во всех странах мира и ее место в структуре слепоты и слабовидения побуждают исследователей на всех континентах проводить эпидемиологические

исследования этого заболевания [9-13]. Эпидемиология глаукомы имеет исключительно важное значение для разработки соответствующей стратегии государств и здравоохранения [14].

Однако в многих публикациях сообщается о высокой распространённости в различных странах другой социально значимой патологии глаза – катаракте [15-19].

Катаракта является наиболее частой причиной устранимой слепоты в мире, удельный вес которой составляет 47% от общего числа глазной заболеваемости [18-21]. Поэтому катаракта рассматривается не только как одна из актуальных проблем офтальмологии, но и как важнейшая мировая медико-социальная проблема [22-24].

В связи с увеличением продолжительности жизни населения в экономически развитых странах к 2020 г. прогнозируется повышение количества больных катарактой до 40 миллионов человек [25]. В частности, в США прогнозируется к указанному году рост численности больных катарактой на 50 % [25].

Таким образом, высокая распространенность глаукомы и катаракты, развитие обратимой и необратимой слепоты вследствие данной патологии определяют указанные заболевания как приоритетную медико-социальную проблему, одним из путей решения которой является раннее выявление заболеваний на основе скрининговых исследований и компьютерных технологий.

Цель исследования – разработка компьютерной системы поддержки принятия решений врача-офтальмолога для выявления катаракты и глаукомы на ранних стадиях с учетом факторов риска (ФР).

Материал и методы

Разработка компьютерной системы управления офтальмологической службой при выявлении глаукомы и катаракты проводилась нами в соответствии с ГОСТом 24.602-86 «АСУ, состав и содержание работ по стадиям создания». В соответствии с указанным документом выполнены работы по информационному, математическому, программному, алгоритмическому обеспечению.

Информационное обеспечение созданной нами компьютерной системы строилось после углубленного патентно-информационного поиска по данной проблеме, экспертного анализа и разведочного анализа, показавших отсутствие подобных компьютерных систем, способных решать задачи по раннему выявлению катаракты и глаукомы на основе изучения распространенности различных ФР и определения их прогностической значимости. В связи с этим информационное обеспечение разработанной компьютерной системы включало информацию о различных ФР у больных глаукомой и катарактой (основная группа) и среди пациентов аналогичного возраста без глаукомы и катаракты. В информационное обеспечение включалась также сопутствующая офтальмологическая патология.

Математическое обеспечение основано на процедуре А. Вальда, модифицированной для медицинских приложений Е. Гублером и А. Генкиным. Данная процедура использовалась в математическом обеспечении, поскольку каждый признак x_i может быть представлен системой градации x_k.

В основу процедуры А.Вальда положен расчёт диагностических коэффициентов по следующей формуле:

$$\text{ДК}=\sum_{i=1}^{n} 10\,lg\frac{P(\frac{x_{ik}}{w_l})}{P(\frac{x_{ik}}{w_r})},$$

где w_l и w_r – пара альтернативных диагностических классов (диагнозов);

x_{ik} – значение k-й градации информативного признака x_i (i=1, …, n);

n – размерность пространства признаков;

$P(\frac{x_{ik}}{w_l})$ – частота появления k-й градации i-го признака в классе w_l;

$P(\frac{x_{ik}}{w_r})$ – то же в классе w_r.

При обработке данных в качестве программного продукта использовался пакет «Statistica 6.0».

Алгоритмическое обеспечение компьютерной системы управления офтальмологической службой при выявлении глаукомы и катаракты представлено созданным нами алгоритмом.

Результаты и обсуждение

Для достижения заданной цели нами разработана компьютерная система поддержки принятия решений врача-офтальмолога, основные подсистемы которой представлены на рисунке 1.

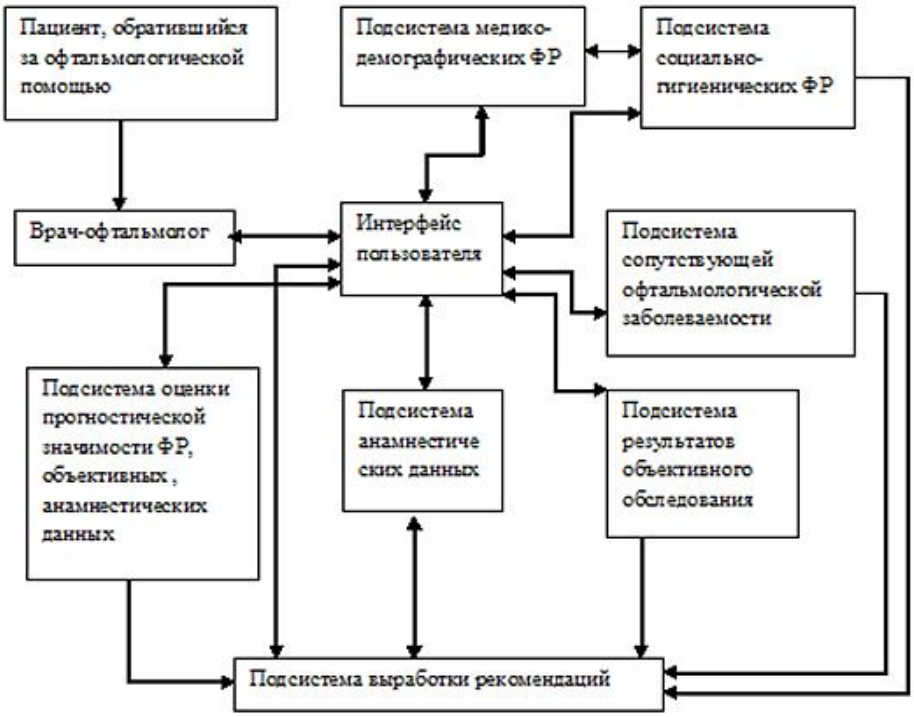


Рис.1. Структура системы поддержки принятия решения врача-офтальмолога для выявления глаукомы и катаракты на ранних стадиях

Подсистема медико-демографических ФР развития глаукомы и катаракты включает информацию о наиболее распространенных ФР, относящихся к данной группе. На основе экспертного метода, разведочного анализа и данных литературы к основным медико-демографическим ФР, анализируемым одноименной подсистемой, отнесены: индекс массы тела; уровень образования; профессиональная деятельность; место проживания; наличие соматической патологии – артериальной гипертензии, сахарного диабета, ожирения; возраст пациента; этническая принадлежность; ежегодные прививки; оперативные вмешательства; курение; потребление алкоголя.

Подсистема социально-гигиенических ФР включает: трудовую занятость, уровень доходов пациентов, особенности питания, репродуктивное поведение женщин, качество питьевой воды, состав почвы, загрязнение окружающей среды.

К подсистеме сопутствующей офтальмологической патологии относятся: миопия, дистрофия радужки, деструкция стекловидного тела, офтальмологические

признаки раннего старения организма, плотность ядра хрусталика.

Подсистема анамнестических данных накапливает информацию об отягощенности семейного анамнеза болезнями глаз, в том числе у ближайших родственников, о результатах перенесенных операции по поводу лечения глаукомы и катаракты, возникших осложнениях, о длительности заболевания и степени его прогрессирования.

В подсистему результатов объективного обследования поступают данные, полученные с применением соответствующих методов диагностики катаракты и глаукомы, включающие: величину внутриглазного давления, состояние периферического поля зрения, остроту зрения, цветоощущение, данные ультразвукового обследования, состояние внутреннего кровотока.

Задачей подсистемы оценки прогностической значимости ФР, объективных и анамнестических данных является расчет прогностических коэффициентов для всех анализируемых ФР, результатов обследования и данных анализа. Математическое обеспечение данной подсистемы представлено методом Вальда. На основе величин и знаков прогностических коэффициентов рассматриваемой подсистемой формируются группы риска по развитию глаукомы и катаракты: высокого, среднего и низкого риска.

Рис.2. Алгоритм выявления глаукомы и катаракты в группе высокого риска

Интегрирующим звеном всех перечисленных подсистем в предлагаемой системе поддержки принятия решений является интерфейс пользователя.

На основании информации, поступающей из рассмотренных подсистем в подсистему выработки рекомендаций, формируются соответствующие заключения, которые оцениваются врачом-офтальмологом, и принимается решение по проведению диагностического обследования в группе высокого риска по развитию глаукомы и катаракты.

Компьютерная система поддержки принятия решений врача-офтальмолога по раннему выявлению глаукомы и катаракты с учетом перечисленных выше ФР, результатов объективного обследования и анамнеза обеспечивает обследование пациентов в группе высокого риска в соответствии с алгоритмом выявления глаукомы и катаракты (рис. 2).

Клинические испытания созданной компьютерной системы поддержки принятия решений врача-офтальмолога по раннему выявлению глаукомы и катаракты, проведенные на 123 больных с данной патологией, показали достаточную для медицинских задач эффективность и качество формулируемых рекомендаций для специалистов. Компьютерная система обеспечивает определение группы риска одного обследуемого пациента за 7,8±0,9 минуты против 42,6±1,3 минуты при выявлении с помощью специальных анкет и опросников. Это в конечном итоге увеличивает число больных, прошедших периодический офтальмологический осмотр. В частности, при применении данной компьютерной системы в 2017 г. число таких больных увеличилось на 23,5%. Одновременно использование предложенной системы повышает качество диагностики катаракты и глаукомы за счет алгоритмизации.

На сегодняшний день в офтальмологии реализованы единичные компьютерные системы. Так, разработан аналитический блок автоматизированного рабочего места врача-офтальмолога, с помощью которого можно исследовать темп прогрессирования миопии у детей и выявить его особенности [26]. Использование данного автоматизированного рабочего места позволило выявить особенности развития миопии у детей в зависимости от возраста и пола.

Например, внедрение информационно-аналитического комплекса в работу офтальмологической службы Республики Алтай обеспечивает создание макетов клинико-социальной информации, необходимой для диспансеризации больных с патологией органа зрения; первичной документации и электронных медицинских карт, составление годовых отчётов по работе всей офтальмологической службы в целом и подготовке данных для принятия эффективных управленческих решений; отслеживание в динамике клинического состояния органа зрения всех пациентов, обратившихся в лечебное учреждение [27].

Анализ эффективности информационно-аналитического комплекса по сравнению с традиционным методом работы показал:

– сокращение рабочего времени медицинского персонала на оформление медицинской документации;

– увеличение числа диспансерно наблюдаемых больных в 5 раз без увеличения нагрузки на медицинский персонал;

– улучшение учета заболеваемости по обращаемости с 80 до 240 случаев на 1000 населения;

– увеличение пропускной способности диспансера на 30%.

Внедрение компьютерных технологий в офтальмологию Тюменской обла-

сти позволяет обеспечить преемственность в лечебно-диагностическом процессе; рациональнее использовать кадровые, материально-технические и финансовые ресурсы; в комплексе решать различные управленческие, лечебно-диагностические и финансово-экономические вопросы [28; 29].

Список литературы

1. Роль цитокинов в патогенезе глазных болезней / В. П. Еричев, С. Ю. Петров, А. М. Суббот, А. В. Волжанин, В. Н. Германова, Е. В. Карлова // Национальный журнал глаукома. 2017. № 16 (1). С. 85–99.

2. Особенности иммунопатогенеза и дополнительные дифференциальные маркеры первичной открытоугольной и первичной закрытоугольной глауком / Е. В. Маркелова, А. С. Хохлова, А. В. Кириенко, Н. В. Филина, Н. Б. Серебрянная // Здоровье и образование в XXI веке. 2016. № 18 (2). С. 613–621.

3. Epidemiology and clinical characteristics of patients with glaucoma. An analysis of hospital data between 2003 and 2012 / Y. Zhao, J. L. Fu, Y. L. Li, P. Li, F. L. Lou // Indian. J Ophthalmol. 2015. N 63 (11). P. 825–831.

4. Бирич Т.А. Современные тенденции в лечении глауком // Рецепт. 2007. № 44 (54). С. 40–44.

5. Mirzaei M., Gupta V.B., Chick J.M. Age-related neurodegenerative disease associated pathways identified in retinal and vitreous proteome from human glaucoma eyes // Sci Rep. 2017. N 7 (1). P. 12685.

6. Epidemiology and clinical characteristics of primary congenital glaucoma / A. Aziz, O. Fakhoury, F. Matonti, E. Pieri, D. Denis // J Fr Ophtalmol. 2015. N 38 (10). P. 960–966.

7. Abdolrahimzadeh S., Fameli V., Mollo R. Rare Diseases Leading to Childhood Glaucoma. Epidemiology // Pathophysiogenesis, and Management. // Biomed Res Int. 2015. P. 781294.

8. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040. A systematic review and meta-analysis / Y. C. Tham, X. Li, T. Y. Wong, H. A. Quigley, T. Aung, C. Y. Cheng // Ophthalmology. 2014. N 121. P. 2081–2090.

9. Киселева О. А. Результаты исследования эпидемиологических особенностей первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации: обзор тенденций 2013 года // Российский офтальмологический журнал. 2013. № 3. С. 4–7.

10. Liao N., Li C., Jiang H. Neovascular glaucoma. a retrospective review from a tertiary center in China // BMC Ophthalmol. 2016. N 16. P. 14.

11. Neovascular Glaucoma. A Retrospective Review from a Tertiary Eye Care Center in Mexico / G. Lazcano-Gomez, J. Soohoo, A. Lynch, L. Bonell, K. Martinez, M. Turati, R. Gonzalez-Salinas, J. Jimenez-Roman, M. Kahook // J Curr Glaucoma Pract. 2017. N 11 (2). P. 48–51.

12. Агаева Р. Б. Динамика показателей инвалидности вследствие болезней глаза в оценке эффективности диспансеризации населения Азербайджана // Казанский медицинский журнал. 2017. Т. 98, № 3. С. 376–381.

13. Горынина О. А. Комплексное медико-социальное исследование по сохранению трудоспособности работников железнодорожного транспорта при глаукоме: автореф. дис. … канд. мед. наук. Воронеж, 2011. 24 с.

14. Five-year incidence of primary open-angle glaucoma and rate of progression in health center-based Korean population. the Gangnam Eye Study / Y. K. Kim, H. J. Choi, J. W. Jeoung, K. H. Park, D. M. Kim // PLoS One. 2014. N 9 (12). P. 114058.

15. Six-year incidence of angle-closure disease in a South Indian population. the Chennai Eye Disease Incidence Study / L. Vijaya, R. Asokan, M. Panday, N. S. Choudhari, S. V. Ramesh, L. Velumuri, S. D. Boddupalli, G. T. Sunil, R. George // Am J Ophthalmol. 2013. N 156(6). P. 1308–1315.

16. Contribution of the Nurses' Health Study to the Epidemiology of Cataract, Age-Related Macular Degeneration, and Glaucoma / J. H. Kang, J. Wu, E. Cho, S. Ogata, P. Jacques, A. Taylor, C. J. Chiu, J. L. Wiggs, J. M. Seddon, S. E. Hankinson, D. A. Schaumberg, L. R. Pasquale // Am J Public Health. 2016. N 106 (9). P. 1684–1689.

17. Changes in lens opacities on the age-related eye disease study grading scale predict progression to cataract surgery and vision loss. age-related eye disease study report no. 34 / M. Indaram, E. Agrón, T. E. Clemons, R. D. Sperduto, W. T. Wong, F. L. Ferris, E. Y. Chew // Ophthalmology. 2015. N 122(5). P. 888–896.

18. Комаровских Е. Н., Полапина А. А. Возрастная катаракта. Эпидемиология, факторы риска, аспекты катарактогенеза (постановка проблемы) // Medicus. 2016. № 2 (8). С. 66–70.

19. Долгова И. Г., Щепин В. О., Проклова Т. Н. Особенности адаптации системы сбалансированных показателей для оценки эффективности внедрения процессно-ориентированного подхода в региональную систему орнизации офтальмологической помощи // Бюллетень Национального НИИ общественного здоровья имени Н. А. Семашко. 2016. № 1. С. 48–55.

20. Parisi A. V., Downs N. Cloud cover and horizontal plane eye damaging solar UV exposures // Invest. J. Biometeorol. 2004. Vol. 49. P. 130–136.

21. Taylor H. R., Keeffe J. E. Vision 2020. The Right to Sight. A Global Initiative to Eliminate Avoidable Blindness // Arch. Ophthalmol. 2004. Vol. 122. P. 615–620.

22. Брачевский С. Л., Малюгин Б. Э. Распространенность нарушения зрения вследствие катаракты по данным исследования RAAB в Самаре // Офтальмохирургия. 2013. № 3. С. 82–85.

23. Limburg H., Barria von-Bischhoffhausen F., Gomez P. Review of recent surveys on blindness and visual impairment in Latin America // Br. J. Ophthalmol. 2008. Vol. 92. P. 315–319.

24. World Health Organization Press Office. Control of major blinding diseases and disorders. Vision 2020. the Right to Sight, WHO Fact Sheet No 214. Geneva, 2010.

25. Prevalence of cataract and pseudophakia aphakia among adults in the United States / N. Congdon,, J. R. Vingerling, B. E. Klein [et al.] // Arch. Ophthalmol. 2004. N 122. P. 487–494.

26. Кашпаров А.В. Научное обоснование оптимизации офтальмологической помощи детскому населению: автореф. дис. … канд. мед. наук. Красноярск, 2006. 22 с.

27. Федотов Ф. Ф. Оптимизация работы офтальмологической службы Республики Алтай: автореф. дис. … канд. мед. наук. Красноярск, 2005. 21 с.

28. Фомина Е. В. Системный подход к информатизации деятельности учреждения офтальмологического профиля в амбулаторно-поликлинических условиях: автореф. дис. … канд. мед. наук. М., 2003. 24 с.

29. Аксёнов В. В. Диагностика и классификация больных острым эндометритом на основе дискриминантного анализа и информативных диагностических симптомов // Известия Юго-Западного государственного универси-

тета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 4 (17). С. 93–98.

Поступила в редакцию 10.04.18

UDC 617.008:431.23(874-21)

S. N. Sakhnov, Candidate of Medical Sciences, Candidate of Economic Sciences, Honored doctor of the Russian Federation, academician of the Russian Academy of Sciences, Krasnodar branch of MSU «Eye microsurgery. Acad. SN. Fedorova» (Krasnodar, Russia)
(e-mail: tan_rad@mail.ru)

V. V. Aksenov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: vitalaxen@mail.ru)

COMPUTER CONTROL SYSTEM OF THE OPHTHALMIC SERVICE IN THE DETECTION OF GLAUCOMA AND CATARACTS

Glaucoma and cataract are the major causes of vision loss and blindness in many countries, including the Russian Federation. Detection of these diseases in the early stages will reduce the risk of negative consequences. One of the ways to solve this problem is to detect diseases based on screening studies of risk factors and computer technologies. The aim of the investigation was to develop a computer – based decision support system for an ophthalmologist to detect cataracts and glaucoma at an early stage, taking into account risk factors. The development of a computer control system of ophthalmology service in the detection of glaucoma and cataracts was carried out in accordance with GOST 24.602-86 "ACS, the composition and content of the stages of creation." A new information support was created in accordance with the purpose and tasks to be solved, which contains multifaceted information on various risk factors for glaucoma and cataracts. Adaptation of the mathematical support provided by the A. Wald procedure is carried out. "Statistica 6.0"was used as a software product in the computer system. The developed computer system of decision support for ophthalmologist for detection of glaucoma and cataract in the early stages includes 7 subsystems: medico-demographic, socio-hygienic risk factors; concomitant ophthalmologic morbidity, anamnetic data, the results of objective examination, evaluation of prognostic significance of signs and subsystem of recommendations. Clinical trials of the computer system in 123 patients with cataract and glaucoma showed sufficient efficacy and quality of the formulated recommendations for ophthalmologists and determination of the risk group of one subject in 7,8±0,9 minutes versus 42,6±1,3 minutes when identified by questionnaires and questionnaires. When using this computer system in 2017g. the number of patients who underwent preventive ophthalmological examination increased by 23.5%.

Key words: *computer technologies, cataract, glaucoma, ophthalmology*

For citation: Sakhnov S. N., Aksenov V. V. Computer control system of the ophthalmic service in the detection of glaucoma and cataracts. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2017, vol. 8, no. 2 (27), pp. 91–100 (in Russ.).

***

References

1. Erichev V. P., Petrov S. Yu., Subbot A. M., Volzhanin A. V., Germanova V. N., Karlova E. V. Rol' citokinov v patogeneze glaznyh boleznej. Nacional'nyj zhurnal glaucoma, 2017, no. 16 (1), pp. 85–99.

2. Markelova E. V., Hohlova A. S., Kirienko A. V., Filina N. V., Serebryannaya N. B. Osobennosti immunopatogeneza i dopolnitel'nye differencial'nye markery pervichnoj otkrytougol'noj i pervichnoj zakrytougol'noj glaukom. Zdorov'e i obra-

zovanie v XXI veke, 2016, no. 18 (2), pp. 613–621.

3. Zhao Y., Fu J. L., Li Y. L., Li P., Lou F. L. Epidemiology and clinical characteristics of patients with glaucoma. An analysis of hospital data between 2003 and 2012. Indian. J Ophthalmol, 2015, no. 63 (11), pp. 825–831.

4. Birich T.A. Sovremennye tendencii v lechenii glaukom. Recept, 2007, no. 44 (54), pp. 40–44.

5. Mirzaei M., Gupta V.B., Chick J.M. Age-related neurodegenerative disease associated pathways identified in retinal and vitreous proteome from human glaucoma eyes. Sci Rep, 2017, no. 7 (1), pp. 12685.

6. Aziz A., Fakhoury O., Matonti F., Pieri E., Denis D. Epidemiology and clinical characteristics of primary congenital glaucoma. J Fr Ophtalmol, 2015, no. 38 (10), pp. 960–966.

7. Abdolrahimzadeh S., Fameli V., Mollo R. Rare Diseases Leading to Childhood Glaucoma. Epidemiology. Pathophysiogenesis, and Management. Biomed Res Int, 2015, p. 781294.

8. Tham Y. C., Li X., Wong T. Y., Quigley H. A., Aung T., Cheng C. Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040. A systematic review and meta-analysis. Ophthalmology, 2014, no. 121, pp. 2081–2090.

9. Kiseleva O. A. Rezul'taty issledovaniya ehpidemiologicheskih osobennostej pervichnoj otkrytougol'noj glaukomy v Rossijskoj Federacii: obzor tendencij 2013 goda. Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal, 2013, no. 3, pp. 4–7.

10. Liao N., Li C., Jiang H., eds. Neovascular glaucoma. a retrospective review from a tertiary center in China. BMC Ophthalmol, 2016, no. 16, p. 14.

11. Lazcano-Gomez G., Soohoo J., Lynch A., Bonell L., Martinez K., Turati M., Gonzalez-Salinas R., Jimenez-Roman J., Kahook M. Neovascular Glaucoma. A Retro-spective Review from a Tertiary Eye Care Center in Mexico. J Curr Glaucoma Pract, 2017, no. 11 (2), pp. 48–51.

12. Agaeva R. B. Dinamika pokazatelej invalidnosti vsledstvie boleznej glaza v ocenke ehffektivnosti dispanserizacii naseleniya Azerbajdzhana // Kazanskij medicinskij zhurnal, 2017, vol. 98, no. 3, pp. 376–381.

13. Gorynina O. A. Kompleksnoe mediko-social'noe issledovanie po sohraneniyu trudosposobnosti rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta pri glaukome: avtoref. kand. med. sci. diss. Voronezh, 2011, 24 p.

14. Kim Y. K., Choi H. J., Jeoung J. W., Park K. H., Kim D. M. Five-year incidence of primary open-angle glaucoma and rate of progression in health center-based Korean population. the Gangnam Eye Study. PLoS One, 2014, no. 9 (12), p. 114058.

15. Vijaya L., Asokan R., Panday M., Choudhari N. S., Ramesh S. V., Velumuri L., Boddupalli S. D., Sunil G. T., George R. Six-year incidence of angle-closure disease in a South Indian population. the Chennai Eye Disease Incidence Study. Am J Ophthalmol, 2013, no. 156 (6), pp. 1308–1315.

16. Kang J. H., Wu J., Cho E., Ogata S., Jacques P., Taylor A., Chiu C. J., Wiggs J. L., Seddon J. M., Hankinson S. E., Schaumberg D. A., Pasquale L. R. Contribution of the Nurses' Health Study to the Epidemiology of Cataract, Age-Related Macular Degeneration, and Glaucoma. Am J Public Health, 2016, no. 106 (9), pp. 1684–1689.

17. Indaram M., Agrón E., Clemons T. E., Sperduto R. D., Wong W. T., Ferris F. L., Chew E. Y. Changes in lens opacities on the age-related eye disease study grading scale predict progression to cataract surgery and vision loss. age-related eye disease study report no. 34. Ophthalmology, 2015, no. 122 (5), pp. 888–896.

18. Komarovskih E. N., Polapina A. A. Vozrastnaya katarakta. Jepidemiologiya, faktory riska, aspekty kataraktogeneza (postanovka problemy). Medicus, 2016, no. 2 (8), pp. 66–70.

19. Dolgova I. G., Shchepin V. O., Proklova T. N. Osobennosti adaptacii sistemy sbalansirovannyh pokazatelej dlya ocenki ehffektivnosti vnedreniya processno-orientirovannogo podhoda v regional'nuyu sistemu ornizacii oftal'mologicheskoj pomoshchi. Byulleten' Nacional'nogo NII obshchestvennogo zdorov'ya imeni N. A. Semashko, 2016, no. 1, pp. 48–55.

20. Parisi A. V., Downs N. Cloud cover and horizontal plane eye damaging solar UV exposures. Invest. J. Biometeorol, 2004, vol. 49, pp. 130–136.

21. Taylor H. R., Keeffe J. E. Vision 2020. The Right to Sight. A Global Initiative to Eliminate Avoidable Blindness. Arch. Ophthalmol, 2004, vol. 122, pp. 615–620.

22. Brachevskij S. L., Malyugin B. Eh. Rasprostranennost' narusheniya zreniya vsledstvie katarakty po dannym issledovaniya RAAB v Samare. Oftal'mohirurgiya, 2013, no. 3, pp. 82–85.

23. Limburg H., Barria von-Bischhoffhausen F., Gomez P., eds. Review of recent surveys on blindness and visual im-pairment in Latin America. Br. J. Ophthalmol, 2008, vol. 92, pp. 315–319.

24. World Health Organization Press Office. Control of major blinding diseases and disorders. Vision 2020. the Right to Sight, WHO Fact Sheet No 214. Geneva, 2010.

25. Congdon N., Vingerling J. R., Klein B. E., eds. Prevalence of cataract and pseudophakia aphakia among adults in the United States. Arch. Ophthalmol, 2004, no. 122, pp. 487–494.

26. Kashparov A.V. Nauchnoe obosnovanie optimizacii oftal'mologicheskoj pomoshchi detskomu naseleniyu. Avtoref. kand. med. sci. diss. Krasnoyarsk, 2006. 22 p.

27. Fedotov F. F. Optimizaciya raboty oftal'mologicheskoj sluzhby Respubliki Altaj. Avtoref. kand. med. sci. diss. Krasnoyarsk, 2005. 21 p.

28. Fomina E. V. Sistemnyj podhod k informatizacii deyatel'nosti uchrezhdeniya oftal'mologicheskogo profilya v ambulatorno-poliklinicheskih usloviyah. Avtoref. kand. med. sci. diss. Moscow, 2003. 24 p.

29. Aksyonov V. V. Diagnostika i klassifikaciya bol'nyh ostrym ehndometritom na osnove diskriminantnogo analiza i informativnyh diagnosticheskih simptomov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4 (17), pp. 93–98.

УДК 004.62

Э. В. Гегерь, д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (Брянск, Россия) (e-mail: naser@bkdc.ru)

С. И. Федоренко, аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (Брянск, Россия) (e-mail: segonator@mail.ru)

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИНАРНЫХ ВЫБОРОК

В настоящей статье представлен метод оценки риска профессиональной заболеваемости лиц, работа которых связана с обслуживанием и ремонтом действующих электроустановок с высоким напряжением.

Метод основан на анализе бинарных выборок и включает бинаризацию лабораторных показателей исходя из сравнения их с нормой.

Данный метод позволил выявить информативные показатели лабораторных исследований, имеющие статистически значимую взаимосвязь с условиями труда, способствует повышению точности выполняемых оценок риска профессиональной заболеваемости, что позволит улучшить условия труда и снизить негативное воздействие вредных производственных факторов на здоровье человека.

Преимуществом данного метода является то, что он не требует выполнения серьезных допущений о виде закона распределения и менее чувствителен к объему выборок.

В результате анализа и интерпретации данных обнаружено, что по ряду лабораторных показателей значимая разница наблюдается в пользу лиц, профессиональная деятельность которых связана с вредными факторами.

Авторы отмечают, что это может свидетельствовать об условности выбора контрольной группы, лица из которой могут иметь условия труда, связанные с определенными профессиональными вредностями, например с работой за персональным компьютером.

Разработанный метод может эффективно использоваться как составная часть оценки риска профессиональных заболеваний.

Сделаны выводы о необходимости дальнейших исследований в группах лиц, имеющих различные классы вредных производственных факторов.

На основе предлагаемого метода рекомендуется создание аналитических модулей для медицинских информационных систем и средств интеграции таких систем с наиболее популярными статистическими аналитическими пакетами программ.

***Ключевые слова**: оценка риска, норма, анализ данных, медицинская информационная система, профессиональные заболевания, бинарные выборки.*

Ссылка для цитирования: Гегерь Э. В., Федоренко С. И. Информационная поддержка принятия решений при оценке риска профессиональной заболеваемости на основе анализа бинарных выборок // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 101–107.

***

Введение

Оценка риска – процесс, объединяющий идентификацию, анализ и сравнительную оценку риска [1].

Данный процесс должен основываться на результатах объективного количественного анализа данных и информационной поддержки всех его этапов, что необходимо для создания современной системы менеджмента производственной безопасности и охраны здоровья, обеспечивающей непрерывное улучшение условий труда.

Существует многообразие различных методических подходов к оценке профессиональных рисков [2]. К ним относятся:

– экспертная количественная оценка экономических потерь, связанных с профессиональными рисками, математические модели профессиональных рисков и систем защиты [3];

– оценка профессиональных рисков от воздействия комплекса факторов производственной среды, оценка риска воздействия производственных факторов на здоровье работающих [4];

– количественная гигиеническая модель оценки, анализа, прогноза и управления профессиональными рисками здоровья работников [5].

В настоящее время роль управлением рисками как инструмента снижения потерь и повышения эффективности национальных экономик во всем мире постоянно растает из-за роста самих рисков. Этот процесс является общемировой тенденцией, обусловленной развитием научно-технического прогресса и усложнением всех сфер функционирования современного общества.

Управление производственными рисками – это комплекс организационных и технических мероприятий, который должен основываться, прежде всего, на достоверных результатах анализа данных.

Задача разработки научно обоснованной комплексной методики оценки рисков на рабочем месте на сегодняшний день является крайне актуальной, необходимо усовершенствование методики оценки профессиональных рисков здоровью, требуются новые подходы к разработке модуля анализа данных.

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) на персонал является практически неизбежным побочным фактором, возникающим в процессе работы, вредность которой связана с электрическим и магнитным полями промышленной частоты. Это воздействие является реальной причиной возникновения различного рода отклонений в здоровье человека.

На практике рядом ученых разработаны методы оценки уровня воздействия ЭМИ от излучающего оборудования, свидетельствующие о его вредном воздействии на организм человека [6].

Целью исследования является разработка методов и алгоритмов оценки риска профессиональных заболеваний для реализации современной информационной системы производственной безопасности и охраны здоровья работающих граждан.

В качестве частной задачи, решение которой направлено на достижение вышеуказанной цели, осуществлялось исследование информативности показателей общего анализа крови (ОАК) и мочи (ОАМ), биохимических показателей крови при обследовании лиц, работа которых связана с обслуживанием и ремонтом действующих электроустановок с высоким напряжением, в сравнении с контрольной группой.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в клинико-диагностической лаборатории Брянского клинико-диагностического центра, результаты отражались в медицинской автоматизированной информационной системе «МАИС ДЦ» (сертификат соответствия №12.0001.1200, св-во об аттестации ПО №АПП-013-1200 от 29.03.2013г.).

Медицинская информационная система (МИС) позволяет эффективно накапливать и обрабатывать данные, обеспечивает высокую степень автоматизации процессов управления, что предоставило возможность анализировать данные с высокой степенью достоверности.

Перечень профессиональных заболеваний определялся согласно Приказу МЗСР РФ № 417н от 27.04.2012 г. «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний». Лица, работающие во вредных условиях труда, относятся к группе риска по заболеваниям, связанным с воздействием производственных физических факторов [7].

Для оценки риска профессиональных заболеваний в качестве источника информации использовались: результаты анализа периферической крови, общего анализа мочи, концентрации глюкозы в крови и результаты анализа крови на холестерин лиц, работающих во вредных

условиях труда (I группа), и лиц из контрольной группы (II группа).

Согласно Приказу МЗСР РФ № 302 н перечисленные выше анализы входят в обязательный перечень исследований при проведении медицинских осмотров у лиц, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, и являются основой диагностики большинства из известных заболеваний [8].

Материалом исследования явились результаты обследований 140 работников из I группы. В качестве контрольной группы были использованы данные 250 человек. Период статистического исследования составил 2 года.

Биомедицинские исследования выполнены в соответствии с соблюдением этических принципов медико-биологических исследований и в соответствии с ФЗ РФ «О персональных данных (152-ФЗ) [9].

Для оценки риска профессиональных заболеваний был предложен новый подход в исследовании зависимости медико-биологических показателей здоровья работающих от профессиональных факторов, основанный на анализе бинарных выборок, который предполагает модель зависимости бинарной переменной (принимающей только два значения – 0 и 1) от совокупности факторов. Он включает бинаризацию показателей общих анализов крови и мочи, биохимических показателей крови, исходя из сравнения их с принятой нормой. Преимуществом данного метода является то, что он не требует выполнения серьезных допущений о виде закона распределения и менее чувствителен к объему выборок.

Алгоритм применения данного метода

Имеются две выборки по каждому рассматриваемому количественному показателю крови и мочи. Первая выборка относится к лицам из I группы, вторая считается контрольной.

Для каждого лица по каждому показателю определяется, входит соответствующее значение в пределы нормы или нет.

В первом случае показателю приписано значение 0, во втором случае – 1. Получаем две бинарные выборки. Их объемы обозначим n_1 и n_2. Пусть в первой выборке число лиц с выходящими за пределы нормы значениями показателя равно m_1, а во второй – m_2.

В рамках вероятностной модели предположим, что m_1 и m_2 – биномиальные случайные величины, соответствующая вероятность значения «1» для конкретного лица, входящего в первую выборку, равна p_1, а во вторую выборку – p_2.

Проверяем нулевую гипотезу об однородности выборок:

H_0: $p_1 = p_2$ при альтернативной гипотезе H_0: $p_1 \neq p_2$.

В основу построения критерия проверки положим статистическую функцию от выборочных частот p_i* и объемов выборок n_i, обозначим ее q (p_1, p_2, n_1, n_2); обозначим Q предельное значение функции q, которое соответствует выходу за границы доверительного интервала разности вероятностей p_1, p_2.

Рассмотрим предельный переход при n_1, n_2, стремящихся к ∞. Очевидно, в этом случае Q должно стремиться к 0, т.е. на бесконечно больших выборках однородности соответствует строгое равенство выборочных частот.

На практике объемы выборок всегда конечны, а расхождение между выборочными частотами надо соотносить с доверительным интервалом ненулевой ширины.

Используя совместно теорему Муавра – Лапласа, теорему о наследовании сходимости [10] и оценку дисперсии разности частот для биномиального распределения, получаем критерий однородности в виде

$$Q = \frac{p_1^* - p_2^*}{\sqrt{\frac{p_1^*(1-p_1^*)}{n_1} + \frac{p_2^*(1-p_2^*)}{n_2}}}, \qquad (1)$$

где звездочками обозначены выборочные частоты, являющиеся оценками соответствующих вероятностей: $pi^* = mi/ni$).

Модуль величины Q следует сравнивать с граничным значением критерия проверки однородности, которое можно определить на основании условий наследования сходимости из соотношения

$$K_{(\alpha)} = \frac{\Phi^2(1+\alpha)}{2}, \qquad (2)$$

где Φ – функция стандартного нормального распределения;

«-1» означает, что речь идет об обратной функции;

α – уровень статистической значимости.

Для часто выбираемого в подобных ситуациях уровня значимости α=0,05 имеем K = 1,96.

Если Q по модулю <1,96, то разница между выборками признается статистически незначимой и принимается нулевая гипотеза об однородности выборок. Если Q по модулю больше >1,96, то принимается альтернативная гипотеза о неоднородности.

Следует обратить внимание на знак Q, по которому можно судить, какая из сравниваемых частот (вероятностей) выше [11].

Результаты исследования

Были проведены расчеты по результатам ОАК и ОАМ, концентрации глюкозы в крови, анализа крови на холестерин лиц, работа которых связана с вредными производственными факторами, и контрольной группы.

Были сформированы две выборки по каждому из принимавшихся во внимание на этом этапе показателей: выборка данных лиц, постоянно работающих с вредными производственными факторами, и выборка данных лиц, отнесенных к контрольной группе.

Всего было выбрано 13 показателей, 9 из которых относятся к ОАК, 2 показателя относятся к ОАМ, анализировались показатели общего холестерина и концентрация глюкозы в крови (табл.).

Далее осуществлялся расчет по формуле (1) для каждого из оставленных для анализа признаков.

Данные из МИС конвертировались в MS Excel 2007, где производилась их обработка с использованием встроенных функций, которая включала: выявление дефектов данных, устранение шумов и очистка, затем следовал анализ с использованием формул (1) и (2).

Объемы выборок в данном случае относительно невелики, поэтому специализированные аналитические программные средства не использовались.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты анализа бинарных выборок

Показатель исследования	p_1	p_2	Q
Общий анализ крови			
Гемоглобин	0,315	0,474	-2,913
Лейкоциты	0,0565	0,043	0,459
Лимфоциты	0,379	0,219	3,000
Моноциты	0,5	0,151	6,5575
Эритроциты	0,5	0,035	9,372
Ретикулоциты	0,379	0	0
Эозинофилы	0,722	0,243	9,415
Гематокрит	0,287	0,355	-1,275
СОЭ	0,157	0,175	-0,421

Окончание табл.

Показатель исследования	p_1	p_2	Q
Общий анализ мочи			
Лейкоциты	0,028	0,088	-2,51
Эритроциты	0,111	0	0
Биохимические показатели крови			
Общий холестерин	0,352	0,649	-5,416
Глюкоза	0,046	0,036	0,447

Анализ результатов исследований показывает: значимой является разница между I и II выборками по показателям ОАК: гемоглобину, лимфоцитам, моноцитам, эритроцитам, эозинофилам, а также по лейкоцитам в моче и по общему холестерину. Обнаружено, что по ряду показателей значимая разница наблюдается в пользу лиц первой группы, по другим – второй. Например, частота нарушений нормы у лиц, работа которых связана с вредными производственными факторами, статистически значимо больше по лимфоцитам, моноцитам, эритроцитам, эозинофилам крови. Однако по гемоглобину, гематокриту, лейкоцитам в моче и по общему холестерину наблюдается обратная картина. На наш взгляд, это может свидетельствовать об условности выбора контрольной группы: лица из II группы вполне могут иметь условия труда, связанные с определенными профессиональными вредностями, например с работой за персональным компьютером. Однако производственная вредность у лиц из контрольной группы будет меньше, чем у специально подобранных лиц, профессиональная деятельность которых непосредственно связана с повышенной вредностью.

Заключение

Представленный статистический метод анализа однородности бинарных выборок позволяет выявить информативные показатели ОАК, ОАМ и биохимических показателей крови, по которым можно сравнивать вероятности нарушения нормы между группами, имеющими существенные различия в условиях труда. Предлагаемый метод способствует повышению точности выполняемых оценок риска профессиональной заболеваемости, что позволит обеспечить улучшение условий труда и снизить негативное воздействие вредных производственных факторов на здоровье человека. Для реализации данного метода необходима адекватная информационная поддержка всех этапов его разработки. Данные методы способствуют оценке будущего эффекта от применения информационных технологий в условиях медицинских организаций.

Выводы

1. Разработанный метод, основанный на анализе бинарных выборок, может эффективно использоваться как часть оценки риска профессиональных заболеваний. Он дает возможность выявлять наиболее информативные лабораторные показатели, имеющие статистически значимую взаимосвязь с условиями труда, что предполагает более глубокий подход к изучению проблемы оценки профессионального риска для здоровья работающих граждан.

2. В дальнейшем рекомендуется провести следующие исследования:

– сравнительный анализ заболеваемости в двух представленных группах, учитывающий как объективные показатели исследований, так и субъективные данные анамнеза;

– применение предложенного метода к анализу данных по различным специально отобранным группам лиц, име-

ющим различные классы вредных производственных факторов;

– разработку на основе предлагаемого метода аналитических модулей для медицинских информационных систем и средств интеграции таких систем с наиболее популярными статистическими пакетами программ.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011. Методы оценки риска. М., 2012. С. 74.

2. Бакико Е. В., Искакова А. К. Анализ методических подходов к оценке профессиональных рисков в России // Молодой ученый. 2016. № 28. С. 55–59.

3. Горяга А. В., Сердюк В. С., Добренко А. М. Математические модели производственных рисков и систем защиты. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 102 с.

4. Мельцер А. В. Оценка риска воздействия производственных факторов на здоровье работающих: автореф. дис. … д-ра мед. наук. СПб., 2008. 43 с.

5. Количественная оценка профессионального риска при ингаляционном воздействии: методические рекомендации / Л. Б. Бакиров, В. О. Красовский, Г. И. Кашафутдинова [и др.]; ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека». Уфа, 2014. 16 с.

6. Мерзликин И. Н. Метод оценки и мониторинга электромагнитного излучения на авиационных предприятиях гражданской авиации: автореф. дис…канд. техн. наук. М., 2013. 28 с.

7. Об утверждении перечня профессиональных заболеваний: приказ МЗСР РФ № 417н от 27.04.2012 г. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производ. факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медосмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медсмотров (обследований): приказ МЗСР РФ от 12.04.2011 № 302 н (ред. от 05.12.2014: зарег. в Минюсте РФ 21.10.2011 № 22111).

9. О персональных данных: федер. закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 29.07.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. Орлов А. И. Прикладная статистика: учебник. М.: Изд-во «Экзамен», 2006. 672 с.

11. Орлов А. И. Эконометрика: учебник для вузов. Ростов н/Д: Феникс, 2009. 277 с.

Поступила в редакцию 09.04.18

UDC 004.62

E. V. Geger, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Bryansk State Engineering and Technological University (Bryansk, Russia) (e-mail: naser@bkdc.ru)

S. I. Fedorenko, Post-Graduate Student, Bryansk State Engineering and Technological University Russia (Bryansk, Russia) (e-mail: segonator@mail.ru)

INFORMATION SUPPORT OF DECISION-MARKING WHEN ASSESSING THE RISK FOR OCCUPATIONAL MORBIDITY BASED ON ANALYSIS OF BINARY SAMPLES

This paper presents a method for estimating the risk of occupational morbidity of persons whose work is connected with service and repair of the operating electrical installations with high voltage. The method is based on analysis of binary samples, and includes a binarization parameters of blood and urine, by comparing them with the norm. This method allowed us to detect the most informative parameters of laboratory studies that have statistically significant relationship with working conditions, and enhance the accuracy of the estima-

tions of the risk of occupational diseases, which will improve working conditions and to reduce the negative impact of harmful factors on human health.

The advantage of this method is that it does not require major assumptions about the form of the distribution and less sensitive to the volume of the samples.

The analysis and interpretation of data discovered that a number of laboratory parameters, a significant difference is observed in favor of individuals, professional activities of which are connected with harmful factors. Conclusions are made about the need for further research in the groups of individuals having different classes of harmful production factors.

The authors note that this may indicate the conditionality of the choice of the control group, persons from which may have working conditions associated with certain occupational hazards, for example, with work at a personal computer.

The developed method can be effectively used as an integral part of occupational disease risk assessment.

On the basis of the offered method creation of analytical modules for medical information systems and integration tools of such systems with the most popular statistical analytical software packages is recommended.

***Key words**: risk assessment,rate, data analysis, medical information system, occupational disease, binary sampling.*

For citation: Geger E. V., Fedorenko S. I. Information support of decision-marking when assessing the risk for occupational morbidity based on analysis of binary samples. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 101–107 (in Russ.).

***

References

1. GOST R ISO/MEHK 31010 – 2011. Metody ocenki riska. Moscow, 2012, p. 74.

2. Bakiko E. V., Iskakova A. K. Analiz metodicheskih podhodov k ocenke professional'nyh riskov v Rossii. Molodoj uchenyj, 2016, no. 28, pp. 55–59.

3. Goryaga A. V., Serdyuk V. S., Dobrenko A. M. Matematicheskie modeli proizvodstvennyh riskov i sistem zashchity. Omsk, 2014. 102 p.

4. Mel'cer A. V. Ocenka riska vozdejstviya proizvodstvennyh faktorov na zdorov'e rabotayushchih. Avtoref. diss. dokt. med. nauk. St. Petersburg, 2008. 43 p.

5. Bakirov L. B., Krasovskij V. O., Kashafutdinova G. I., eds. Kolichestvennaya ocenka professional'nogo riska pri ingalyacionnom vozdejstvii. Ufa, Ufimskij nauchno-issledovatel'skij institut mediciny truda i ehkologii cheloveka Publ., 2014. 16 p.

6. Merzlikin I. N. Metod ocenki i monitoringa ehlektromagnitnogo izlucheniya na aviacionnyh predpriyatiyah grazhdanskoj aviacii. Avtoref. diss. cand. tekhn. nauk. Moscow, 2013. 28 p.

7. Ob utverzhdenii perechnya professional'nyh zabolevanij. Prikaz MZSR RF № 417n ot 27.04.2012 g. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant-Plyus».

8. Ob utverzhdenii perechnej vrednyh i (ili) opasnyh proizvod. faktorov i rabot, pri vypolnenii kotoryh provodyatsya obyazatel'nye predvaritel'nye i periodicheskie medosmotry (obsledovaniya), i Poryadka provedeniya obyazatel'nyh predvaritel'nyh i periodicheskih medsmotrov (obsledovanij). Prikaz MZSR RF ot 12.04.2011 № 302 n (red. ot 05.12.2014: zareg. v Minyuste RF 21.10.2011 № 22111).

9. O personal'nyh dannyh. Feder. zakon ot 27.07.2006 № 152-FZ (red. ot 29.07.2017). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

10. Orlov A. I. Prikladnaya statistika. Moscow, Ehkzamen Publ., 2006. 672 p.

11. Orlov A. I. Ehkonometrika. Rostov n/D: Feniks Publ., 2009. 277 p.

УДК 617.58-77

Ю. П. Муха, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава РФ (Волгоград, Россия) (e-mail: muxaup@mail.ru)

С. А. Безбородов, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава РФ (Волгоград, Россия)
(e-mail: sabezborodov@volgmed.ru)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПТК ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

В медицине широкое применение имеют программно-технические комплексы (ПТК), элементами которых являются сложные системы: томографы, электроэнцефалографы, электрокардиографы и так далее, которые объединяются в соответствии с лечебной технологией (терапевтической, хирургической и так далее). Каждая из таких систем имеет собственные метрологические характеристики, но совместных методик метрологического анализа и метрологических испытаний нет. В настоящее время широко распространена практика создания сложных комплексов для медицинских измерений по принципу функциональной компоновки, который заключается в том, что комплекс собирается оперативно в соответствии с возникающей задачей медицинского исследования с целью решения возникающей медицинской проблемы: диагностической, терапевтической, хирургической, реабилитационной и т.д. Особая актуальность этой задачи связана с метрологическим анализом ПТК медицинского назначения, составленных из специализированных измерительных систем, а не из элементов универсального применения.

Целью исследований является системный подход к реализации метрологического ПТК, состоящего из специализированных измерительных систем. Этот подход основан на синтезе структурных уравнений аттестационных испытаний. Основным методом анализа служит метод операциональной записи измерительных уравнений и уравнений погрешностей ПТК. Инновационную ценность представляет методика формирования схем испытаний ПТК при совместном использовании специализированных измерительных средств, прошедших предварительную аттестацию. Результатом является синтез схемы аттестационных испытаний ПТК для определения биомеханических характеристик коленного сустава. При этом станет возможным оценивать конкретную погрешность каждого этапа измерительного системного процесса; испытывать каналы ПТК в целом можно самостоятельно, а результаты испытаний формировать системно с учетом взаимосвязи отдельных каналов в соответствии с «алгоритмом» обследования (медицинского, терапевтического контроля).

Ключевые слова: *метрологический анализ, системный подход, программно-технический комплекс, измерительное уравнение.*

Ссылка для цитирования: Муха Ю. П., Безбородов С. А. Метрологический анализ птк для медицинских измерений. Системный подход // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 108–116.

***

Введение

В настоящее время широко распространена практика создания сложных комплексов для медицинских измерений по принципу функциональной компоновки, который заключается в том, что комплекс собирается оперативно в соответствии с возникающей задачей медицинского исследования с целью решения возникающей медицинской проблемы: диагностической, терапевтической, хирургической, реабилитационной и т. д.

Особая актуальность этой задачи связана с метрологическим анализом ПТК медицинского назначения, составленных из специализированных измерительных систем [1; 2; 3], а не из элементов универсального применения. В этом случае методики испытаний специализированных информационно-измерительных систем индивидуальны и могут стыковаться между собой только на уровне биообъекта – объекта измерений [4; 5; 6; 7]. Очевидно, что оптимум синтеза ПТК в данном случае

должен достигаться в соответствии с критерием общей погрешности «компонуемости», то есть необходима теория оптимального синтеза. При этом метрологическая особенность такого синтеза связана с формированием инструментальной и методической погрешности – составных частей полной погрешности [8]. Дело в том, что все привлекаемые отдельные средства измерений (например, томографы, кардиографы, энцефалографы, устройства эхолокации и т. д.) – это только источники входной специальной информации. ПТК соединяет их в соответствии со структурой алгоритма обследования, то есть измерений системных физиологических параметров.

Постановка задачи

Все перечисленное определяет, что метрологический анализ ПТК должен рассматриваться только в рамках системного подхода, когда процедура анализа является иерархически структурированной и поэтапной. В основе технологии метрологического анализа лежит исследование измерительного уравнения в соответствии со всеми условиями существования и границами, которые определяются особенностями синтеза этого уравнения [8].

С этой целью формируется модель измерительной ситуации с учетом того, что медицинский измерительный комплекс в этом случае является принципиально многоканальной системой с k каналами, модель измерительной ситуации можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} M_{СИТ1} = \left\{ \lambda_1 = F_1(\gamma_1), MM_{\gamma 1}, MM_{У1}, L_1\gamma_1 = R_{1m}...R_{1i}...R_{11}\gamma_1, \left\{MM_{mi}\right\}_{i=1}^{m1}, \left\{\alpha_{1si}\right\}_{i=1}^{s\alpha i}, \left\{P_{1si}\right\}_{i=1}^{spi}, w_1\left[\gamma_{1i}(t)\right]_{i=1}^{n} \right\}, \\ \qquad ... \\ M_{СИТk} = \left\{ \lambda_k = F_k(\gamma_k), MM_{\gamma k}, MM_{Уk}, L_k\gamma_k = R_{km}...R_{ki}...R_{k1}\gamma_k, \left\{MM_{mi}\right\}_{i=1}^{mk}, \left\{\alpha_{ksi}\right\}_{i=1}^{s\alpha i}, \left\{P_{ksi}\right\}_{i=1}^{spi}, w_k\left[\gamma_{ki}(t)\right]_{i=1}^{n} \right\}, \end{cases} \quad (1)$$

где $M_{СИТi}$ – модель измерительной ситуации по i-му информационному параметру;

λ_i – модель результата измерений;

F_i – некоторая известная функция связи результата измерений λ_i с наблюдаемой величиной γ_i;

$MM_{\gamma i}$ – модель наблюдаемой величины γ_i;

$MM_{У1}$ – модель условий измерительного эксперимента;

L_i – модель измерительной процедуры при измерениях величины $\gamma_i(t)$;

MM_{mi} – модель элемента измерительного ресурса в составе i-го канала измерений;

R_{ii} – модель операции измерительного преобразования в составе L_i-й измерительной процедуры;

α_{lsi} – модель параметра, определяющего особенности проведения l-го измерительного эксперимента;

P_{lsi} – модель отношения на особенностях проведения l-го измерительного эксперимента.

В соответствии с системой (1) $M_{СИТi}$ включает в свой состав алгебраическую компоненту преобразований $L_i(M_{СИТi})$ и совокупность операций по формированию $[\lambda_i]$ – выходных величин некоторой размерности, рассматриваемых как результаты измерений.

В связи с этим работу комплекса в целом можно представить следующим образом:

$$\{\bar{\lambda}_k\} \subset \{\bar{L}_k(\bar{M}_{СИТi})\}, \quad (2)$$

где ($\bar{M}_{СИТk}$) – векторное множество измерительных ситуаций всех обобщенных измерительных каналов ПТК;

$\bar{L}_k$ – вектор-оператор ПТК всех измерительных процедур ПТК;

$\{\bar{\lambda}_k\}$ – вектор-множество результатов измерений.

Таким образом, задача метрологического анализа ПТК для медицинских измерений состоит в реализации этапов оперативного синтеза систем измерительных уравнений, систем уравнений погрешностей и их исследовании на основе системного подхода с учетом соотношения (2).

Методика метрологического анализа

Прежде всего на основании соотношения (2) следует сформировать граф обобщенных информационных потоков ПТК (рис. 1):

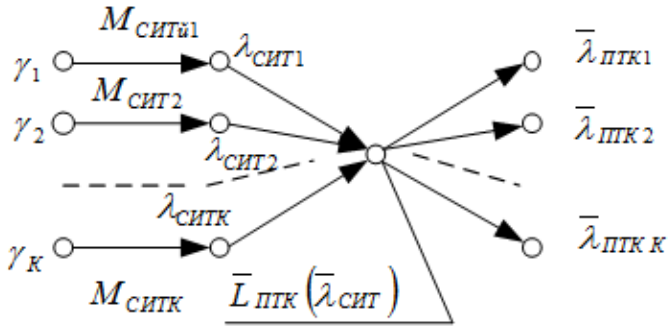


Рис. 1. Граф информационных потоков

На рисунке 1 приняты обозначения, совпадающие с обозначениями в формулах (1) и (2).

Для того чтобы синтезировать систему измерительных уравнений ПТК, необходимо раскрыть компоненты графа информационных потоков (см. рис. 1) через отношения, существующие на элементах графа в соответствии с методами измерений, реализуемых на каждом потоке. В соответствии с [8; 9] методика метрологического анализа продолжается синтезом системы уравнений полной погрешности $\Delta\lambda^*_{ji}$ и разложением каждого уравнения полной погрешности на комплексы систем уравнений погрешности. Затем каждый компонент разложения доводится до аналитической формы с целью конкретных определений значений величин или границ интервалов допустимых величин погрешностей.

Отсюда следует, что система измерительных уравнений для пространственно разделенных каналов имеет вид

$$\left.\begin{matrix}\lambda^*_{1j}(t)=R_{m1}\\ \vdots\\ \lambda^*_{kj}(t)=R_{mk}\end{matrix}\right\}R_{2k}R_{ПО}R_{1k}\left\{\begin{matrix}R_{1l}R_{1l-1}\cdots R_{11}\gamma_{0j}(t),\\ \vdots\\ \mathrm{R}_{\mathrm{ml}}R_{ml-1}\cdots R_{m1}\gamma_{mj}(t).\end{matrix}\right. \quad (3)$$

В уравнении (3) в дополнение к принятым ранее обозначениям использована операция $R_{ПО}$ – промежуточная обработка, необходимая для согласования во времени пространственно разделенных информационных потоков.

Конкретизация структуры системы измерительных уравнений вида (3) связана с конкретизацией структуры программно-технического комплекса.

Для примера рассмотрим синтез измерительного уравнения для ПТК для определения биомеханических характеристик коленного сустава [10]. В качестве исходной структуры, адекватной структуре (см. рис. 1), на основе которой можно формировать измерительное уравнение, используем структуру информационных потоков, составленную по блок-схеме ПТК (рис. 2).

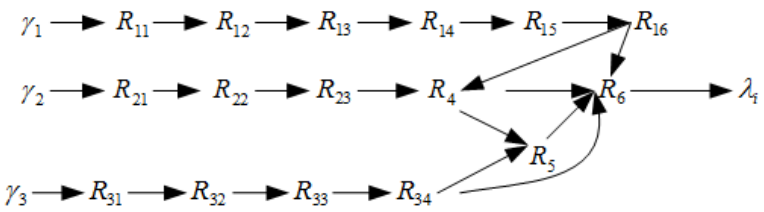


Рис. 2. Структура информационных потоков

Функциональное назначение вершин и связей между ними следующее:

γ_i – информационные потоки, подающиеся на входы последовательно:

γ_1 – фотографирование;

γ_2 – морфометрическое исследование;

γ_3 – стабилометрирование;

γ_4 – рентгенографирование;

R_{ij} – отображение преобразований, проводимых в процессе исследований: i=1 – фотографирования, i=2 – морфометрия, i=3 – стабилометрия, i=4 – рентгенография;

R_4, R_5, R_6, R_{ij} – отображения управления последовательностью формирования множества результатов измерения, в которую входит реализация четырех алгоритмов программного пакета: получение примитива нагружения, определение общей нагрузки на коленный сустав, определение площади коленного сустава и распределение нагрузки по поверхности коленного сустава.

Таким образом, программно-технический комплекс состоит из трех измерительных каналов, из четырех модулей расчета и блока вывода данных на экран ЭВМ.

Определим множества преобразований R_{ij}:

R_{11} – маркирование точек бедренной и большеберцовой костей ;

R_{12} – размещение объекта в пространстве измерения;

R_{13} – цифровое фотографирование;

R_{14}, R_{22} – морфометрия нижних конечностей;

R_{15}, R_{23}, R_{33} – ввод данных в ЭВМ с использованием интерфейса разработанного программного пакета;

R_{16} – построение примитива нагружения;

R_{21} – реализация теста Ромберга при помощи программного пакета MBN-Biomechanics version 4.00;

R_4 – расчет общей нагрузки на коленный сустав;

R_{31} – МРТ-исследование, которое проводится на спиральном компьютерном томографе Somaton plus ()Siemens);

R_{32} – обработка томограммы;

R_{34} – расчет площади сустава, представляющий собой третий из модулей обработки;

R_5 – расчет распределения нагрузки по поверхности коленного сустава, представляющий собой четвертый из модулей обработки;

R_6 – блок вывода данных на экран ЭВМ, представляющий собой интерфейс программного пакета.

На основе графа (см. рис. 2) составим систему измерительных уравнений по каждому измерительному каналу [8; 9], причем каждый из каналов отвечает за определение соответствующих биомеханических оценок:

$$\lambda_{ij}(t)_{\overline{i=1-4}} R_6 R_{k3} \begin{cases} R_{16}R_{15}R_{14}R_{13}R_{12}R_{11}\gamma_{1j}(t), \\ R_4 R_{k1} \begin{cases} R_{23}R_{22}R_{21}\gamma_{2j}(t), \\ \varphi_{1j}(t), \end{cases} \\ R_{34}R_{33}R_{32}R_{31}\gamma_{3j}(t), \\ \varphi_{4j}(t) = R_5 R_{k2} \begin{cases} \varphi_{2j}(t), \\ \varphi_{3j}(t). \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

где $\varphi_{1j}(t) = R_{16}R_{15}R_{14}R_{13}R_{12}R_{11}\gamma_{1j}(t)$, (5)

$$\varphi_{2j}(t) = R_4 R_{k1}\begin{cases} R_{23}R_{22}R_{21}\gamma_{2j}(t), \\ \varphi_{1j}(t), \end{cases} \quad (6)$$

$$\varphi_{3j}(t) = R_{34}R_{33}R_{32}R_{31}\gamma_{3j}(t). \quad (7)$$

Здесь $\lambda_{ij}(t)$ – выходные результаты измерений, представляющие собой набор искомых биомеханических оценок:

$\lambda_{1j}(t)$ – результат определения примитива (то есть статического) нагружения;

λ_{2j} – результат определения общей нагрузки на коленный сустав;

$\lambda_{3j}(t)$ – результат определения площади коленного сустава;

$\lambda_{4j}(t)$ – результат определения распределения давления по поверхности коленного сустава.

Уравнения (4)-(7) являются основными для получения уравнений полной погрешности ПТК и её компонентов. Раскрытие всех составных частей этих уравнений дает возможность определить функции структурных компонентов ПТК. При этом в случае последовательной детализации преобразований R_{ij}, которые в свою очередь могут быть представлены собственной иерархической структурой, возможно исследование передаточных характеристик ПТК любой сложности.

В соответствии со сказанным уравнение полной погрешности ПТК имеет вид

$$\Delta\lambda_j^* = R_6 R_k \begin{cases} R_{16}R_{15}R_{14}R_{13}R_{12}R_{11}\gamma_{1j}(t), \\ R_4 R_{k1}\begin{cases} R_{23}R_{22}R_{21}\gamma_{2j}(t), \\ \varphi_{1j}(t), \end{cases} \\ R_{34}R_{33}R_{32}R_{31}\gamma_{3j}(t), \\ \varphi_{4j}(t) = R_5 R_{k2}\begin{cases} \varphi_{2j}(t), \\ \varphi_{3j}(t). \end{cases} \end{cases} - R_6^г R_k^г \begin{cases} R_{16}^г R_{15}^г R_{14}^г R_{13}^г R_{12}^г R_{11}^г \gamma_{1j}(t), \\ R_4^г R_{k1}^г \begin{cases} R_{23}^г R_{22}^г R_{21}^г \gamma_{2j}(t), \\ \varphi_{1j}^г(t), \end{cases} \\ R_{34}^г R_{33}^г R_{32}^г R_{31}^г \gamma_{3j}(t), \\ \varphi_{4j}^г = R_5^г R_{k2}^г \begin{cases} \varphi_{2j}^г(t), \\ \varphi_{3j}^г(t). \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $\varphi_{1j}^г(t) = R_{16}^г R_{15}^г R_{14}^г R_{13}^г R_{12}^г R_{11}^г \gamma_{1j}(t)$,

$$\varphi_{2j}^г(t) = R_4^г R_{k1}^г \begin{cases} R_{23}^г R_{22}^г R_{21}^г \gamma_{2j}(t), \\ \varphi_{1j}^г(t) \end{cases}$$

и $\varphi_{3j}^г(t) = R_{34}^г R_{33}^г R_{32}^г R_{31}^г \gamma_{3j}(t)$.

Символ «*г*» в качестве верхнего индекса оператора преобразований $R_{ij}^г$ означает гипотетическую реализацию, в качестве которой целесообразно считать номинальную реализацию, что соответствует проектным условиям эксплуатации для инструментальных и алгоритмических компонентов. То есть в данном случае целесообразно считать приемлемыми расчетные уровни полной инструментальной и методической погрешностей, относительно которых могут возникнуть отклонения, превышающие значения дисперсий в комплексе характеристик измеренной величины.

Схемы аттестации ПТК для медицинских измерений. Системный подход

Измерительное уравнение и уравнение полной погрешности позволяет формировать метрологический эксперимент по определению погрешностей ПТК, вызванных отклонениями от нормы показателей -гопреобразователя.

В соответствии с [8; 9] на основании теоремы о разложении полной погрешности уравнение погрешности для $\Delta_i\lambda(t)$ можно записать так:

$$\begin{aligned} \Delta_i\lambda_j^*(t) &= R_m \ldots R_{i+1}R_i R_{i-1} \ldots R_2^г R_1^г \gamma_j(t) - \\ &- R_m \ldots R_{i+1}R_i^г R_{i-1}^г \ldots R_2^г R_1^г \gamma_j(t). \end{aligned} \quad (9)$$

При этом схема испытаний примет вид, предоставленный на рисунке 3.

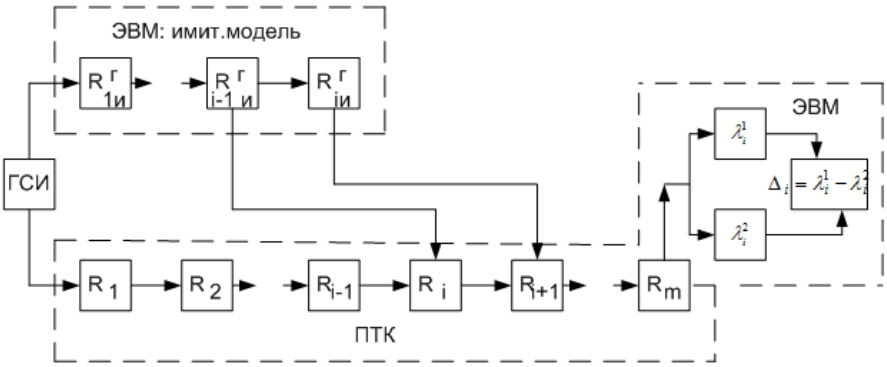


Рис. 3. Схема испытаний ПТК

В этой схеме блоки $R^{г}_{i(i=1\div i-1)}$ – имитационные модели преобразований $R_{iи\ (i=1\div i)}$.

В схеме не показаны специальные коммутаторы, которые согласуют связь имитационной модели с ПТК для отдельных реализаций измерений $\lambda^1_{ij}(t)$ и $\lambda^2_{ij}(t)$:

$$\lambda^1_{ij}(t) = R_m ... R_{i+1} R_i\, R^{г}_{i-1} ... R^{г}_2 R^{г}_1 \gamma_j(t)$$

и $\lambda^2_{ij}(t) = R_m ... R_{i+1} R^{г}_i R^{г}_{i-1} ... R^{г}_2 R^{г}_1 \gamma_j(t)$,

где $\gamma_j(t)$ – сигнал от генератора испытательных сигналов (ГСИ), а $\Delta_i \lambda_j(t) = \lambda^1_{ij}(t) - \lambda^2_{ij}(t)$.

Продолжение примера

Проанализируем погрешности, которые возникают из-за сбоев в реализации преобразования R_{14}.

В соответствии с (9) функцию погрешности $\Delta_{14}\lambda^*_j(t)$ можно записать следующим образом:

$$\Delta_{14}\lambda^*_j(t) = R_6 R_k \begin{cases} R_{16}R_{15}R_{14}R^{г}_{13}R^{г}_{12}R^{г}_{11}\gamma_{1j}(t), \\ R_4 R_{k1} \begin{cases} R_{23}R_{22}R_{21}\gamma_{2j}(t), \\ \varphi^1_{1j}(t), \end{cases} \\ R_{34}R_{33}R_{32}R_{31}\gamma_{3j}(t), \\ \varphi_{4j}(t) = R_5 R_{k2} \begin{cases} \varphi_{2j}(t), \\ \varphi_{3j}(t). \end{cases} \end{cases} - R_6 R_k \begin{cases} R_{16}R_{15}R^{г}_{14}R^{г}_{13}R^{г}_{12}R^{г}_{11}\gamma_{1j}(t), \\ R_4 R_{k1} \begin{cases} R_{23}R_{22}R_{21}\gamma_{2j}(t), \\ \varphi^2_{1j}(t) \end{cases} \\ R_{34}R_{33}R_{32}R_{31}\gamma_{3j}(t), \\ \varphi_{4j}(t) = R_5 R_{k2} \begin{cases} \varphi_{2j}(t), \\ \varphi_{3j}(t). \end{cases} \end{cases}$$

Здесь $\varphi^1_{1j}(t) = R_{16}R_{15}R_{14}R^{г}_{13}R^{г}_{12}R^{г}_{11}\gamma_{1j}(t)$ и $\varphi^2_{1j}(t) = R_{16}R_{15}R^{г}_{14}R^{г}_{13}R^{г}_{12}R^{г}_{11}\gamma_{1j}(t)$.

При этом $\varphi_{1j}(t) \cong -\lambda_{1j}(t)$;

$\varphi_{2j}(t) \cong \lambda_{2j}(t)$;

$\varphi_{3j}(t) \cong \lambda_{3j}(t)$;

$\varphi_{4j}(t) \cong \lambda_{4j}(t)$.

Теперь в соответствии с [8] функцию погрешности $\Delta_{14}\lambda^*_j(t)$ можно представить следующим образом:

$$\Delta_{14}\lambda^*_j(t) = \Delta^{I}_{14}\lambda^*_j(t) + \Delta^{II}_{14}\lambda^*_j(t) + \Delta^{III}_{14}\lambda^*_j(t),$$

где $\Delta^{I}_{14}\lambda^*_j(t) =$

$$= R_6 R_k R_{16} R_{15} (R_{14} - R^{г}_{14}) R^{г}_{13} R^{г}_{12} R^{г}_{11} \gamma_{1j}(t),$$

$\Delta^{II}_{14}\lambda^*_j(t) =$

$$= R_6 R_k R_4 R_{k1} R_{16} R_{15} (R_{14} - R^{г}_{14}) R^{г}_{13} R^{г}_{12} R^{г}_{11} \gamma_{1j}(t),$$

$\Delta^{III}_{14}\lambda^*_j(t) =$

$$= R_6 R_k R_5 R_{k2} R_4 R_{k1} R_{16} R_{15} (R_{14} - R^{г}_{14}) R^{г}_{13} R^{г}_{12} R^{г}_{11} \gamma_{1j}(t).$$

Обозначим $\Delta_{14}\varphi_j(t) = (R_{14} - R^{г}_{14})$, тогда

$$\Delta_{14}\lambda_j^*(t) = R_6 R_k \left[R_{16} R_{15} \Delta_{14} \varphi_j(t) R_{13}^{г} R_{12}^{г} R_{11}^{г} \gamma_{1j}(t) + \right.$$
$$\left. + R_4 R_{k1} R_{16} R_{15} \Delta_{14} \varphi_j(t) R_{13}^{г} R_{12}^{г} R_{11}^{г} \gamma_{1j}(t) + R_5 R_{k2} R_4 R_{k1} R_{16} R_{15} \Delta_{14} \varphi_j(t) R_{13}^{г} R_{12}^{г} R_{11}^{г} \gamma_{1j}(t) \right] =$$
$$= R_6 R_k \left[1 + \left(1 + R_5 R_{k2}\right) R_4 R_{k1} \right] R_{16} R_{15} \Delta_{14} \varphi_j(t) R_{13}^{г} R_{12}^{г} R_{11}^{г} \gamma_{1j}(t).$$

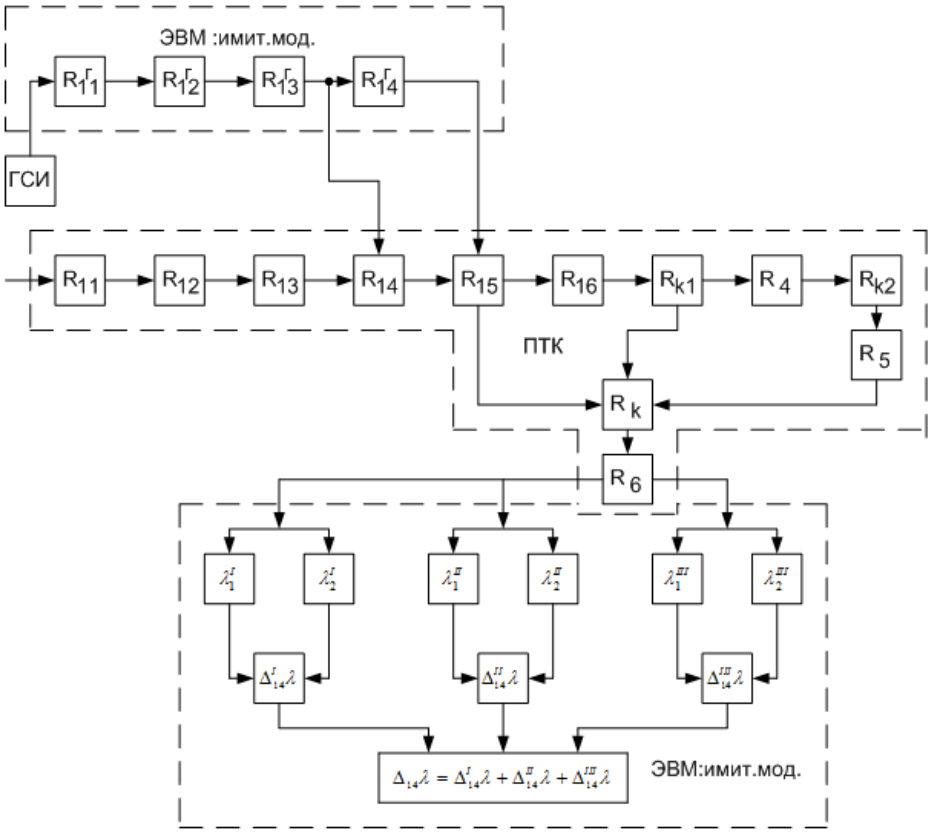


Рис. 4. Схема испытаний ПТК для оценки полной погрешности

В соответствии с этим уравнением (уравнением аттестации) можно представить общую схему испытаний для оценки полной погрешности, возникающей из-за некачественной работы преобразователя R_{14} (рис. 4).

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что:

1. Возможно определить конкретную погрешность каждого этапа измерительного системного процесса.

2. Испытывать каналы ПТК в целом можно самостоятельно, а результаты испытаний формировать системно, с учетом взаимосвязи отдельных каналов в соответствии с «алгоритмом» обследования (медицинского, терапевтического контроля).

3. Возможно пространственно-временное разделение конкретных измерений с определением значения полных погрешностей.

4. Возможно проанализировать явление (процесс) трансформации погрешностей от преобразований с меньшим индексом в составе преобразований с большим индексом.

Список литературы

1. Кореневский Н. А., Попечителев Е. П., Серегин С. П. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплек-

сы / Курск. гос. техн. ун-т. Курск: ОАО ИИП «Курск», 2009. 986 с.

2. Эммануэль В. Л. Обеспечение качества лабораторной диагностики в учреждениях здравоохранения первичного звена при реализации национального проекта «Здоровье» на II Всероссийской научно-практической конференции и выставке «Медицина и качество – 2006» (Москва, 30 ноября – 1 декабря 2006). М., 2006.

3. Муха Ю. П., Авдеюк О. А., Королева И. Ю. Информационно-измерительные системы с адаптивными преобразованиями. Управление гибкостью функционирования: монография. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. 304 с.

4. Структурная модель элементов голеностопа в линейном случае / О. А. Тубол, А. В. Земляков, В. А. Байдаченко, Ю. П. Муха // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 4. С. 63–66.

5. Пространственная модель элементов голеностопа в нелинейном случае / А.В. Земляков, О.А. Тубол, В.А. Байдаченко, Ю.П. Муха // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 3. С. 98–102.

6. Методика определения индивидуального распределения нагрузки на коленный сустав / А. А. Воробьев, Ю. П. Муха, А. А. Колмаков, С. А. Безбородов, М. Е. Егин // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН. 2008. № 3. С. 22–24.

7. Методика определения индивидуального распределения нагрузки на коленный сустав / А. А. Воробьев, Ю. П. Муха, А. С. Баринов, С. А. Безбородов, А. А. Колмаков, М. Е. Егин // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 4. С. 59–64.

8. Цветков Э. И. Основы математической метрологии. М.: Политехника, 2005. 510 с.

9. Цветков Э. И. Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 293 с.

10. Безбородов С. А. Программно-технический комплекс для определения биомеханических оценок органов движения человека: дис. … канд. техн. наук. Волгоград, 2011. 125 с.

Поступила в редакцию 10.04.18

UDC 617.58-77

Y. P. Mucha, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Volgograd, Russia)
(e-mail: muxaup@mail.ru)

S. A. Bezborodov, Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Volgograd, Russia)
(e-mail: sabezborodov@volgmed.ru)

METROLOGICAL ANALYSIS OF SHC FOR MEDICAL MEASUREMENTS. SYSTEMATIC APPROACH

In medicine, software and hardware systems (SHC) are widely used, the elements of which are complex systems: tomographs, electroencephalographs, electrocardiographs and so on, which are combined in accordance with medical technology (therapeutic, surgical, etc.). Each of these systems has its own metrological characteristics, but there are no joint methods for metrological analysis and metrological testing. At present, the practice of creating complex complexes for medical measurements on the principle of functional layout is widespread, which consists in the fact that the complex is assembled promptly in accordance with the emerging

task of medical research with the aim of solving the emerging medical problem: diagnostic, therapeutic, surgical, rehabilitation, e. The special relevance of this task is connected with the metrological analysis of the medical device, composed of specialized measuring systems, rather than elements of universal application. The aim of the research is a systematic approach to the implementation of a metrological SHC consisting of specialized measuring systems. This approach is based on the synthesis of the structural equations of the certification tests. The main method of analysis is the method of operational recording of measurement equations and PSHC error equations. Innovation value is represented by the technique of forming test schemes for SHC with the joint use of specialized measuring tools that have passed preliminary certification. The result is the synthesis of the SHC qualification test scheme for determining the biomechanical characteristics of the knee joint. In this case it will be possible: to evaluate the specific error of each stage of the measuring system process; It is possible to test the SHC channels as a whole independently, and the test results to be formed systematically, taking into account the interconnection of individual channels in accordance with the "algorithm" of the survey (medical, therapeutic control).

***Key words**: Measurement analysis, system approach, software and technical complex, measuring the equation.*

For citation: Mucha Y. P., Bezborodov S. A. Metrological analysis of SHC for medical measurements. Systematic approach. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer engineering, Information Science. Medical instruments engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 108–116 (in Russ.).

***

References

1. Korenevskij N. A., Popechitelev E. P., Seregin S. P. Medicinskie pribory, apparaty, sistemy i kompleksy. Kursk, Kursk Publ., 2009. 986 p.

2. Ehmmanuehl' V. L. Obespechenie kachestva laboratornoj diagnostiki v uchrezhdeniyah zdravoohraneniya pervichnogo zvena pri realizacii nacional'nogo proekta «Zdorov'e» na II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii i vystavke «Medicina i kachestvo – 2006» (Moscow, 30 noyabrya – 1 dekabrya 2006). Moscow, 2006.

3. Muha Yu. P., Avdeyuk O. A., Koroleva I. Yu. Informacionno-izmeritel'nye sistemy s adaptivnymi preobrazovaniyami. Upravlenie gibkost'yu funkcionirovaniya. Volgograd, Volg. State Eng. Univ. Publ., 2010. 304 p.

4. Tubol O. A., Zemlyakov A. V., Bajdachenko V. A., Muha Yu. P. Strukturnaya model' ehlementov golenostopa v linejnom sluchae. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 4, pp. 63–66.

5. Zemlyakov A. V., Tubol O. A., Bajdachenko V. A., Muha Yu. P. Prostranstvennaya model' ehlementov golenostopa v nelinejnom sluchae. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2015, no. 3, pp. 98–102.

6. Vorob'ev A. A., Muha Yu. P., Kolmakov A. A., Bezborodov S. A., Egin M. E. Metodika opredeleniya individual'nogo raspredeleniya nagruzki na kolennyj sustav. Byulleten' Volgogradskogo nauchnogo centra RAMN, 2008, no. 3, pp. 22–24.

7. Vorob'ev A. A., Muha Yu. P., Barinov A. S., Bezborodov S. A., Kolmakov A. A., Egin M. E. Metodika opredeleniya individual'nogo raspredeleniya nagruzki na kolennyj sustav. Biomedicinskaya radioehlektronika, 2008, no. 4, pp. 59–64.

8. Cvetkov Eh. I. Osnovy matematicheskoj metrologii. Moscow, Politekhnika Publ., 2005. 510 p.

9. Cvetkov Eh. I. Metrologiya. Modeli. Metrologicheskij analiz. Metrologicheskij sintez. St. Petersburg, LEHTI Publ., 2014. 293 p.

10. Bezborodov S. A. Programmno-tekhnicheskij kompleks dlya opredeleniya biomekhanicheskih ocenok organov dvizheniya cheloveka. Diss. cand. tekcn. nauk. Volgograd, 2011. 125 p.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в «Известиях ЮЗГУ» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail);

– электронный носитель (CD-диск).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается краткая аннотация курсивом, отражающая краткое содержание статьи.

Например:

УДК 004.9:519.8

А.Л. Иванов, канд. техн. наук, доцент, Юго-Западный государственный университет (Курск) (e-mail: ivanov@gmail.com)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ КАДРАМИ ГРАДООБРАЗУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность.

Ключевые слова: агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**