МИНОБРНАУКИ РОССИИ

# ИЗВЕСТИЯ

## Юго-Западного государственного университета

## Серия
## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА. МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Том 8
№ 4 (29)

Курск 2018

**2018. Т. 8, № 4 (29)**
**Научный рецензируемый журнал**

# ИЗВЕСТИЯ

ЮГО-ЗАПАДНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение

**Основан в 2011 г.**
*Выходит четыре раза в год*

**Учредитель: ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»**

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

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

**05.11.00 – приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы;**
**05.12.00 – радиотехника и связь;**
**05.13.00 – информатика, вычислительная техника и управление**

**Редакционная коллегия**

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

# СОДЕРЖАНИЕ

**УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА ..... 6**

*Павский В. А., Павский К. В.*
Аналитические решения для расчета показателей надежности масштабируемых вычислительных систем с групповым восстановлением ..... 6

*Иорданова А.В., Пыхтин А.И., Барков А.Н., Шатохина С.А.*
Разработка интерактивной образовательной программы «Чистая энергия» в рамках исследования мнения молодого поколения в области основных аспектов развития безуглеродной энергетики ..... 15

*Каменский А.В., Курячий М.И.*
Рекурсивно-сепарабельные двумерные цифровые фильтры обработки телевизионных изображений ..... 25

*Марухленко А.Л., Плугатарев А. В., Марухленко Л.О., Ефремов М.А.*
Комплексная оценка информационной безопасности объекта с применением математической модели для расчета показателей риска ..... 34

*Маматов А.В., Савина О.А., Машкова А.Л., Банчук Ю.А.*
Применение инструментария агентного моделирования для прогнозирования динамики кадрового потенциала регионов в рамках стратегии пространственного развития России ..... 41

*Седова Н.А., Седов В.А.*
Метод расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения на основе нейронечётких технологий ..... 53

*Таныгин М.О., Алшаиа Х. Я., Алтухова В.А., Марухленко А.Л.*
Установление доверительного канала обмена данными между источником и приёмником информации с помощью модифицированного метода одноразовых паролей ..... 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

**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 Е.В. Мельник

Подписано в печать 17.11.18. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,8.
Тираж 1000 экз. Заказ 75. 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»**

*Селяничев О.Л., Лаврухин А.И.*
Управление ходом доменной печи через локализацию областей на поверхности засыпи шихты и корректировкой ее порций ..... 72

*Калуцкий И.В., Спеваков А.Г., Остроцкая С.В.*
Метод защиты данных на жестком диске компьютерной системы ..... 79

**МЕДИЦИНСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ ..... 88**

*Ершов Е.В., Виноградова Л.Н., Варфоломеев И.А., Пыж С.В., Осколков В.М., Ершова Т.В.*
Компьютерные технологии для развития детей с заболеваниями нервной системы и опорно-двигательного аппарата ..... 88

*Муха Ю.П., Безбородов С.А.*
Особенности введения метрологических оценок состояния органов движения ..... 97

*Ефремов М.А., Филист С.А., Шаталова О.В., Старцев Е.А., Шульга Л.В.*
Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек ..... 104

*Егошина И. Л.*
Автоматизированный анализ изображений диска зрительного нерва ..... 120

**К сведению авторов .....128**

**© Юго-Западный государственный университет, 2018**

**2018. Volume 8, no 4 (29)**

**Scientific reviewed journal**

# PROCEEDINGSS

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

*Foundel in 2011.*

*Publication fregnency: four times a year*

**Founder: Southwest State University**

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

**Included in the official list of top scientific journals of the Higher Attestation Commission of the RF Ministry of Science and Education of 01.12.2015. Scientific Specialities Groups:**

**05.11.00 Instrument Engineering, Metrology and Information and Measuring Devices and Systems;**
**05.12.00 Radio Engineering and Communications;**
**05.13.00 Informatics, Computer Engineering, & Control**

**Editors**

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

# CONTENT

**CONTROL, COMPUTER ENGINEERING, INFORMATION SCIENCE ..... 6**

*Pavsky V. A., Pavsky K. V.*
Analytical Solutions for Calculating Reliability Indices of Scalable Computer Systems with Group Restoration ..... 6

*Iordanova A.V., Pykhtin A.I., Barkov A. N., Shatokhina S.A.*
Development of Interactive Educational Program «Clean Energy» in the Study, the Views of the Young Generation in the Field of the Basic Aspects of the Development of Carbon-Free Energy ..... 15

*Kamenskiy A. V., Kuryachiy M. I.*
Repursive-Separable Two-Dimensional Digital Filters of Television Image Processing ..... 25

*Marukhlenko A. L., Plugatarev A.V., Marukhlenko L.O., Efremov M.A.*
Complex Evaluation of Information Security of an Object with the Application of a Mathematical Model for Calculation of Risk Indicators ..... 34

*Mamatov A.V., Savina O.A., Mashkova A.L., Banchuk J.A.*
Application of Agent Modeling for Forecasting Dynamics of Regionl Human Resource within the Stratgy of the Russian Federation Spatial Development ..... 41

*Sedova N.A., Sedov V.A.*
Ships Passing Method in the Heavy Traffic Zone on Neuro-Fuzzy Base ..... 53

*Tanygin M. O., Alshaeaa H. Y., Altukhova V. A., Marukhlenko A. L.*
Establishing a Trusted Channel for Data Exchange between the Source and the Receiver of the Information by Using a Modified One-Time Password Method ..... 63

**R. M. Alguliyev**, Doctor of Engineering, Professor;
**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

*Selyanichev O.L., Lavrukhin A.I.*
Controlling a Blast Furnace Running Through the Localization of Areas on the Surface of Charged Raw Materials and the Correction of Charging Portions ..... 72

*Kalutskiy I. V., Spevakov A. G., Ostrotskaya S. V.*
A Method of Protecting Data on the Hard Disk of the Computer System ..... 79

**MEDICAL INSTRUMENT ENGINEERING ..... 88**

*Ershov E.V., Vinogradova L.N., Varfolomeev I.A., Pyzh S.V., Oscolkov V.M., Ershova T.V.*
Computer Technologies for the Development of Children with Diseases of Nervous and Musculoskeletal Systems ..... 88

*Mucha Yu.P., Bezborodov S.A.*
Features of an Initiation the Metrological Estimates of the State of Motion ..... 97

*Efremov M.A., Filist S.A., Shatalova O.V., Startsev E.A., Shulga L.V.*
Method for Constructing Hybrid Fuzzy Models for Predicting the Occurrence and Complications of Arterial Hypertension in Drivers of Vehicles Taking into Account the Energy Characteristics of Bioactive Points ..... 104

*Egoshina I.L.*
Automated Analysis of Images of the Optic Nerve Disk .....120

**Information for Authors ..... 128**

**© Southwest State University, 2018**

# УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 004.272:[519.87:519.248]

**В. А. Павский,** д-р техн. наук, профессор, Кемеровский государственный университет (Кемерово, Россия) (e-mail: pavva46@mail.ru)

**К. В. Павский,** д-р техн. наук, доцент, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Новосибирск, Россия) (e-mail: pkv@isp.nsc.ru)

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАСШТАБИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ГРУППОВЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

*Использование потенциальных возможностей современных большемасштабных распределенных вычислительных систем определяется их производительностью, организацией функционирования и, безусловно, надежностью. И хотя надежность отдельных элементов микроэлектроники достаточно высока, вероятность возникновения отказов увеличивается с ростом их числа. Количество вычислительных машин в современных суперкомпьютерах и распределенных вычислительных системах уже достигло сотен тысяч и более, а элементная база близка к предельной практически по всем характеристикам. Учитывая растущую конкуренцию и затраты на создание суперкомпьютеров, вычислительных систем и подобных им быстродействующих вычислительных средств, нужно понимать, что, обладая ограниченной надежностью, высокой производительностью, они должны продолжать эффективно функционировать, несмотря на наличие отказов в системе. Например, уже сейчас 20% и более вычислительных мощностей высокопроизводительных вычислительных систем занимает мониторинг ошибок, сбоев, отказов, в также сохранение и восстановление вычислительных процессов (Elnozahy E.N. (Mootaz) at al. System Resilience at Extreme Scale). То есть вычислительные системы такого масштаба выходить из строя не должны, но и постоянно давать высокую производительность эти системы не могут в силу объективных ограничений. Возникает необходимость в теоретическом анализе потенциальных возможностей вычислительных систем с целью исследования их технических характеристик и выработки рекомендаций по обеспечению заданной производительности.*

*В данной работе предлагается стохастическая модель функционирования распределенных вычислительных систем при групповом восстановлении машин. Математический аппарат – методы теории массового обслуживания и случайных процессов. Приведен вывод функции распределения времени пребывания вычислительной системы в состоянии низкой производительности. Формулы обладают наглядностью и простотой, могут быть использованы при экспресс-анализе проектируемых и действующих вычислительных систем.*

***Ключевые слова:*** *распределенные вычислительные системы, производительность, надежность, групповое восстановление, функция распределения.*

**Ссылка для цитирования:** Павский В. А., Павский К. В. Аналитические решения для расчета показателей надежности масштабируемых вычислительных систем с групповым восстановлением // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 6–14.

***

### Введение

К основным требованиям, предъявляемым к разработчикам вычислительных средств, относятся производительность и надежность [1]. Повышение производительности обычно непосредственно связано как с увеличением тактовой частоты, разработкой архитектуры вычислительной единицы под решаемую задачу, так и с количественным увеличением элементов микроэлектроники (это

могут быть вычислительные узлы, ядра, элементарные машины (ЭМ) как самостоятельные вычислительные единицы) [2–7]. Например, вычислительные системы (ВС) кластерного типа составляют 87% суперкомпьютеров списка Top500 [7, 8]. Однако для распределенных ВС, как, впрочем, и для других современных систем, простое наращивание их ЭМ может привести либо к несущественному повышению, либо даже к снижению надежности, и это при повышенной надежности каждой ЭМ [9]. В самом деле число ЭМ в современных суперкомпьютерах и распределенных вычислительных системах (ВС) уже достигло сотен тысяч и более [6-8], а элементная база близка к предельной, практически по всем характеристикам [10, 11].

Учитывая растущую конкуренцию и затраты на создание суперкомпьютеров, ВС и подобных им быстродействующих вычислительных средств, нужно понимать, что, обладая ограниченной надежностью, высокой производительностью, они должны продолжать эффективно функционировать, несмотря на наличие отказов в системе [12, 13]. В такой ситуации особую актуальность приобретает организация [14–17] и теоретический анализ потенциальных возможностей быстродействующих вычислительных средств [1, 18, 19].

Объект исследования − распределенные масштабируемые ВС, восстановление отказавших машин в которых осуществляется группами. Математическая модель, описывающая функционирование ВС, основана на предположении, что по производительности в любой момент времени ВС может находиться в одном из двух несовместных состояний – высокой производительности или низкой производительности. В работе предложена модель, описывающая функционирование вычислительных систем кластерного типа с отказами и групповым восстановлением. Модель формализована системой дифференциальных уравнений, неизвестными функциями которой является распределение вероятностей. Решение получено в аналитическом виде.

### Модель вычислительной системы

Рассмотрим стохастическую модель функционирования распределенной масштабируемой вычислительной системы с резервными машинами (рис.1), в которой возможны отказы и восстановления элементарных машин [1].

При отказе элементарной машины (одной из $N$) из основной подсистемы происходит её замена на одну из $n$ ($n<<N$) машин резерва с последующим восстановлением отказавшей ЭМ. В случайные моменты времени восстанавливающее устройство (ВУ) начинает восстановление отказавших ЭМ группами по $r$ ($r \le n$). По окончании восстановления ЭМ возвращаются в основную подсистему.

Пока множество ЭМ, составляющих резерв, непустое, считаем, что ВС имеет высокую производительность, иначе она переходит в состояние низкой производительности с сохранением работоспособности функций. Разумно считать, что системы такого масштаба не должны отказывать. Эту дополнительную информацию можно использовать при анализе времени нахождения ВС в состоянии низкой производительности и, не усложняя модели, выработать рекомендации для повышения эффективности работы ВС. Ввиду масштабируемости ВС $n << N$ предполагаем, что отказы в системе фиксируются с интенсивностью $N\lambda$.

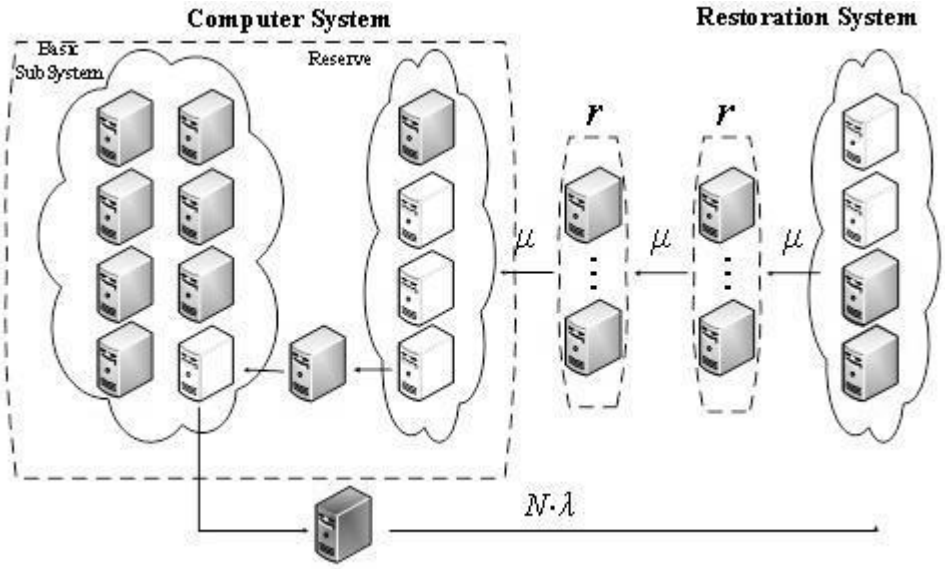



Рис. 1. Модель распределенной вычислительной системы с резервом (групповое восстановление отказавших машин)

Необходимо получить функцию распределения *G(t)*, времени пребывания ВС в состоянии низкой производительности и найти стохастически оптимальный объем вычислительной системы как функцию надежности элементной базы.

Далее система массового обслуживания (СМО) – восстанавливающая система, требование – элементарная машина (ЭМ), находящаяся в состоянии отказа, обслуживание – восстановление.

**Математическая модель**

На систему массового обслуживания поступает пуассоновский поток требований интенсивностью $N\lambda$ [20, 21]. В каждый момент времени $t \in [0, \infty)$ СМО находится в одном из множества несовместных состояний $C_k$, где $k$ – число требований, находящихся в СМО, включая недообслуженное требование.

Время обслуживания группы из $r$ требований подчинено экспоненциальному распределению с параметром μ.

Обслуженные требования покидают СМО.

Если система находится в состоянии $C_l$, то $l = \begin{cases} r, & если\ k \geq r, \\ k, & если\ o \leq k < r, \end{cases}$ требований покидают систему с интенсивностью μ и система переходит в состояние $C_{k-r}$.

На рисунке 2 представлена граф-схема состояний СМО.

Рассмотрим стационарный режим функционирования СМО.

Пусть $p_k$ – вероятность того, что СМО находится в состоянии $C_k$.

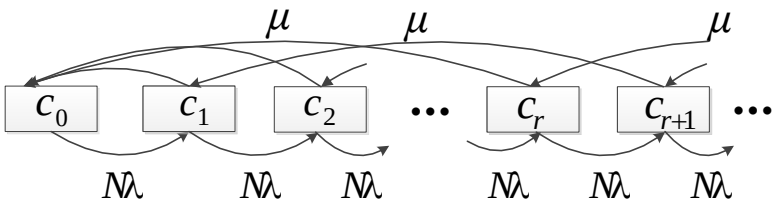



Рис. 2. Размеченный граф состояний, описывающий процесс с групповым восстановлением

Учитывая рисунок 2, запишем уравнения равновесия [21]:

$$\begin{cases} N\lambda p_0 = \mu(p_1 + p_2 + ... + p_r), \\ (N\lambda + \mu)p_k = \mu p_{k+r} + N\lambda p_{k-1}, \ k \geq 1. \end{cases}$$

(1)

Для решения системы уравнений (1) введем производящую функцию [22]

$$H(z) = \sum_{k=0}^{\infty} p_k z^k.$$

Проводя стандартные преобразования над системой уравнений, получаем

$$H(z) = (\mu \sum_{k=0}^{r} p_k z^k - (N\lambda + \mu)p_0 z^r)/$$

$$/(N\lambda(z \ - (N\lambda + \mu)p_0)z^r + \mu)) \ . \qquad (2)$$

После преобразований для производящей функции (2) имеем выражение [21]

$$H(z) = \frac{1 - 1/z_0}{1 - z/z_0} \quad ,$$

где $z_0$>1 – корень уравнения знаменателя;

$$(N\lambda(z - (N\lambda + \mu)p_0)z^r + \mu = 0 \, .$$

Взяв обратное преобразование Лапласа, окончательно получим

$$p_k = (1 - \frac{1}{z_0})(\frac{1}{z_0})^k, \quad k = 0, 1, 2, \ldots, \qquad z_0 > 1,$$

(3)

где $z_0$ – иррациональный корень многочлена степени *r*, точное значение которого неизвестно, при расчете которого можно воспользоваться численными методами.

### Вывод функции распределения *G*(*t*)

Пусть η – случайная величина, отражающая время восстановления системы, тогда функция $F(t)$ нахождения ВС в состоянии низкой производительности в течение времени $t \in [0, \infty)$ [23] запишется в виде

$$F(t) = P\{\eta \geq t\} \, .$$

Далее, если ВС функционирует достаточно долго, то $P\{\eta=0\}=p_{отк}$, где $p_{отк}$ постоянна для любого $t \in [0, \infty)$.

Пусть число резервных машин равно *s* (*s* << *N*) ЭМ, тогда в общем случае $p_k$ записывается как $p_k=(1-a)a^k$ – вероятность того, что *k* элементарных машин ожидают обслуживания ($a = 1/z_0$, 0<*a*<1, см.(3)), $p_{отк} = 1 - \sum_{k=0}^{s-1} p_k = a^s$, откуда

$$P\{\eta \geq t\} = \sum_{k=s}^{m} p_k P_k\{\eta \geq t\},$$

где $P_k\{\eta \geq t\}$ – вероятность того, что на восстановление *k* ЭМ будет затрачено времени не менее *t*, а *m* – допустимое количество отказавших машин в вычислительной системе, и в дальнейшем это число будет использовано при оценке погрешности $F(t)$.

Так как мы принимаем во внимание, что в стационарном режиме поток восстановлений машин простейший, то имеем распределение Пуассона. Тогда среднее число восстановлений ЭМ за время *t* будет равно $\mu t$.

### Вывод функции F(t)

Предположим, что ВС при $k \geq s$ находится в состоянии низкой производительности. Пусть восстановление осуществляется группами по *r* ЭМ с интенсивностью μ.

Как только *k*<*s*, так считаем, что система находится в состоянии высокой производительности.

Имеем

$$P_k\{\eta \geq t\} = \sum_{j=0}^{[(k-s)/r]} \frac{(\mu t)^j}{j!} \exp(-\mu t),$$

где [*x*] – целая часть числа *x*.

$$P\{\eta \ge t\} = \sum_{k=s}^{m}(1-a)a^k \sum_{j=0}^{[(k-s)/r]} \frac{(\mu t)^j}{j!}\exp(-\mu t).$$

Поскольку $N$ велико, $r << N$, то при $N \to \infty$ допускаем $m \to \infty$.

Тогда

$$\tilde{F}(t) = \sum_{k=s}^{\infty}(1-a)a^k \sum_{j=0}^{[(k-s)/r]} \frac{(\mu t)^j}{j!}\exp(-\mu t).$$

Учитывая, что $k \ge s$ (по условию $s > 0$), имеем $p_k = p_{отк} p_{k-s}$.

Откуда

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\mu t)a^s \sum_{k=0}^{\infty}(1-a)a^k \sum_{j=0}^{[k/r]} \frac{(\mu t)^j}{j!}$$

Изменяя порядок суммирования, получим

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\mu t)a^s \sum_{j=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^j}{j!}\sum_{k=j\cdot r}^{\infty}(1-a)a^k,$$

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\mu t)a^s \sum_{j=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^j}{j!}\left(a^r\right)^j \sum_{k=0}^{\infty}(1-a)a^k.$$

Замечая, что $\sum_{k=0}^{\infty}(1-a)\cdot a^k = 1$, имеем

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\mu t)a^s \sum_{j=0}^{\infty}\frac{(\mu t)^j}{j!}\left(a^r\right)^j.$$

Откуда

$$\tilde{F}(t) = a^s \exp(-\mu t)\exp(a^r \mu t),$$

$$F(t) \approx \tilde{F}(t) = p_{отк}\exp\left(-(1-a^r)\mu t\right). \quad (4)$$

Приведем погрешность $\Delta(t,m)$ функции $F(t) \approx \tilde{F}(t)$, определяемой формулой (4), и с принятым допущением, что $m \to \infty$.

Имеем

$$\Delta(t,m) = a^{m-r+1}\sum_{k=r}^{\infty}(1-a)a^k \sum_{j=0}^{[k/r]-1}\frac{(\mu t)^j}{j!}\exp\left(-\mu t\right),$$

$$\Delta(t,m) = \sum_{k=m+1}^{\infty}(1-a)a^k \sum_{j=0}^{k-r}\frac{(\mu t)^j}{j!}\exp\left(-\mu t\right).$$

После преобразований, аналогичных выводу функции (4), получаем

$$\Delta(t,m) = a^{m-r+1}F(t). \quad (5)$$

Итак, погрешность $\Delta(t,m)$ определяет расчет функции $F(t) \approx \tilde{F}(t)$ с наперед заданной точностью с параметром $m$. Параметр $m$ есть то число, на которое необходимо увеличить размер резерва для поддержания высокой производительности ВС.

Если $s=r$, то формула (4) принимает вид

$$F(t) = p_{отк}\cdot\exp\left(-(1-p_{отк})\mu t\right). \quad (6)$$

Тогда функция распределения нахождения ВС в состоянии низкой производительности запишется в следующем виде:

$$G(t) = 1 - p_{отк}\cdot\exp\left(-(1-p_{отк})\mu t\right). \quad (7)$$

Полученные формулы определяют вероятность (см. (4) и (6)) и функцию распределения времени (см. (7)) нахождения распределенных вычислительных систем в состоянии низкой производительности при групповом восстановлении отказавших машин с погрешностью (5).

**Заключение**

В работе представлена математическая модель, позволяющая найти функцию распределения времени нахождения ВС кластерного типа в состоянии низкой производительности. Модель стохастическая, основана на методах теории массового обслуживания и теории вероятностей. Полученное аналитическое решение позволяет проанализировать эффективность функционирования вычислительных систем не только в рамках, ограниченных теоретическими предположениями, содержащимися в формулировке модели, но и в более общих случаях. Дело в том, что полученное аналитическое решение представляет наглядное практическое использование простой формулы в более общих случаях.

В самом деле за последние десятилетия в разных странах накоплен достаточный опыт работы с ВС и суперкомпьютерами, имеется и соответствующая статистика отказов систем [10, 11]. Эту статистику можно использовать, например, как числовое значение для оценки вероятности $p_{отк}$. В этом одно из основных преимуществ аналитических решений – информационной содержательности формул – перед численными и алгоритмическими подходами, использующими этот математический аппарат не как метод, а как инструмент исследования.

*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований президиума СО РАН (ГЗ 0306-2016-0018), РФФИ (грант № 16-07-00172).*

**Список литературы**

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем / МГТУ им. Баумана. М., 2008. 520 с.

2. Dongarra J. J., A. J. van der Steen. High-performance computing systems: Status and outlook. Acta Numerica, 2012. P. 1–96.

3. Kalyaev I.A., Levin I.I., Semernikov E.A. Reconfigurable multipipeline computing structures. New York: Nova Science Publishers, 2012. 330 p.

4. Dordopulo A., Kalyaev I., Levin I. High-performance reconfigurable computer systems // Lecture Notes in Computer Science. Chapter Parallel Computing Technologies. 2011. Vol. 6873. P. 272–283.

5. Развитие технологии построения реконфигурируемых вычислительных систем с жидкостным охлаждением / И.И. Левин, А.И. Дордопуло, А.М. Федоров, Ю.И. Доронченко // Суперкомпьютерные технологии (СКТ-2018): материалы 5-й Всероссийской научно-технической конференции: в 2 т. Ростов н/Д.; Таганрог, 2018. Т.1. С. 184-187.

6. Абрамов С.М., Лилитко Е.П. Состояние и перспективы развития вычислительных систем сверхвысокой производительности // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 2. С. 6–22.

7. Абрамов С.М. Анализ суперкомпьютерных киберинфраструктур ведущих стран мира // Суперкомпьютерные технологии (СКТ-2018): материалы 5-й Всероссийской научно-технической конференции: в 2 т. Ростов н/Д; Таганрог, 2018. Т.1. С . 11-18.

8. TOP500 Supercomputers Official Site. TOP500 Lists: [сайт]. URL: http://www.top500.org (дата обращения: 30.10.2018).

9. Nikolic S. High Performance Computing Directions: The Drive to ExaScale Computing // Proceedings of the International Scientific Conference "Parallel Computing Technologies (PaVT'2012). Novosibirsk, 2012. URL: http://pavt.susu.ru/2012/talks/Nikolic.pdf (reference date: 16.05.2018).

10. Gupta S., Patel T., Engelmann C. Failures in large scale systems: long-term measurement, analysis, and implications // SC '17: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Article No. 44, Denver, Colorado, November 12 - 17, 2017.

11. Schroeder B., Gibson Garth A. A large-scale study of failures in high-performance computing systems // Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks

(DSN2006). Philadelphia, PA, USA, June 25-28, 2006.10 p.

12. Korobkin V., Melnik E., Klimenko A. Fault-tolerant architecture for the hazardous object information control systems // Application of information and communication technologies - AICT2015 (IEEE catalog number CFPI556H-PRT): conference proceedings (Rostov-on-Don, Russia, 14-16 October, 2015). Rostov-on-Don, 2015. P.274-276.

13. Отказоустойчивый управляющий вычислительный комплекс машины перегрузочной атомного реактора типа ВВЭР / И.А. Каляев, В.В. Коробкин, Э.В. Мельник, И.В. Малахов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. №3. С.143–146.

14. Di S., Bouguerra M. S., Bautista-Gomez L. Optimization of multilevel checkpoint model for large scale hpc applications // In Parallel and Distributed Processing Symposium. IEEE 28th International, 2014. P. 1181–1190.

15. Отказоустойчивое децентрализованное управление ресурсами грид / В.В. Корнеев, Д.В. Семенов, П.Н. Телегин, Б.М. Шабанов // Известия вузов. Электроника. 2015. № 1. С. 83-89.

16. Алгоритмы отказоустойчивого управления ресурсами пространственно-распределённых вычислительных систем / А.Ю. Поляков, О.В. Молдованова, А.А. Пазников, М.Г., Курносов С.Н. Мамойленко, А.В. Ефимов // Вестник СибГУТИ. 2014. №4. С. 9-27.

17. System resilience at extreme scale / Mootaz Elnozahy (editor), Ricardo Bianchini, Tarek El-Ghazawi [et al.] // Technical report, Defense Advanced Research Project Agency (DARPA), 2009.

18. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. 512 с.

19. Хорошевский В.Г. Модели анализа и организации функционирования большемасштабных распределенных вычислительных систем // Электронное моделирование. 2003. Т. 25, № 6.

20. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М., 2010. 520 с.

21. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

22. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: в 2 т. М.: «ЛИБРОКОМ», 2010. Т. 1. 528 с.

23. Гнеденко Б.В. , Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Эдиториал УРСС, 2005. 400 с.

*Поступила в редакцию 10.09.18*

UDC 004.272:[519.87:519.248]

**V. A. Pavsky,** Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kemerovo State University (Kemerovo, Russia) (e-mail: pavva46@mail.ru

**K. V. Pavsky,** Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia) (e-mail: pkv@isp.nsc.ru)

## ANALYTICAL SOLUTIONS FOR CALCULATING RELIABILITY INDICES OF SCALABLE COMPUTER SYSTEMS WITH GROUP RESTORATION

*Using the potential of modern large high-performance computer system is determined by their performance, functioning organization and, of course, reliability. And although the reliability of elements of microelectronics is high enough, the probability of failures increase with the growth of their number. The number of computers in large high-performance computer system has already reached hundreds of thousands and more, and the element base is close to the limit, almost in all characteristics. Given the growing competition and costs of building large high-performance computer system, it is necessary to understand that, with limited reliability, high performance, they must continue to function effectively, despite the presence of failures in the system. Today, 20% or more of the computing capacity in a large high-performance computer system is wasted due to failures and recoveries (Elnozahy E.N. (Mootaz) at al. System Resilience at Extreme Scale). That is, the computer systems of this scale should not fail, so their possible states will be considered either high performance or low. There is a need for a theoretical analysis of the potential of the computer systems, in order to study their technical characteristics and develop recommendations to ensure a given performance. A stochastic model of distributed computer systems functioning with group machine restorations is proposed. Mathematical apparatus - methods of Queuing theory. The derivation of the time distribution function of computer systems in a state of low performance in a state of low performance is given.*

***Key words:*** *distributed computer systems, mathematical model, reliability indices, failures, group restoration, distribution function.*

**For citation:** Pavsky V. A., Pavsky K. V. Analytical solutions for calculating reliability indices of scalable computer systems with group restoration. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 6–14 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Horoshevskij V.G. Arhitektura vychislitel'nyh sistem. Moscow, 2008. 520 p.

2. Dongarra J. J., A. J. van der Steen. High-performance computing systems: Status and outlook, Acta Numerica, 2012, pp. 1–96.

3. Kalyaev I.A., Levin I.I., Semernikov E.A. Reconfigurable multipipeline compu-ting structures. New York: Nova Science Publishers, 2012. 330 p.

4. Dordopulo A., Kalyaev I., Levin I. High-performance reconfigurable computer systems. Lecture Notes in Computer Science. Chapter Parallel Computing Technologies, 2011, vol. 6873, pp. 272–283.

5. Levin I.I., Dordopulo A.I., Fedorov A.M., Doronchenko Ju.I. Razvitie tehnologii postroenija rekonfiguriruemyh vychislitel'nyh sistem s zhidkostnym ohlazhdeniem. Materialy 5-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Superomp'juternye tehnologii (SKT-2018)». Rostov-n/D; Taganrog, 2018, vol.1, pp. 184-187.

6. Abramov S.M., Lilitko E.P. Sostojanie i perspektivy razvitija vychislitel'nyh sistem sverhvysokoj proizvoditel'nosti. Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy, 2013, no. 2, pp. 6–22.

7. Abramov S.M. Analiz superkomp'juternyh kiberinfrastruktur vedushhih stran mira. Materialy 5-j Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Superomp'juter-

nye tehnologii (SKT-2018)». Rostov-n/D; Taganrog, 2018, vol.1, pp. 11-18.

8. TOP500 Supercomputers Official Site. TOP500 Lists: [sajt]. URL: http://www.top500.org (accessed 30.10.2018).

9. Nikolic S. High Performance Computing Directions: The Drive to ExaScale Computing. Proceedings of the International Scientific Conference «Parallel Computing Technologies (PaVT'2012)». Novosibirsk, 2012. URL: http://pavt.susu.ru/ 2012/ talks/Nikolic.pdf (accessed 16.05.2018).

10. Gupta S., Patel T., Engelmann C. Failures in large scale systems: long-term measurement, analysis, and implications. SC '17: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Article, no. 44, Denver, Colorado, November 12 - 17, 2017.

11. Schroeder V., Gibson Garth A. A large-scale study of failures in high-performance computing systems. Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN2006). Philadelphia, PA, USA, June 25-28, 2006. 10 p.

12. Korobkin V., Melnik E., Klimenko A. Fault-tolerant architecture for the hazardous object information control systems. Application of information and communication technologies - AICT2015 (IEEE catalog number CFPI556H-PRT): conference proceedings (Rostov-on-Don, Russia, 14-16 October, 2015). Rostov-on-Don, 2015, pp. 274-276.

13. Kaljaev I.A., Korobkin V.V., Mel'nik Je.V., Malahov I.V. Otkazoustojchivyj upravljajushhij vychislitel'nyj kompleks mashiny peregruzochnoj atomnogo reaktora tipa VVJeR. Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie, 2003, no.3, pp.143–146.

14. Di S., Bouguerra M. S., Bautista-Gomez L. Optimization of multilevel checkpoint model for large scale hpc applications. In Parallel and Distributed Processing Symposium. IEEE 28th International, 2014, pp. 1181–1190.

15. Korneev V.V., Semenov D.V., Telegin P.N., Shabanov B.M. Otkazoustojchivoe decentralizovannoe upravlenie resursami grid. Izvestija vuzov. Jelektronika, 2015, no. 1, pp. 83-89.

16. Poljakov A.Ju., Moldovanova O.V., Paznikov A.A., Kurnosov M.G., Mamojlenko S.N., Efimov A.V. Algoritmy otkazoustojchivogo upravlenija resursami prostranstvenno-raspredeljonnyh vychislitel'nyh sistem. Vestnik SibGUTI, 2014, no.4, pp. 9-27.

17. Elnozahy Mootaz (editor), Bianchini Ricardo, El-Ghazawi Tarek, eds. System resilience at extreme scale. Technical report, Defense Advanced Research Project Agency (DARPA), 2009.

18. Vishnevskij V.M. Teoreticheskie osnovy proektirovanija komp'juternyh setej. Moscow, Tehnosfera Publ., 2003/ 512 p.

19. Horoshevskij V.G. Modeli analiza i organizacii funkcionirovanija bol'shemasshtabnyh raspredelennyh vychislitel'nyh sistem. Jelektronnoe modelirovanie, 2003, vol. 25, no. 6.

20. Saati T.L. Jelementy teorii massovogo obsluzhivanija i ee prilozhenija. Moscow, 2010. 520 p.

21. Klejnrok L. Teorija massovogo obsluzhivanija. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 432 p.

22. Feller V. Vvedenie v teoriju verojatnostej i ee prilozhenija. Moscow, LIBROKOM, 2010, vol. 1. 528 p.

23. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Vvedenie v teoriju massovogo obsluzhivanija. Moscow, Jeditorial URSS, 2005. 400 p.

УДК 621.039.009; 303.425.6

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

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

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

**С.А. Шатохина,** студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sofya.shatohina@mail.ru)

# РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «ЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ» В РАМКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ МНЕНИЯ МОЛОДОГО ПОКОЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОСНОВНЫХ АСПЕКТОВ РАЗВИТИЯ БЕЗУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*В статье представлены результаты проведенного социологического исследования среди студентов младших курсов университета, выявляющего познания обучающихся в области безуглеродной энергетики. На основании данных результатов была разработана образовательная программа, структура которой включает краткий теоретический курс и интерактивную игру. Лекционный материал позволит дать понятное объяснение и оказать информационную поддержку в области повышения уровня образованности в данной сфере, что в свою очередь обеспечит понимание вопроса необходимости использования безуглеродной энергетики как приоритетного направления снижения выбросов парниковых газов в атмосферу.*

*Кроме того, разработанная в рамках образовательной программы интерактивная игра позволяет в игровой форме усвоить и закрепить полученные знания. В статье подробно рассмотрены основные этапы и правила игры.*

*Далее для выявления эффективности разработанной образовательной программы было проведено контрольное тестирование. В ходе проведения повторного социологического исследования было выявлено, что разработанная образовательная программа позволяет в доходчивой форме объяснить все особенности использования альтернативных источников энергии, образующих в совокупности так называемый «зеленый квадрат».*

*Результаты контрольного тестирования показывают, что мнение опрашиваемых касаемо использования атомной энергетики наравне с другими альтернативными источниками энергии изменилось в положительную сторону.*

***Ключевые слова:*** *безуглеродная энергетика, атомная энергетика, образовательная программа, интерактивная игра.*

**Ссылка для цитирования:** Разработка интерактивной образовательной программы «Чистая энергия» в рамках исследования мнения молодого поколения в области основных аспектов развития безуглеродной энергетики / А.В. Иорданова, А.И. Пыхтин, А.Н. Барков, С.А. Шатохина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 15–24.

***

## Введение

Развитие безуглеродной энергетики – один из ключевых аспектов диалога международных экологических и правительственных организаций. Мало кто знает, что в основе «зеленой» безуглеродной энергетики лежат четыре основных вида энергии: ветровая, водная, солнечная и атомная. Однако если про первые три вида большинство населения знает относительно немного и относится к их развитию в большей степени положительно, то атомная энергетика уже на протяжении долгого времени является некой «страшилкой» для населения. А между тем именно атомная энергетика является

наиболее перспективной по отношению к другим альтернативным источникам энергии [1].

На сегодняшний момент в Российской Федерации «зеленая энергетика» находится на зарождающемся уровне. Это связано с тем, что в нашей стране очень долгое время уделялось внимание лишь развитию углеродной энергетики в связи с наличием большого количества запасов полезных ископаемых, в частности угля.

В настоящее время объекты ядерной энергетики воспринимаются значительной частью населения как источник повышенной опасности. Одной из причин этого является недостаточная информированность общественности обо всех аспектах функционирования атомной промышленности. За полвека мировая атомная энергетика пережила три серьезных аварии: Три-Майл-Айленд, Чернобыль, Фукусима. Все это не прошло бесследно и, конечно же, отразилось на мнении населения касаемо атомной энергетики. Недавно проведенные опросы (в том числе после аварии на АЭС Фукусима) показали, что большинство населения не против дальнейшего развития атомной энергетики, но все же относится к этому настороженно [2].

### Постановка задачи

В поддержку развития безуглеродной энергетики, и в частности атомной энергетики, для формирования общественного мнения необходимо целенаправленное доведение достоверной информации об экологическом состоянии объектов и окружающих территорий до заинтересованной общественности.

Именно поэтому целью нашей работы являлось проведение исследования мнения в области основных аспектов развития безуглеродной энергетики среди студентов младших курсов и составление на основе проведенного исследования специализированной образовательной программы.

### Экспериментальная часть

Работа подразумевала под собой три основных этапа.

Первый этап заключался в проведении социологического исследования среди студентов и школьников города Курска для выявления уровня познаний в области безопасного использования атомной энергетики и ее использования как основной альтернативы углеродной энергетики, возможности совместного использования других видов альтернативной энергетики, а также анализ приоритетности использования атомной энергетики в этой области [3, 4].

Для проведения исследования была разработана анкета, состоящая из 20 вопросов. Анкета состоит из следующих частей:

1) вводная часть, где указывается, кто производит опрос, с какой целью, дается инструкция по заполнению;

2) 2 блока основных вопросов, направленных на изучение мнения респондентов о влиянии АЭС на окружающую среду и их отношении к использованию безуглеродной энергетики;

3) блок вопросов, направленных на изучение характеристик респондентов, их пол, возраст и направление подготовки.

В социологическом исследовании принимали участие студенты 1-2 курсов Юго-Западного государственного университета. Основная возрастная категория опрошенных – студенты гуманитарных (57%) и технических (43%) направлений подготовки 19-25 лет (86%) и до 18 лет (14%). Общие сведения о респондентах представлены на рисунке 1.

*а*) *б*) *в*)

Рис. 1. Структура ответов на вопросы, касающиеся общих сведений опрошенных: *а* – Ваше направление подготовки; *б* – Ваш пол; *в* – Ваш возраст

По ответам на вопросы основного блока, который характеризует отношение респондентов к атомной энергетике, можно сделать некоторые выводы, опираясь на рисунок 2.

Большинство опрошенных считает, что атомная энергетика – это прогресс будущего (60%); при этом 23% уверены, что без нее можно обойтись, если использовать другие альтернативные источники энергии; 14% категорически против атомной энергии.

Большинство участников опроса сошлись во мнении (41%), что атомную энергетику следует оставлять на нынешнем уровне; 29 % утверждают, что атомную энергетику необходимо активно развивать; 6% затруднились ответить на поставленный вопрос, а 24% опрошенных уверенны, что следует отказаться от использования атомной энергии.

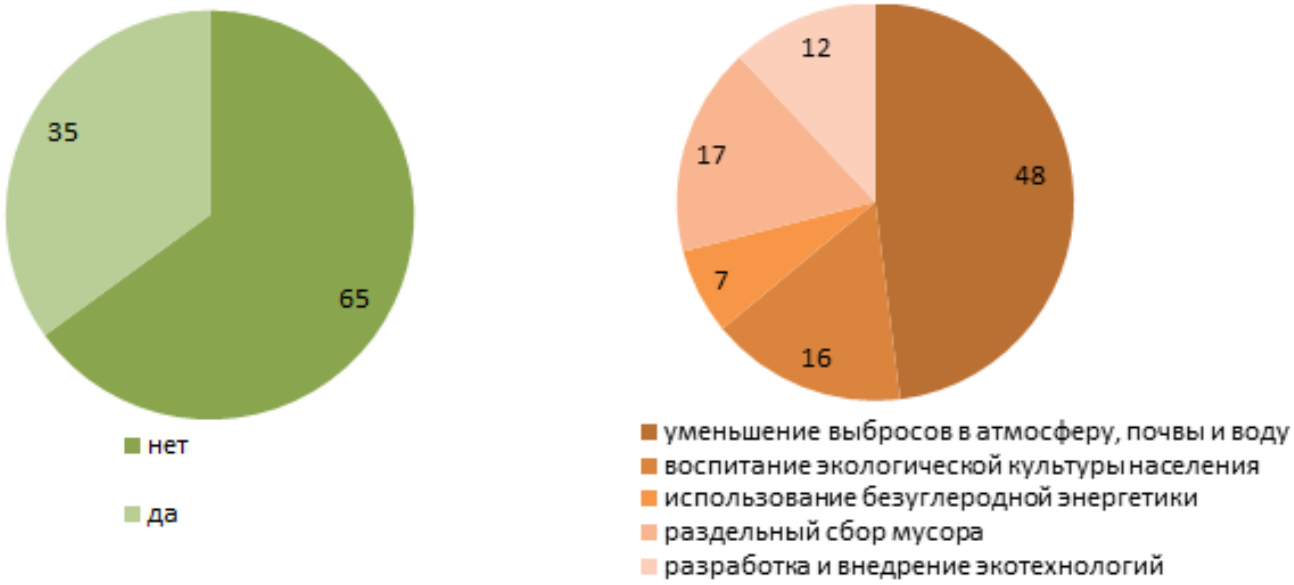
В то, что ядерная реакция может быть безопасной, верят лишь 14% опрошенных, большая часть (81%) не согласна с этим утверждением.

*а*) *б*) *в*)

Рис. 2. Структура ответов на вопросы, касающиеся атомной энергетики: *а* – каково Ваше отношение к атомной энергетике; *б* – на Ваш взгляд, атомную энергетику следует…; *в* – верите ли Вы, что ядерная реакция может быть безопасной

Если проанализировать диаграмму, изображенную на рисунке 3, *а*, то можно увидеть, что многие студенты не имеют представления о том, что такое безуглеродная энергетика (65%).

В ходе исследования студентам предлагалось высказать свое мнение о том, что может привести к улучшению экологической обстановки в регионах России. Большинство опрошенных (48%) считает, что уменьшение выбросов в атмосферу, почву и воду, 17% отметили, что необходимо вводить раздельный сбор мусора, 16% опрошенных студентов утверждают, что необходимо воспитывать экологическую культуру населения, 12% уверены в том, что необходимо разрабатывать и внедрять новые экотехнологии, 7% считают, что необходимо использовать безуглеродную энергетику.




*а*) *б*)

Рис. 3. Структура ответов на вопросы, касающиеся безуглеродной энергетики: *а* – знаете ли Вы, что такое безуглеродная энергетика; *б* – что, по Вашему мнению, может привести к улучшению экологической обстановки в регионах России

Проведение данного этапа необходимо было для того, чтобы определить общественное понятие данного вопроса и уровень образованности, что является необходимым аспектом перехода от общественной приемлемости к общественной востребованности в области безуглеродной энергетики [5, 6].

Этап позволил определить, какие именно вопросы развития безуглеродной энергетики (в частности, атомной энергетики) и какие аспекты ее использования наиболее интересны для опрашиваемых, и те вопросы, которые требую более детального рассмотрения из-за недостаточности познаний опрашиваемых в данной сфере.

В ходе реализации первого этапа и проведенного исследования было выявлено, что уровень познаний у студентов в области безуглеродной энергетики находится довольно на низком уровне.

Второй этап подразумевал на основании анализа социологического опроса разработку лекционного материала, необходимого для проведения открытых уроков, дискуссий и круглых столов, которые позволят дать понятное объясне-

ние и оказать информационную поддержку в области повышения уровня образованности в сфере данных вопросов, что, в свою очередь, обеспечит понимание вопроса необходимости использования безуглеродной энергетики как приоритетного направления снижения выбросов парниковых газов в атмосферу. Помимо разработки лекционного материала была разработана интерактивная образовательная игра «Чистая энергия».

Для повышения уровня образованности обучающихся нами был разработан проект образовательной программы.

Образовательная программа состоит из двух блоков:

– информационный блок (краткий теоретический курс);

– интерактивная образовательная игра «Чистая энергия».

Информационный курс разбит на несколько секций: солнечная энергия, энергия воды, энергия ветра, атомная энергия. Каждая секция подразумевает краткую характеристику каждого вида энергии, интересные факты и особенности использования данного типа энергии, историю ее становления и развития, перспективные направления совершенствования каждой энергетической отрасли.

Каждый блок информационного курса длится один академический час (45 минут).

Для создания информационного блока (курса лекций) были использованы издания периодической печати, учебники и учебные пособия, а также информационные ресурсы сети Интернет [7, 8].

После прослушивания информационного курса студентам предлагается закрепить приобретенные знания с помощью интерактивной образовательной игры «Чистая энергия». Игра направлена на повышение уровня образованности и общей эрудированности обучающихся.

В игре участвуют 4 команды (Вода, Ветер, Солнце, Атом). Каждая команда состоит приблизительно из 5 человек. Команды выбирают капитана, он тянет жребий. С помощью жребия определяется вид энергии, который будут представлять команды. Сама игра состоит из двух заданий.

Первое задание – Плюсы и минусы альтернативных источников энергии.

Каждой команде предлагается встать на защиту своего вида энергии и представить как минимум 4 плюса использования данного вида энергии (командам дается от 5 до 10 минут).

Далее каждая команда, в лице капитана, выходит на предзащиту и рассказывает всем присутствующим о плюсах использования выбранного вида энергии.

После чего командам-соперникам предлагается подумать о минусах использования данного вида альтернативного источника энергии (от 3 до 5 минут).

Второе задание – Тематический кроссворд.

В одиночку ни одна команда не решит кроссворд. Им необходимо объединиться для отгадки кодового слова.

Каждой команде дается 5 вопросов, связанных с выбранным видом энергии. Все вопросы имеют общую структуру:

– ребусы;

– ответ на вопрос;

– вопрос-афоризм;

– собрать слово из букв;

– отгадать слово в картинке.

Пример типового задания представлен на рисунке 4.

Команды заполняют кроссворд, представленный на рисунке 5, и отгадывают кодовое слово (словосочетание).

**1. Ответ на вопрос**

20. По данным ЮНЕСКО, самая чистая вода находиться в …?
Ответ:_____
30.(по вертикали) Какая вода быстрее превратится в лед: горячая или холодная?
Ответ:_____
17. На какой реке расположена самая большая по мощности ГЭС в России?
Ответ:_____

**2. Вопрос-афоризм**

*Перед вами знаменитое крылатое выражение, о чем в нем идет речь?*
9. У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобою наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь. С тобой во всем существе разливается блаженство, которое не объяснить только нашими пятью чувствами. Ты возвращаешь нам силы и свойства, на которых мы уже поставили было крест. Твоим милосердием снова отворяются исссякшие родники сердца.
(Антуан де Сент-Экзюпери, "Планета людей")
Ответ:_____

**3. Ребусы**

10.

Ответ:_____

Ответ:_____

**4. Собрать слово из букв**

14.

А Б И У Р Т Н

Ответ:_____

**5. Слово в картинке**

*8. В этом задании зашифрована фамилия ученого, который первый разработал проект создания гидроэлектростанции.*

Ответ:_____

Рис. 4. Пример заданий для команды «Вода»

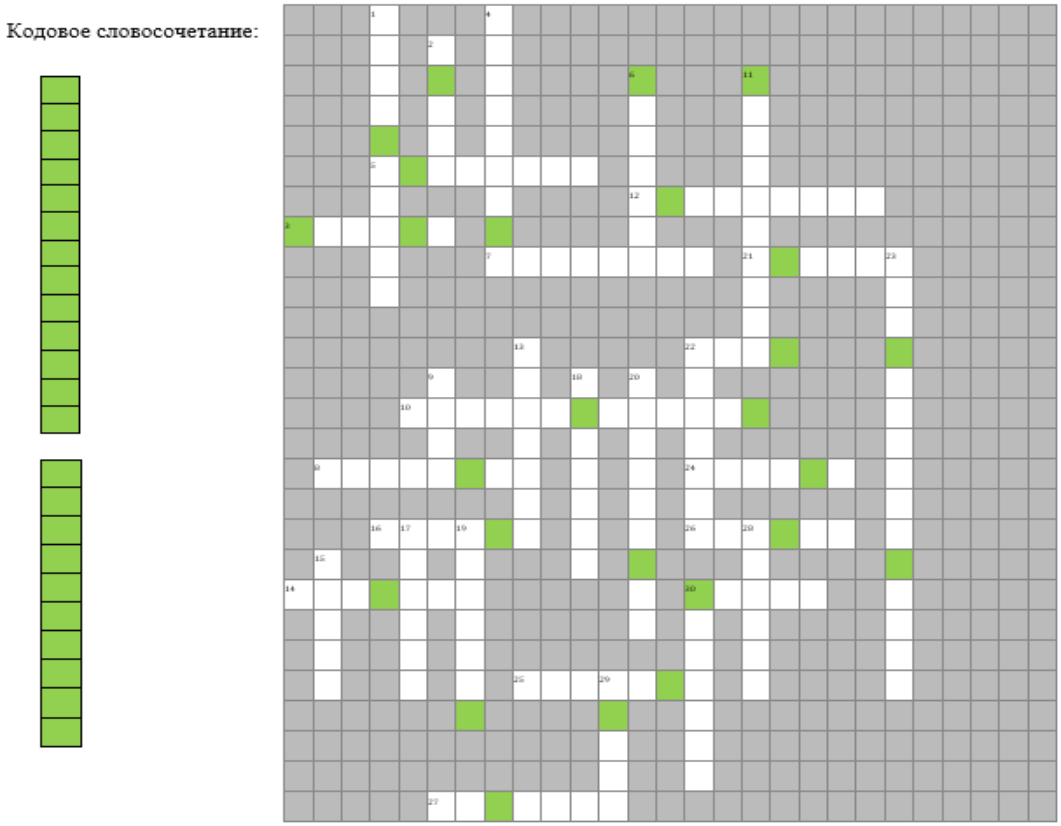



Рис. 5. Кроссворд

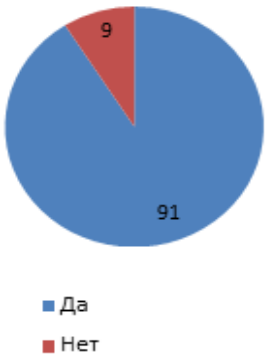
Таким образом, в ходе игры у обучающихся формируется понимание того, что для достижения наилучшего результата необходимо объединить усилия. И только использование всех видов «зеленой» энергии в совокупности может исправить сложившуюся экологическую ситуацию и привести к улучшению экологической обстановки в регионах России.

Третий этап подразумевал проведение повторного опроса после реализации второго этапа и выявление изменений во мнении опрашиваемых после проведения мероприятий, описанных в предыдущем пункте.

После завершения образовательной программы ребятам предлагается пройти повторное анкетирование. По результатам обработки полученных сведений можно судить об эффективности разработанной образовательной программы.

По данным контрольного исследования, диаграммы которого приведены на рисунке 6, видно, что большинство опрошенных студентов (91 %) ознакомилось с особенностями и видами безуглеродной энергетики. Уменьшился процент опрошенных, которые были категорически против использования атомной энергетики, а также 81 % обучающихся уверен, что атомная энергетика – это прогресс будущего. Примерно одинаково разделились мнения респондентов при ответе на вопрос «Что, по Вашему мнению, может привести к улучшению экологической обстановки в регионах России?».

*а*)




*б*)

*в*)

Рис. 6. Результаты контрольного тестирования

**Заключение**

В ходе проведения повторного социологического исследования было выявлено, что разработанная образовательная программа позволяет в доходчивой форме объяснить все особенности использования альтернативных источников энергии, образующих в совокупности так называемый «зеленый квадрат» [9, 10].

Результаты контрольного тестирования показывают, что мнение опрашиваемых касаемо использования атомной энергетики наравне с другими альтернативными источниками энергии изменилось в положительную сторону.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенная образовательная программа позволяет повысить уровень образованности в сфере использования альтернативных источников энергии и атомной энергии в целом. Предложенная образовательная программа может быть использована для обширного контингента, что позволяет сделать вывод об универсальности ее применения в образовательном процессе.

**Список литературы**

1. Черногорова В.А. Беседы об атомном ядре. М.: Молодая гвардия, 1976. 207 с.

2. Семиколенных А.А., Жаркова Ю.Г. Оценка воздействия на окружающую среду объектов атомной энергетики. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 368 с.

3. Климантова Г.И., Черняк Е.М., Щегорцов А.А. Методология и методы социологического исследования: учебник. М.: «Дашков и К», 2017. 256 с.

4. Преликова Е.А. Готовность граждан к социальному участию в решении экологических проблем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2015. № 2 (15). С. 182-188.

5. Преликова Е.А., Юшин В.В. Экология семьи современного российского города // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 3 (20). С. 103 - 108.

6. Технологизация процесса формирования культуры безопасности жизнедеятельности в профессиональной подготовке студентов вуза / В.М. Попов, Л.В. Шульга, В.В. Юшин, А.Н. Барков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2011. № 2. С. 81 – 87.

7. Мальцева В.С., Юшин В.В. Анализ экологической ситуации в городе Курске // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 1. С. 105 – 113.

8. Юшин В.В., Преликова Е.А. Роль информационных технологий в обеспечении экологической безопасности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 4 (21). С. 67-74.

9. Преликова Е.А., Зотов В.В., Емельянов Д.С. Обеспечение устойчивого развития городской среды в целях сохранения здоровья населения посредством технологий краудсорсинга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2, ч. 2. С. 193-197.

10. Барков А.Н., Гнездилова А.В., Шатохина С.А. Исследование мнений молодого поколения в области основных аспектов развития безуглеродной энерге-

тики // Техника и технологии: пути инновационного развития: сборник научных трудов 7-й Международной научно-практической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. С. 26-29.

*Поступила в редакцию 14.09.18*

---

UDC 621.039.009; 303.425.6

**A.V. Iordanova,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: asy.gnezdilova@yandex.ru)

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

**A. N. Barkov,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: aleksebarkov@yandex.ru)

**S.A. Shatokhina,** Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sofya.shatohina@mail.ru)

## DEVELOPMENT OF INTERACTIVE EDUCATIONAL PROGRAM «CLEAN ENERGY» IN THE STUDY, THE VIEWS OF THE YOUNG GENERATION IN THE FIELD OF THE BASIC ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF CARBON-FREE ENERGY

*The article presents the results of a sociological study among junior students of the University, revealing the knowledge of students in the field of carbon-free energy. Based on these results, an educational program was developed, the structure of which includes a brief theoretical course and an interactive game. The lecture material will provide a clear explanation and provide information support in the field of education in this area, which in turn will provide an understanding of the need to use carbon-free energy as a priority direction to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere.*

*In addition, the interactive game developed in the framework of the educational program allows learning and consolidating the acquired knowledge in a playful way. The article describes in detail the main stages and rules of the game.*

*Further, to identify the effectiveness of the developed educational program, control testing was conducted. In the course of repeated sociological research, it was revealed that the developed educational program allows explaining in an intelligible form all the features of the use of alternative energy sources, which together form the so-called "green square".*

*The results of the control testing show that the opinion of the respondents regarding the use of nuclear energy on an equal basis with other alternative energy sources has changed in a positive way.*

***Key words****: carbon-free energy, nuclear energy, educational program, interactive game.*

**For citation:** Iordanova A.V., Pykhtin A.I., Barkov A. N., Shatokhina S.A. Development of Interactive Educational Program «Clean Energy» in the Study, the Views of the Young Generation in the Field of the Basic Aspects of the Development of Carbon-Free Energy. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 15–24 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Chernogorova V.A. Besedy ob atomnom jadre. Moscow, Molodaja gvardija Publ., 1976. 207 p.

2. Semikolennyh A.A., Zharkova Ju.G. Ocenka vozdejstvija na okruzhajushhuju sredu ob#ektov atomnoj jenergetiki. Moscow, Infra-Inzhenerija, 2013. 368 p.

3. Klimantova G.I., Chernjak E.M., Shhegorcov A.A. Metodologija i metody sociologicheskogo issledovanija. Moscow, Dashkov i K Publ., 2017. 256 p.

4. Prelikova E.A. Gotovnost' grazhdan k social'nomu uchastiju v reshenii jekologicheskih problem. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jekonomika. Sociologija. Menedzhment, 2015, no. 2 (15), pp. 182-188.

5. Prelikova E.A., Jushin V.V. Jekologija sem'i sovremennogo rossijskogo goroda. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvenogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2016, no. 3 (20), pp. 103 - 108.

6. Popov V.M., Shul'ga L.V., Jushin V.V., Barkov A.N. Tehnologizacija processa formirovanija kul'tury bezopasnosti zhiznedejatel'nosti v professional'noj podgotovke studentov vuza. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2011, no. 2. pp. 81 – 87.

7. Mal'ceva V.S., Jushin V.V. Analiz jekologicheskoj situacii v gorode Kurske. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2014, no. 1, pp. 105 – 113.

8. Jushin V.V., Prelikova E.A. Rol' informacionnyh tehnlogij v obespechenii jekologicheskoj bezopasnosti. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2016, no. 4 (21), pp. 67-74.

9. Prelikova E.A., Zotov V.V., Emel'janov D.S. Obespechenie ustojchivogo razvitija gorodskoj sredy v celjah sohranenija zdorov'ja naselenija posredstvom tehnologij kraudsorsinga. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 193-197.

10. Barkov A.N., Gnezdilova A.V., Shatohina S.A. Issledovanie mnenij molodogo pokolenija v oblasti osnovnyh aspektov razvitija bezuglerodnoj jenergetiki. Sbornik nauchnyh trudov 7-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Tehnika i tehnologii: puti innovacionnogo razvitija». Kursk, 2018, pp. 26-29.

УДК 621.397: 004.932.2

**А.В. Каменский,** аспирант, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск, Россия) (e-mail: andru170@mail.ru)

**М.И. Курячий,** канд. техн. наук, доцент, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск, Россия) (e-mail: kur@tu.tusur.ru)

# РЕКУРСИВНО-СЕПАРАБЕЛЬНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*В статье рассмотрены рекурсивно-сепарабельные алгоритмы повышения четкости телевизионных изображений, а именно рекурсивно-сепарабельные варианты построения двумерных фильтров лапласиан двух видов «усеченная пирамида» и «двойная пирамида» в апертуре 7x7 элементов. Приведены структурные схемы и системные функции двумерных фильтров. Данная форма реализации фильтров была выбрана для улучшения качества изображений активно-импульсной телевизионно-вычислительной системы видения в сложных условиях окружающей среды, которая позволяет выделить детали на таких изображениях, не заметные невооруженному взгляду, и повысить их качество. Для экспериментального исследования использовались изображения, сформированные с помощью данной системы в искусственно смоделированной среде «задымления» («затуманивания»). Выбранными алгоритмами была произведена обработка изображений и дана оценка эффективности их работы при различных добавочных коэффициентах к их маскам. Изменение коэффициентов проводилось двумя способами: увеличение центрального элемента маски, равномерный подъем центральной апертуры размером 3x3 элемента. После чего полученные результаты были проанализированы и сравнены с ранее проделанными экспериментальными исследованиями для двумерных фильтров с апертурой 5x5 элементов: «двумерного цифрового квазиоптимального фильтра», фильтра «лапласиан» для 24-х соседей, двумерным фильтром верхних частот и его различными вариациями с различной формой реализации центральной апертуры 3x3 элемента. Оценен выигрыш по количеству вычислительных операций при рекурсивно-сепарабельном варианте построения предложенных фильтров по отношению к их нерекурсивному варианту реализации. Данное исследование направлено на улучшение качества изображений, получаемых с использованием активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем.*

***Ключевые слова:*** *цифровой фильтр, рекурсивно-сепарабельные алгоритмы, лапласиан, скользящее среднее, маска выделения малоразмерных деталей из шумов, двумерный цифровой квазиоптимальный фильтр, повышение качества изображения, активно-импульсная телевизионно-вычислительная система.*

**Ссылка для цитирования:** Каменский А.В., Курячий М.И. Рекурсивно-сепарабельные двумерные цифровые фильтры обработки телевизионных изображений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 25–33.

***

## Введение

В тенденциях развития современного общества и задач, которые ставятся перед активно использующимися средствами захвата изображений, в частности систем, предназначенных для решения задач видения объектов в сложных метеоусловиях (снегопад, туман, дым и другое), не позволяющих видеть их системе человеческого зрения. В частности, для этих целей используются системы видения в сложных метеоусловиях, такие как активно-импульсные телевизионно-вычислительные системы (АИТВС). Они позволяют регистрировать визуальные характеристики только нужного объекта наблюдения благодаря селекции изображения по дальности в пределах узкой глубины просматриваемого пространства. К достоинствам АИТВС можно отнести также рекордные (по сравнению с аналогичными системами непрерывного действия) дальности видения как при нормальной, так и при пониженной прозрачности атмосферы, обеспечивающие наблюдение при воздействии мощных

световых помех, измерение с повышенной точностью дальности до наблюдаемого объекта [1].

Принцип работы активно-импульсных систем основан на импульсном подсвете пространства и стробировании по времени фотоприемного устройства, оснащённого быстродействующим оптическим затвором (рис. 1).

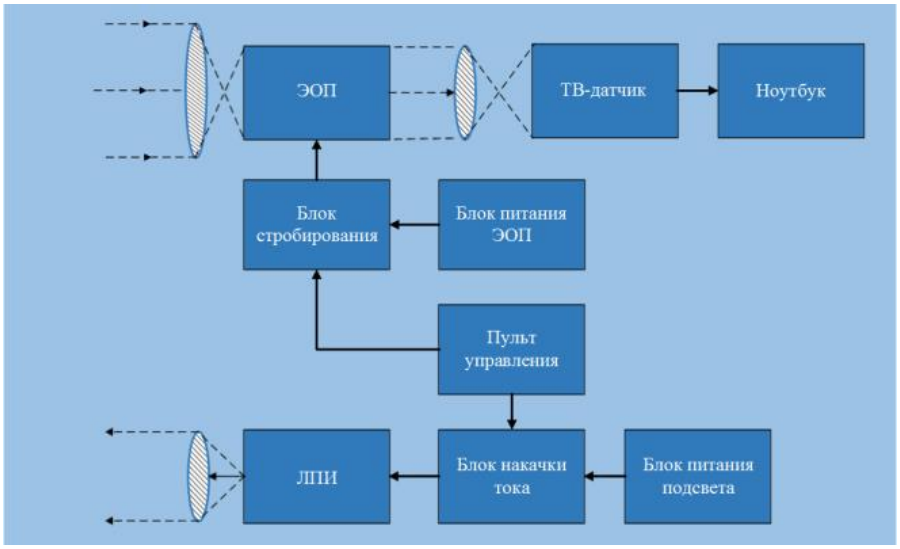



Рис. 1. Структурная схема АИТВС

Наиболее производительными и эффективными процедурами обработки телевизионных изображений в реальном времени являются алгоритмы, реализуемые в рекурсивных сепарабельных цифровых фильтрах (РСЦФ). Положительный эффект в РСЦФ достигается за счет наиболее полного согласования их работы с характером растрового съема телевизионной информации [2].

Системы и алгоритмы, в которых используются рекурсивные либо сепарабельные подходы, представлены в работах [3-7].

**Постановка задачи**

В работе ставится задача реализации и исследования эффективности работы двумерных цифровых фильтров в рекурсивно-сепарабельном варианте их построения аналогично процессу реализации фильтра «скользящее среднее» (рис. 2).

Шум меняется независимо от пикселя к пикселю, и при условии, что математическое ожидание значения шума равно нулю, шумы соседних пикселей при суммировании будут складываться векторно (алгебраически). Чем больше окно фильтрации, тем меньше будет усредненная интенсивность шума, однако при этом будет происходить и соответствующее размытие значащих деталей изображения. Выходным изображением «белой точки» на «черном фоне» при фильтрации (реакция на двумерный единичный импульс) будет «серый квадрат» [8].

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} ** \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Процесс сепарабельной реализации фильтра «скользящего среднего»

Маска интегрирующего типа (рис. 3) может быть реализована сепарабельно. Физический смысл – выделение малоразмерных объектов на фоне «белого» шума.

Вид маски согласован с видом сигнала, т.е. маска есть образ сигнала от изображения «малоразмерного объекта» [8].

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} ** \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Процесс сепарабельной реализации фильтра «маска выделения малоразмерных деталей из шумов»

**Методы исследования**

Системная функция $H(z_1,z_2)$ при рекурсивно-сепарабельном варианте построения двумерного лапласиана «усеченная пирамида» будет представлена в виде последовательного и параллельного включения рециркуляторов первого порядка по строке $n_1$ и по кадру $n_2$.

На рисунке 4 представлены образующие рекурсивные ячейки (рециркуляторы), рис. 4,*а* по $n_1$-строке (строчный рециркулятор – СР) и рис. 4,*б* по $n_2$-кадру (кадровый рециркулятор – КР), реализующие соответствующие ортогональные направления обработки «скользящее среднее».

Разностное уравнение для строчного рециркулятора имеет следующий вид:

$$y(n_1,n_2) = x(n_1,n_2) - x(n_1 - M_1, n_2) + y(n_1 - 1, n_2),$$

а для кадрового рециркулятора

$$y(n_1,n_2) = x(n_1,n_2) - x(n_1, n_2 - M_2) + y(n_1, n_2 - 1).$$

Для реализации двумерного цифрового фильтра лапласиан «усеченная пирамида» (ЛУП) получим системную функцию $H_1(z_1,z_2)$, для случая его рекурсивно-сепарабельной реализации в апертуре 7x7 элементов:

$$H_1(z_1,z_2) = -\frac{(1-z_1^{-5})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_1^{-3})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_2^{-5})}{(1-z_2^{-1})}\frac{(1-z_2^{-3})}{(1-z_2^{-1})} + $$
$$+ 25 z_1^{-2} z_2^{-2} \frac{(1-z_1^{-3})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_2^{-3})}{(1-z_2^{-1})}.$$

В случае реализации двумерного цифрового фильтра лапласиан «двойная пирамида» (ЛДП) в апертуре 7x7 элементов её центральная часть «заменяется» на пирамидальную апертуру 3x3 элемента с соответствующими значениями коэффициентов $a_{i_1 i_2}$, которая реализуется рекурсивно-сепарабельно.

При этом системная функция данного фильтра будет иметь следующий вид:

$$H_2(z_1,z_2) = -\frac{(1-z_1^{-5})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_1^{-3})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_2^{-5})}{(1-z_2^{-1})}\frac{(1-z_2^{-3})}{(1-z_2^{-1})} + 14 z_1^{-2} z_2^{-2} \frac{(1-z_1^{-2})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_1^{-2})}{(1-z_1^{-1})}\frac{(1-z_2^{-2})}{(1-z_2^{-1})}\frac{(1-z_2^{-2})}{(1-z_2^{-1})} + z_1^{-3} z_2^{-3}.$$

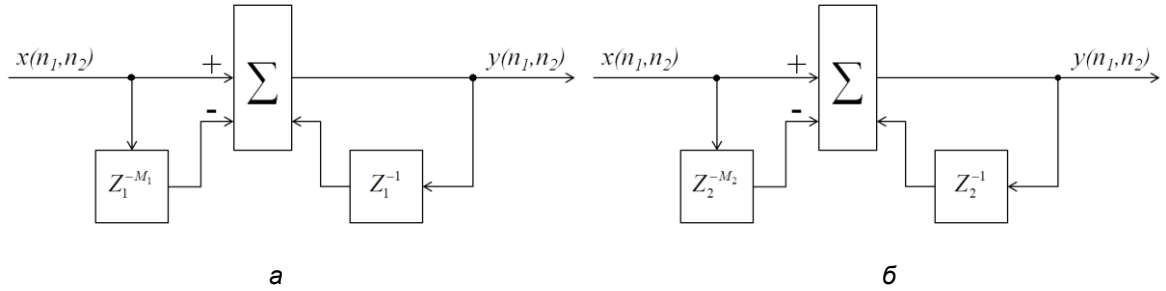



Рис. 4. Рециркуляторы: *а* – по строке $n_1$; *б* – по кадру $n_2$

Приведем структурные схемы построения рекурсивно-сепарабельных фильтров с передаточными функциями $H_1(z_1,z_2)$ и $H_2(z_1,z_2)$ для апертуры 7x7 элементов и оценим выигрыш по количеству вычислительных операций по отношению к нерекурсивной реализации фильтров.

Структурная схема реализации рекурсивно-сепарабельного фильтра лапласиан «усеченная пирамида» приведена на рисунке 5.

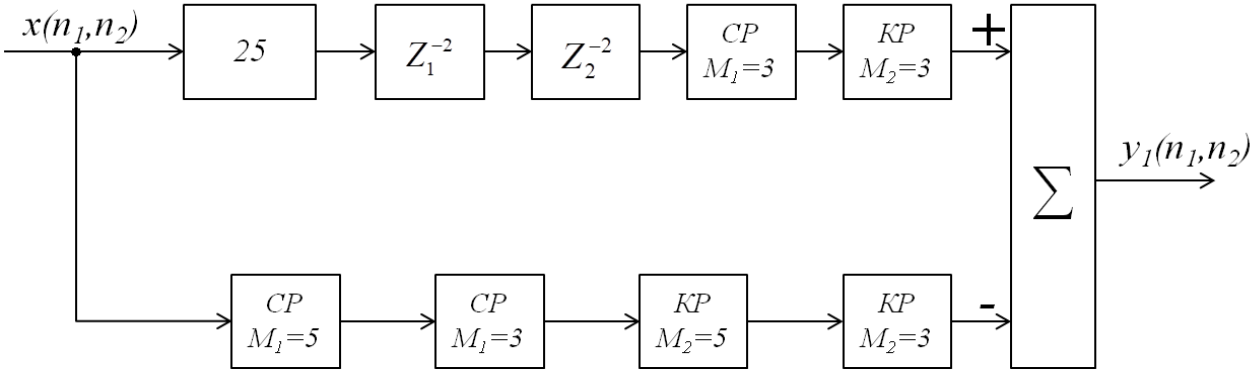



Рис. 5. Структурная схема двумерного фильтра ЛУП

Маска для фильтра лапласиан «усеченная пирамида» представлена на рисунке 6.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -1 | -2 | -3 | -3 | -3 | -2 | -1 |
| -2 | -4 | -6 | -6 | -6 | -4 | -2 |
| -3 | -6 | 16 | 16 | 16 | -6 | -3 |
| -3 | -6 | 16 | 16 | 16 | -6 | -3 |
| -3 | -6 | 16 | 16 | 16 | -6 | -3 |
| -2 | -4 | -6 | -6 | -6 | -4 | -2 |
| -1 | -2 | -3 | -3 | -3 | -2 | -1 |

Рис. 6. Маска ЛУП 7x7 элементов

По аналогичному принципу построения приведем маску фильтра лапласиан «двойная пирамида» (рис. 7).

Структурная схема для рекурсивно-сепарабельного двумерного фильтра лапласиан «двойная пирамида» представлена на рисунке 8.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -1 | -2 | -3 | -3 | -3 | -2 | -1 |
| -2 | -4 | -6 | -6 | -6 | -4 | -2 |
| -3 | -6 | 5 | 19 | 5 | -6 | -3 |
| -3 | -6 | 19 | 48 | 19 | -6 | -3 |
| -3 | -6 | 5 | 19 | 5 | -6 | -3 |
| -2 | -4 | -6 | -6 | -6 | -4 | -2 |
| -1 | -2 | -3 | -3 | -3 | -2 | -1 |

Рис. 7. Маска ЛДП 7x7 элементов

**Эксперимент**

Для проведения обработки изображения в исследовании использовалась программа ImageJ [9], а для оценки разрешения обработанных изображений – программа Imatest, в которой будем получать значение СРР – число «циклов на пиксел» на уровне 0,5.

И с его помощью через выражение

ТВЛ = (СРР/0.5) · 540 (предельное разрешение в ТВЛ)
будем рассчитывать значение разрешения для обработанных изображений [10, 11].

Тестовое изображение, полученное с помощью АИТВС, представлено на рисунке 9.

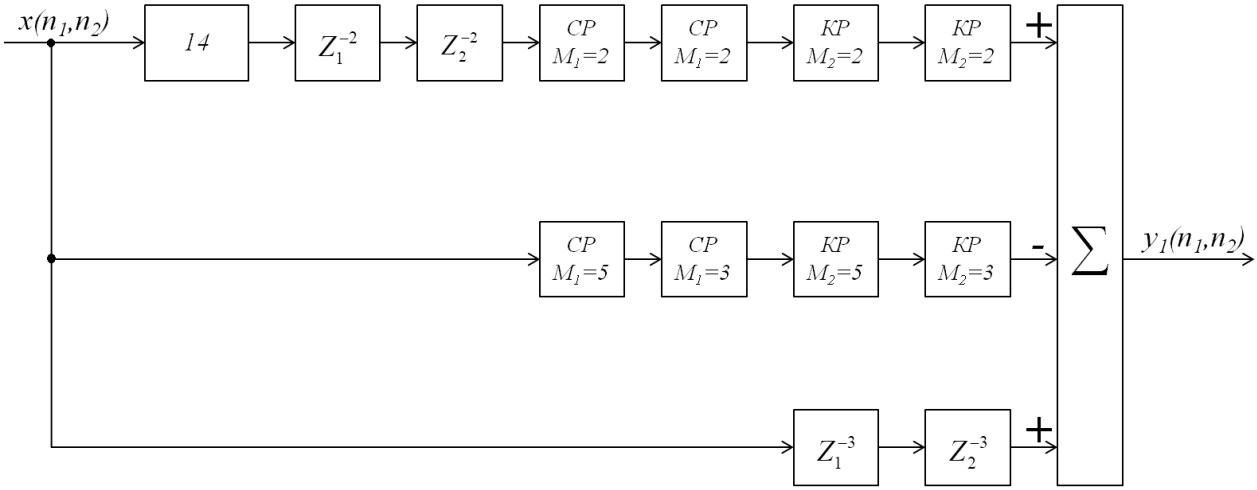



Рис.8. Структурная схема двумерного фильтра ЛДП

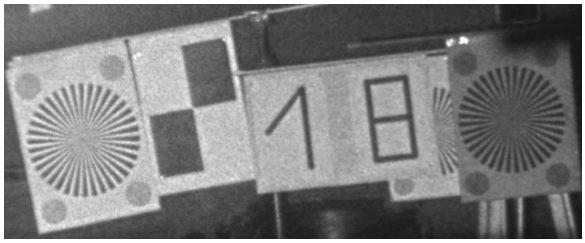


Рис. 9. Тестовое изображение

В процессе проведения эксперимента в выбранных фильтрах изменялось значение коэффициентов *A*. В случае изменения центральной апертуры 3х3 элемента использовались коэффициенты $A_1$ и $A_3$, при варианте подъема центрального элемента использовались коэффициенты $A_2$ и $A_4$.

Разрешающая способность обрабатываемых изображений оценивалась в количестве телевизионных линий (ТВЛ).

Результаты измерения разрешения изображений после обработки фильтром ЛУП приведены в таблице 1. Для варианта с подъемом центральной апертуры 3х3 элемента коэффициет фильтрации составил $A_1$=3, а для варианта с подъемом центрального элемента коэффициент $A_2$=14.

Результаты обработки при реализации фильтра ЛДП приведены в таблице 2.

Таблица 1

Результат обработки фильтром ЛУП

| Подъем апертуры 3х3 элемента | | Подъем центра маски | |
|---|---|---|---|
| Коэф. $A_1$ | ТВЛ | Коэф. $A_2$ | ТВЛ |
| исходное | 201,6 | исходное | 201,6 |
| 1 | 1051,2 | 13 | 763,2 |
| *2* | *518,4* | *14* | *633,6* |
| 3 | 403,2 | 15 | 590,4 |
| 4 | 360 | 16 | 561,6 |

Таблица 2

Результат обработки фильтром ЛДП

| Подъем апертуры 3х3 элемента | | Подъем центра маски | |
|---|---|---|---|
| Коэф. $A_3$ | ТВЛ | Коэф. $A_4$ | ТВЛ |
| исходное | 201,6 | исходное | 201,6 |
| 1 | 1209,6 | 15 | 1195,2 |
| *2* | *590,4* | *16* | *691,2* |
| 3 | 489,6 | 17 | 648 |
| 4 | 403,2 | 18 | 619,2 |

В случае с подъемом центральной апертуры 3x3 элемента коэффициент $A_3$=2, так же как для фильтра ЛУП, при подъеме центрального элемента коэффициент $A_4$=16.

На рисунке 10 представлены графики контрастно-частотных характеристик (КЧХ) изображений после обработки рекурсивно-сепарабельными фильтрами.

Для визуальной оценки эффективности алгоритмов приведем фрагменты обработанных изображений (рис.11).

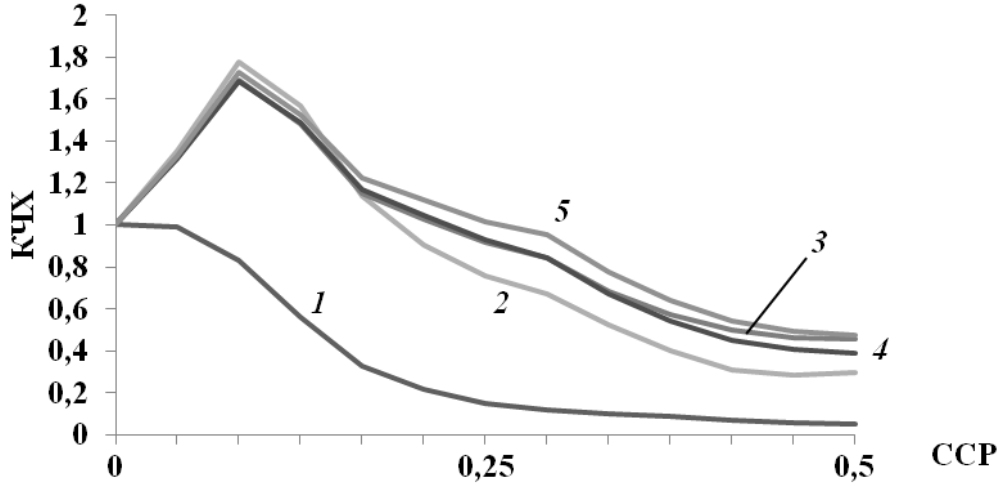



Рис.10. Графики КЧХ: 1 – исходное изображение; 2 – ЛУП, подъем апертуры 3x3, $A_1$=2; 3 – ЛУП, подъем центрального элемента, $A_2$=14 ; 4 – ЛДП, подъем апертуры 3x3, $A_3$=2; 5 – ЛДП, подъем центрального элемента, $A_4$=16

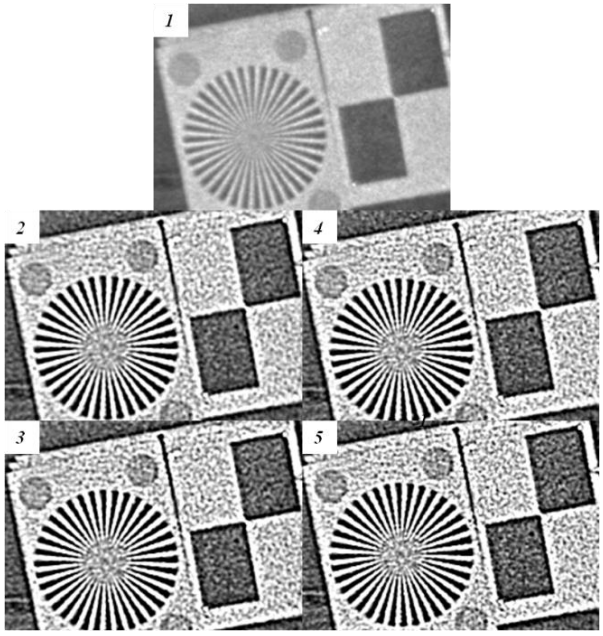



Рис.11. Фрагменты тестового изображения: 1 – исходное изображение; 2 – ЛУП, подъем апертуры 3x3; 3 – ЛУП, подъем центрального элемента; 4 – ЛДП, подъем апертуры 3x3; 5 – ЛДП, подъем центрального элемента

Сравним полученные результаты с другими вариантами построения двумерных фильтров: двумерный цифровой квазиоптимальный фильтр (ДЦКФ), отрицательная маска выделения малоразмерных деталей из шумов (отрицательная МВМДШ) и три маски с различными центральными элементами с центральными коэффициентами $A$=32, 24 и 16. Результаты обработки изображений данными фильтрами представлены в таблице 3 [12].

Таблица 3

Результаты измерения разрешающей способности обработанных изображений

| Вид маски | Коэф. $A$ | ТВЛ |
|---|---|---|
| Исходное | - | 201,6 |
| ДЦКФ | 8 | 648 |
| Отрицательная МВМДШ | 8 | 633,6 |

Окончание табл. 3

| Вид маски | Коэф. *A* | ТВЛ |
|---|---|---|
| Центральный элемент = 32 | 6 | 619,2 |
| Центральный элемент = 24 | 5 | 619,2 |
| Центральный элемент = 16 | 5 | 619,2 |

**Заключение**

В ходе проведения экспериментального исследования были предложены несколько вариантов построения рекурсивно-сепарабельных фильтров с использованием ЛУП и ЛДП для повышения четкости телевизионных изображений. Проведена оценка их эффективности для вариантов построения фильтров, когда изменялась центральная апертура 3x3 элемента ($A_1$ и $A_3$) и производился подъем центрального элемента фильтра ($A_2$ и $A_4$).

При варианте с увеличением центральной апертуры 3x3 элемента коэффициенты оказались равны $A_1$=$A_3$=2, но при этом фильтр ЛДП показал выигрыш в телевизионных линиях порядка 70 ТВЛ. В случае подъема центрального элемента для ЛУП значение коэффициента составило $A_2$=14 и получили 633 ТВЛ, для ЛДП коэффициент составил $A_4$=16 и 691 ТВЛ.

Для апертуры 7x7 элементов в общем случае требуется 49 операций умножения и 48 операций сложения/вычитания при нерекурсивном варианте построения фильтра, а при рекурсивно-сепарабельном варианте построения фильтров: для ЛУП – 13 операций сложения/вычитания и одна операция умножения; для ЛДП – 18 операций сложения/вычитания и одна операция умножения.

Проведя сравнение полученных результатов для фильтров с апертурой 7x7 элементов и фильтров с апертурой 5x5 элементов, где аналогичным образом производилось увеличение значения центрального элемента, можно сказать, что фильтр ЛДП показал наилучшие результаты по повышению четкости изображений, приближенные к предельному разрешению камеры. Фильтры ЛУП, ДЦКФ и «отрицательная МВМДШ» показали приблизительно одинаковые значения разрешения после обработки тестового изображения. Следует отметить, что все предложенные фильтры реализуют увеличение разрешающей способности изображения более чем в три раза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту № 8.9562.2017/8.9 и РФФИ в рамках научного проекта № 16-47-700939.*

**Список литературы**

1. Грязин Г.Н. Системы прикладного телевидения: учебное пособие для вузов. СПб.: Политехника, 2000. 277 с.

2. Зайцева Е.В., Костевич А.Г., Курячий М.И. Цифровая обработка сигналов и изображений: учебное пособие / Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. Томск, 2018. 220 с.

3. Сергеев В.В. Одномерные параллельно-рекурсивные КИХ-фильтры // Компьютерная оптика. 1992. С.186-201.

4. Хуанг Т.С., Дж.-О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер. Быстрые алгоритмы в обработке изображений. М.: Радио и связь, 1984. 220 с.

5. Salman M. S., Eleyan A. An Efficient 2-D Recursive Inverse. Algorithm for Image Denoising // Image Processing and

Communications Challenges 5. 2015. P. 171-176.

6. Attanasi A., Cavagna A. GReTA-A Novel Global and Recursive Tracking Algorithm in Three Dimensions. 2015.

7. Compiling High Performance Recursive Filters / G. Chaurasia1, J. Ragan-Kelley, S. Paris, G. Drettakis, F. Durand. Los Angeles, California, 2015.

8. Цифровое телевидение в видеоинформационных системах: монография / А.Г. Ильин, Г.Д. Казанцев, А.Г. Костевич, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский, В.А. Шалимов; Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. Томск, 2010. 465 с.

9. Imagej [Электронный ресурс]. URL: https:// ru.wikipedia.org/wiki/ImageJ.

10. Imatest Documentation by Norman Koren [Электронный ресурс]. URL: http://www.imatest.com/docs/.

11. Каменский А. В. Методы повышения четкости телевизионных изображений высокого качества линейными алгоритмами // Доклады ТУСУР. 2017. Т. 20, № 1. С. 46–49.

12. Каменский А.В. Двумерный рекурсивно-сепарабельный фильтр повышения четкости телевизионных изображений: сборник материалов XIV междунар. науч.-техн. конф. / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2018. С. 136-138.

*Поступила в редакцию 10.10.18*

---

UDC 621.397: 004.932.2

**A. V. Kamenskiy,** Post-Graduate Student, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russia) (e-mail: andru170@mail.ru)

**M. I. Kuryachiy,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russia) (e-mail: kur@tu.tusur.ru)

## REPURSIVE-SEPARABLE TWO-DIMENSIONAL DIGITAL FILTERS OF TELEVISION IMAGE PROCESSING

*The article discusses recursive-separable algorithms for improving the clarity of television images, namely, recursive-separable versions of the construction of two-dimensional Laplacian filters of two types “truncated pyramid” and “double pyramid” in the aperture of 7x7 elements. The block diagrams and system functions of two-dimensional filters are given. This form of implementation of the filters was chosen to improve the quality of images of the active-impulse television and computer vision system in difficult environmental conditions, which allows to highlight the details on such images imperceptible to the naked eye and improve their quality. For an experimental study, images formed using this system in an artificially modeled “smoke” environment (“misting”) were used. The selected algorithms were used for image processing and an assessment was made of the effectiveness of their work with various additional coefficients to their masks. The coefficients were changed in two ways: increasing the central element of the mask, uniformly raising the central aperture of 3x3 elements in size. After that, the obtained results were analyzed and compared with previously performed experimental studies for two-dimensional filters with an aperture of 5x5 elements: a “two-dimensional digital quasi-optimal filter”, a “Laplacian” filter for 24 neighbors, a two-dimensional high-pass filter and its various variations with various forms of implementation 3x3 central aperture. The gain in the number of computational operations with a recursively separable version of the construction of the proposed filters, with respect to their non-recursive implementation, is estimated. This study is aimed at improving the quality of images obtained using active-pulse television and computer systems.*

***Key words:*** *digital filter, recursive-separable algorithms, Laplacian, moving average, mask for extracting small-sized parts from noise, two-dimensional digital quasi-optimal filter, image quality enhancement, active-pulse television and computing system.*

**For citation:** Kamenskiy A. V., Kuryachiy M. I. Repursive-Separable Two-Dimensional Digital Filters of Television Image Processing. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 25–33 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Grjazin G.N. Sistemy prikladnogo televidenija. St. Peterburg, Politehnika Publ., 2000. 277 p.

2. Zajceva E.V., Kostevich A.G., Kurjachij M.I. Cifrovaja obrabotka signalov i izobrazhenij. Tomsk, 2018. 220 p.

3. Sergeev V.V. Odnomernye parallel'no-rekursivnye KIH-fil'try. Komp'juternaja optika, 1992, pp.186-201.

4. Huang T.S., Dzh.-O. Jeklund, G. Dzh. Nussbaumer. Bystrye algoritmy v obra-botke izobrazhenij. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 1984. 220 p.

5. Salman M. S., Eleyan A. An Efficient 2-D Recursive Inverse. Algorithm for Image Denoising. Image Processing and Communications Challenges 5, 2015, pp. 171-176.

6. Attanasi A., Cavagna A. GReTA-A Novel Global and Recursive Tracking Algorithm in Three Dimensions, 2015.

7. Chaurasia G., Ragan-Kelley J., Paris S., Drettakis G., Durand F. Compiling High Performance Recursive Filters. Los Angeles, California, 2015.

8. Il'in A.G., Kazancev G.D., Kostevich A.G., Kurjachij M.I., Pustynskij I.N., Shalimov V.A. Cifrovoe televidenie v videoin-formacionnyh sistemah. Tomsk, 2010. 465 p.

9. Imagej. URL: https://ru.wikipedia.org/ wiki/ImageJ.

10. Imatest Documentation by Norman Koren. URL: http://www.imatest.com/docs/.

11. Kamenskij A. V. Metody povyshenija chetkosti televizionnyh izobrazhenij vysokogo kachestva linejnymi algoritmami. Doklady TUSUR, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 46–49.

12. Kamenskij A.V. Dvumernyj rekursivno-separabel'nyj fil'tr povyshenija chetkosti televizionnyh izobrazhenij. Kursk, 2018, pp. 136-138.

УДК 004.052

**А.Л. Марухленко,** канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: proxy33@mail.ru)

**А.В. Плугатарев,** магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: aplugatarev@bk.ru)

**Л.О. Марухленко,** ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: leonid.marukhlenko@mail.ru)

**М.А. Ефремов,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: efremov_ma@mail.ru)

# КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА

*В процессе проектирования современных информационных систем большое внимание уделяется вопросам информационной безопасности, а значит, минимизации риска возникновения несанкционированного доступа и выхода из строя отдельных элементов вычислительной сети, характеризующего возможную опасность неблагоприятного исхода, сочетание вероятности и последствий наступления события как со стороны злоумышленника, так и вследствие работы элементов самой информационной системы. В связи с этим актуальна проблема построения соответствующей математической модели расчета риска. Необходимость оценки показателей диктуется статистикой случаев несанкционированного доступа, отказа элементов системы и последствиями снижения уровня информационной безопасности. Таким образом, рассматривается проблема поиска варианта расчета, учитывающего комплекс факторов, не привязанного к конкретной предметной области и позволяющего учесть частоты возникновения нештатных ситуаций и относительные вероятности неблагоприятных событий. Рассмотрен вариант расчета показателей риска информационной системы, выделены недостатки при проектировании вычислительной среды и выделении уязвимостей информационной среды, разработана математическая модель для проведения комплексной оценки информационной безопасности объекта.*

*Основная идея состоит в анализе уязвимостей, степени изменяемости результативных показателей по отношению к варьированию входных параметров среды. В результате такой оценки формируется множество исходов функционирования с привязкой к реальной подсистеме.*

*Результаты моделирования позволили получить зависимость частоты выхода из строя отдельных элементов системы от их количества, которая показала снижение уровня частоты возникновения одновременных неблагоприятных последствий при увеличении числа отказов элементов системы, что важно учитывать при оценке потенциальных уязвимостей и стабильности работы системы в целом.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность, анализ риска, несанкционированный доступ, комплексная оценка.

**Ссылка для цитирования:** Комплексная оценка информационной безопасности объекта с применением математической модели для расчета показателей риска / А.Л. Марухленко, А.В. Плугатарев, Л.О. Марухленко, М.А. Ефремов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 34–40.

***

## Введение

Стремительное развитие науки и техники, крупных промышленных организаций и частных компаний привело к более рациональному использованию информационных ресурсов и значительно повысило уровень автоматизации большинства этапов деятельности. На сегодняшний день проблема обеспечения комплексной информационной безопасности включает в себя рассмотрение всех этапов работы вычислительной системы: механизм обработки данных, методы передачи информационных потоков, пути повышения показателя быстродействия и

устойчивости системы к отказам ее элементов, а также минимизация потенциальных утечек и случаев возникновения несанкционированного доступа. Анализ существующих методов расчета и оценки рисков возникновения несанкционированного доступа к элементам корпоративных систем показал отсутствие доступных, в рамках небольших организаций, масштабируемых решений, позволяющих произвести оперативное формирование, обработку и анализ полученных результатов при поддержании необходимого уровня гибкости настройки системы в целом и возможности управления средствами обеспечения информационной безопасности.

Важно уделять внимание минимизации риска возникновения несанкционированного доступа как внутри системы, так и за ее пределами, характеризующего возможную опасность неблагоприятного исхода, сочетание вероятности и последствий наступления события как со стороны злоумышленника, так и вследствие работы элементов самой информационной системы, а также характеризующего ситуации, имеющие неопределённость исхода при обязательном наличии неблагоприятных последствий. Все это возможно при использовании математической модели, позволяющей произвести расчет количественных показателей риска и их последующей оценки [4].

### Задача комплексного анализа рисков в информационных системах

Для определения показателей индивидуального и коллективного рисков, на основании которых делается вывод о соответствии объекта требованиям информационной безопасности, необходимо проведение комплекса расчетов по аналогии с другими областями науки и промышленности [5]. Требования необходимости проведения оценки риска диктуются негативной статистикой вторжения в работу информационных систем с рядом последствий как в рамках частного лица, так и в масштабе организации. Вопросы методического обеспечения разработки требований, а также качество работ не имеют универсального решения в связи с отсутствием четкого декларирования. К типичным ошибкам можно отнести неверное определение или неполный перечень потенциальных источников угроз, сбои в работе оборудования и нестабильность каналов взаимодействия, некорректное поведение персонала и пользователей, недоработки на уровне используемого программного обеспечения [6].

Существующие программные средства для анализа и оценки информационной безопасности, такие как MethodWare, Buddy System, RiskWatch, COBRA, CRAMM и др., отличаются высокой стоимостью и не обладают гибкостью к изменениям расчетов согласно расширению возможных источников угроз. В связи с этим возникает задача разработки математической модели, отвечающей требованиям гибкости настройки и полноты проведения расчетных этапов на основании множества параметров рассматриваемой информационной системы и потенциальных действий злоумышленника [7].

### Метод, направленный на проведение комплексной оценки информационной безопасности объекта

Разрабатываемая математическая модель учитывает множество сценариев развития неблагоприятных факторов, основная идея оценки состоит в анализе уязвимостей, степени изменяемости ре-

зультативных показателей по отношению к варьированию входных параметров информационной системы (распределение вероятностей, областей изменения тех или иных величин). Как правило, выводы исследования чувствительности входных параметров проекта отражают степень достоверности полученных при анализе проектных результатов [8]. В случае несоответствия результатов расчета требованиям безопасности формируется перечень наиболее опасных факторов, для которых необходимо уточнить параметры, неточность или неполное задание которых является наиболее существенным в получении результата, или произвести ряд мероприятий, приводящих к снижению показателей риска. Системный подход связан с построением модели, направленной на расчет показателей риска, не являющихся адаптированных для той или иной области. В результате оценки такой модели расчетов формируется описание функционирования реальной подсистемы [9].

Условная вероятность успешной атаки $h$-терминалов $i$-й угрозы при условии реализации сценария вычисляется по формуле

$$P_{ji}(h) = \frac{N_i!}{h!\cdot(N_i-h)!} {R_{ji}}^h \left(1 - R_{ji}\right)^{N_i-h}, \quad (1)$$

где $R_{ji}$ – условная вероятность успешной атаки конкретной угрозы;

$N_i$ – общее количество атак.

При данном варианте, если предположить, что события возникновения несанкционированного доступа по различным сценариям несовместные (если имеется эффект домино, то это будет рассматриваться как отдельный сценарий), частота реализации сценариев со взломом рассчитывается по формуле [10]

$$Ч_1(n) = \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_j(n), \quad (2)$$

где $h_j$ – удельная продолжительность атаки;

$Ч_1(n)$ – частота реализация сценариев с успешной атакой;

$\nu_j$ – частота реализации сценария;

$P_j(n)$ – вероятность получения НСД.

Также важно учитывать, что события возникновения атак по различным сценариям в течение года независимы для каждого типа угрозы. $n$-частота реализации сценариев со взломом рассчитывается по следующей формуле:

$$Ч_2(n) = \sum_{\substack{k_1,k_2,\dots,k_J \\ k_l \in \overrightarrow{0\dots N} \\ k_1+k_2+\dots+k_J=n}} \prod_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_j(k_l), \quad (3)$$

где $P_j(k_l)$ – вероятность взлома $k$ терминалов.

Таким образом, показатель коллективного риска рассчитывается согласно соотношению

$$\begin{gathered}
R_{кол} = \sum_{n=0}^{N} n \cdot \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_j(n) = \sum_{n=0}^{N} \sum_{j=1}^{J} n \cdot \nu_j \cdot h_j, \cdot P_j(n) = \\
= \sum_{j=1}^{J} \sum_{n=0}^{N} n \cdot \nu_j \cdot h_j \cdot P_j(n) = \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot \sum_{n=0}^{N} n \cdot P_j(n) = \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \times \sum_{n=0}^{N} n \times \\
\times \sum_{\substack{k_1,k_2,\dots,k_M \\ k_l \in \overrightarrow{0\dots N_l} \\ k_1+k_2+\dots+k_M=n}} \prod_{i=1}^{M} P_{ji}(k_l) = \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot \sum_{k_1=0}^{N} \dots \\
\dots \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot \left(\sum_{k_1=0}^{N} k_1 \cdot P_{j1}(k_1) \cdot \sum_{k_2}^{N} \sum_{k_M=0}^{N} \prod_{i=1}^{M} P_{ji}(k_i) + \dots + \sum_{k_M=0}^{N} k_M \cdot P_{jM}(k_M) \times \right. \\
\left. \times \sum_{k_1}^{N} \sum_{k_{M-1}=0}^{N} \prod_{i=1}^{M} P_{ji}(k_i)\right) = \\
= \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot \left(\sum_{k_1=0}^{N} k_1 \cdot P_{j1}(k_1) + \dots + \sum_{k_M=0}^{N} k_M \cdot P_{jM}(k_M)\right) = \\
= \sum_{n=0}^{N_1} n \cdot \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_{j1}(n) + \dots + \sum_{n=0}^{N_M} n \cdot \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_{jM}(n) \,. \quad (4)
\end{gathered}$$

**Численное моделирование**

Индивидуальный риск представляет собой частное коллективного риска и числа рискующих только для групп пользователей, но не для объекта в целом и рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{индi} = \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot R_{ji} = \frac{\sum_{n=0}^{N_i} n \cdot \sum_{j=1}^{J} \nu_j \cdot h_j \cdot P_{ji}(n)}{N_i} = \frac{R_{колi}}{N_i}, \quad (5)$$

где $R_{ji}$ – условная вероятность выхода из строя отдельной единицы техники;

$N_i$ – количество реципиентов риска;

$R_{кол}i$ – коллективный риск.

В рамках моделирования на примере вычислительной сети кафедры информационной безопасности ЮЗГУ получен вариант наглядного представления результатов расчета, который заключается в формировании зависимости частоты неблагоприятного события от числа поврежденных или нештатно работающих вследствие развития негативных факторов элементов.

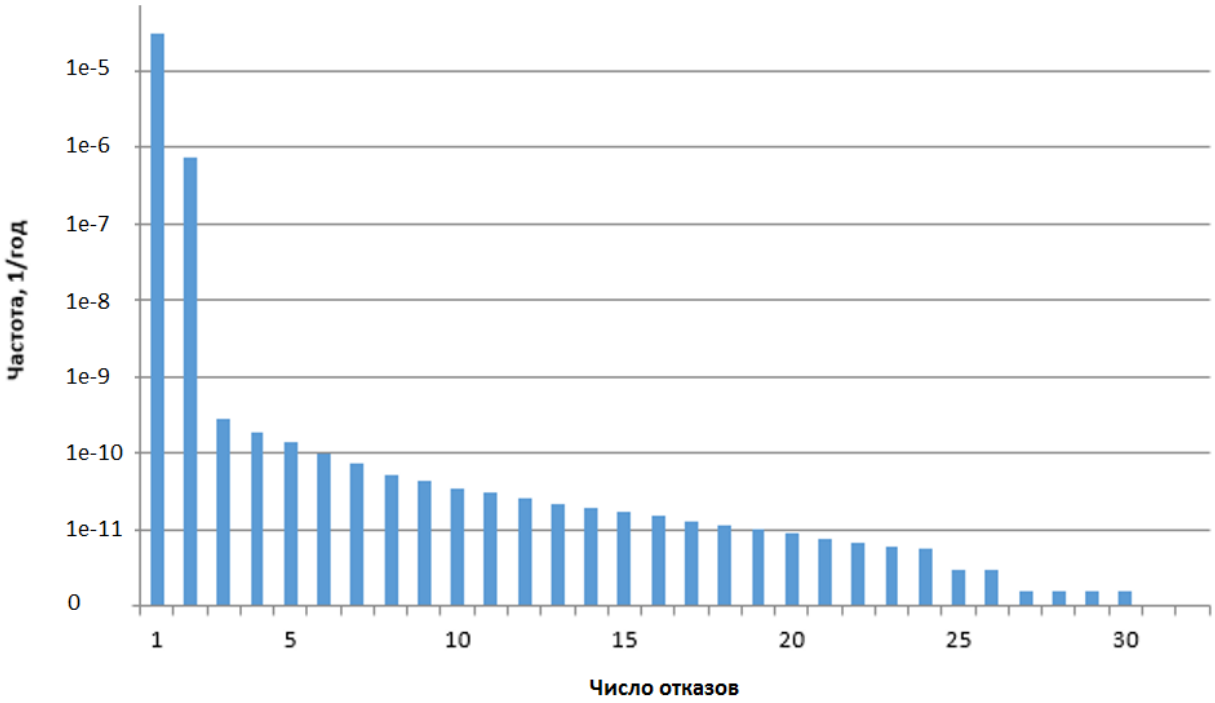



Рис. Зависимость частоты неблагоприятного события от числа поврежденных элементов

Анализ полученной зависимости показал (рис.), что при увеличении числа одновременных отказов происходит резкое снижение уровня частоты их возникновения, график имеет нелинейных характер, а максимальный показатель порядка $10^{-5}$ можно считать допустимым, т.к. в масштабе информационной среды не ведется учет и обработка конфиденциальных данных.

**Заключение**

Таким образом, полученные результаты позволяют произвести расчет показателей риска при разработке политики информационной безопасности и оценке уязвимости информационной системы в целом. Анализ полученной зависимости частоты выхода из строя отдельных элементов системы от их количества показал

снижение уровня частоты возникновения одновременных неблагоприятных последствий при увеличении числа отказов элементов системы, что важно учитывать при оценке потенциальных уязвимостей и стабильности работы системы в целом.

**Список литературы**

1. Таныгин М.О. Предложения по формированию модели угроз для телекоммуникационных систем // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание – 2017: сборник материалов XIII Международной научно-технической конференции. Курск, 2017. С. 341-343.

2. Марухленко А.Л., Марухленко С.Л. Математическая модель системного подхода для оценки риска техногенных аварий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №2. С. 60-64.

3. Марухленко С.Л., Дегтярев С.В. Системный анализ в решении задач анализа риска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2. С. 33-37.

4. Марухленко А.Л., Мирзаханов П.С. Программный комплекс для моделирования процесса передачи и обработки сетевых потоков данных // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 3. С. 175-180.

5. 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.

6. Лепина Н.В., Таныгин М.О., Калуцкий И.В. Об особенностях обеспечения информационной безопасности информационно-вычислительных сетей вузов // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2015. С. 246-249.

7. Добрица В.П., Липунов А.А., Савенкова Е.С. Система контроля и управления доступом в комплексе систем информационной безопасности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 2. С. 87-90.

8. Дегтярев С.В., Марухленко А.Л., Марухленко С.Л. Программная модель для автоматизации расчета показателей риска техногенных аварий // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8, № 11. С. 35-39.

9. Персонализированная система поиска информации с функцией определения тематики и анализа смысловых значений / А.М. Потапенко, А.Л. Марухленко, Д.И. Конарев, А.С. Якушев // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения: материалы II Всероссийской

научно-практической конференции. Курск, 2015. С. 181-187.

10. Лисанов М.В. Ошибки нормирования количественных критериев допустимого риска // Методы оценки соответствия. 2009. № 9. С. 41-43.

*Поступила в редакцию 11.10.18*

---

UDC 004.052

**A. L. Marukhlenko,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail:proxy33@mail.ru)

**A.V. Plugatarev,** Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: aplugatarev@bk.ru)

**L.O. Marukhlenko,** Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail:leonid.marukhlenko@mail.ru)

**M.A. Efremov,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: efremov_ma@mail.ru)

## COMPLEX EVALUATION OF INFORMATION SECURITY OF AN OBJECT WITH THE APPLICATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION OF RISK INDICATORS

*In the process of designing modern information systems, great attention is paid to information security issues, and therefore minimizing the risk of unauthorized access and failure of individual elements of the computer network, which characterizes the possible danger of an unfavorable outcome, a combination of the likelihood and consequences of an event, both from the attacker and due to the work of the elements of the information system itself. In this regard, the actual problem of building an appropriate mathematical model for calculating risk. The need to evaluate indicators is dictated by the statistics of cases of unauthorized access, failure of system elements and the consequences of reducing the level of information security. Thus, the problem of finding a calculation option is considered, which takes into account a complex of factors that are not tied to a specific subject area and that allows to take into account the frequency of occurrence of abnormal situations and the relative probabilities of adverse events. A version of the calculation of risk indicators of the information system is considered, shortcomings in the design of the computing environment and the allocation of information environment vulnerabilities are highlighted, a mathematical model is developed for carrying out a comprehensive assessment of the information security of an object. The main idea is to analyze vulnerabilities, the degree of variability of performance indicators in relation to the variation of environmental input parameters. As a result of this assessment, a set of functioning outcomes is formed with reference to the real subsystem. The simulation results allowed to obtain the dependence of the failure rate of individual elements of the system on their number, which showed a decrease in the frequency of simultaneous adverse effects with an increase in the number of system element failures, which is important to consider when assessing potential vulnerabilities and the stability of the system as a whole.*

***Key words****: information security, risk analysis, unauthorized access, comprehensive assessment.*

**For citation:** Marukhlenko A. L., Plugatarev A.V., Marukhlenko L.O., Efremov M.A. Complex Evaluation of Information Security of an Object with the Application of a Mathematical Model for Calculation of Risk Indicators. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 34–40 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Tanygin M.O. Predlozhenija po formirovaniju modeli ugroz dlja telekommunikacionnyh sistem. Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Optiko-jelekt-

ronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavanija obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii. Raspoznavanie – 2017». Kursk, 2017, pp. 341-343.

2. Maruhlenko A.L., Maruhlenko S.L. Matematicheskaja model' sistemnogo podhoda dlja ocenki riska tehnogennyh avarij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no.2, pp.60-64.

3. Maruhlenko C.L., Degtjarev S.V. Sistemnyj analiz v reshenii zadach analiza riska. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no.2. pp. 33-37.

4. Maruhlenko A.L., Mirzahanov P.S. Programmnyj kompleks dlja modelirovanija processa peredachi i obrabotki setevyh potokov dannyh. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 175-180.

5. 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 tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2017, vol. 7, no. 1 (22), pp. 27-33.

6. Lepina N.V., Tanygin M.O., Kaluckij I.V. Ob osobennostjah obespechenija informacionnoj bezopasnosti informacionno-vychislitel'nyh setej vuzov. Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija». Kursk, 2015, pp. 246-249.

7. Dobrica V.P., Lipunov A.A., Savenkova E.S. Sistema kontrolja i upravlenija dostupom v komplekse sistem informacionnoj bezopasnosti. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 87-90.

8. Degtjarev S.V., Maruhlenko A.L., Maruhlenko S.L. Programmnaja model' dlja avtomatizacii rascheta pokazatelej riska tehnogennyh avarij. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy, 2010, vol. 8, no. 11, pp. 35-39.

9. Potapenko A.M., Maruhlenko A.L., Konarev D.I., Jakushev A.S. Personalizirovannaja sistema poiska informacii s funkciej opredelenija tematiki i analiza smyslovyh znachenij. Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Infokommunikacii i informacionnaja bezopasnost': sostojanie, problemy i puti reshenija», Kursk. 2015, pp. 181-187.

10. Lisanov M.V. Oshibki normirovanija kolichestvennyh kriteriev dopustimogo riska. Metody ocenki sootvetstvija, 2009, no. 9, pp. 41-43.

УДК 004.94

**А.В. Маматов,** канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный национальный университет» (Белгород, Россия) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

**О.А. Савина,** д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Орел, Россия) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

**А.Л. Машкова,** канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, ЦЭМИ РАН (Москва, Россия) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

**Ю.А. Банчук,** директор департамента развития информационных технологий, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный национальный университет» (Белгород, Россия) (e-mail: banchuk@mail.ru)

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ В РАМКАХ СТРАТЕГИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

*Актуальность и социальная значимость проблемы управления кадровым потенциалом на федеральном и региональном уровне обусловлены тем фактом, что рыночные механизмы регулирования профессионально-образовательной структуры трудоспособного населения не обеспечивают требуемой сбалансированности кадрового потенциала в соответствии с состоянием и тенденциями развития социально-экономической ситуации в регионах. Влияние на кадровый потенциал оказывают демографические, миграционные процессы и функционирование образовательной системы.*

*В статье представлена агент-ориентированная модель пространственного развития России. Модель состоит из модулей, представляющих демографические, экономические, финансовые процессы, образование, занятость и потребление. Модель реализуется в виде компьютерной программы, на вход которой подаются массивы исходных данных, а вывод результатов осуществляется в виде статистических таблиц, карт и графиков. Для каждого региона задается половозрастная структура населения, состав домохозяйств, динамика рождаемости и смертности. Также в каждом регионе имеются образовательные институты, рынок труда, производство и сфера услуг, представленные коммерческими организациями. Функции административного управления разделяются между федеральными и региональными органами власти и реализуются через бюджетные организации. Финансовая система является централизованной, она представлена Центральным банком и региональными коммерческими банками.*

*Рассматриваются вопросы исследования на базе модели динамики кадрового потенциала регионов страны как результата решений индивидуальных агентов – жителей. Поведение интеллектуальных агентов в модели определяется в сферах получения образования, трудоустройства и миграции. Выделяются кластеры населения, вовлеченные в различной степени в мероприятия по развитию кадрового потенциала регионов; приводится алгоритм оценки влияния проведенных мероприятий на целевые индикаторы. Для информационного наполнения модели используются данные Федеральной службы государственной статистики, министерств и ведомств, федеральных и региональных информационных систем.*

***Ключевые слова****: агентное моделирование, пространственное развитие, кадровый потенциал региона, принятие решений, кластер, индикатор.*

**Ссылка для цитирования:** Применение инструментария агентного моделирования для прогнозирования динамики кадрового потенциала регионов в рамках стратегии пространственного развития России / А.В. Маматов, О.А. Савина, А.Л. Машкова, Ю.А. Банчук // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 41–52.

***

## Введение

Прогнозирование пространственного развития страны является ключевым этапом при оценке эффективности государственной экономической и региональной политики. В соответствии с концепцией Стратегии пространственного развития

РФ до 2030 года [5] под термином «пространственное развитие» понимаются прогрессивные изменения в территориальной организации общества, которые являются результатом целенаправленной деятельности государства по совершенствованию организации расселения жителей, размещения на территории объектов экономики, социальной сферы, транспортной, энергетической и иных инфраструктур. При составлении прогноза и формировании целей и механизмов реализации государственной политики по совершенствованию пространственной организации страны необходимо учитывать множество факторов, в том числе региональные производственные мощности, межотраслевые хозяйственные взаимосвязи, уровень жизни и кадровый потенциал регионов. Необходим анализ больших данных, включая как структурированную информацию Росстата, так и неструктурированные открытые данные в виде результатов социологических опросов, мониторинга реализации федеральных целевых программ и других источников, а также закрытые данные министерств, ведомств, социальных сетей и поисковых систем. Обработка этих данных требует специальных методов и средств, поэтому актуальной задачей является интеграция методов компьютерного моделирования, искусственного интеллекта, распределенных вычислений и анализа больших данных для создания инструментария прогнозирования социально-экономического и пространственного развития страны и оценки эффективности государственной экономической и региональной политики.

Проблема управления кадровым потенциалом является одним из основных элементов системы мероприятий по созданию условий для устойчивого социально-экономического развития регионов. Актуальность и социальная значимость проблемы управления кадровым потенциалом на федеральном и региональном уровне обусловлены тем фактом, что рыночные механизмы регулирования профессионально-образовательной структуры трудоспособного населения не обеспечивают требуемой сбалансированности кадрового потенциала в соответствии с состоянием и тенденциями развития социально-экономической ситуации в регионах. Кадровый потенциал в количественном аспекте определяется демографическими и миграционными процессами, его количественный характер зависит от образовательной системы в целом и программ профессиональной переподготовки в частности. Влияние на кадровый потенциал является опосредованным и связано с демографическими, миграционными процессами и с функционированием образовательной системы.

**Постановка задачи**

Динамика кадрового потенциала регионов РФ исследуется в рамках компьютерной модели пространственного развития России. В качестве основного метода исследования было выбрано агентное моделирование, поскольку оно представляет возможность исследования динамики сложной системы как результата решений и взаимодействий агентов микроуровня, что соответствует специфике социальных и экономических процессов. Агентная модель пространственного развития России отражает половозрастную структуру, состав домохозяйств и расселение жителей России по регионам, инфраструктуру, производственные мощности, образовательные и административ-

ные институты. Действующими субъектами в модели являются агенты, домохозяйства, организации и органы административного управления [8]. Демографические и производственные процессы в модели рассматриваются с учетом пространственного размещения, хозяйственных и личных взаимосвязей.

Модель реализуется в виде компьютерной программы, на вход которой подаются массивы исходных данных, а вывод результатов осуществляется в виде статистических таблиц, карт и графиков. Модель имеет модульную структуру (рис. 1).

Для каждого региона задается половозрастная структура населения, состав домохозяйств, динамика рождаемости и смертности. Также в каждом регионе имеются образовательные институты, рынок труда, производство и сфера услуг, представленные коммерческими организациями. Функции административного управления разделяются между федеральными и региональными органами власти и реализуются через бюджетные организации. Финансовая система является централизованной, она представлена Центральным банком и региональными коммерческими банками.

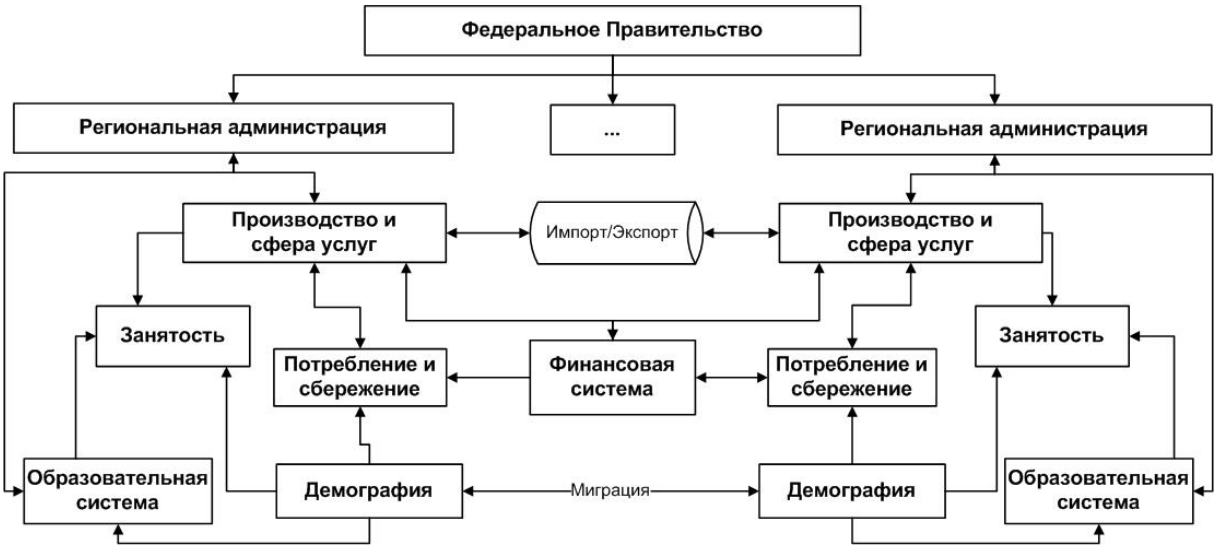



Рис. 1. Модульная структура модели пространственного развития России

Динамика кадрового потенциала обусловлена демографическими, экономическими, миграционными процессами и функционированием образовательной системы (рис. 2).

На демографические процессы воздействие может быть лишь косвенным. Ключевым каналом является система социального обеспечения: декретные выплаты, пособия на ребенка для малообеспеченных семей, материнский капитал. Важный вклад в протекание демографических процессов вносит также качество медицинского обслуживания, экология и качество продуктов питания. В модели воспроизводится структура населения России на базовый год моделирования, формируются семьи и распределяются по домашним хозяйствам, после чего моделируются процессы рождаемости и смертности, браков и разводов. Сгенерированная таким образом совокупность

агентов, представляющая население регионов России, сохраняется в базе данных для последующего использования в серии сценарных расчетов.

Миграционные процессы, связанные с притоком мигрантов, могут регулироваться законодательно путем квотирования количества приезжих и контроля над соблюдением установленных требований. Процессы внутренней миграции поддаются лишь косвенному воздействию; стимулы к привлечению специалистов в регионы создаются экономическим развитием, обеспечивающим создание новых рабочих мест, высокий уровень доходов и качества жизни.

Экономические процессы в модели отражаются через деятельность организаций в различных сферах производства и оказания услуг. Их хозяйственные операции и взаимные расчеты отражаются на счетах и фиксируются в проводках; итоги деятельности за год отражаются в бухгалтерском балансе и отчете о прибылях и убытках. Коммерческие организации осуществляют выплату зарплаты и налогов, межотраслевые поставки, оплату аренды, начисление амортизации, продажу конечной продукции, возврат кредитов и определение финансового результата. Полученная прибыль в некотором соотношении распределяется между акционерами и инвестированием в расширение и модернизацию производственных мощностей.

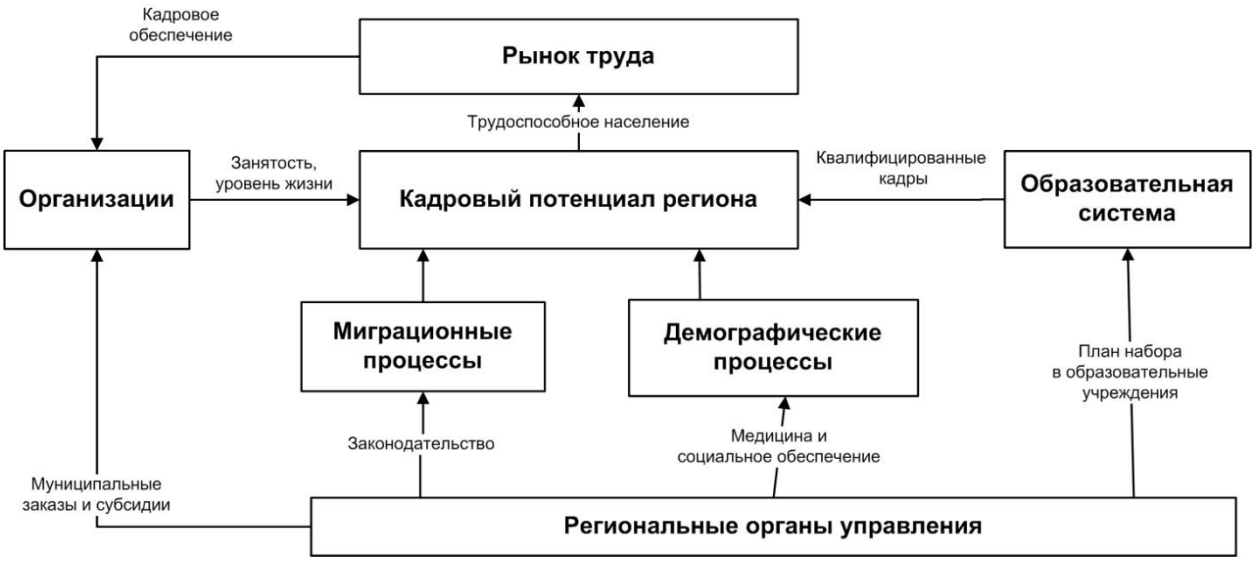



Рис. 2. Кадровый потенциал в социально-экономической системе региона

Образовательная система в модели состоит из образовательных учреждений, с которыми связаны образовательные места. При поступлении агенты-абитуриенты подают заявки, образовательные учреждения проводят конкурсный отбор, после которого агенты закрепляются за образовательными местами. Каждый год агенты-студенты переводятся на следующий курс, по окончании им присваивается квалификация. Образовательная система регулируется путем задания количества бюджетных образовательных мест и их распределения по группам специ-

альностей. Также на уровне регионов могут быть сформулированы образовательные заказы от крупных предприятий, что обеспечивает целевую подготовку специалистов для производства.

**Метод, предложенный в статье**

Поведение агентов в модели определяется в сферах получения образования, трудоустройства и миграции. В сфере образования агент принимает решение о желаемом уровне образования и специальности [11]. При трудоустройстве агент делает выбор в пользу наемной работы или предпринимательства, отрасли занятости и соответствия ее специальности. Агент может изменить регион своего проживания. Миграционный аспект непосредственно связан с получением образования, если агент является абитуриентом, или с трудоустройством, если агент является квалифицированным работником.

Процесс принятия решений интеллектуальным агентом является универсальным для всех сфер социальной активности. Поведение интеллектуального агента основано на когнитивной модели TOTE, предложенной в 60-х годах прошлого века [2]. Основные понятия модели TOTE – *План* и *Образ*, где *План* – это набор действий, которые может совершить агент, а *Образ* – это доступная ему информация. Изменение Плана агента происходит путем реализации алгоритма принятия решения, включающего построение оценок уровня жизни, коммуникацию и формирование альтернатив. Более подробно принципы принятия решения агентами в модели изложены в работах [1, 7].

На процессы принятия решений агентами влияет ряд факторов: доступность, разнообразие и уровень подготовки в системе профессионального образования; развитость инфраструктуры, системы общественного транспорта, доступность медицинских услуг, торговых точек, детских садов и школ; климат и экология в регионе, а также ряд экономических (личный доход, средний доход на члена домохозяйства, прожиточный минимум в регионе) и личных факторов (наличие родственников в регионе, субъективная оценка региона). Значимость и оценки перечисленных факторов могут отличаться у различных категорий населения, поэтому возникает необходимость разбиения агентов на группы для исследования.

Критериями группировки являются:

– место проживания (город, село);

– возраст (до 35 лет, старше 35 лет);

– образование (школьник, студент, квалифицированный работник, неквалифицированный работник);

– трудоустройство (работающий, безработный, предприниматель).

Кластеры населения, сформированные на основе описанных критериев, представлены в таблице 1.

Диаграмма состояний агента отражает переход между его состояниями, соответствующими различным кластерам. Представленная на рисунке 3 диаграмма состояний агента — городского жителя соответствует получению профессионального образования, трудоустройству, взрослению и выходу на пенсию. Обратные переходы между кластерами 4 и 10, 7 и 14 соответствуют состоянию смены или временной потере работы. Для агента — сельского жителя, не получившего профессионального образования, диаграмма состояний представлена на рисунке 4.

Таблица 1

Группообразующие признаки и кластеры населения региона

| Признаки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | … | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Школьники | + | + | | | | | | | | | | | | |
| Студенты | | | + | | | | | | | | | | | |
| Работающие | | | | | + | | + | | | + | | + | | |
| Безработные | | | | | | + | | + | | | + | | + | |
| Предприниматели | | | | + | | | | | | | | | | |
| Пенсионеры | | | | | | | | | | | | | | + |
| Возраст до 35 лет | | | | | + | + | | | | + | + | | | |
| Возраст старше 35 лет | | | | | | | + | + | | | | + | + | |
| Квалифицированные | | | | | + | + | + | + | | | | | | |
| Неквалифицированные | | | | | | | | | | + | + | + | + | |
| Город | + | | | | + | + | + | + | | | | | | |
| Село | | + | | | | | | | | + | + | + | + | |

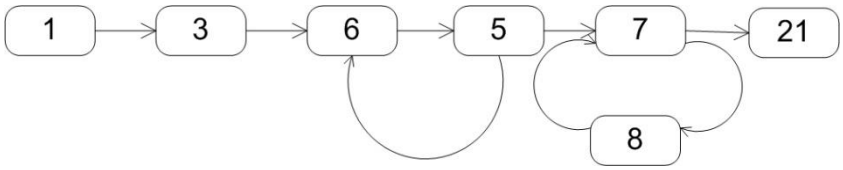



Рис. 3. Диаграмма состояний агента — городского жителя, имеющего профессиональное образование

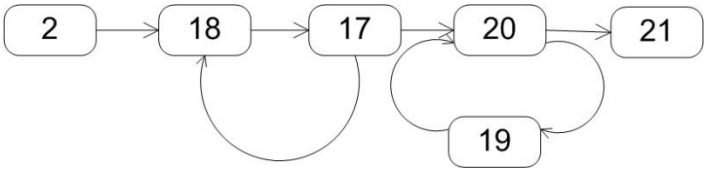



Рис. 4. Диаграмма состояний агента — сельского жителя, не имеющего профессионального образования

Мероприятия программы, индикаторы их эффективности и кластеры населения, вовлеченные в реализацию мероприятий, представлены в таблице 2.

Программа развития кадрового потенциала региона направлена на решение следующих задач:

– согласование структуры рабочей силы и рынка труда в регионе (в рамках целевого набора студентов и программ профессиональной переподготовки кадров);

– поддержка бизнеса и увеличение занятости;

– укрепление взаимосвязей образовательных учреждений и предприятий региона;

– развитие социальной инфраструктуры;

– создание системы информационной поддержки управления кадровым потенциалом региона.

**Моделирование**

С целью отражения влияния мероприятий на динамику ключевых индикаторов разработан алгоритм, который включает следующие шаги.

1. Из таблицы «Воздействие мероприятий на агентов» по заданному типу мероприятия выбираются агентные группы, на которые рассчитано мероприятие, свойство агента, изменяющееся под влиянием мероприятия, и процент агентов, который подвергается воздействию при однократном проведении мероприятия заданного типа.

2. В зависимости от уровня мероприятия следующие шаги выполняются для всех, некоторых или одного населенного пункта в регионе:

2.1. Находится общее число агентов заданной группы, проживающее в данном населенном пункте.

2.2. Рассчитывается число агентов, попадающих под воздействие мероприятий.

2.3. Изменяется заданное свойство у заданного количества агентов.

3. Моделирование принятия агентами индивидуальных решений.

4. Пересчет значений индикаторов.

На обобщенной диаграмме состояний и переходов отражен процесс оценки влияния проведенных мероприятий на целевые индикаторы для каждой агентной группы (рис. 5).

Таблица 2

Мероприятия по развитию кадрового потенциала региона

| Целевая сфера мероприятия | Тип мероприятия | Индикатор эффективности мероприятия | Кластеры населения |
|---|---|---|---|
| Образование | Увеличение количества специальностей в образовательных учреждениях региона | Количество и средний балл ЕГЭ студентов в регионе по целевым группам специальностей | 1, 2 |
| | Увеличение целевой квоты от предприятий региона | | |
| | Закрепление студентов за предприятиями региона на время обучения | Количество выпускников, трудоустроенных на предприятиях региона | 3 |
| Экономика | Создание рабочих мест в городах региона | Процент безработных в городах региона | 6, 8, 10, 11 |
| | | Отток жителей из городов региона | |
| | Создание рабочих мест в сельских поселениях региона | Процент безработных в сельских поселениях региона | 14, 16, 18, 20 |
| | | Отток жителей из сельских поселений региона | |
| | Субсидии для бизнеса | Количество самозанятых в регионе | 4 |
| | | Количество новых рабочих мест в коммерческих организациях региона | |
| Социальная сфера | Предоставление жилья молодым специалистам | Отток молодых специалистов из региона | 5, 13 |
| | Увеличение количества детских садов, кружков, секций | | 5, 9, 13, 17 |
| | Выплата региональных надбавок к пенсиям | Отток специалистов со стажем из региона | 7, 11, 15, 19 |

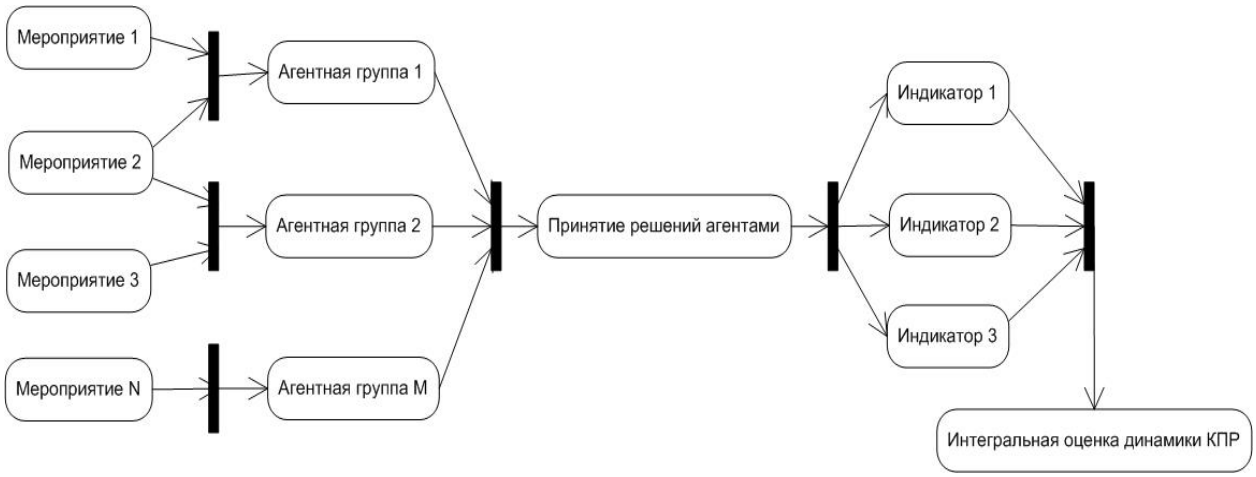



Рис. 5. Схема реализации мероприятий в модели

Первоначально в модели последовательно обрабатываются переходы с целью оценки влияния проведенных в модели видов мероприятий на изменение значения целевых индикаторов в каждом экземпляре агентной группы. С каждым из переходов связана интегральная стохастическая зависимость. Параметрами для её расчета являются вероятностные характеристики, характеризующие чувствительность определенной агентной группы к различным мероприятиям, полученные на основе социологических опросов и статистического анализа. Далее реализуется этап принятия агентами индивидуальных решений с параметрами, измененными под влиянием мероприятий. По итогам моделирования формируются значения целевых индикаторов и средневзвешенная оценка для региона.

Для информационного наполнения модели пространственного развития используются данные из различных источников. Исходными данными о демографических процессах являются ежегодники Федеральной службы государственной статистики [12] и результаты Всероссийской переписи населения [3].

В качестве исходных данных для моделирования экономических структур и отношений используются массивы данных о пространственном размещении производства и инфраструктуры, хозяйственных связях, финансовом состоянии организаций и домохозяйств, представленные в ежегодниках Федеральной службы государственной статистики [12], отчетах министерств [9], а также информация из федеральных и региональных информационных систем [4].

Информация из федеральных и региональных информационных систем используется для детализации статистических данных и агрегированных данных министерств в отношении отдельных организаций (финансовая отчетность, объемы выпуска, региональный рынок труда, бюджетные места в образовательных организациях). Интеграция исходных данных в компьютерную модель пространственного развития России осуществляется в два этапа. На первом этапе формируются агрегированные объекты модели на основе статистических данных. На втором этапе объекты детализируются за

счет доступной информации из государственных информационных систем [6].

Параметры индивидуальной активности агентов, представляющих население России, задаются на основе результатов социологических опросов. Планируется проведение серии социологических опросов среди различных групп населения регионов, направленных на изучение влияния различных факторов на выбор специальности, сферы трудоустройства и региона проживания.

### Обсуждение результатов и заключение

Представленная в данной статье модель динамики кадрового потенциала региона направлена на достижение целей, обозначенных в концепции Стратегии пространственного развития России [5] и региональных стратегиях развития [10]. Модель позволяет осуществлять учет влияния управляемых факторов и сценарных параметров на выделенные целевые индикаторы, отражающие динамику кадрового потенциала регионов, и внедрить в практику управления новые методы и инструментальные средства планирования и прогнозирования экономического развития. В силу территориальных особенностей Российской Федерации необходим учет пространственной составляющей, в том числе существующей в регионах инфраструктуры, производственных мощностей, кадрового потенциала и уровня жизни.

Предлагаемый подход имеет существенные отличия от применяемых в настоящее время математических и программных моделей экономики, поскольку позволяет отразить пространственный аспект экономической динамики, интегрировать большие массивы накопленных данных, учесть структурные взаимосвязи экономических агентов, влияние административных механизмов и институциональной среды.

В процессе моделирования может быть получена комплексная оценка каждого конкретного действия органов административного управления на основе системы взаимосвязанных индикаторов, что дает возможность оценивать не только прямые последствия принимаемых решений, но и вызываемые ими мультипликативные эффекты.

Разработанная модель обеспечивает проведение многовариантных расчетов для обоснования основных направлений, по которым федеральные и региональные власти могут оказывать влияние на динамику кадрового потенциала. Анализ результатов моделирования позволит предложить эффективные мероприятия по развитию регионального кадрового потенциала, реализация которых позволит увеличить привлекательность региона для высококвалифицированной рабочей силы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03049.*

### Список литературы

1. Mashkova A.L., Savina O. A., Mamatov A.V. Integrating Artificial Agent in the Simulation Model of Russian Federation Spatial Development // Proceedings of the 2018 IEEE 12th International Conference on Applications of Information and Communication Technologies (AICT), 17-19 October, Almaty, Kazakhstan, 2018. P. 344-349.

2. Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. Plans and the structure of behavior. New York: Henry Holt, 1960.

3. Всероссийская перепись населения 2010: официальный сайт. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 22.06.2018).

4. Государственная информационная система промышленности: официальный сайт. URL: https://gisp.gov.ru/. (дата обращения: 15.08.2018).

5. Концепция Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года. Москва, 2016. URL: http://book.lib-i.ru/ 25ekonomika/ 325519-1-proekt-koncepciya-strategii-prostranstvennogo-razvitiya-rossiyskoy-federacii-period-2030-goda-moskva-2016-v.php (дата обращения: 19.06.2018).

6. Маматов А.В., Банчук Ю.А., Машкова А.Л. Информационное наполнение агентной модели пространственного развития России на основе данных региональных и федеральных информационных систем // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018) [Электронный ресурс]: материалы VII Международной научно-технической конференции: URL: http://myconfs.ru/itnop2018/materials/manager/view/1333.

7. Машкова А.Л. Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское машиностроение. 2014. №3. С. 12-19.

8. Машкова А.Л. Прогнозирование долгосрочного развития макроэкономических систем на базе агент-ориентированных моделей // Государственное управление. Электронный вестник. 2016. № 57. С.49-68.

9. Министерство образования и науки Российской Федерации: официальный сайт. URL: https://минобрнауки.рф. (дата обращения 14.08.2018).

10. Об утверждении стратегии социально-экономического развития Белгородской области на период до 2025 года [Электронный ресурс]: постановление правительства Белгородской области от 25 января 2010 года N 27-пп. URL: http://docs.cntd.ru/document/428596289 (дата обращения: 19.06.2018).

11. Пыхтин А.И., Овчинкин О.В. Модификация федеральной информационной системы для организации централизованного приема в вузы России // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. №1(26). С. 33-40.

12. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: http://www.gks.ru/ (дата обращения: 26.06.2018).

*Поступила в редакцию 10.10.18*

UDC 004.94

**A.V. Mamatov,** Candidate of Engineering Sciences, Belgorod State University (Belgorod, Russia) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

**O.A. Savina,** Doctor of Economic Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev (Orel, Russia) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

**A.L. Mashkova,** Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, CEMI RAS (Moscow, Russia) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

**J.A. Banchuk,** Director of the Department of Information Technology, Belgorod State University (Belgorod, Russia) (e-mail: banchuk@mail.ru)

## APPLICATION OF AGENT MODELING FOR FORECASTING DYNAMICS OF REGIONL HUMAN RESOURCE WITHIN THE STRATGY OF THE RUSSIAN FEDERATION SPATIAL DEVELOPMENT

*The urgency and social significance of human resource management at federal and regional levels is due to the fact that market mechanisms for regulating educational structure of the working-age population do not provide the required balance of human resource in accordance with state and trends of socio-economic situation in the regions. Demographic, migration processes and the functioning of the educational system have impact on human resources.*

*The article presents an agent-based model of the Russian Federation spatial development. The model consists of modules representing demographic, economic, financial processes, education, employment and consumption. The model is implemented in the form of a computer program, the input of which are arrays of initial data, the results are presented in the form of statistical tables, maps and graphs. For each region, the gender and age structure of the population, the composition of households, the dynamics of fertility and mortality are set. Also in each region there are educational institutions, labor market, production and services, represented by commercial organizations. The administrative functions are divided between federal and regional authorities and implemented through budget organizations. The financial system is centralized; it is represented by the Central Bank and regional commercial banks.*

*Dynamics of the regional human resource is studied as a result of decisions made by individual agents - residents. The behavior of intelligent agents in the model is determined in the areas of education, employment and migration. There are clusters of the population involved, in varying degrees, in measures to develop the regional human resource; an algorithm for assessing the impact of measures taken on target indicators is presented. For the content of the model, data from the Federal State Statistics Service, ministries and departments, federal and regional information systems are used.*

***Key words****: agent modeling, spatial development, regional human resource, decision making, cluster, indicator.*

**For citation:** Mamatov A.V., Savina O.A., Mashkova A.L., Banchuk J.A. Application of Agent Modeling for Forecasting Dynamics of Regionl Human Resource within the Stratgy of the Russian Federation Spatial Development. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 41–52 (in Russ.).

***

**References**

1. Mashkova A.L., Savina O. A., Mamatov A.V. Integrating Artificial Agent in the Simulation Model of Russian Federation Spatial Development. Proceedings of the 2018 IEEE 12th International Conference on Applications of Information and Communication Technologies (AICT), 17-19 October, Almaty, Kazakhstan, 2018, pp. 344-349.

2. Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. Plans and the structure of behavior. New York, Henry Holt Publ., 1960.

3. Vserossijskaya perepis' naseleniya 2010: oficial'nyj sajt. URL: http:// www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (accessed 22.06.2018).

4. Gosudarstvennaya informacionnaya sistema promyshlennosti: ofcial'nyj sajt. URL: https://gisp.gov.ru/ (accessed 15.08.2018).

5. Koncepciya Strategii prostranstvennogo razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Moskva, 2016. URL: http://book.lib-i.ru/25ekonomika/325519-1-proekt-koncep-ciya-strategii-prostranstvennogo-razvitiya-rossiyskoy-federacii-period-2030-goda-moskva-2016-v.php (accessed 19.06.2018).

6. Mamatov A.V., Banchuk Yu.A., Mashkova A.L. Informacionnoe napolnenie agentnoj modeli prostranstvennogo razvitiya Rossii na osnove dannyh regional'nyh i federal'nyh informacionnyh sistem. Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve» (ITNOP-2018). URL: http://myconfs.ru/ itnop2018/materials/manager/view/1333.

7. Mashkova A.L. Intellektual'nyj agent v social'noj srede: nechetkie ocenki i pravila prinyatiya reshenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2014, no.3, pp.12-19.

8. Mashkova A.L. Prognozirovanie dolgosrochnogo razvitiya makroehkonomicheskih sistem na baze agent-orientirovannyh modelej. Gosudarstvennoe upravlenie. Ehlektronnyj vestnik, 2016, no. 57, pp.49-68.

9. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii: oficial'nyj sajt. URL: https://minobrnauki.rf. (accessed 14.08.2018).

10. Ob utverzhdenii strategii social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Belgorodskoj oblasti na period do 2025 goda. Postanovlenie pravitel'stva Belgorodskoj oblasti ot 25 yanvarya 2010 goda N 27-pp. URL: http:// docs.cntd.ru/document/428596289 (accessed 19.06.2018).

11. Pyhtin A.I., Ovchinkin O.V. Modifikaciya federal'noj informacionnoj sistemy dlya organizacii centralizovannogo priema v vuzy Rossii. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2018, no.1(26), pp. 33-40.

12. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki: oficial'nyj sajt. URL: http://www.gks.ru/. (accessed 26.06.2018).

УДК 656.61.052

**Н.А. Седова,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского» (Владивосток, Россия)
(e-mail: nellyfish81@mail.ru)

**В.А. Седов,** канд.физ.-мат. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского» (Владивосток, Россия) (e-mail: sedov@msun.ru)

# МЕТОД РАСХОЖДЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ В ЗОНЕ ЧРЕЗМЕРНОГО СБЛИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОНЕЧЁТКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*В работе предложен метод, использующий нейронечёткий подход к решению задачи расхождения морских судов (РМС), находящихся в зоне чрезмерного сближения (ЗЧС).*

*Как показано в работе, привнесение в ранее разработанную авторами нечеткую модель нейросетевых технологий (НСТ) позволяет получить более точные результаты прогноза опасности столкновения судов по сравнению с нечеткой моделью.*

*Авторами разработан и представлен механизм формирования элементов обучающей выборки для нейронечеткой системы расхождения (ННСР) на основе маневренного планшета, для чего сформирован перечень различных ситуаций для судов, расходящихся в ЗЧС, и для каждой из которых произведена ее раскладка на маневренном планшете. Таким образом, в обучающую выборку вошли значения входного вектора данных и соответствующий ему курс судна-оператора (КСО).*

*В работе описаны результаты имитационного моделирования 192 различных ННСР с генерированием по методу решетки без кластеризации (ГМРК) и 288 нейронечетких систем с генерированием по методу субкластеризации (ГМС). Показано, что для подобной задачи целесообразно использовать нейронечёткую систему, где генерирование осуществляется по методу ГМРК.*

*Также в работе исследовано влияние методов оптимизации на качество расхождения. Продемонстрировано, что гибридный метод оптимизации даёт значительно лучшие результаты, чем алгоритм обратного распространения ошибки как при методе ГМРК, так и при использовании метода ГМС.*

*Определены оптимальные типы функций принадлежности (ФП), использующиеся для формирования входных нечетких лингвистических переменных (НЛП) ННСР морских судов. Так, для формирования входных НЛП наилучшие результаты выдают такие ФП, как произведение двух сигмоидных ФП, разности между двумя сигмоидными ФП и П-образная ФП.*

***Ключевые слова****: расхождение морских судов, зона чрезмерного сближения, судно-оператор, судно-цель, пеленг, курс судна, скорость судна, нейро-нечёткая сеть, маневренный планшет, метод решетки без кластеризации, метод субкластеризации.*

**Ссылка для цитирования:** Седова Н.А., Седов В.А. Метод расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения на основе нейронечётких технологий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 53–62.

***

## Введение

Задача РМС, находящихся в ЗЧС [1], до сих пор остается актуальной, несмотря на существенные результаты, полученные в последнее время. Так, в статье [2] представлена концепция построения прогнозируемых опасных областей на основе информации с автоматической идентификационной системы (АИС). Интеграция географической информационной системы, Международных правил предупреждения столкновений судов в море (МППСС) и всестороннего анализа различных навигационных ситуаций позволяет системе генерировать безопасный маршрут расхождения с другими судами и морскими объектами. Близкая по типу задача создания системы по РМС предложена авторами работы [3] на базе систем Electronic chart display and information system и АИС, а в работе [4] пред-

ставлен метод автоматического планирования траектории и РМС на основе метода поиска пути Artificial potential field и вектора скорости. Еще одним методом обеспечения РМС является применение байесовских сетей, как декларируется в работе [5]. Также для подобного типа задач успешно применяются нечеткие логико-лингвистические системы (НЛЛС) [6], в частности, на их основе в работе [7] реализована система поддержки принятия решений на морском судне. В работах [8, 9] для принятия решения о необходимости расхождения представлена модель, использующая НЛЛС, для определения величины, характеризующей уровень опасности столкновения морских судов в ЗЧС. В указанной модели для формирования базы правил нечетких продукций (ПНП) [10-12] использовался маневренный планшет, а в качестве алгоритма нечеткого логического вывода (НЛВ) – известный алгоритм Мамдани.

В настоящее время в задачах судовождения успешно применяются и НСТ [13]. Так, в работе [14] представлены исследования по нейросетевой классификации морских целей на зашумленных изображениях в сложных погодных условиях и волнении моря, а в работе [15] нейронной сетью успешно производится обнаружение айсбергов по характерным текстурным признакам из изображения спутникового радара. Искусственные нейронные сети также хорошо себя зарекомендовали и в прогностических задачах [16, 17]. В приложении к практике судовождения стоит отметить ряд работ. В частности, в статье [18] приводится метод краткосрочного прогнозирования уровня Каспийского моря при помощи нейронной сети типа персептрон [19]. Использование нейронных сетей из-за их очевидных преимуществ [19] потенциально способно улучшить результаты прогноза опасности столкновения судов, именно поэтому авторами настоящей работы осуществлена гибридизация нечёткой модели, предложенной в [20], путём привлечения элементов НСТ, в результате которой сформирована нейронечёткая сеть, являющаяся основой ННСР морских судов в ЗЧС.

**Постановка задачи**

ННСР в зоне чрезмерного сближения представляет собой адаптивную систему НЛВ (АСНЛВ) [19], состоящую из 5-ти уровней. Такая система представляет собой многослойную искусственную нейронную сеть, характеризующуюся прямым распространением связей, параметрами сети являются параметры НЛВ, а алгоритмом принятия решения нейронной сети является алгоритм НЛВ. Модель АСНЛВ, использующаяся для разработки ННСР, базируется на модели НЛВ Такаги-Сугено, обладающей высокой интерпретируемостью и вычислительной эффективностью.

Входной уровень АСНЛВ является уровнем ФП. Во входном уровне АСНЛВ происходит фаззификация, т.е. устанавливаются нечёткие множества, соответствующие термам входных и выходных НЛП. Описываемая в статье ННСР включает четыре входные НЛП: пеленг на судно-цель (ПСЦ), т.е. на судно, с которым нашему судну необходимо в случае опасности благополучно разойтись; КСО; курс судна-цели (КСЦ), т.е. судна, находящегося в ЗЧС, с которым при необходимости требуется разойтись; скорость судна-цели (ССЦ) [20], а также единственную выходную НЛП, которой является заранее рассчитанное на маневрен-

ном планшете значение изменения КСО, причем выходу соответствует значение отрезка [-60°; 360°], где величине, равной -60°, соответствует терм «изменить курс сильно влево», величине -30° – терм «изменить курс влево», величине 0° – терм «двигаться прямо» (не изменяется ни курс, ни ССО), величине 60° – терм «изменить курс сильно вправо», величине 30° – терм «изменить курс вправо», а величине 360° – произвести манёвр циркуляции (соответственно – терм «циркуляция»). Множеством значений для входов «Пеленг на судно-цель», КСО и КСЦ является множество [0; 360]°, а диапазон значений для входа ССЦ определён на основе информации, полученной в результате анализа сведений Российского регистра судоходства – [0; 34] узлов.

Число узлов входного уровня АСНЛВ равно сумме мощностей чётких терм-множеств (ЧТМ) входных НЛП. Выходные значения входного уровня АСНЛВ представляют собой значения ФП при конкретных значениях входных переменных.

Параметры ФП входного уровня АСНЛВ составляют первую группу параметров, требующих настройки в процессе обучения.

Второй уровень АСНЛВ является уровнем ПНП. Во втором уровне АСНЛВ число узлов совпадает с числом ПНП, при этом каждый узел второго уровня соединен с теми узлами входного уровня АСНЛВ, которые формируют посылки (антецеденты) соответствующего ПНП. В общем случае распределение связей между входным и следующим уровнями АСНЛВ осуществляется таким образом, чтобы каждая входная НЛП нейронечеткой сети была связана с каждым нейроном уровня ПНП. Выходные значения второго уровня АСНЛВ соответствуют относительным степеням (весам) ПНП, которые рассчитываются как логическое произведение ФП входных НЛП.

Третий уровень АСНЛВ является уровнем нормирования, в котором выходные значения третьего уровня АСНЛВ определяются в результате нахождения суммы выходов всех узлов уровня ПНП и делении каждого из выходных значений второго уровня на полученное суммарное значение. Этим обеспечивается масштабирование выходных значений, что повышает устойчивость нейронечёткой сети.

Четвёртый уровень АСНЛВ является выходным уровнем линейной комбинации. Каждый узел четвёртого уровня АСНЛВ соединен с одним узлом предшествующего уровня и, как следствие, со всеми входами нейронечёткой сети. В четвёртом уровне АСНЛВ происходит определение коэффициентов линейных комбинаций в результате, например, алгоритма обратного распространения ошибки (АОРО – backpropa) или гибридного алгоритма (hybrid), являющегося комбинацией метода наименьших квадратов и АОРО. Коэффициенты линейных комбинаций составляют вторую группу параметров, подлежащих определению в процессе обучения АСНЛВ.

Наконец, заключительный уровень АСНЛВ является выходным суммирующим уровнем. Заключительный уровень АСНЛВ, соответствующий сумматору традиционной искусственной нейронной сети, реализует операцию дефаззификации.

### Методика проведения обучения нейронечёткой сети

Обучение нейронечёткой сети, составляющее совокупность двух этапов, представляет собой итерационную про-

цедуру. Такая процедура предназначена для определения основных параметров ФП. Цель итерационной процедуры заключается в обеспечении минимума невязки между текущим и целевым значениями АСНЛВ.

На первом этапе итерационной процедуры на входы АСНЛВ подается заранее подготовленная обучающая выборка, после этого параметры четвёртого уровня АСНЛВ подбираются таким образом, чтобы получить по возможности минимальное значение невязки между рассчитанным выходом нейронечёткой сети и заранее известным целевым.

На втором этапе итерационной процедуры остаточная невязка передается с выхода АСНЛВ на входы. С использованием метода АОРО параметры узлов входного уровня АСНЛВ модифицируются, причем полученные на первом этапе коэффициенты заключений ПНП не изменяются. Завершается итерационная процедура, когда невязка перестаёт превышать заранее установленное значение.

Следует отметить, что общая методика построения нейронечёткой сети, лежащей в основе ННСР в ЗЧС, включает следующие шаги.

На первом шаге осуществляется подготовка обучающей выборки, содержащей достаточно большой, но не чрезмерный объём информации о решаемой задаче.

На втором шаге выбираются параметры НЛВ, т.е. производится подбор ФП, ПНП и метода дефаззификации.

На третьем шаге выбираются алгоритм обучения и процедура настройки параметров АСНЛВ.

На четвёртом шаге производится непосредственное обучение АСНЛВ для настройки обеих групп параметров.

Наконец, на пятом шаге осуществляется оптимизация и проверка результативности обучения АСНЛВ.

### Моделирование нейронечётких сетей для решения задачи РМС

Реализация ННСР проводилась при помощи пакета Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [13], при этом проводилась серия компьютерных экспериментов, направленных на определение наилучшего типа ФП, используемых для задания термов входных НЛП; наилучшего типа ФП, используемых для задания термов выходной НЛП; наилучшего алгоритма обучения; оптимального числа циклов обучения нейронечёткой сети.

Для проведения имитационного моделирования ННСР сформирована обучающая выборка. Для этого сначала путём полного перебора с некоторым шагом для диапазонов входов сформирован перечень различных ситуаций, возникающих для находящихся в ЗЧС судов. Далее осуществлялась раскладка каждой отдельной ситуации на маневренном планшете с определением величины изменения КСО. Заметим, что раскладка на маневренном планшете выполнялась с учетом правил МППСС, комментариев к ним, а также рекомендаций так называемой «хорошей морской практики». На последнем шаге в обучающую выборку заносились значения входного вектора и полученное с помощью маневренного планшета соответствующее ему значение для изменения КСО.

### Численное моделирование нейронечётких сетей

Имитационное моделирование ННСР осуществлялось в двух режимах: во-первых, АСНЛВ создавались генерированием по методу ГМРК, во-вторых, производились генерированием ГМС.

Для первого режима обучены 192 различные нейронечёткие сети, каждая из которых имела по пять термов в каждой из четырёх входных НЛП. Для формиро-

вания входных НЛП воспользовались несколькими различными функциями принадлежности, а для выходной переменной – постоянные (constant) или линейные (linear) коэффициенты. Использовалось от 100 до 600 эпох обучения.

В результате имитационного моделирования ННСР при использовании ГМРК выявлено, что в качестве алгоритма обучения наилучшим явился гибридный метод, в качестве типа выходной НЛП – постоянные коэффициенты, а для формирования входных НЛП – произведение двух сигмоидных ФП (обозначено через psigmf), ФП в виде разности между двумя сигмоидными функциями (обозначено через dsigmf) и П-образная функция принадлежности (обозначено через pimf).

Из обученных нейронечетких сетей выбраны шесть с минимальными ошибками обучения, для каждой проведено тестирование, причем для оценки качества рассчитывались средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error – MAE), средняя квадратическая ошибка (Root Mean Square Error – RMSE), а также симметричная средняя абсолютная процентная ошибка (Symmetric Mean Absolute Percentage Error – SMAPE) по формулам, предложенным в [21].

Полученные значения качественных мер сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования ННСР при ГМРК

| Тип ФП для входных ЛП | Число эпох обучения | Ошибка обучения | MAE | RMSE | SMAPE |
|---|---|---|---|---|---|
| psigmf | 500 | $5.4532\cdot10^{-5}$ | $1.165\cdot10^{-5}$ | $6.063\cdot10^{-5}$ | $6.2555\cdot10^{-7}$ |
| psigmf | 600 | $5.4532\cdot10^{-5}$ | $1.165\cdot10^{-5}$ | $6.063\cdot10^{-5}$ | $6.2555\cdot10^{-7}$ |
| dsigmf | 600 | $5.4553\cdot10^{-5}$ | $1.166\cdot10^{-5}$ | $6.063\cdot10^{-5}$ | $6.257\cdot10^{-7}$ |
| dsigmf | 400 | $5.4556\cdot10^{-5}$ | $1.166\cdot10^{-5}$ | $6.063\cdot10^{-5}$ | $6.257\cdot10^{-7}$ |
| psigmf | 400 | $5.456\cdot10^{-5}$ | $1.1656\cdot10^{-5}$ | $6.063\cdot10^{-5}$ | $6.257\cdot10^{-7}$ |
| pimf | 600 | $5.5002\cdot10^{-5}$ | $1.171\cdot10^{-5}$ | $6.064\cdot10^{-5}$ | $6.2836\cdot10^{-7}$ |

Для второго режима обучены 288 различных нейронечётких сетей (по 144 на обучение АОРО и с гибридным методом оптимизации). Параметры при использовании ГМС варьировались следующим образом: параметр «Range of influence» – от 0.2 до 0.5 с шагом 0.1, параметр «Squash factor» – от 1 до 1.375 с шагом 0.125, параметр «Accept ratio» – от 0 до 0.4 с шагом 0.2, а параметр «Reject Ratio» – от 0 до 0.3 с шагом 0.15. Во всех 288 нейронечётких сетях выбирались 100 эпох обучения.

В результате имитационного моделирования ННСР при использовании ГМС выявлено, что в качестве алгоритма обучения, как и при использовании ГМРК, наилучшим является гибридный метод оптимизации для нейронечётких сетей, при этом параметр «Range of influence», неизменно равен 0.3, наилучшие показатели при параметре «Squash factor», равном 1, и параметре «Accept ratio», равном 0.4.

Из лучших нейронечётких сетей для тестирования выбраны шесть, причем для каждой также рассчитаны оценки качества, результаты которых показаны в таблице 2.

### Обсуждение результатов и заключение

Сравним представленные в настоящей работе результаты с результатами системы РМС в ЗЧС [20], в которой использован только НЛЛС.

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования ННСР при использовании ГМС

| Range of influence | Squash factor | Accept ratio | Reject Ratio | Optim. Methods | Ошибка обучения | RMSE | MAE | SMAPE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.3 | 1 | 0 | 0 | АОРО | $1.26\cdot10^{-1}$ | $3.865\cdot10^{-1}$ | $5.05\cdot10^{-2}$ | $2.7\cdot10^{-3}$ |
| 0.3 | 1.125 | 0 | 0 | АОРО | $1.26\cdot10^{-1}$ | $1.365\cdot10^{-1}$ | $3.54\cdot10^{-2}$ | $1.9\cdot10^{-3}$ |
| 0.3 | 1 | 0 | 0.15 | АОРО | $1.26\cdot10^{-1}$ | $3.865\cdot10^{-1}$ | $5.05\cdot10^{-2}$ | $2.7\cdot10^{-3}$ |
| 0.3 | 1 | 0.4 | 0 | hibrid | $1.363\cdot10^{-3}$ | $1.36\cdot10^{-3}$ | $5.5\cdot10^{-4}$ | $2.94\cdot10^{-5}$ |
| 0.3 | 1 | 0.4 | 0.15 | hibrid | $1.363\cdot10^{-3}$ | $1.36\cdot10^{-3}$ | $5.5\cdot10^{-4}$ | $2.94\cdot10^{-5}$ |
| 0.3 | 1 | 0.4 | 0.3 | hibrid | $1.363\cdot10^{-3}$ | $1.36\cdot10^{-3}$ | $5.5\cdot10^{-4}$ | $2.94\cdot10^{-5}$ |

В работе [20] была предложена нечёткая система, первая НЛП которой «Пеленг на судно-цель» включала в себя следующие пять термов ЧТМ: восточный пеленг, западный пеленг, северный левый пеленг, северный правый пеленг, южный пеленг.

Вторая и третья входные НЛП «КСО» и «КСЦ» имели ЧТМ, состоящее из следующих элементов [20]: курс левый на север, курс правый на север, курс на восток, курс на юг, курс на запад.

Четвертая входная НЛП «ССЦ» имела следующие термы ЧТМ [20]: неподвижная цель, малая скорость, средняя скорость, высокая скорость, очень высокая скорость.

За выходную НЛП выбрано изменение КСО, при этом ниже в скобках указаны значения ядер нечетких множеств, соответствующих термам этой переменной [20]: сильно влево (-60°), влево (-30°), прямо (не изменяется КСО и его скорость) (0°), вправо (30°), сильно вправо (60°), циркуляция (360°).

Для нечёткой системы РМС в ЗЧС, предложенной автором [20], проведено тестирование, причем для оценки качества также рассчитывались те же меры (MAE, RMSE, SMAPE), при этом в качестве дефаззификатора использовались 4 метода дефаззификации: центр тяжести – centroid, медиана – bisector, средний из максимумов – MOM (от Mean Of Maximums) и наименьший из максимумов – SOM (от Smallest Of Maximums). Результаты сведены в таблицу 3.

В результате тестирования нечёткой системы РМС в ЗЧС, предложенной в [20], выяснилось, что наилучшим методом дефаззификации является метод центра тяжести, однако значения качества расхождения недостаточны для уверенного принятия решения о РМС в ЗЧС.

Таблица 3

Результаты имитационного моделирования нечёткой системы РМС в ЗЧС, предложенной в [20]

| Метод дефаззификации | MAE | RMSE | SMAPE |
|---|---|---|---|
| Centroid | $2.246\cdot10^{-1}$ | $2.312\cdot10^{-1}$ | $1.19\cdot10^{-2}$ |
| Bisector | $1.2379\cdot10^{0}$ | $1.2568\cdot10^{0}$ | $7.12\cdot10^{-2}$ |
| MOM | $1.2379\cdot10^{0}$ | $1.2568\cdot10^{0}$ | $7.12\cdot10^{-2}$ |
| SOM | $1.2379\cdot10^{0}$ | $1.2568\cdot10^{0}$ | $7.12\cdot10^{-2}$ |

Анализ результатов проведённого в настоящей работе имитационного моделирования ННСР для обоих режимов (как при использовании ГМРК, так и при использовании ГМС) позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, для РМС, находящихся в ЗЧС, целесообразно воспользоваться

ННСР при использовании ГМРК (это подтверждается сравнением результатов таблиц 1 и 2, согласно которым качество РМС, с использованием ННСР, в которых использовалась ГМРК, на несколько порядков лучше, чем при использовании ГМС, который выдаёт наилучший результат MAE, сопоставимый с $10^{-4}$).

Во-вторых, гибридный метод оптимизации даёт результаты значительно лучшие, чем алгоритм обратного распространения ошибки, как при методе решетки без кластеризации, так и при использовании ГМС (в частности, при использовании ГМС АОРО выдаёт наилучший результат MAE, равный $3.54 \cdot 10^{-2}$, при этом гибридный алгоритм показывает результат MAE, равный $5.5 \cdot 10^{-4}$.

В-третьих, для формирования входных НЛП наилучшие результаты выдают такие функции принадлежности, как psigmf, dsigmf и pimf, что подтверждается результатами таблицы 1.

В-четвёртых, для ННСР при использовании ГМРК в качестве типа выходной НЛП необходимо прибегать к постоянным коэффициентам.

Таким образом, проведено имитационное моделирование 192 различных ННСР при использовании ГМРК, а также 288 ННСР при использовании ГМС. В результате моделирования получено, что наилучшие результаты показывает гибридный метод оптимизации (позволяет достичь значения MAE порядка $10^{-5}$). Проведённое тестирование наилучших ННСР показало, что они с высокой степенью точности (наилучший результат достигается при значении ошибки обучения порядка $10^{-5}$, MAE и RMSE порядка $10^{-5}$ и SMAPE порядка $10^{-7}$) способны определять величину изменения КСО, необходимого для РМС с судном-целью, находящимся в ЗЧС и представляющим опасность для судна-оператора.

Сравнивая полученные в настоящей работе результаты, например, с результатами работы нечёткой системы РМС, предложенной в [20], в которой наилучший результат достигается при методе дефаззификации типа Centroid, со значениями MAE и RMSE порядка $10^{-1}$ и SMAPE порядка $10^{-2}$, можно сделать уверенный вывод, что внесение в решение задачи расхождения судов НСТ значительно улучшило качество обеспечения безопасности движения морских судов в ЗЧС. Представленная в настоящей работе ННСР является одним из модулей интеллектуальной системы обеспечения безопасности судовождения, разработку которой авторы продолжат в своих дальнейших работах.

**Список литературы**

1. Mathematical models for solving problems of reliability maritime system / A.P. Nyrkov, K.P. Goloskokov, E.A. Koroleva, S.S. Sokolov, A.A. Zhilenkov, S.G. Chernyi // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2018. Vol. 442. P. 387–394.

2. Tsou M.C. Multi-target collision avoidance route planning under an ECDIS framework // Ocean Engineering. 2016. Vol. 121. P. 268–278.

3. He J.C. Based on ECDIS and AIS ship collision avoidance warning system research // Proceedings of International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. 2015. P. 242–245.

4. Xue Y., Lee B. S., Han D. Automatic collision avoidance of ships // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M. Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2015. Vol. 223. P. 33–46.

5. Hanninen M. Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges // Accident Analysis and Prevention. 2014. Vol. 73. P. 305–312.

6. Yefremov A. A. New operations on fuzzy numbers and intervals // Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. 2014. P. 6986900.

7. Chien-Min Su, Ki-Yin Chang, Chih-Yung Cheng. Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service // Journal of Marine Science and Technology. Taiwan . 2012. Vol. 20. P. 38–48.

8. Sedova N. A., Sedov V. A., Bazhenov R. I. Analysis of Emergency level at Sea Using Fuzzy Logic Approaches // Advances in Artificial Systems for Medicine and Education. AIMEE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. P. 658.

9. Sedov V.A., Sedova N.A., Glushkov S.V. The fuzzy model of ships collision risk rating in a heavy traffic zone // Vibroengineering Procedia. 2016. Vol. 8. P. 453–458.

10. Luneva E. E., Banokin P. I., Yefremov A. A. Evaluation of social network user sentiments based on fuzzy sets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21st International Conference for Students and Young Scientists, 2015. P. 12–54.

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

12. Bobyr M. V., Titov V. S., Nasser A. A. Automation of the cutting-speed control process based on soft fuzzy logic computing // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. № 44 (7). P. 633–641.

13. Sokolova M.L., Chernov V.G. The logistics management a transportation system «point of departure – point of destination» in real time regime // The Progressive Researches Science & Genesis. 2014. № 1. P. 147–149.

14. Khayati A., Mirghasemi S. A New Neural Network for Sea Target Detection // 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011. P. 33–37.

15. Ressel R., Frost A., Lehner S. Navigation Assistance for Ice-Infested Waters Through Automatic Iceberg Detection and Ice Classification Based on Terrasar-X Imagery // 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment. International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015. № 47(W3). P. 1049–1056.

16. Chernyi S., Zhilenkov A. Modeling of complex structures for the ship's power complex using XILINX system // Transport and Telecommunication. 2015. № 16(1). P. 73–82.

17. The use of fuzzy neural structures to increase the reliability of drilling platforms / A.P. Nyrkov, S.G. Chernyi, A.A. Zhilenkov and S.S. Sokolov // Intelligent Manufacturing & Automation Proceedings of the 26th International DAAAM Symposium, 2016. P. 672–677.

18. Imani M., You R.-J., Kuo C.-Y. Caspian Sea level prediction using satellite altimetry by artificial neural networks // International Journal of Environmental Science and Technology. 2014. № 11(4). P. 1035–1042.

19. Andrievskaya N.V., Mubarakzyanov N.R., Bezukladnikov I.I. Identification of parameters of nonlinear model of a hydromechanical system // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, 2016. P. 145–147.

20. Sedova N. A. A logical-linguistic model of ship collision avoidance in a heavy traffic zone // 21st Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 2014. № 21. P. 166–170.

21. Adaptive neuro fuzzy inference system for profiling of the atmosphere /

K. Ramesh, A.P. Kesarkar, J. Bhate, M. Venkat Ratnam, A. Jayaraman // Atmos. Meas. Tech. Discuss. 2014. № 7. P. 2715–2736.

*Поступила в редакцию 17.09.18*

---

UDC 656.61.052

**N.A. Sedova,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Maritime State university named after G.I. Nevelskoy (Vladivostok, Russia) (e-mail: nellyfish81@mail.ru)

**V.A. Sedov,** Candidate of Phisico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Maritime State university named after G.I. Nevelskoy (Vladivostok, Russia) (e-mail: sedov@msun.ru)

## SHIPS PASSING METHOD IN THE HEAVY TRAFFIC ZONE ON NEURO-FUZZY BASE

*The paper shows the method of neuro-fuzzy approach to solving the problem of ships collision prevention in a heavy traffic zone. The insertion into the fuzzy model (previously developed by authors) the neural-net methods allows to obtain more accurate predictions of the marine ship's risk collision.*

*The technique of forming the training samples for a neuro-fuzzy system based on a maneuverable plane-table are developed and presented. The list of different situations for ships diverging in heavy traffic zone was formed, and each of than was analyzed on a maneuverable plane-table.*

*The results of simulation modeling of 192 different neuro-fuzzy systems with lattice method without clustering and 288 neuro-fuzzy systems with subclustering method was described. It was shown, that it is rational to use a neuro-fuzzy system, where the generation is carried out by the lattice method without clustering.*

*In addition, the influence of optimization methods on the quality of ships divergence at sea was investigated. It has been demonstrated that the hybrid optimization method gives significantly better results than the back-propagation error algorithm.*

*The optimal types of membership functions used to form the input linguistic variables of the neuro-fuzzy system was determined. So, for the formation of input linguistic variables, the best results was firstly the composition of two sigmoid functions, secondary - the differences between the two sigmoid functions and in third place the U-shaped membership function.*

***Key words:*** *collision prevention, ship-operator, target ship, bearing of the ship, course of the ship, the speed of the ship, neuro-fuzzy network, maneuvering plane-table, lattice method without clustering, subclustering method.*

**For citation:** Sedova N.A., Sedov V.A. Ships Passing Method in the Heavy Traffic Zone on Neuro-Fuzzy Base. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 53–62 (in Russ.).

***

### Reference

1. Nyrkov A.P., Goloskokov K.P., Koroleva E.A., Sokolov S.S., Zhilenkov A.A., Chernyi S.G. Mathematical models for solving problems of reliability maritime system. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2018, vol. 442, pp. 387–394.

2. Tsou M.C. Multi-target collision avoidance route planning under an ECDIS framework. Ocean Engineering, 2016, vol. 121, pp. 268–278.

3. He J.C. Based on ECDIS and AIS ship collision avoidance warning system research. Proceedings of International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2015, pp. 242–245.

4. Xue Y., Lee B. S., Han D. Automatic collision avoidance of ships. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M. Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2015, vol. 223, pp. 33–46.

5. Hanninen M. Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges. Accident Analysis and Prevention, 2014, vol. 73, pp. 305–312.

6. Yefremov A. A. New operations on fuzzy numbers and intervals. Proceedings of

2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, 2014, p. 6986900.

7. Chien-Min Su, Ki-Yin Chang, Chih-Yung Cheng. Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service. Journal of Marine Science and Technology, Taiwan, 2012, vol. 20, pp. 38–48.

8. Sedova N. A., Sedov V. A., Bazhenov R. I. Analysis of Emergency level at Sea Using Fuzzy Logic Approaches. Advances in Artificial Systems for Medicine and Education. AIMEE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, p. 658.

9. Sedov V.A., Sedova N.A., Glushkov S.V. The fuzzy model of ships collision risk rating in a heavy traffic zone. Vibroengineering Procedia, 2016, vol. 8, pp. 453–458.

10. Luneva E. E., Banokin P. I., Yefremov A. A. Evaluation of social network user sentiments based on fuzzy sets. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21st International Conference for Students and Young Scientists, 2015, pp. 12–54.

11. Chernova I. V., Sumin S. A., Bobyr M. V., Seregin S. P. Forecasting and diagnosing cardiovascular disease based on inverse fuzzy models. Biomedical Engineering, 2016, vol. 49(5), pp. 263–267.

12. Bobyr M.V., Titov V.S., Nasser A. A. Automation of the cutting-speed control process based on soft fuzzy logic computing. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2015, no. 44 (7), pp. 633–641.

13. Sokolova M.L., Chernov V.G. The logistics management a transportation system «point of departure – point of destination» in real time regime. The Progressive Researches Science & Genesis, 2014, no. 1, pp. 147–149.

14. Khayati A., Mirghasemi S. A New Neural Network for Sea Target Detection. 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011, pp. 33–37.

15. Ressel R., Frost A., Lehner S. Navigation Assistance for Ice-Infested Waters Through Automatic Iceberg Detection and Ice Classification Based on Terrasar-X Imagery. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment. International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015, no. 47(W3), pp. 1049–1056.

16. Chernyi S., Zhilenkov A. Modeling of complex structures for the ship's power complex using XILINX system. Transport and Telecommunication, 2015, no. 16(1), pp. 73–82.

17. Nyrkov A.P., Chernyi S.G., Zhilenkov A.A., Sokolov S.S. The use of fuzzy neural structures to increase the reliability of drilling platforms. Intelligent Manufacturing & Automation Proceedings of the 26th International DAAAM Symposium, 2016, pp. 672–677.

18. Imani M., You R.-J., Kuo C.-Y. Caspian Sea level prediction using satellite altimetry by artificial neural networks. International Journal of Environmental Science and Technology, 2014, no. 11(4), pp. 1035–1042.

19. Andrievskaya N.V., Mubarakzyanov N.R., Bezukladnikov I.I. Identification of parameters of nonlinear model of a hydromechanical system. Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, 2016, pp. 145–147.

20. Sedova N. A. A logical-linguistic model of ship collision avoidance in a heavy traffic zone. 21st Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, 2014, no. 21, pp. 166–170.

21. Ramesh K., Kesarkar A.P., Bhate J. M. Ratnam Venkat, Jayaraman A. Adaptive neuro fuzzy inference system for profiling of the atmosphere. Atmos. Meas. Tech. Discuss, 2014, no. 7, pp. 2715–2736.

УДК 004.056

**М.О. Таныгин,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: tanygin@yandex.ru)

**Х. Я. Алшаиа,** аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: haideryhy7@gmail.com)

**В.А. Алтухова,** магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: valya.altuhova@mail.ru)

**А.Л. Марухленко,** канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: proxy33@mail.ru)

# УСТАНОВЛЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ИСТОЧНИКОМ И ПРИЁМНИКОМ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ОДНОРАЗОВЫХ ПАРОЛЕЙ

*В статье уделяется внимание доверенному взаимодействию субъектов информационного обмена в условиях небольшого размера передаваемых пакетов данных и низкой пропускной способности канала связи. Рассмотрен оригинальный протокол, позволяющий организовывать процедуры аутентификации одновременно с несколькими субъектами, отличающийся простотой и небольшим размером дополнительных служебных полей. В основе рассмотренного алгоритма лежит модифицированный метод одноразовых паролей. В формат сообщения, передаваемого от источника в приёмник, добавляется поле, сформированное путём комбинации обратимых и необратимых преобразований над порядковым номером сообщения в последовательности и секретным сеансовым ключом. Кроме того, протокол предусматривает периодическую передачу источником в приёмник сервисного сообщения, содержащего хеш из информационных полей сообщений нескольких сообщений для формирования цепочек аутентифицированных сообщений приёмником.*

*В статье описаны модели угроз для предложенного протокола аутентификации. Основной угрозой для доверительного канала обмена данными является потенциальный злоумышленник, формирующий случайным образом и передающий в приёмник сообщения, которые могут быть ошибочно восприняты как выданные аутентифицированным источником. Проанализированы параметры алгоритма формирования аутентифицированных данных, исследовано влияние этих параметров на вероятность возникновения ошибок аутентификации в канале связи. Характеристики алгоритма позволяют использовать его для идентификации и аутентификации пользователей или иных субъектов информационного обмена с помощью электронных устройств ввода идентификационных признаков в системах контроля доступа, для идентификации объектов в системах автоматического учёта движения товаров, в программно-аппаратных системах, где необходим доверительный обмен данными между устройствами и компонентами программного обеспечения.*

***Ключевые слова:*** *аутентификация, метод одноразовых паролей, расчёт вероятности.*

**Ссылка для цитирования:** Установление доверительного канала обмена данными между источником и приёмником информации с помощью модифицированного метода одноразовых паролей / М.О. Таныгин, Х. Я. Алшаиа, В.А. Алтухова, А.Л. Марухленко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 63–71.

***

## Введение

Метод одноразовых паролей является одним из наиболее распространённых и эффективных методов аутентификации источника и приёмника информации, который лежит в основе многих современных протоколов аутентификации, таких как Kerberos и Radius [1]. Аутентификация же является необходимым условие установления доверительных каналов обмена данными в любой распределённой системе. Например, в сети Internet однозначная идентификация источника и приёмника по их уникальным IP-адресам или физическим адресам невозможна из-

за лёгкости подделки проверочных данных злоумышленником [2].

**Постановка задачи**

Рассмотрим один из наиболее простых методов установления доверительного канала обмена данными, в основе которого лежит метод одноразовых паролей – OTP (*one time password*). Перед началом обмена данными источник посылает приёмнику формируемое случайно слово $S$ [3]. В дальнейшем каждый $i$-й очередной пакет передаваемых данных снабжается проверочным словом $S_i$, удостоверяющим подлинность пакета, которое формируется из $S$ по известному только приёмнику и отправителю алгоритму:

$$S_i = f(i, S).$$

Недостатком такого метода является то, что передаваемые по открытому каналу проверочные последовательности могут быть перехвачены злоумышленником. На основе анализа этих данных, используя, например, методы экстраполяции, злоумышленник может предугадать содержимое следующей проверочной последовательности:

$$S_{i+1} = F^{экстр}(S_{i-k+1}, S_{i-k+2}, \ldots, S_i), \qquad (1)$$

где $k$ – число последних перехваченных проверочных последовательностей;

$F^{экстр}$ – функция экстраполяции.

Успеху подобных атак на доверительный канал немало способствует то, что в качестве секретного алгоритма $f$ зачастую используются простые аддитивные операции вида

$$S_i = n \cdot i + S,$$

где $n$ – секретная последовательность, идентифицирующая пользователя [4].

Кроме того, выдав сообщение, подписанное угаданной проверочной последовательностью, злоумышленник имеет возможность полностью перенаправить канал обмена информацией на себя, так как очередной пакет данных от легального источника, а также все последующие будут проигнорированы приёмником.

Ситуация усложняется, когда приёмнику информации требуется установить сразу несколько каналов доверительного обмена данными с различными источниками. И если в сети Internet характеристикой источника (по крайней мере, легального) может служить его IP-адрес, то в других системах, где необходимо выполнять аутентификацию, например, в системах контроля доступа, иной информации, помимо вышеописанных проверочных данных, не существует.

Таким образом, каждое сообщение или пакет передаваемых данных между источником и приёмником информации должен снабжаться проверочными данными, которые:

– идентифицируют источник данных;

– обеспечивают сквозной контроль данных, передаваемых в разных пакетах;

– позволяют источнику данных контролировать состав и содержимое данных, получаемых приёмником;

– позволяют обнаруживать и устранять последствия подмены поверочной информации злоумышленником.

В данной статье рассматривается метод аутентификации, основанный на модифицированном методе одноразовых паролей, в котором решение о легальности получаемого сообщения принимается не только на основе содержимого его проверочной последовательности, но и на основании истории получаемых приёмником проверочных сообщений.

**Метод контроля аутентичности источника**

Каждое сообщение дополняется полем проверочных данных (ППД), где сгенерированная источником кодовая последовательность, по которой приёмник определяет подлинность сообщения, а также идентифицирует источник. Установление доверительного канала начинается стандартной процедурой «рукопожатия», то есть установлением сеансовых параметров обмена данными. Источник передаёт в приёмник в открытом виде последовательность Ω, содержащую коэффициенты полинома циклического избыточного кодирования (КПЦК). Данная последовательность генерируется генератором случайных чисел источника. Если по техническим причинам невозможно в источнике разместить генератор случайных чисел, например, если он является смарт-картой, последовательность может быть сгенерирована приёмником и передана в источник. Однако в последнем случае требуются дополнительные процедуры подтверждения приёма данной последовательности.

Полученные приёмником КПЦК являются сеансовым ключом. Секретным ключом *Λ* является коэффициент полинома скремблирования (КПС), который идентифицирует источник информации (записан в его постоянной памяти), а также хранится в приёмнике в базе данных идентификаторов.

Две данные последовательности используются при обмене данными для формирования проверочных последовательностей, передаваемых источником сообщений.

Содержимое проверочной последовательности каждого сообщения, передаваемого источником, состоит из двух частей:

μ – скремблированный номер текущего сообщения;

ψ – контрольная часть циклического кода (КЧЦК) первой части.

Под скремблированием здесь понимается процесс «перемешивания» исходной кодовой комбинации по заданному алгоритму, определяемому полиномом скремблирования. Для формирования проверочных последовательностей в источнике используются алгоритмы скремблирования и вычисления контрольной части циклического избыточного кода (КЧЦК) [6]. Обратное преобразование выполняется в приёмнике.

Например, приёмник *Z* получил к какому-то моменту времени (*i* – 1) сообщение от определённого источника *A*. Используя введённые нами выше обозначения, обозначим: $S_i$ – проверочная последовательность очередного принятого приёмником сообщения; $S_i^{\mu}$ – скремблированный номер данного сообщения; $S_i^{\psi}$ – КЧЦК от $S_i^{\mu}$.

Тогда полученное сообщение будет идентифицировано как i-е сообщение *A*, если будут верными следующие равенства:

$$\begin{cases} \mathrm{F}_1(\Lambda^A, S_i^{\mu}) = i; \\ \mathrm{F}_2(\Omega^A, i) = S_i^{\psi}, \end{cases} \qquad (2)$$

где $\mathrm{F}_1$ – выполненное приёмником дескремблирование $S_i^{\mu}$ по полиному $\Omega^A$ – секретному идентификатору источника *A*;

$\mathrm{F}_2$ – выполненные приёмником кодирования числа $i$ по полиному $\Lambda^A$ – сеансовому ключу обмена данными.

Данные преобразования проводятся для идентификаторов всех источников, хранящихся в базе данных приёмника, с которыми в данный момент установлены доверительные каналы обмена информацией. При этом расчёт ведётся для соответствующих значений Λ, Ω и *i*.

Для уменьшения вероятности рассогласования между источником и приёмником данных, по аналогии с тем, как это было описано выше, используется буферизация полученных сообщений и их проверочных последовательностей. Для каждого источника, с которым у приёмника установлен доверительный канал обмена данными, вводится буфер $r$ последних сообщений, которые были восприняты как сообщения от данного источника [0].

Множество проверочных последовательностей сообщений, хранящихся в нём, определится как

$$S_i^{\text{буфер } A} = \{ S_{i-1}^A,\ S_{i-2}^A, \ldots,\ S_{i-r}^A \}. \quad (3)$$

При этом должно выполнятся условие

$$S_{i-l}^A \neq S_{i-m}^A,\ l, m \in \overline{0, r}. \quad (4)$$

Если злоумышленнику удалось подобрать содержимое проверочного поля и его сообщение было опознано приёмником как сообщение легального источника $A$, то содержимое проверочного поля следующего сообщения источника совпадёт с содержимым одного из слов буфера (случай, когда злоумышленник выдал более чем $r$ сообщений, здесь не рассматривается). Перед приёмником стоит задача выбора из двух сообщений с одинаковыми проверочными последовательностями того, которое было выдано легальным источником.

Аналогичная ситуация может возникнуть и при обмене данными с несколькими источниками, когда из-за ограниченности длины проверочных последовательностей они могут совпасть у разных источников. В любом случае выполнение условия (2) не может явиться критерием, по которому получаемое сообщение относится к множеству сообщений определённого источника. Поэтому предлагается ввести в последовательность сообщений, выдаваемых источником, сервисное проверочное сообщение, которое содержало бы контрольную сумму от нескольких последних сообщений, выданных источником.

Рассмотрим пример, проиллюстрированный на рисунке 1.

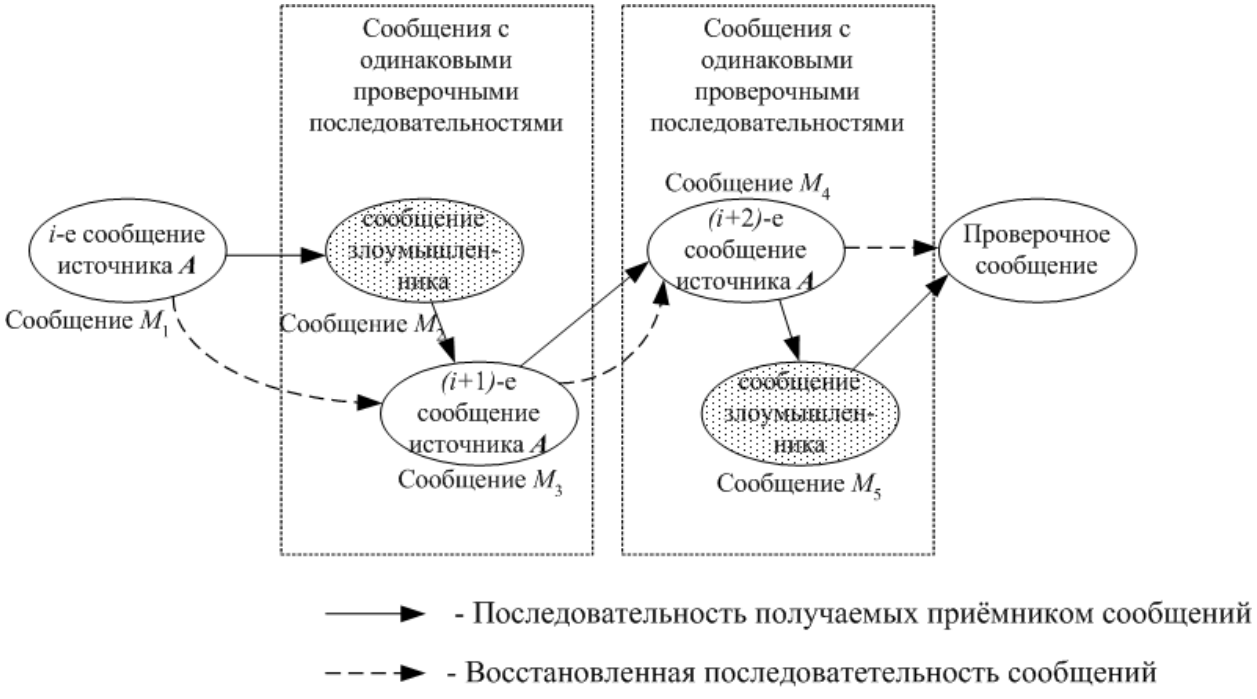



Рис.1. Последовательность получаемых приёмником сообщений

После $i$-го сообщения легального источника (сообщение $M_1$) приёмник получил ложное сообщение (сообщение $M_2$), затем источником было выдано ($i$+1)-е и ($i$+2)-е сообщение (сообщение $M_3$ и $M_4$). После этого снова было получено ложное сообщение (сообщение $M_5$). При этом проверочные последовательности ложных и легальных сообщений оказались одинаковыми. Выданное проверочное сообщение содержит контрольную сумму нескольких последних сообщений данного источника, в том числе сообщений $i$, ($i$+1) и ($i$+2). Приёмник подсчитывает контрольные суммы всех возможных цепочек сообщений, которые могут быть сформированы из последовательности полученных сообщений.

Количество таких цепочек определяется разностью между числом полученных приёмником сообщений, проверочные последовательности которых позволяют классифицировать их как легальные, и числом различных вариантов содержимого проверочных последовательностей. Число различных вариантов не может превышать $r$ – ёмкость буфера сообщений. Таким образом, в каждый момент буфер сообщений хранит проверочные последовательности, которые могут быть отнесены к множеству сообщений конкретного источника. Статус сообщения как сообщения от легального источника подтверждается только после дополнительной проверки содержимого полученных приёмником сообщений.

В нашем случае цепочки, сформированные из последовательности сообщений, это $\{M_1, M_2, M_4\}$, $\{M_1, M_3, M_4\}$, $\{M_1, M_2, M_5\}$ и $\{M_1, M_3, M_5\}$. При проверке контрольной суммы этих цепочек возможны следующие ситуации.

1. С эталонной контрольной суммой, переданной в проверочном сообщении, совпала контрольная сумма одной цепочки. Тогда именно эта цепочка признаётся цепочкой сообщений источника.

2. С эталонной контрольной суммой совпали суммы более чем одной цепочки. В этом случае необходимо сравнить содержимое сообщений, контрольные суммы которых совпали. Если оно оказалось различным, то на основании предлагаемых алгоритмов невозможно принять решение о легальности какой-либо из цепочек. В этом случае необходима повторная передача источником всех сообщений, начиная с того, с которого была обнаружена ошибка.

3. С эталонной суммой не совпала ни одна из сумм цепочек. Это означает либо ошибки в канале связи, приведшие к искажению содержимого передаваемых сообщений, либо то, что атака на доверительный канал передачи данных привела к тому, что устройство перестаёт воспринимать сообщения легальных источников. В первом случае возможна повторная передача ошибочных сообщений, во втором же целесообразно начать сеанс обмена данными с начала.

### Определение характеристик алгоритма установления доверительного канала обмена данными

Для оценки вероятности возникновения ошибок аутентификации применим ту же модель злоумышленника, которая описана в работах [6, 7]. Она основана на доступе к каналу связи злоумышленника, формирующего случайным образом сообщения и передающего их в приёмник с целью возникновения вышеописанных ошибок. В качестве параметров модели мы будем использовать: величину буфера $r$ последних; разрядность $R[i]$ числа $i$ – порядкового номера сообщения в последовательности; разрядность $h$ хеша в сер-

висном проверочном сообщении; активность злоумышленника $K$ – величина, показывающая, во сколько раз интенсивнее злоумышленник выдаёт сообщения приёмнику; максимальное количество $M$ альтернативных цепочек сообщений, которое может обрабатываться приёмником.

Исходя из рассуждений, приведённых в [7], получение сообщений описывается пуассоновским процессом, а итоговая вероятность возникновения ошибки в приёмнике будет зависеть от вероятности совпадения значений хеша, сформированных из аутентифицированных и из посторонних сообщений, и совпадения преобразованного по полиному $\Lambda^A$ числа $i$ со сформированной злоумышленником последовательностью.

Определится она, по аналогии с [7], формулой

$$p_{\text{ош}} = \sum_{k=1}^{M}\left\{\left[\sum_{k=l}^{\infty}\left(C_k^l\cdot\left(2^{-R[i]}\right)^l\cdot\left(1-2^{-R[i]}\right)^{k-l}\right)\right]\cdot\frac{(K\cdot r)^k\times e^{-K\cdot r}}{k!}\right\}\times$$
$$\times\left\{\sum_{l=1}^{M}\left\{\left[1-\left(1-2^{-h}\right)^l\right]\times\left[\sum_{k=l}^{\infty}\left(C_k^l\cdot\left(p_{\text{зап}}\right)^l\cdot\left(1-p_{\text{зап}}\right)^{k-l}\right)\right]\cdot\frac{(K\cdot r)^k\times e^{-K\cdot r}}{k!}\right\}\right\}^{r-1}. \quad (5)$$

Сложность вычисления по приведённой формуле состоит в многократном выполнении сложных математических операций [8, 9]. Для минимизации погрешностей была составлена специальная программа, подбирающая операнды для выполнения арифметических операций, сопоставимые по величине, для минимизации погрешности итогового результата.

На рисунке 2 приведены графики зависимости возникновения ошибки аутентификации в зависимости от параметров алгоритма установления доверительного канала обмена данными.

На рисунках приведены наиболее характерные типы графиков. При остальных параметрах форма и значения целевой функции меняются незначительно.

Анализ зависимостей позволяет сделать вывод о том, что наиболее сильное влияние на вероятность возникновения ошибки аутентификации оказывает изменение разрядности числа $i$ (интерпретацией данного значения может быть число команд, выдаваемых в последовательности между двумя соседними сервисными командами с хешами) и величины поля хеша. Увеличение активности злоумышленника может быть компенсировано увеличением какого-либо из вышеперечисленных параметров.

**Заключение**

Описанный выше метод аутентификации отличается простотой реализации, возможностью организовывать процедуры аутентификации одновременно с несколькими субъектами, а также невысокой информационной избыточностью. Это позволяет использовать его в каналах связи с невысокой пропускной способностью: для идентификации и аутентификации пользователей с помощью электронных устройств ввода идентификационных признаков в системах контроля доступа; для идентификации объектов в системах автоматического учёта движения товаров; в программно-аппаратных системах, где необходим доверительный обмен данными между устройствами и компонентами программного обеспечения [10,11].

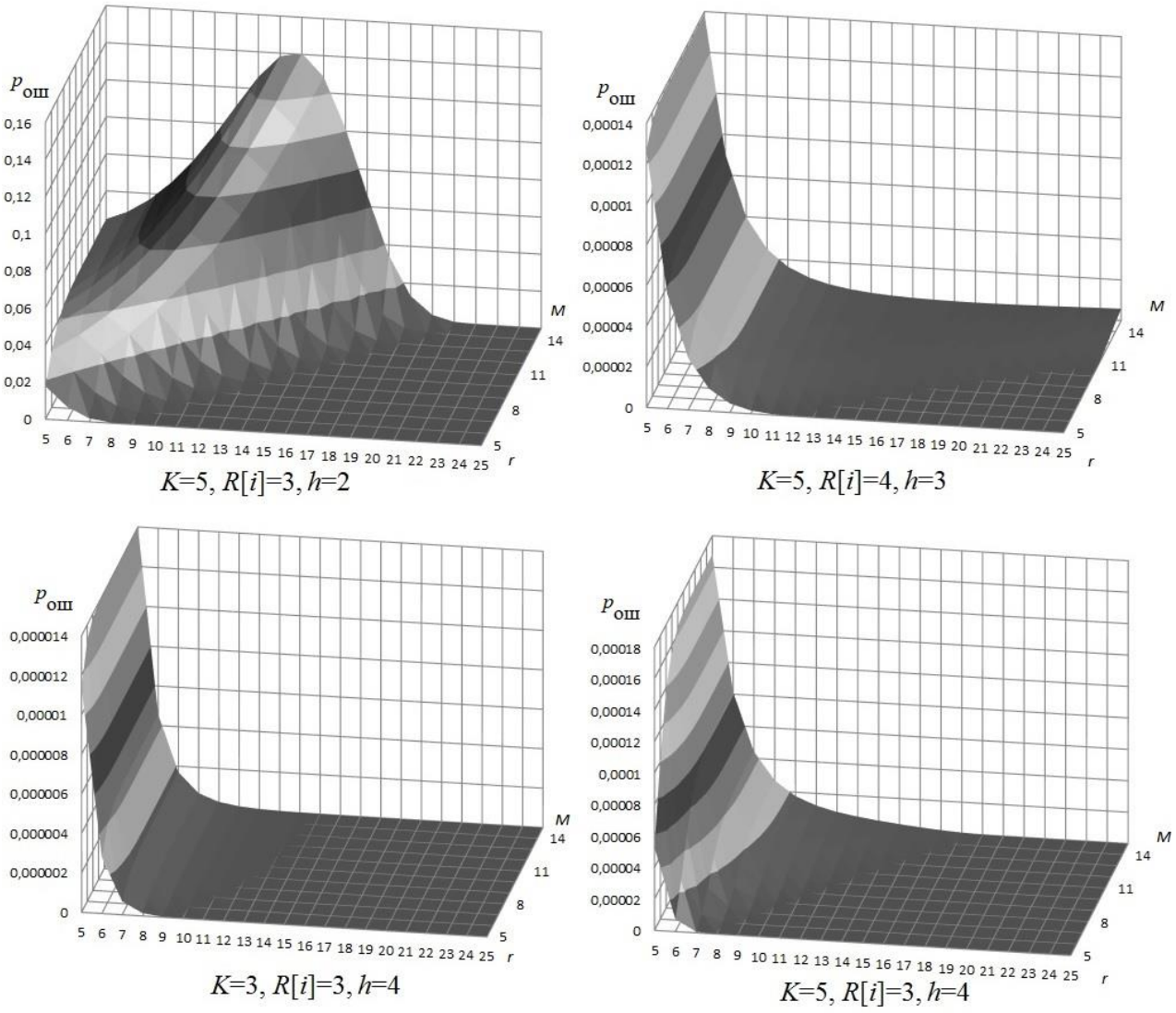



Рис.2. Зависимость вероятности возникновения ошибок аутентификации от параметров алгоритма

**Список литературы**

1. Спеваков А.Г., Таныгин, М.О., Панищев В.С. Информационная безопасность: учебное пособие / Юго-Зап. гос.ун-т. Курск, 2017. 196 с.

2. Спеваков А.Г., Калуцкий И.В. Программно-аппаратные средства защиты информационных систем: учебное пособие / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. 182 с.

3. Романец Ю. В., Тимофеев П. А., Шаныгин В. Ф. Защита информации в компьютерных системах / под ред. В. Ф. Шаныгина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 2001. 376 с.

4. Медковский И.Д., Семьянов П. В., Платонов В. В. Атака через internet / под науч. ред. проф. П. Д. Зегжды. М.: Мир и семья, 1997.

5. Теория информации и кодирование / Б.Б. Самсонов, Е.М. Плохов, А.И. Филоненков, Т.В. Кречет. Ростов: Феникс, 2003. 288 с.

6. Таныгин М.О. Обнаружение при программном управлении работой устройства команд, выданных посторонними программами // Оптико-электрон-

ные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации. Распознавание - 2005: сборник материалов 7-й Международной конференции. Курск, 2005. С. 202-203.

7. Таныгин М.О. Расчёт вероятности возникновения коллизий при использовании алгоритма контроля подлинности сообщений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2. С.179 – 183.

8. Марухленко С.Л., Дегтярев С.В., Марухленко А.Л. Программная модель для автоматизации расчета показателей риска техногенных аварий // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8, № 11. С. 35-39.

9. Марухленко А.Л., Марухленко С.Л. Математическая модель системного подхода для оценки риска техногенных аварий // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 60-64.

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

11. Типикин А.П., Таныгин М.О. Маркирующий контроллер жесткого диска // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48, № 2. С. 73-76.

*Поступила в редакцию 25.09.18*

---

UDC 004.056

**M. O. Tanygin,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: tanygin@yandex.ru)

**H. Y. Alshaeaa,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: haideryhy7@gmail.com)

**V. A. Altukhova,** Undergraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: valya.altuhova@mail.ru)

**A. L. Marukhlenko,** Candidate of Engineering Sciences, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: proxy33@mail.ru)

## ESTABLISHING A TRUSTED CHANNEL FOR DATA EXCHANGE BETWEEN THE SOURCE AND THE RECEIVER OF THE INFORMATION BY USING A MODIFIED ONE-TIME PASSWORD METHOD

*The article pays attention to the trusted interaction of the subjects of information exchange in the conditions of the small size of the transmitted data packets and low bandwidth of the communication channel. The original protocol is considered, allowing to organize authentication procedures simultaneously with several subjects, characterized by simplicity and small size of additional service fields. The considered algorithm is based on a modified one-time password method. A message which is formed by a combination of reversible and irreversible transformations over the sequence number of the message in the sequence and the secret session key is added to the transmitted data from the source to the receiver. The protocol provides for a source to periodically send a service message to the receiver containing a hash from the message information fields of several messages to form authenticated messages by the receiver.*

*The article describes the threat models for the proposed authentication protocol. The main threat to the trusted channel of data exchange is a potential attacker who randomly generates and sends messages to the receiver that may be mistakenly perceived as being issued by an authenticated source. The parameters of the algorithm for*

*generating authenticated data are analyzed, the influence of these parameters on the probability of authentication errors in the communication channel is investigated. The characteristics of the algorithm make it possible to use it for identification and authentication of users or other subjects of information exchange using electronic devices for inputting identification signs in access control systems, for identifying objects in systems for automatic tracking of goods movement, in software and hardware systems where reliable data exchange between devices and software components.*

***Key words:*** *authentication control, one-time password method, probability calculation.*

**For citation:** Tanygin M. O., Alshaeaa H. Y., Altukhova V. A., Marukhlenko A. L. Establishing a Trusted Channel for Data Exchange BETWEEN the Source and the Receiver of the Information by Using a Modified One-Time Password Method. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 63–71 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Spevakov A.G., Tanygin M.O., Panishhev V.S. Informacionnaja bezopasnost'. Kursk, 2017. 196 p.

2. Spevakov A.G., Kaluckij I.V. Programmno-apparatnye sredstva zashhity informacionnyh sistem. Kursk, 2014. 182 p.

3. Romanec Ju. V., Timofeev P. A., Shanygin V. F. Zashhita informacii v komp'juternyh sistemah; ed. by V. F. Shanygin. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 2001. 376 p.

4. Medkovskij I.D., Sem'janov P. V., Platonov V. V. Ataka cherez internet; ed. by P. D. Zegzhdy. Moscow, Mir i sem'ja Publ., 1997.

5. Samsonov B.B., Plohov E.M., Filonenkov A.I., Krechet T.V. Teorija informacii i kodirovanie. Rostov, Feniks, 2003. 288 p.

6. Tanygin M.O. Obnaruzhenie pri programmnom upravlenii rabotoj ustrojstva komand, vydannyh postoronnimi programmami. Sbornik materialov 7-j Mezhdunarodnoj konferencii «Optiko-jelektronnye pribory i ustrojstva v sistemah raspoznavanija obrazov, obrabotki izobrazhenij i simvol'noj informacii. Raspoznavanie - 2005». Kursk, 2005, pp. 202-203.

7. Tanygin M.O. Raschjot verojatnosti vozniknovenija kollizij pri ispol'zovanii algoritma kontrolja podlinnosti soobshhenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no.2, pp.179 – 183.

8. Maruhlenko S.L., Degtjarev S.V., Maruhlenko A.L. Programmnaja model' dlja avtomatizacii rascheta pokazatelej riska tehnogennyh avarij. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy, 2010, vol. 8, no. 11, pp. 35-39.

9. Maruhlenko A.L., Maruhlenko S.L. Matematicheskaja model' sistemnogo podhoda dlja ocenki riska tehnogennyh avarij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 60-64.

10. Tipikin A.P., Tanygin M.O. Metody autentifikacii ustrojstv zashhity informacii i upravljajushhih programmnyh sredstv. Telekommunikacii, 2005, no.9, pp. 37 – 42.

11. Tipikin A.P., Tanygin M.O. Markirujushhij kontroller zhestkogo diska. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2005, vol. 48, no. 2, pp. 73-76.

УДК 66-97

**О.Л. Селяничев,** канд. техн. наук, доцент, Череповецкий государственный университет (Череповец, Россия), e-mail: selo@chsu.ru

**А.И. Лаврухин,** аспирант, Череповецкий государственный университет (Череповец, Россия), e-mail: wendigoxs@gmail.com

# УПРАВЛЕНИЕ ХОДОМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ЧЕРЕЗ ЛОКАЛИЗАЦИЮ ОБЛАСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗАСЫПИ ШИХТЫ И КОРРЕКТИРОВКОЙ ЕЕ ПОРЦИЙ

*Для контроля процессов загрузки материалов в доменные печи оснащают широким спектром оборудования, в том числе тепловизорами. Анализируя термограммы, можно выявить отклонения температуры по областям на поверхности засыпи шихты, в частности, прорывы газового потока и периферические отклонения от оптимального хода доменной печи. Не имея возможности расположить тепловизор центрально под куполом доменной печи, а только по периферии, приходится принимать во внимание пространственные искажения на термограммах.*

*На основе геометрической модели возможно точно локализовать зоны прорыва и сопоставить их со схемой загрузки материалов. Анализ отклонений температуры и расчет материального баланса дают возможность вычислить тип корректировки и вес порции сырья. Устранение хода печи с канальным потоком может быть осуществлено с помощью перемещения гребня загрузки на место канала путем изменения положения вращающегося распределителя шихты. Когда характер отклонения от ровного хода доменной печи вызван не канальным прорывом газового потока, а локальным охлаждением или нагревом вдоль концентрических колец выгрузки ввиду неравномерной загрузки или неоптимального распределения материалов на предыдущих подачах, корректировка может быть вычислена для каждого кольца из дискретного набора, соответствующего конечному набору дискретных положений загрузочного устройства.*

*Предложенный способ управления ходом доменной печи через локализацию областей на поверхности засыпи шихты позволит эффективно выполнить корректировку порций загружаемой шихты и определить траекторию её выгрузки с тем, чтобы скорректировать ход печи и устранить такие отклонения, как канальный газовый поток, периферический ход.*

***Ключевые слова:*** *доменная печь, домна, тепловизионное изображение, прорыв газового потока, поверхность шихты.*

**Ссылка для цитирования:** Селяничев О.Л., Лаврухин А.И. Управление ходом доменной печи через локализацию областей на поверхности засыпи шихты и корректировкой ее порций // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 72–78.

***

## Введение

Для контроля процессов загрузки материалов в доменную печь и управления выплавкой чугуна в целом домны оснащают широким спектром оборудования. Одним из видов такого оборудования являются тепловизоры. С помощью показаний тепловизора можно выявить отклонения температуры и её точные значения по областям на поверхности засыпи шихты. Таким образом могут быть выявлены прорывы газового потока и аналогичные периферические отклонения от оптимального хода доменной печи.

## Постановка задачи

Конструктивно тепловизор не может быть расположен центрально под куполом доменной печи, а значит, на термограммах могут присутствовать пространственные искажения. Предложенная в [5] геометрическая модель тепловизионного изображения поверхности засыпи шихты доменной печи, основанная на внутреннем ориентировании одиночных термографических изображений [6], позволила

рассчитать соответствие для всяких точек объектной плоскости пикселям картинной плоскости. Применяемое на практике обратное соответствие (каждому пикселю на изображении находится точка на поверхности засыпи шихты) может быть легко получено на основе рассчитанной таблицы операцией замены ключей и значений таблицы.

Сравнение термограмм (фактической и полученной в результате моделирования) позволило сделать выводы о работе модели: предложенная модель дает возможность получить термограмму поверхности засыпи шихты в истинных координатах для любого расположения тепловизионного устройства внутри печи; с помощью модели можно найти и скорректировать отклонения в процессе получения поля температур. Таким образом, для улучшения процесса управления доменной печью необходимо добиться минимального значения разности температур между эталонной и актуальной термограммой.

Распределение рудных нагрузок и объемов материалов оказывает существенное влияние на распределение потока восходящих газов, распределение скорости опускания шихты, а также на форму зоны плавления. В свою очередь, форма зоны плавления определяет ход печи и является важнейшим технологическим фактором [8]. Влияние многочисленных изменяющихся факторов затрудняет поддержание рационального распределения материалов в течение длительного времени, поэтому необходимо периодическое регулирование хода печи изменением параметров режима загрузки материалов [7]. А при наличии резких кратковременных повышений давления колошникового газа и температуры поверхности засыпи в отдельных секторах теплового поля колошника, возникающих после выгрузки порций шихты, должны предприниматься оперативные меры по изменению параметров режима загрузки [2].

**Метод решения**

Результаты анализа колошникового газа, сопоставленные с показаниями контрольно-измерительных приборов, позволяют выделить следующие характерные схемы газораспределения в доменной печи [9, 3, 1]:

– центральный газовый поток;
– периферийный газовый поток;
– канальный газовый поток.

Основными причинами возникновения канального газового потока являются увеличение количества мелочи в шихте, несоответствие параметров дутьевого режима гранулометрическому составу шихты («передув») и неравномерное распределение дутья по фурмам.

На термограмме канальный газовый поток может быть определен по нагреву шихты в области прорыва горячего потока как область повышенной температуры вне центрального сектора (рис. 1).

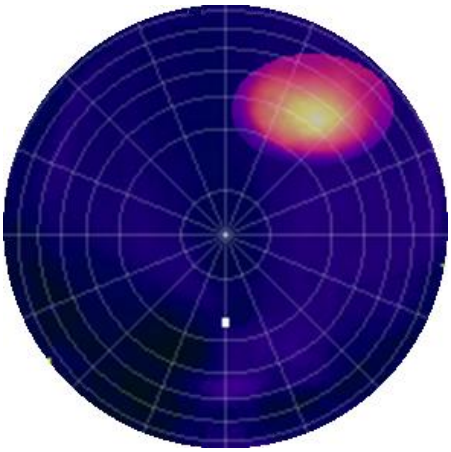


Рис. 1. Канальный газовый поток на термограмме

Устранение аномалии хода печи с канальным потоком может быть осуществлено с помощью перемещения гребня загрузки на место канала путем изменения положения вращающегося распределителя шихты [10].

На основе термограммы можно определить количество и расположение каналов, а геометрическая модель позволила рассчитать истинную площадь каналов. Необходимо определить номера колец концентрической выгрузки, на которых располагается область прорыва газового потока. Величина рудной загрузки для *i*-го канала будет пропорциональна площади колец, которые имеют на своей области каналы.

Существуют ситуации, когда характер отклонения от ровного хода доменной печи вызван не канальным прорывом газового потока, а локальным охлаждением или нагревом вдоль концентрических колец выгрузки ввиду неравномерной загрузки или неоптимального распределения материалов на предыдущих подачах.

Термограмма такого характера представлена на рисунке 2.

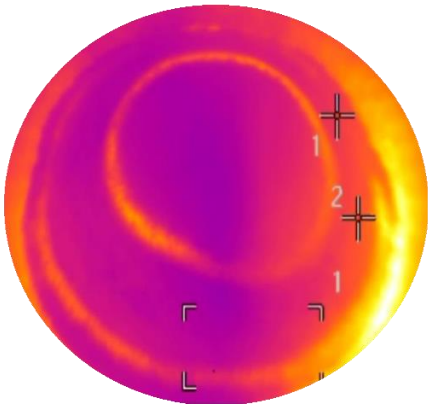



Рис. 2. Термограмма неравномерного хода печи

Необходимо построить термограммы концентрических колец выгрузки шихты. Для каждого кольца из дискретного набора, соответствующего конечному набору дискретных положений бесконусного загрузочного устройства (БЗУ), необходимо выполнить сравнение с эталонным распределением. На основе ретроспективных данных должны быть заранее построены термограммы концентрических колец выгрузки для среднечасовых, среднесуточных и среднемесячных значений. В случае если процесс управления доменной печью в целом не претерпевает значительных внешних изменений (состав шихты и кокса, режимы дутья и леток), за оптимальное значение может быть взята среднемесячная термограмма по выгрузкам. В другом случае, если на печи активно изменяются внешние условия, проходит задувка/останов и/или иные переходные значения, в качестве оптимального значения должна быть взята среднесуточная или среднечасовая термограмма за период, когда печь работала наиболее интенсивно.

### Численное моделирование

Для 10-ти положений БЗУ в поперечном сечении получены 19 точек измерения (1 центральная, по 9 слева и справа от центра по линии диаметра), что соответствует 19-ти столбцам на диаграмме хода доменной печи, требующего корректировок (рис. 3).

Расчет необходимой корректировки для минимизации разности температур между эталонной и актуальной термограммой производится по формуле

$$\Delta T[r] = \left[ \frac{\sum_j^{n*k} T[r]_j}{n*k} - \frac{\sum_i^{m} T[r]_i}{m} \right] * S[r], \quad (1)$$

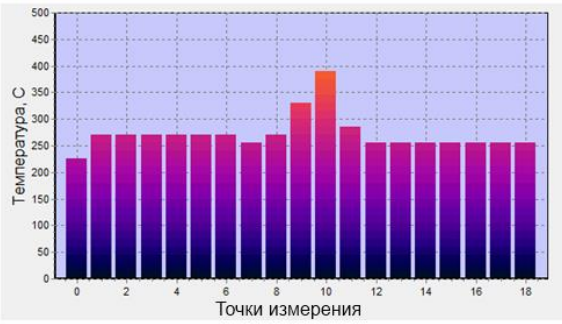
где $n$ – количество значений температуры внутри $r$-го кольца $k$-й термограммы выбранного образца (условный оптимум);

$k$ – количество термограмм в усредненном оптимуме;

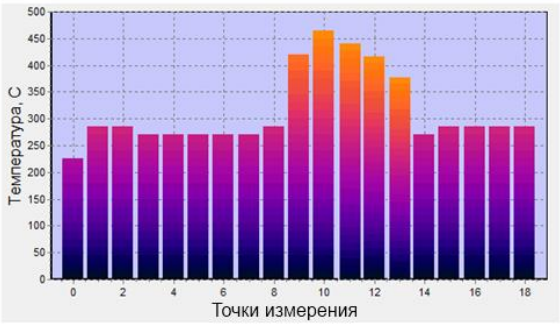
$m$ – количество значений температуры внутри $r$-го кольца;

$S[r]$ – площадь r- го кольца;

$\Delta T[r]$ – удельное значение корректировки температуры.




*a*)




*b*)

Рис.3. Диаграмма хода печи: *a* – ровный ход (эталон); *b* – актуальный ход

Возникает задача для каждого концентрического кольца рассчитать необходимое количество кокса или руды для приведения к выбранному образцу (оптимуму). Материальный баланс доменной плавки составляют для проверки правильности расчета шихты, определения количества дутья и т. д. Расчет материального баланса основан на законе сохранения массы веществ. Зная химический состав и массу шихтовых материалов, массу и состав чугуна, состав шлака и газа, можно составить приходные и расходные статьи баланса.

Химический состав кокса характеризуется массовой долей различных элементов в органическом веществе и содержанием минеральных примесей. Показатели химического состава кокса (содержание летучих веществ, золы, серы, металлов и влаги) при обработке и транспортировании практически не изменяются. Важнейшими из них при рассмотрении закономерностей окислительной регенерации являются химический состав кокса, его структура и дисперсность, а также распределение отложений по грануле катализатора.

Вместе с тем на результаты доменной плавки оказывает влияние химический состав кокса: содержание золы, еще большее значение имеет содержание серы, а в отдельных случаях – фосфора.

Химический состав кокса зависит от природы каменных углей. Кокс имеет достаточную пористость (до 50 %) и хорошую горючесть. Теплота сгорания равна 27,2– 31,4 МДж/кг, в среднем 29,3 МДж/кг. Коэффициент пересчета теплотворной способности угля примем 1/0,238846 [4].

Удельный объем руды для прогрева рассчитывается по формуле

$$Vr = \Delta T\left[r\right] * \frac{v}{tl}, \qquad (2)$$

где $Vr$ – удельный объем руды для прогрева;

$v$ – скорость схода шихты;

$\Delta T[r]$ – удельная значение корректировки температуры;

$tl$ – среднее время между выгрузками.

Количество теплоты Q для прогрева руды рассчитывается по формуле

$$Q = Vr*(c1*pr1 + c2*pr2), \quad (3)$$

где c1 – удельная теплоемкость агломерата;

pr1 – доля агломерата в подаче;

c2 – удельная теплоемкость руды;

pr2 – доля руды в подаче.

Удельную теплоту сгорания кокса обозначим *Qcoke*, а значит, для прогрева руды необходимо количество кокса *Wcoke*:

$$Wcoke = \frac{\left[\frac{\sum_j^{n*k} T[r][j]}{n \cdot k} - \frac{\sum_i^{m} T[r][i]}{m}\right] \cdot S[r] \cdot \frac{v \cdot \rho p}{tl} \cdot (c1 \cdot pr1 + c2 \cdot pr2)}{Qcoke}, \quad (4)$$

где $n$ – количество значений температуры внутри $r$-го кольца $k$-й термограммы выбранного оптимума;

$k$ – количество термограмм в усредненном оптимуме;

$m$ – количество значений температуры внутри r-го кольца;

$S[r]$ – площадь $r$-го кольца;

$\rho p$ – плотность шихты;

*Wcoke* – количество кокса для прогрева охлажденной области шихты.

В случае, когда область нагрета свыше оптимальной термограммы, необходимо охлаждение области путем добавления руды. Для этого определяется количество теплоты, поглощаемое для охлаждения коксо-рудной смеси. Величина рудной нагрузки в среднем равна 2,8 ед., значит, на 1 кг кокса приходится 2,8 кг руды. Удельная теплоемкость кокса (при 100-1000°С) составляет 1,13 кДж/кг°С, тогда теплоемкость смеси обозначим $C_{смеси}$. Примем температуру холодной загружаемой в печь руды за 20 °С, тогда количество теплоты, требуемое для нагрева руды, соответствует количеству теплоты охлаждения коксорудной смеси.

Тогда получим количество руды для охлаждения нагретой области:

$$Wp = \frac{\frac{v \cdot \rho p}{tl} \cdot \left(\frac{\sum_i^{m} T[r][i]}{m} - \frac{\sum_j^{n \cdot k} T[r][j]}{n \cdot k}\right) \cdot C\text{смеси}}{\left(\frac{\sum_j^{n*k} T[r][j]}{n \cdot k} - 20\right)(c1 \cdot pr1 + c2 \cdot pr2)} \quad (5)$$

Таким образом, для каждого концентрического кольца выгрузки шихтовых материалов можно рассчитать необходимое количество кокса Wcoke или руды Wp для последующей корректировки хода печи в зависимости от знака температурных отклонений.

**Обсуждение результатов и заключение**

Построены термограммы, соответствующие дискретным положениям загрузочного устройства. Для каждой такой области выгрузки (кольца) выполнено сравнение с эталоном (который соответствует наиболее выгодному режиму плавки из ретроспективных данных). Для минимизации разницы температур актуального и эталонного значения выполнен расчет веса и типа корректирующей порции загрузки материалов. Таким образом, предложенный способ управления ходом доменной печи через локализацию областей на поверхности засыпи шихты позволит эффективно выполнить корректи-

ровку порций загружаемой шихты и определить траекторию её выгрузки с тем, чтобы скорректировать ход печи и устранить такие отклонения, как канальный газовый поток, периферический ход.

**Список литературы**

1. Апарин В.Б., Грузинов В.К., Грузинов В.В. О связи между распределением материалов на колошнике и температурным полем в шахте доменной печи // Известия вузов, Черная металлургия. 1966. №2. С. 27–31.

2. Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А. Использование современных средств контроля для управления радиальным распределением шихты в доменной печи // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2010.

3. Воловик А.В., Каплун С.В., Аносов В.Г. К вопросу об автоматическом управлении распределением газов по сечению печи с помощью систем загрузки // Сталь. 1966. №7. С.581–584.

4. ГОСТ 147-2013 (ISO 1928-2009). Межгосударственный стандарт «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания». М., 2013.

5. Лаврухин А.И., Селяничев О.Л. Геометрическая модель тепловизионного изображения поверхности засыпи шихты доменной печи // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №1. С. 48–55.

6. Лаврухин А.И., Селяничев О.Л. Истинные размеры объектов на цифровых тепловизионных изображениях // Череповецкие научные чтения – 2015: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Череповец, 2016. Ч. 3. С. 97–98.

7. Половченко И.Г. Регулирование хода доменной печи изменениями загрузки // Сталь. 1953. №10.

8. Сакураи С. Регулирование распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи // Tetsu to hagane, Journal of The Iron and Steel Institute of Japan. 1982. N 15. P. 2319–2329.

9. Чернов Н.Н., Домницкий И.Ф. Управление газовым потоком в доменной печи // Сталь. 1956. №5. С.402–408.

10. Щербаков В.П. Основы доменного производства. Владимир: Металлургия, 1969.

*Поступила в редакцию 17.10.18*

---

UDC 66-97

**O.L. Selyanichev,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: selo@chsu.ru)

**A.I. Lavrukhin,** Post-Graduate Student, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: wendigoxs@gmail.com)

## CONTROLLING A BLAST FURNACE RUNNING THROUGH THE LOCALIZATION OF AREAS ON THE SURFACE OF CHARGED RAW MATERIALS AND THE CORRECTION OF CHARGING PORTIONS

*There are wide range of equipment, including thermal imagers to control the process of loading materials into blast furnaces. Analyzing thermal images, it is possible to detect temperature deviations by regions on the surface of the raw materials, in particular, gas flow breakthroughs and peripheral deviations from the optimal course of a blast*

*furnace. Not being able to locate the imager centrally under the dome of the blast furnace, but only along the periphery, one has to take into account the spatial distortions in the thermal images. Based on the geometric model, it is possible to precisely localize the breakout zones and compare them with the material loading scheme. The analysis of temperature deviations and the calculation of material balance makes it possible to calculate the type of correction and the weight of a portion of the raw materials. Elimination of the furnace channel flow can be carried out by moving the load crest to the channel location by changing the position of the rotating charge distributor. When the nature of the deviation from the smooth running of a blast furnace is not caused by a channel breakthrough of the gas flow, but by local cooling or heating along concentric discharge rings due to uneven loading or non-optimal distribution of materials in previous feeds, an adjustment can be calculated for each ring from the discrete set corresponding to the final set of discrete positions charging device. The proposed method of controlling the blast furnace running through localization of areas on the surface of the charge materials will make it possible to effectively correct portions of the raw materials being loaded and determine its discharge trajectory in order to correct the furnace flow and eliminate such deviations as a channel gas flow and peripheral flow.*

***Key words:*** *blast furnace, thermal imaging, gas breakthrough, surface of charged raw materials.*

**For citation:** Selyanichev O.L., Lavrukhin A.I. Controlling a Blast Furnace Running Through the Localization of Areas on the Surface of Charged Raw Materials and the Correction of Charging Portions. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 72–78 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Aparin V.B., Gruzinov V.K., Gruzinov V.V. O svjazi mezhdu raspredeleniem materialov na koloshnike i temperaturnym polem v shahte domennoj pechi. Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija, 1966, no.2, pp. 27–31.

2. Bol'shakov V.I., Lebed'V.V., Zherebeckij A.A. Ispol'zovanie sovremennyh sredstv kontrolja dlja upravlenija radial'nym raspredeleniem shihty v domennoj pechi. Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoj metallurgii, 2010.

3. Volovik A.V., Kaplun S.V., Anosov V.G. K voprosu ob avtomaticheskom upravlenii raspredeleniem gazov po sechenija pechi s pomoshh'ju sistem zagruzki. Stal', 1966, no.7, pp.581–584.

4. GOST 147-2013 (ISO 1928-2009). Mezhgosudarstvennyj standart «Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie vysshej teploty sgoranija i raschet nizshej teploty sgoranija». Moscow, 2013.

5. Lavruhin A.I., Seljanichev O.L. Geometricheskaja model' teplovizionnogo izobrazhenija poverhnosti zasypi shihty domennoj pechi. Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta, 2017, no.1, pp. 48–55.

6. Lavruhin A.I., Seljanichev O.L. Istinnye razmery ob#ektov na cifrovyh teplovizionnyh izobrazhenijah. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Cherepoveckie nauchnye chtenija – 2015». Cherepovec, 2016, pt. 3, pp. 97–98.

7. Polovchenko I.G. Regulirovanie hoda domennoj pechi izmenenijami zagruzki. Stal', 1953, no.10.

8. Sakurai S. Regulirovanie raspredelenija shihtovyh materialov na koloshnike domennoj pechi. Tetsu to hagane, Journal of The Iron and Steel Institute of Japan, 1982, no. 15, pp.2319–2329.

9. Chernov N.N., Domnickij I.F. Upravlenie gazovym potokom v domennoj pechi. Stal', 1956, no.5, pp.402–408.

10. Shherbakov V.P. Osnovy domennogo proizvodstva. Vladimir, Metallurgija Publ., 1969.

УДК 004.056.55

**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) (e-mail: sveta.ostrotskaja@yandex.ru)

# МЕТОД ЗАЩИТЫ ДАННЫХ НА ЖЕСТКОМ ДИСКЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

*Проблема защиты данных на внешних запоминающих устройствах актуальна уже достаточно давно и не теряет своей значимости по сей день. Для ее решения применяются различные методы: разграничение доступа на уровне компьютерных систем, на уровне учетных записей пользователей, физическое ограничение доступа, контроль загрузки операционной системы, шифрование файлов, шифрование дисков.*

*У каждого из этих методов есть свои плюсы и минусы: одни достаточно надежны, но требуют значительных затрат, вторые менее затратны, но и менее надежны, третьи требуют серьезных организационных мер и ограничений и т.д. По сути, наиболее надежными являются шифрование при условии достаточной криптостойкости алгоритма и длины ключа, а также использование уникальных идентификаторов как аппаратных, так и биометрических.*

*Шифрование данных на диске является единственным надежным способом защиты информации при условиях, когда возможен физический доступ посторонних людей к компьютеру. Пароль для запуска любой операционной системы – Windows, Linux или Mac OS – не является достаточным условием безопасности данных, так как практически любой квалифицированный IT-специалист преодолеем парольную защиту за пару минут. Приблизительно столько времени необходимо для того, чтобы вставить в компьютер USB-Flash-накопитель и загрузить с него свою операционную систему.*

*Зашифрованные данные вскрыть гораздо сложнее, или вообще не предоставляется возможным без цифрового ключа или ключевой фразы. Безусловно, существуют различные алгоритмы шифрования, и внутри этих алгоритмов существуют разные парметры – все это влияет на устойчивость к вскрытию. При использовании нестойких алгоритмов или уязвимых параметров можно получить доступ к зашифрованным файлам и папкам. Но в общем случае можно считать, что шифрование – это надежная защита данных.*

*В данной работе рассматривается метод защиты данных на жестком диске компьютерной системы, основанный на полном шифровании раздела, содержащего ОС и конфиденциальные данные, а также на сокрытии самого факта наличия данных на диске при использовании дополнительно установленной альтернативной операционной системы. При этом загрузка основной ОС и расшифрование данных возможно только при наличии USB-носителя, содержащего загрузчик и ключевую информацию, при условии знания пользователем парольной фразы.*

***Ключевые слова:*** *шифрование, жесткий диск, криптозащита данных, криптоконтейнер, операционная система, хранение данных.*

**Ссылка для цитирования:** Калуцкий И.В., Спеваков А.Г., Остроцкая С.В. Метод защиты данных на жестком диске компьютерной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 79–87.

***

## Введение

Задача по защите данных в компьютерных системах не теряет свою актуальность несколько десятилетий. Самый известный способ защиты данных – это файловое шифрование. На диске создается зашифрованная папка (контейнер), в которую производится запись файлов. С одной стороны, это надежно, если использовать, например, алгоритм AES и ключи большой длины [1]. Но при данном способе шифрования останется неявная уязвимость данных. Поскольку ОС будет незащищенной, это дает злоумыш-

леннику шанс установить в систему определенную программу (кейлогер, руткит), производящую запуск исполняемого модуля при старте ОС и следить за работой пользователя. Следовательно, в скором времени злоумышленник сможет получить ключевой файл или пароль для доступа к шифрованным папкам и необходимым файлам или может заполучить сами данные после открытия пользователем шифрованного файла-контейнера [2].

В противовес описанному выше шифрование всей ОС, а не отдельных файлов и папок – это особо действенная защита данных на диске. Для более надежной защиты нужно выполнять шифрование всего диска.

**Постановка задачи**

Таким образом, для более надежного хранения секретных данных и исключения любых инцидентов может быть применено полное шифрование диска, при котором необходимо выполнять следующие условия:

– шифровать не только лишь важные данные (контейнер), а непосредственно раздел с операционной системой, на котором они хранятся;

– применяемая система криптозащиты должна уметь создавать ложную ОС, доступом к которой будет являться вводимый пользователем определенный пароль;

– должен быть скрыт сам факт использования криптозащиты;

– область криптоконтейнера должна удовлетворять критериям случайной последовательности;

– недоступность потенциальному злоумышленнику ключевой информации;

– работа с криптосистемой должна быть очень прозрачна для пользователя и не требовать каких-то специально направленных знаний или выполнения каких-то определенно-периодических действий.

Шифрование данных на диске может выполняться как в контейнере, так и вместе с шифрованием всего раздела на диске.

**Метод, предложенный в статье**

В целях создания надежной шифрованной системы под Linux необходимо иметь представление, какие части этой системы нужно защищать:

– системная область – root или /;

– область загрузки – /boot;

– область данных пользователя – /home;

– область виртуальной памяти – swap.

Необходимо производить защиту всех этих областей.

Шифрование областей root, swap и home не представляет трудностей, а вот с защитой /boot существуют некоторые проблемы. Возникают они от того, что из этой области системный загрузчик запускает initrd и ядро Linux, и если зашифровать её, то загрузчик не сможет запустить ядро, и запуск ОС будет невозможен. Следовательно, зашифровать /boot нельзя, но и открытой оставлять тоже нельзя, потому что будет возможна подмена ядра на другое, которое содержит в себе зловредный код, перехватывающий пароль для расшифровки диска.

Решение проблемы состоит в том, что необходимо поместить раздел /boot на съемный носитель, на USB-Flash-накопитель. Он будет неким электронным ключом к системе. Без него будет невозможен запуск операционной системы с зашифрованного диска. То есть защита раздела /boot будет осуществляться на физическом уровне – извлечением его из ПК [6].

Следовательно, общая схема защиты такова:

– разделы root, swap, /home размещаются на полностью зашифрованном жестком диске;

– раздел /boot размещается на съемном носителе.

Установка шифрованной ОС (для примера взят дистрибутив UbuntuLinux) будет происходить с использованием UbuntuLive.

Нужно загрузить с диска или USB-Flash Ubuntu Desktop 14.04 Live. Естественно, к ПК должен быть подключен жесткий диск, на который будет производиться установка. Также необходимо приготовить чистый USB-Flash-накопитель емкостью от 100 Мб и выше.

Создание криптоконтейнера

На жестком диске создается один пустой раздел, размеченный в файловую систему cleared [7]. Он будет выполнять роль криптоконтейнера (рис. 1).

На USB-Flash-накопителе создается раздел с файловой системой Ext4.

**Шифрование**

Далее из терминала посредством ввода определенных команд выполняется шифрование всего раздела на жестком диске. На этом этапе необходимо быть крайне внимательным при вводе парольной фразы.

По завершении создания шифрованной папки для последующей работы необходимо этот шифрованный диск подключить.

Рис.1. Подготовка раздела для криптоконтейнера

**Создание шифрованных разделов**

Создаем внутри криптоконтейнера LUKS (LinuxUnifiedKeySetup) шифрованные разделы. Для их создания используется механизм LVM.

Размер раздела swap должен быть больше приблизительно на 20-30%, чем размер оперативной памяти. Раздел root не менее 5-7 Гигабайт.

**Инсталляция**

После создания шифрованных разделов необходимо запустить инсталлятор. Установка вполне обычная, нужно до запуска установщика отмонтировать USB-

Flash, куда будет записан /boot, и верно указать разделы для установки.

После необходимо выбрать ручную разметку диска. А после, как показано на рисунке 2, подключить все разделы и указать диск для установки загрузчика (bootloader) GRUB.

По завершении этого процесса необходимо пройти мастер установки и дождаться ее завершения. После окончания установки установщик предложит произвести перезагрузку компьютера. Не перезагружая ПК, завершить настройку загрузки.

Подключение криптоконтейнера возможно через графический интерфейс и из терминала.

Следующим этапом является настройка загрузки с шифрованного диска, которая выполнятся из терминала при помощи специализированных команд.

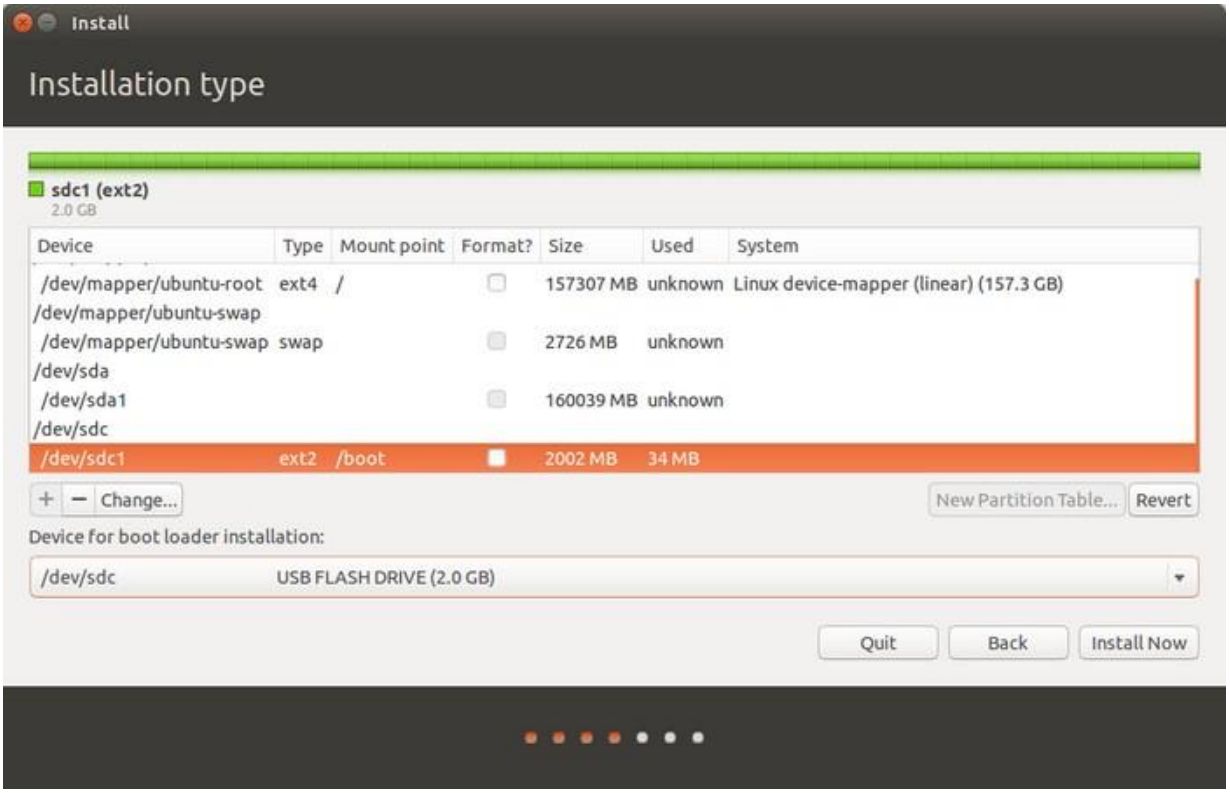



Рис. 2. Необходимая конфигурация дисков

Теперь можно использовать установленный зашифрованный Ubuntu. При этом в BIOS нужно указать загрузку с того USB-Flash-накопителя, где установлен раздел /boot.

Важно понимать, что даже при таком детально проработанном шифровании сохраняются уязвимости, риски появления которых можно снизить, придерживаясь следующих пунктов:

– ключевую фразу важно хранить в тайне;

– необходимо на физическом уровне производить защиту загрузочного диска;

– не желательно оставлять без присмотра включенный ПК.

Предложенные варианты установки ОС с использованием криптоконтейнера можно считать заслуживающими особого внимания, так как загрузочный USB-Flash-накопитель, сохраняемый в секрете

и не тиражируемый, позволяет исключить загрузку операционной системы с шифрованного раздела жесткого диска и, соответственно, чтение защищаемых данных. Парольная фраза усиливает защиту в этом случае, потому как без неё даже при наличии загрузочного USB-Flash-накопителя злоумышленнику будет крайне затруднительно расшифровать данные, по крайней мере в режиме реального времени, и получить оперативный доступ к ним.

**Численное моделирование (эксперимент)**

В качестве образца для анализа был взят жесткий диск с установленными операционными системами Windows 7 и Linux Ubuntu Desktop 14.04, что справедливо также при использовании и других, более поздних версий дистрибутива Ubuntu Linux и версий Windows 8, 10. Инсталляция проводилась согласно описанию, но с той лишь разницей, что раздел, не содержащий криптоконтейнер, был для удобства разбит на две части.

Загрузив использовавшийся ранее live-дистрибутив Ubuntu Desktop 14.04, создадим образ зашифрованных данных [11,12]. Для побитового копирования в Linux предусмотрена утилита dd. Источником данных будет устройство sda1(криптоконтейнер), приёмником – бинарный файл «image».

Рассмотрим полученный образ в HEX-редакторе (рис. 3).

Действительно, в начале файла можно увидеть указанные в стандарте последовательности. Однако больший интерес представляет область зашифрованных данных.

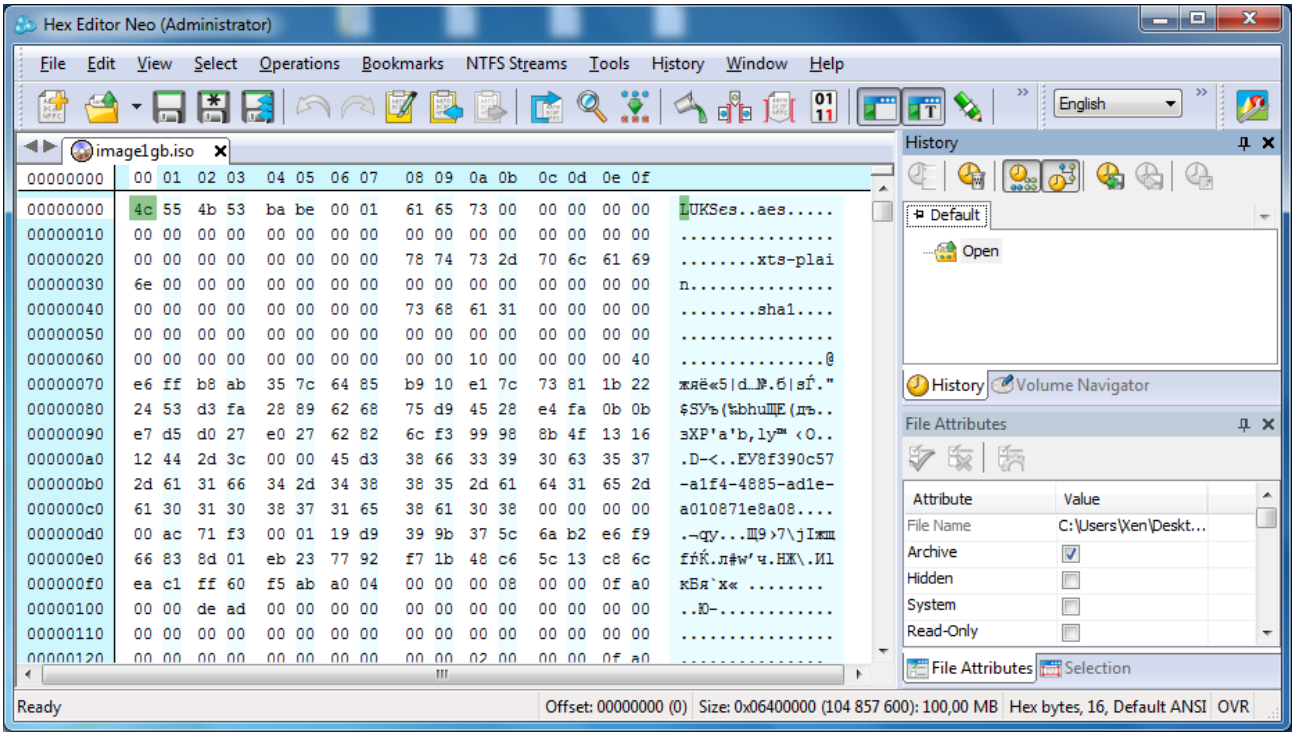



Рис. 3. Содержимое файла image в HEX-редакторе

В случае если эта область удовлетворяет критериям истинно случайной последовательности бит, можно утверждать о наличии возможности убедительной отрицаемости самого факта наличия не только операционной системы, но и лю-

бых данных вообще. Разумеется, это актуально лишь при наличии дополнительного механизма, стирающего и перезаписывающего заголовки шифрованного устройства каждый раз при загрузке системы [12].

Для анализа соответствия области зашифрованных данных критериям случайной последовательности были выбраны статистические тесты NIST, состав которых включает 15 тестовых испытаний. Это пакет, который был разработан Лабораторией информационных технологий, которая является главной исследовательской организацией Национального института стандартов и технологий (NIST). [13]. Их цель – определение меры случайности двоичных последовательностей, которые порождены программными или аппаратными генераторами случайных чисел.

Рассмотрим первый вариант теста.

*Частотный побитовый тест.*

Суть заключается в проверке того, что в битовом потоке с равномерным распределением количество единичных битов совпадает с количеством нулевых. Если случайные числа распределены по равномерному закону, то каждый бит потока является независимой случайной величиной, распределенной по закону Бернулли, который описывает подбрасывание монеты. Вероятность возникновения 0 и 1 (орел и решка) – 0,5.

Результаты тестирования исследуемого файла:

(a) The nth partial sum = -322
SUCCESSp_value = 0.747453
(a) The nth partial sum = 1528
SUCCESSp_value = 0.126513
(a) The nth partial sum = 600
SUCCESSp_value = 0.548506
(a) The nth partial sum = -1350
SUCCESSp_value = 0.177016
(a) The nth partial sum = 140
SUCCESSp_value = 0.888660
(a) The nth partial sum = -846
SUCCESSp_value = 0.397553
(a) The nth partial sum = -640
SUCCESSp_value = 0.522173
(a) The nth partial sum = 1474
SUCCESSp_value = 0.140482
(a) The nth partial sum = 558
SUCCESSp_value = 0.576844
(a) The nth partial sum = 1866
SUCCESSp_value = 0.062041
(a) The nth partial sum = -408
SUCCESSp_value = 0.683274
(a) The nth partial sum = 670
SUCCESSp_value = 0.502858
(a) The nth partial sum = 502
SUCCESSp_value = 0.615668
(a) The nth partial sum = 430
SUCCESSp_value = 0.667196
(a) The nth partial sum = 218
SUCCESSp_value = 0.827429

Как видно из распечатки, все 15 попыток пройдены успешно.

Результаты остальных 14 тестов также успешны. Ввиду громоздкости описания результатов они не приводятся.

Как показало тестирование, значения результатов близки к максимальным. Это значит, что при использовании предлагаемого метода защиты зашифрованные данные будут неотличимы от случайной последовательности и, соответственно, не смогут быть подвергнуты какому-либо результативному анализу с целью раскрытия содержимого криптоконтейнера.

**Заключение**

1. Проанализированы основные известные методы шифрования данных на жёстком диске и целиком дисков и разделов, применяемые для защиты данных.

2. Разработан способ по защите данных на жестком магнитном диске, основанный на использовании зашифрованного криптоконтейнера для установки операционной системы и хранения данных пользователем. Для повышения защищенности предлагаемой модели был подготовлен загрузочный USB-Flash-накопитель, без которого загрузка шифрованной ОС невозможна.

3. Для устранения факта разглашения критически важных данных, в случае несанкционированного доступа злоумышленника к компьютерной системе или к жесткому диску, предложен модифицированный способ, отличающийся тем, что в отсутствие загрузочного USB-Flash-накопителя происходит загрузка «ложной» операционной системы, в которой в автоматическом режиме идет затирание области жесткого диска, где хранится криптоконтейнер с установленной основной операционной системой и секретными данными.

4. Проведённые тесты на вскрытие криптоконтейнера показали, что вероятность успеха при использовании «грубой силы» крайне мала ввиду ограничений производительности современных ПК.

5. Предлагаемые способы защиты данных на жестком диске компьютерной системы актуальны и имеют практическую значимость как для обычных домашних компьютерных систем, так и, возможно, найдут широкое применение в корпоративном сегменте и государственных учреждениях.

**Список литературы**

1. Комплексное шифрование операционной системы и жесткого диска [Электронный ресурс]. URL: https:// book.cyberyozh.com/ru/kompleksnoe-shifrovanie-operatsionnoj-sistemyi-i-zhestkogo-diska/ (дата обращения: 21.07.2018).

2. Калуцкий И.В., Агафонов А.А. Роль человеческого фактора в обеспечении информационной безопасности бизнеса // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2, ч. 2. С .173-178.

3. Официальный сайт проекта TrueCrypt [Электронный ресурс]. URL: https://truecrypt.ch/ (дата обращения 21.07.2018).

4. BitLocker [Электронный ресурс]. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/ windows/security/information-protection/ bitlocker/bitlocker-overview (дата обращения: 21.07.2018).

5. Береснев А.Л. Администрирование GNU/Linux с нуля. СПб.: БВХ-Петербург, 2010. 576 с.

6. Бакланов В.В. Защитные механизмы операционной системы Linux: учебное пособие / под ред. Н.А. Гайдамакина. Екатеринбург, 2011. 354 с.

7. GParted [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/GParted (дата обращения: 21.07.2018).

8. Щеглов А.Ю., Щеглов К.А. Вопросы защиты информации от несанкционированного доступа // Вопросы защиты информации. 2004. №3. С. 2 – 7.

9. Настройка запуска Windows 7 (msconfig) [Электронный ресурс]. URL: http:// www.wseven.info/ msconfig/ (дата обращения: 21.07.2018).

10. Как настроить автоматический запуск программ и документов при старте Windows [Электронный ресурс]. URL: https://ida-freewares.ru/kak-nastroit-avtomaticheskij-zapusk-programm-i-dokumentov-

pri-starte-windows.html (дата обращения: 21.07.2018).

11. Типикин А.П., Таныгин М.О. Маркирующий контроллер жесткого диска // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48. С. 73-76.

12. Калуцкий И.В., Спеваков А.Г. Программно-аппаратные средства защиты информационных систем: учебное пособие. Курск, 2014. 182 с.

13. Прикладной анализ данных. [Электронный ресурс]. URL: http://sci.alnam.ru/book_dsp.php?id=12 (дата обращения: 21.07.2018).

*Поступила в редакцию 17.11.18*

---

UDC 004.056.55

**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)

## A METHOD OF PROTECTING DATA ON THE HARD DISK OF THE COMPUTER SYSTEM

*The problem of data protection on external storage devices is relevant for a long time and does not lose its importance to this day. To solve it, various methods are used: differentiation of access at the level of computer systems, at the level of user accounts, physical restriction of access, control of the operating system boot, file encryption, disk encryption.*

*Each of these methods has its pros and cons - some are quite reliable, but require significant costs, the second – less expensive, but also less reliable, the third – require serious organizational measures and restrictions, etc.in fact, the most reliable are encryption provided sufficient cryptographic algorithm and key length, as well as the use of unique identifiers, both hardware and biometric.*

*Data encryption on a disk is the only reliable way of information protection of the ave. conditions, a kognda physical access for strangers to the computer is possible. The password for start of any operating system – Windows, Linux or Mac OS – is not sufficient condition of a yuezopasnost of data as practically any qualified IT specialist we will overcome parotlny protection in a couple of minutes. Approximately so much time is necessary to insert into the USB-Flash-drive computer and to load from it сво the operating system.*

*But here to open the ciphered data already much more difficult. Or it is not provided possible without digital klyuyuch or a key phrase at all. Certainly, there are different encryption algorithms, and in these algorithms there are different parmetra – all this affects resistance to opening. When using non-persistent algorithms or vulnerable parameters it is possible to get access to the ciphered files and folders. But generally it is possible to consider that enciphering is a reliable data protection.*

*In this paper, we consider a method of data protection on the hard disk of a computer system based on the full encryption of the partition containing the operating system and confidential data, as well as on the concealment of the fact of the data presence on the disk using an additional installed alternative operating system. At the same time, the main OS can be loaded and data can be decrypted only if there is a USB media containing the bootloader and key information, provided the user knows the passphrase.*

***Key words:*** *encryption, hard drive, data protection, crypto container, operating system, data storage.*

**For citation:** Kalutskiy I. V., Spevakov A. G., Ostrotskaya S. V. A Method of Protecting Data on the Hard Disk of the Computer System. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 79–87 (in Russ.).

***

**References**

1. Kompleksnoe shifrovanie operacionnoj sistemy i zhestkogo diska. URL: https://book.cyberyozh.com/ru/kompleksnoe-shifrovanie-operatsionnoj-sistemyi-i-zhestkogo-diska/ (accessed 21.07.2018).

2. Kaluckij I.V., Agafonov A.A. Rol' chelovecheskogo faktora v obespechenii informacionnoj bezopasnosti biznesa. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no.2, ch. 2, pp.173-178.

3. Oficial'nyj sajt proekta TrueCrypt. URL: https://truecrypt.ch/ (accessed 21.07.2018).

4. BitLocker. URL: https:// docs.microsoft.com/ru-ru/ windows/security/ information-protection/ bitlocker/bitlocker-overview (accessed 21.07.2018).

5. Beresnev A.L. Administrirovanie GNU/Linux s nulja. St. Peterburg, BVH-Peterburg Publ., 2010. 576 p.

6. Baklanov V.V. Zashhitnye mehanizmy operacionnoj sistemy Linux; ed. by N.A. Gajdamakin. Ekaterinburg, 2011. 354 p.

7. GParted. URL: https:// ru.wikipedia. org/wiki/GParted (accessed 21.07.2018).

8. Shheglov A.Ju., Shheglov K.A. Voprosy zashhity informacii ot nesankcionirovannogo dostupa. Voprosy zashhity informacii, 2004, no.3, pp. 2 – 7.

9. Nastrojka zapuska Windows 7 (msconfig). URL: http:// www.wseven. info/msconfig/ (accessed 21.07.2018).

10. Kak nastroit' avtomaticheskij zapusk programm i dokumentov pri starte Windows. URL: https://ida-freewares.ru/ kak-nastroit-avtomaticheskij-zapusk-programm-i-dokumentov-pri-starte-windows.html (accessed 21.07.2018).

11. Tipikin A.P., Tanygin M.O. Markirujushhij kontroller zhestkogo diska. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 2005, vol. 48, pp. 73-76.

12. Kaluckij I.V., Spevakov A.G. Programmno-apparatnye sredstva zashhity informacionnyh sistem. Kursk, 2014. 182 p.

13. Prikladnoj analiz dannyh. URL: http://sci.alnam.ru/book_dsp.php?id=12 (accessed 21.07.2018).

УДК 81/1

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

**Л.Н. Виноградова,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет» (Череповец, Россия) (e-mail: lnvinogradova@bk.ru)

**И.А. Варфоломеев,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет» (Череповец, Россия) (e-mail: igor.varf@gmail.com)

**С.В. Пыж,** инженер-программист, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет» (Череповец, Россия) (e-mail: fgfdsfgfds@yandex.ru)

**В.М. Осколков,** аспирант, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет» (Череповец, Россия) (e-mail: vasya35@live.ru)

**Т.В. Ершова,** преподаватель, БПОУ «Череповецкое областное училище искусств и художественных ремесел им. В.В. Верещагина» (Череповец, Россия) (e-mail: tv-ershova@mail.ru)

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*Приведено описание программно-технических решений для реабилитации детей с заболеваниями центральной нервной системы и опорно-двигательного аппарата. Описан обобщенный алгоритм работы программно-аппаратного комплекса на основе применения биологической обратной связи, заключающейся в непрерывном мониторинге в режиме реального времени определенных физиологических показателей и сознательном управлении ими с помощью визуализации и виртуального окружения, мультимедийных, игровых и других приемов в заданной области значений.*

*Применение методов виртуальной и дополненной реальности на основе биологической обратной связи в комплексной коррекционно-развивающей работе под контролем специалистов-дефектологов позволит детям с ограниченными возможностями здоровья восполнить дефицитарность моторно-двигательных функций, обеспечивающих саморегуляцию и управление точными движениями. Дополнительным развивающим эффектом применения данных технологий служит совершенствование высших психических функций, эмоционально-волевой сферы и личности ребенка в целом.*

*Дано описание алгоритма выполнения игровых упражнений, приведена логическая модель обрабатываемых данных и структура программного обеспечения. Приведено описание трех упражнений и их музыкальное сопровождение для развития мелкой моторики у ребенка. Применение современных компьютерных технологий является эффективным для реабилитации детей с заболеваниями центральной нервной системы и опорно-двигательного аппарата и перспективным направлением для лечения пациентов с расстройствами движений, с нарушениями функций мозжечка, при гиперкинезах, болезни Паркинсона. Результатом будет являться программно-аппаратная реализация алгоритми-ческого обеспечения, направленная на развитие мелкой моторики, положительно влияющей на становление детской речи, повышающей работоспособность ребёнка, внимательность, активность, стимулирование интеллектуальной и творческой деятельности.*

***Ключевые слова****: реабилитация, детский церебральный паралич, опорно-двигательный аппарат, программно-аппаратный комплекс, биологическая обратная связь, база данных.*

**Ссылка для цитирования:** Компьютерные технологии для развития детей с заболеваниями нервной системы и опорно-двигательного аппарата / Е.В. Ершов, Л.Н. Виноградова, И.А. Варфоломеев, С.В. Пыж, В.М. Осколков, Т.В. Ершова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 88–96.

***

**Введение**

Ребенок с заболеванием центральной нервной системы (ЦНС) и/или опорно-двигательного аппарата (ОДА) не способен целенаправленно управлять своими движениями. Для того чтобы помочь ребенку с заболеванием ЦНС и/или ОДА очень часто применяются информационные технологии, в том числе игровые комплексы и компьютерные тренажеры [8, 12].

В настоящее время существуют различные способы реабилитации детей с такими заболеваниями: лечебная гимнастика; лечебный массаж; развивающие игры; тесты бессознательной реакции (нервной системы) человека; упражнения на мелкую моторику; системы биологической обратной связи [5, 6, 11].

В лечебную гимнастику и массаж входят:

1. Развитие реакций выпрямления и равновесия.

2. Развитие функции руки и предметно-манипулятивной деятельности.

3. Развитие зрительно-моторной координации.

4. Торможение и преодоление неправильных поз и положений.

5. Предупреждение формирования вторичного порочного двигательного стереотипа.

Упражнения на мелкую моторику и развивающие игры направлены на развитие двигательных навыков:

1. Бусины. Ребенку необходимо надевать различные бусины на веревку.

2. Замочки. Ребенку необходимо открывать и закрывать замки различной конструкции.

3. Доска Сегена. Ребенок должен совместить различные картинки, ориентируясь на их форму, размер и цвет.

Тесты бессознательной реакции (нервной системы) ребенка помогают выявить некоторые патологии нервной системы, а при многократном повторении способствуют стабилизации и стимулированию нервной системы и головного мозга (пальценосовая проба, проба на выявление адиадохокинеза, проба Шильдера).

Метод биологической обратной связи является одним из наиболее эффективных методов решения проблемы реабилитации [1, 2, 10] и реализован в комплексе биологической обратной связи (БОС), разработанном ЗАО «Биосвязь». Этот комплекс одновременно обрабатывает сигналы электрической активности мышц, частоты дыхания и частоты сердечных сокращений. На основе измерений формируются мультимедийные сигналы БОС на мониторе компьютера (движение метки, закрашивание столбика, смена слайдов и др.), а также в виде звуковых сигналов (пороговые включение/выключение, изменение тональности и т.п.).

Еще одной разновидностью устройств восполнения дефицитарности моторно-двигательных функций являются компьютерно-игровые тренажеры (КИТ) [7]. В основу КИТ-технологии положена биотехническая система (БТС) «ВАЛЕО-Д», формирующая игровую нагрузку ребенка с помощью аппаратных, программных и врачебно-педагогических средств КИТ.

Такие тренажеры применяются:

– для детей с проблемами развития (соматическая ослабленность; задержка психического и речевого развития; отсутствие концентрации внимания; гиперактивность; отсутствие коммуникативных навыков; аутизм);

– для профилактики заболеваний и детской инвалидности в случаях: повы-

шенной простудной заболеваемости; осложненного состояния органов дыхания; нарушения функций опорно-двигательного аппарата; ослабленного зрения и слуха; последствий энцефалопатии, в том числе малой мозговой дисфункции;

– для коррекционной терапии детей, имеющих нарушения: речи; памяти (слухоречевой, зрительно-моторной); внимания (направленного, поддерживающего, распределенного); координаций (зрительно- и слухомоторных); тонкой моторики;

– для реабилитации детей-инвалидов, страдающих: мозговыми дисфункциями; церебральным параличом; неврозами; нарушениями физического, психического и интеллектуального развития; заболеваниями опорно-двигательного аппарата; ортопедической патологией; последствиями травм.

Метод с развивающими компьютерными играми на основе анимации и виртуальной реальности является профессиональным методом решения проблемы реабилитации детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата [8, 12]. Существуют несколько разновидностей этих систем. Например, приложение Early Learning Colors (ELC), разработанное американской компанией «Kindergarten».

### Цели и задачи

Необходимо разработать способ реабилитации ребенка с заболеваниями опорно-двигательного аппарата и центральной нервной системы через компьютерные игры с простейшими физическиими и развивающими упражнениями. Эти игры объединяют в себе визуализацию игрового процесса и вибровоздействия на кисти рук (ноги) пациента для улучшения координации движений, что положительно влияет на становление детской речи, повышает работоспособность, активность и внимательность ребенка.

### Методы решения задач

Для решения поставленных задач необходимо разработать программно-аппаратный комплекс, который позволит наиболее полно исследовать координацию, плавность, четкость и содружественность движений, мышечный тонус пациента, а также корректировать их в лучшую сторону средствами игры с помощью многократного повторения однотипных упражнений.

Улучшение координации движений, речевых функций и музыкального восприятия реализованы в разработанном авторами программно-аппаратном комплексе «GESIS» [3, 4]. Комплекс обеспечивает развитие способностей пациентов за счет простоты движений кистью и фалангами, предоставляя возможность сосредоточиться на простейших движениях для соотнесения изображения игрового объекта с положением своих рук. В качестве устройства обратной связи (актуаторов) используются вибродатчики, в том числе виброперчатки (для возраста от 3 до 10 лет) для повышения тактильной чувствительности, передаваемой непосредственно через пальцы рук.

Время выполнения упражнения одинаковой сложности является важным измеряемым показателем процесса обучения. Ребенку при условии сохранения когнитивных способностей в пределах нормы достаточно 1-2 повторений упражнения для понимания принципа его действия.

Обобщенный алгоритм работы программно-аппаратного комплекса «GESIS» состоит в следующем:

1. Система Kinect фиксирует начальное положение рук ребенка.

2. Ребенок стоит (сидит) перед экраном или изображением от проектора с игрой, держит в руках актуаторы.

3. Программа указывает определенную область на экране (проекции), ребенок должен подвести к этой области руку с актуатором. При этом все движения фиксируются датчиками.

4. В случае достижения цели на актуаторы посылается вибросигнал. Программа меняет местоположение цели, и игра повторяется снова.

Применение 3D-шлема или 3D-очков позволит совмещать положение руки с восприятием на экране, что полезно для стимуляции работы ЦНС в условиях задач, приближенных к реальному трехмерному пространству, а также позволит сосредоточиться на игровом процессе, исключив внешние визуальные воздействия.

Разработанное программное обеспечение состоит из двух подсистем: «Реабилитация 3D» и «Анализ и статистика».

Подсистема «Реабилитация 3D» предназначена для выполнения специальных упражнений с целью улучшения координации движений. Алгоритм выполнения игровых упражнений представлен на рисунке 1.

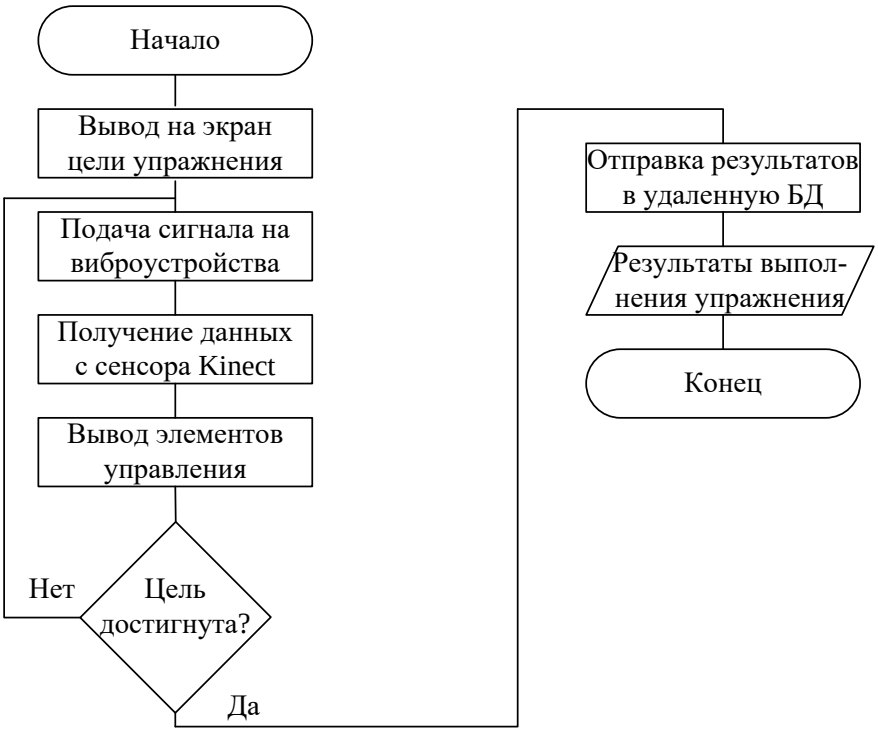



Рис. 1. Алгоритм выполнения игрового упражнения

После выполнения упражнения подсистема «Реабилитация 3D» отправляет в подсистему «Анализ и статистика» следующие данные:

– наименование упражнения;

– дата и время проведения занятия;

– время, затраченное на выполнение упражнения;

– точность выполнения упражнения (отношение минимального расстояния, требуемого для выполнения упражнения, и пройденного расстояния пользователем).

На рисунке 2 представлено окно пациента с активной вкладкой «Точность выполнения».

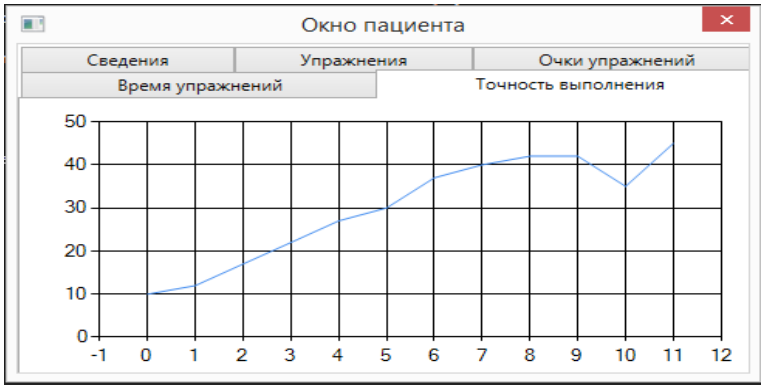



Рис. 2. Точность выполнения упражнения

По характеру изменений врачом принимается решение о необходимости продолжения выполнения текущего упражнения или перехода к новому упражнению.

Подсистема «Анализ и статистика» обеспечивает просмотр информации о пациентах, добавление и удаление записи, поиск информации в базе данных, автоматическое составление отчета и вывод его на печать.

В качестве среды программирования была выбрана VisualStudio 2015. Разработка велась на программной платформе .NET Framework. Для связи с сенсором MSKinect использовались средства разработки SDKKinectforWindowsv1.8. Для сопряжения с контроллером Arduino использовался драйвер ArduinoUno [9].

Структура программного обеспечения:

– пакет Business Layer содержит классы с данными о врачах, пациентах, упражнениях и методы по обработке этих данных;

– пакет Presentation Layer содержит классы пользовательского интерфейса;

– пакет iTextSharp содержит классы для работы с PDF-файлами;

– пакет БД содержит базу данных;

– пакет Библиотека компонентов интерфейса содержит компоненты интерфейса.

## Результаты

В настоящее время реализовано 3 упражнения различной сложности: «Цифры», «Собачка» (рис. 3), «Фигуры».

Музыкальное сопровождение подбиралось из произведений П.И. Чайковского (Детский альбом для фортепиано), М.П. Мусоргского (Избранные произведения для фортепиано), Р. Шумана (Альбом для юношества для фортепиано):

– упражнение «Фигуры»: М.П. Мусоргский «Няня и Я», «В деревне»;

– упражнение «Собачка»: П.И. Чайковский «Детский альбом»: «Немецкая песенка», «Камаринская»;

– упражнение «Цифры»: Р. Шуман «Альбом для юношества»: «Пьеска», «Веселый крестьянин, возвращающийся с работы».

При выполнении игрового упражнения (как правило, в течение одной минуты) исполняется первое произведение, которое задает ритмичность. При достижении цели исполняется второе произведение в течение 8-10 секунд. При неудаче первая мелодия постепенно, в течение 10-12 секунд, затихает.

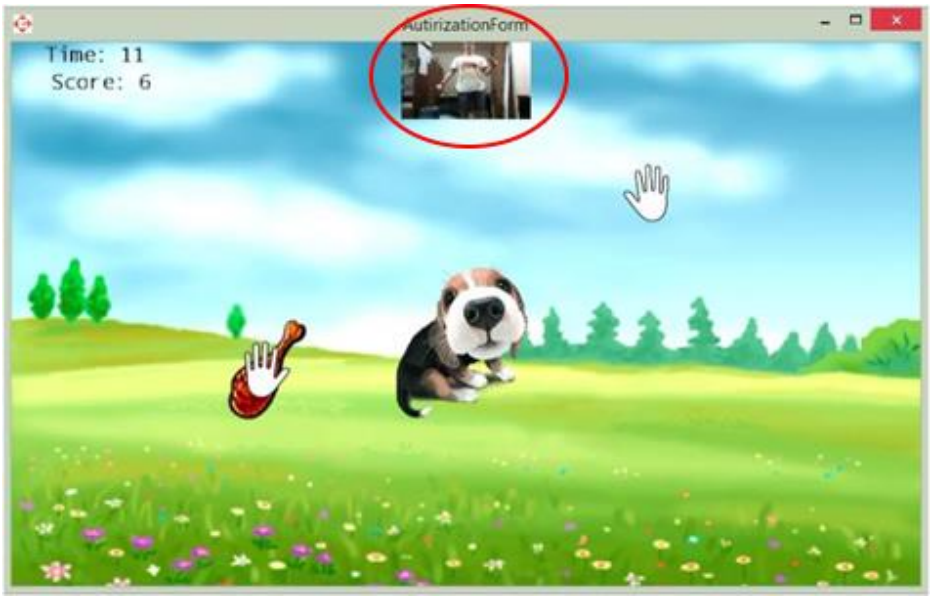



Рис. 3. Упражнение «Собачка»

Выполнение игрового упражнения «Собачка» предполагает кормление собачки путем «захвата» косточки и переноса ее к собачке.

Программно-аппаратный комплекс представлен на рисунке 4.

Сопряжение положения рук пациента в пространстве и изображения рук на экране монитора осуществляется с использованием устройства Kinect.

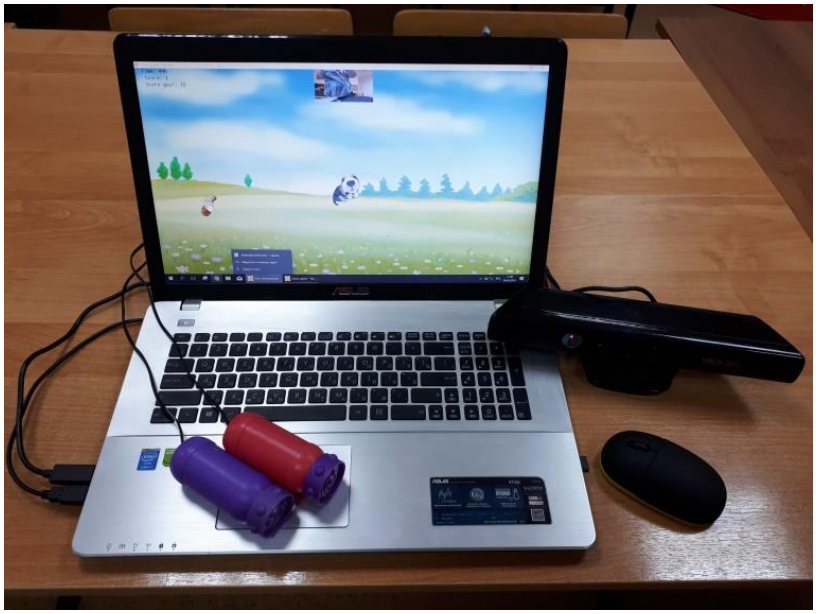


Рис. 4. Программно-аппаратный комплекс Gesis

Сигналы обратной связи от актуаторов зависят от типа упражнений: на стимуляцию сенсорики или на стимуляцию двигательной активности пальцев. Устройство содержит четырехканальный приемник сигналов, передаваемых по беспроводному каналу, который настроен на частоту передатчика системы Gesis. Электропитание актуатора осуществляется с помощью литий-полимерного аккумулятора, который может быть заряжен по USB-интерфейсу от компьютера или сетевого адаптера 5В.

Использование актуатора совместно с 3D-шлемом виртуальной реальности позволит совмещать положения рук с игровыми объектами в объемном виртуальном пространстве для улучшения стимуляции работы ЦНС.

**Заключение**

Программно-аппаратный комплекс был испытан в условиях реабилитационного центра «Череповецкий центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи» специалистом-дефектологом в рамках индивидуальной коррекционно-развивающей работы с детьми с ДЦП, а также в четырех детских садах коррекционного типа г. Череповца (опорно-двигательный аппарат, зрение, слух) в группах численностью 10-15 человек.

Результаты испытаний подтвердили возможности комплекса по восполнению дефицитарности моторно-двигательных функций, обеспечивающих саморегуляцию и управление точными движениями и может быть использован для пациентов с расстройствами движений, с нарушениями функций мозжечка, при гиперкинезах, болезни Паркинсона.

Программно-аппаратный комплекс будет адаптирован для мобильных платформ (планшетов и смартфонов), а также планируется создание дополнительных виброустройств для улучшения моторики определенных групп мышц.

**Список литературы**

1. Стабилометрия с элементами биологической обратной связи в реабилитации детского церебрального паралича / А.О. Абдрахманова, Ш.Х. Оспанова, Р.С. Садыкова, Н.К. Ахмедьянова, Г.А. Шалбарбаева, Т.И. Каладинова // Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. 2011. № S1. С. 38-39.

2. Бабина Л.М., Ефимова Е.А., Котляров В.В. Разработка методики реабилитации детей с синдромом вегетативной дисфункции с применением тренинга биологической обратной связи // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 2. С. 91-93.

3. Ершов Е.В, Виноградова Л.Н., Пыж С.В. Программно-аппаратный комплекс для реабилитации детей с заболеваниями нервной системы и опорно-двигательного аппарата // Медико-экологические информационные технологии-2016. Курск, 2016. С. 193-198.

4. Ершов Е.В., Виноградова Л.Н., Пыж С.В. Программно-технические решения для реабилитации детей с заболеваниями нервной системы и опорно-двигательного аппарата // Символ науки. 2016. № 11. С. 55-57.

5. Заюнчковский О. С. Возможности биологической обратной связи в коррекционно-развивающем обучении младших школьников с разными типами онтогенеза // Молодое поколение XXI века: актуальные проблемы социально-психологического здоровья: материалы IV Международного конгресса. Киров, 2009. С. 193–194.

6. Ивановский Ю.В., Сметанкин А.А. Принципы использования метода биоло-

гической обратной связи в системе медицинской реабилитации // Биологическая обратная связь. 2000. № 3. С. 2-9.

7. КИТ-тренажеры // Компьютерно-игровые тренажеры (КИТ). [Электронный ресурс]. URL: http://kit.insar.org/ index.html (дата обращения: 31.05.2017).

8. Кубряк О.В., Панова Е.Н. Определение понятий виртуальной реальности в медицинской реабилитации // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2017. Т. 16, № 2. С. 70-72.

9. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

10. Реабилитация детей с заболеванием опорно-двигательного аппарата на основе метода биологической обратной связи и стабилометрии / Н.Н. Сетяева, Р.Р. Магдиева, А.А. Алиев, О.А. Емельянова // Актуальные проблемы физической культуры и здорового образа жизни: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции / Сургутский государственный педагогический университет. Сургут, 2009. С. 152-155.

11. Шевцов В.И., Скрипников А.А., Шеин А.П. Применение биологической обратной связи по электромиограмме в комплексном лечении больных с центральными гемипарезами // Гений ортопедии. 2007. № 1. С. 142-147.

12. Lin Lijia, Li Ming. Optimizing learning from animation: Examining the impact of biofeedback // LEARNING AND INSTRUCTION. Vol. 55. P. 32-40.

*Поступила в редакцию 10.09.18*

---

UDC 81/1

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

**L.N.Vinogradova,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: lnvinogradova@bk.ru)

**I.A. Varfolomeev,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: igor.varf@gmail.com)

**S.V. Pyzh,** Programmer Engineer, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: fgfdsfgfds@yandex.ru)

**V.M. Oscolkov,** Post-Graduate Student, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia) (e-mail: vasya35@live.ru)

**T.V. Ershova,** Lecturer, Cherepovets Regional College of the Arts and Crafts named after V.V. Vereshcagin (Cherepovets, Russia) (e-mail: tv-ershova@mail.ru)

## COMPUTER TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF CHILDREN WITH DISEASES OF NERVOUS AND MUSCULOSKELETAL SYSTEMS

*Information technologies based on biofeedback method and computer-gaming simulations are widely used for diagnostics and rehabilitation of children with diseases of nervous and musculoskeletal systems. Vibration sensors and vibration gloves are offered to be used as a feedback device. The software consists of the following complex of subsystems: "Rehabilitation 3D" and "Analysis and Statistics". Synergetic effect is realized in exercises with musical accompaniment of classical music. 3 exercises of diverse complexity are realized: “Figures”, “Number”, “Dog”. Software included music illustrations by P.I. Tchaikovsky (Children's Album for Piano), M.P. Mussorgsky (Selected Works for piano), R. Schumann (Album for the Young People for piano). Test checks are successfully passed within the individual correctional and developmental work in the children's rehabilitation center. Using of modern computer technology is an effective method for the rehabilitation of children with diseases of the*

*central nervous system and musculoskeletal system. It shows a promising direction for the treatment of patients with movement disorders, with impaired cerebellar function, hyperkinesis, Parkinson's disease.*

***Key words:*** *rehabilitation; cerebral palsy; musculoskeletal system; hardware and software system; biofeedback; database.*

**For citation:** Ershov E.V., Vinogradova L.N., Varfolomeev I.A., Pyzh S.V., Oscolkov V.M., Ershova T.V. Computer Technologies for the Development of Children with Diseases of Nervous and Musculoskeletal Systems. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 88–96 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Abdrahmanova A.O., Ospanova Sh.H., Sadykova R.S., Ahmed'janova N.K., Shalbarbaeva G.A., Kaladinova T.I. Stabilometrija s jelementami biologicheskoj obratnoj svjazi v reabilitacii detskogo cerebral'nogo paralicha. Vestnik Almatinskogo gosudarstvennogo instituta usovershenstvovanija vrachej, 2011, no. S1, pp. 38-39.

2. Babina L.M., Efimova E.A., Kotljarov V.V. Razrabotka metodiki reabilitacii detej s sindromom vegetativnoj disfunkcii s primeneniem treninga biologicheskoj obratnoj svjazi. Vestnik novyh medicinskih tehnologij, 2007, vol. 14, no. 2, pp. 91-93.

3. Ershov E.V, Vinogradova L.N., Pyzh S.V. Programmno-apparatnyj kompleks dlja reabilitacii detej s zabolevanijami nervnoj sistemy i oporno-dvigatel'nogo apparata. Mediko-jekologicheskie informacionnye tehnologii-2016. Kursk, 2016, pp. 193-198.

4. Ershov E.V., Vinogradova L.N., Pyzh S.V. Programmno-tehnicheskie reshenija dlja reabilitacii detej s zabolevanijami nervnoj sistemy i oporno-dvigatel'nogo apparata. Simvol nauki, 2016, no. 11, pp. 55-57.

5. Zajunchkovskij O. S. Vozmozhnosti biologicheskoj obratnoj svjazi v korrekcionno-razvivajushhem obuchenii mladshih shkol'nikov s raznymi tipami ontogeneza. Materialy IV Mezhdunarodnogo kongressa «Molodoe pokolenie XXI veka: aktual'nye problemy social'no-psihologicheskogo zdorov'ja». Kirov, 2009, pp. 193–194.

6. Ivanovskij Ju.V., Smetankin A.A. Principy ispol'zovanija metoda biologicheskoj obratnoj svjazi v sisteme medicinskoj reabilitacii. Biologicheskaja obratnaja svjaz', 2000, no. 3, pp. 2-9.

7. KIT-trenazhery. Komp'juterno-igrovye trenazhery (KIT). URL: http://kit.insar.org/index.html (accessed 31.05.2017).

8. Kubrjak O.V., Panova E.N. Opredelenie ponjatij virtual'noj real'nosti v medicinskoj reabilitacii. Fizioterapija, bal'neologija i reabilitacija, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 70-72.

9. Petin V.A. Proekty s ispol'zovaniem kontrollera Arduino. St-Peterburg, BHV-Peterburg Publ., 2014. 400 p.

10. Setjaeva N.N., Magdieva R.R., Aliev A.A., Emel'janova O.A. Reabilitacija detej s zabolevaniem oporno-dvigatel'nogo apparata na osnove metoda biologicheskoj obratnoj svjazi i stabilometrii. Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye problemy fizicheskoj kul'tury i zdorovogo obraza zhizni». Surgut, 2009, pp. 152-155.

11. Shevcov V.I., Skripnikov A.A., Shein A.P. Primenenie biologicheskoj obratnoj svjazi po jelektromiogramme v kompleksnom lechenii bol'nyh s central'nymi gemiparezami. Genij ortopedii, 2007, no. 1, pp. 142-147.

12. Lin Lijia, Li Ming. Optimizing learning from animation: Examining the impact of biofeedback. Learning and Instruction, vol. 55, pp. 32-40.

УДК 006.91;61

**Ю.П. Муха,** д-р техн. наук, профессор, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия) (e-mail: muxaup@mail.ru)

**С.А. Безбородов,** канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия) (e-mail: sabezborodov@volgmed.ru

# ОСОБЕННОСТИ ВВЕДЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ОЦЕНОК СОСТОЯНИЯ ОРГАНОВ ДВИЖЕНИЯ

*В представленной работе рассмотрены особенности введения метрологических оценок состояния органов движения. В ходе проведения исследования мы исходили из представлений о том, что достоверная диагностика будет являться диагностикой с малой погрешностью, которая использует достоверные измерения, то есть измерения с малой погрешностью, которые в свою очередь реализуются на достоверной инструментальной и методической базе. С этой целью нам необходимо было ввести критерии состояния биомедицинского объекта на основе образа его состояния.*

*Любая современная лечебная технология может быть охарактеризована потенциальной (потребной) погрешностью с целью обеспечения высокой достоверности диагностирования. При этом под погрешностью диагностирования можно понимать отличие достигнутого значения оценки состояния отдельного органа или организма в целом в процессе измерения от гипотетической оценки, формируемой как среднестатистическая величина, известная для любого здорового органа или организма. На современном этапе развития науки оценка максимально допустимой ошибки установления диагноза для принятой лечебной технологии является актуальной проблемой.*

*Научная новизна статьи заключается в формировании образа состояния биомедицинского объекта, рассматриваемого на анатомическом, физиологическом и неврологическом уровнях, а также на межуровневых связях (отношениях): анатомо-физиологическом, физиолого-энергоинформационном, анатомо-энергоинформационном, и т.д. Практическая значимость связана с предложением введения реальных оценок в виде требуемой потенциальной точности для диагностирования состояния биомедицинского объекта с помощью приемов метрической идентификации. Инновационная ценность состоит в обоснованном выборе измерительных средств для осуществления медицинских измерений.*

***Ключевые слова:*** *потенциальная погрешность диагностирования, образ состояния биомедицинского объекта, функции в физиологическом пространстве.*

**Ссылка для цитирования:** Муха Ю.П., Безбородов С.А. Особенности введения метрологических оценок состояния органов движения // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 97–103.

***

## Введение

Как известно [1, 2], любая медицинская технология с формальной точки зрения в целом может быть представлена объединением результатов $Re_i$ в семействе результатов $\boldsymbol{Re}$ :

$$\boldsymbol{Re} \subset \cup_i Re_i, \qquad (1)$$

где $Re_i \equiv \left[ LV_{m-1,i}, \dots, \left(LV_{1,i}\right) \dots \right]$, $LV_{i(i\in\overline{1,m})} \subset Zv -$ семейство лечебных воздействий.

Очевидно, что достоверная диагностика, лежащая в основе эффективной медицинской технологии, – это диагностика с малой погрешностью; достоверные измерения – это измерения с малой погрешностью; измерения с малой погрешностью – это измерения, реализуемые на достоверной инструментальной и методической базе, т.е. с помощью высококачественных измерительных средств.

В целом любая лечебная технология может быть охарактеризована потенциальной (потребной) погрешностью с целью обеспечения высокой достоверности диагностирования. При этом под погрешностью диагностирования можно понимать отличие достигнутого значения

оценки состояния отдельного органа или организма в целом в процессе измерения от гипотетической оценки, формируемой как среднестатистическая величина, известная для здорового органа или организма. Очевидно, максимально допустимая ошибка установления диагноза для принятой лечебной технологии может считаться потенциальной погрешностью диагностирования.

**Постановка задачи**

Таким образом, пользуясь представлениями о потенциальной погрешности диагностирования, можно формировать технические требования к выбору инструментальных средств, программного обеспечения и математического обеспечения (алгоритмов) для компоновочного проектирования измерительных комплексов в рамках конкретной лечебной.

Известно, что сам процесс диагностирования сопряжен с использованием целого комплекса критериев, которые определяют области существования функций, определяющих состояние диагностируемого объекта.

В связи с высокой сложностью биологической системы и ее органов при формировании гипотетической оценки необходимо учитывать сложную организацию критериев оценки состояния, которая определяется анатомической, физиологической и энерго-информационной природой функционирования биологической системы.

**Формирование критериев оценки состояния**

В связи с тем, что результатом биомедицинских измерений является так называемый «сюжетный образ», отображающий в данный момент некоторое состояние биообъекта, целесообразно сформулировать образ состояния.

Одним из основных определений в работе является определение образа состояния. Образ состояния $Obr(\dot{S})$, где $\dot{S}$ – вектор состояния объекта, это совокупность множеств всех структурных элементов; всех структурных комплексов, образующих биосистему; всех параметров структурных элементов; всех системных параметров; всех ограничений существования параметров любого иерархического уровня.

Образ состояния следует рассматривать на каждом уровне: анатомическом, физиологическом и неврологическом, а также на межуровневых связях (отношениях): анатомо-физиологическом, физиолого-энергоинформационном (ФЭИ), анатомо-энергоинформационном и т.д.

Очевидно, что образ состояния является основным для введения оценок состояния, так как определяет разрешенный для анализа структурный комплекс из разрешенного набора структурных элементов с учетом необходимых ограничений.

Очевидно также, что критерием состояния должна быть совокупность условий устойчивости образа состояния: устойчивости структурной (морфологическая устойчивость); устойчивости алгоритмической (физиологическая устойчивость); устойчивости информационной (устойчивость неврологическая).

В связи с определением образа состояния дополнительно введем некоторые необходимые определения:

1. Анатомические оценки состояния (АОС) органа движения – это оценки, определяющие возможные отклонения в

морфологических элементах органов движения (голеностопа, коленного сустава, тазобедренного сустава, пояснично-крестцового элемента, элементы прикрепления всех составных элементов), которые вызывают конкретные заболевания.

2. Физиологические оценки состояния (ФОС) – это оценки, которые определяют возможные отклонения в функционировании физиологических систем как комплексов, избирательно объединенных саморегулирующихся центрально-периферических структур, функционирующих с целью достижения приспособительных результатов при удовлетворении ведущих потребностей.

3. Энергоинформационные оценки состояния (ЭИОС) – это оценки, которые определяют патологические отклонения при афферентно-эфферентном синтезе, т.е. при отклонениях, вызванных гуморальными и биопотенциальными причинами, приводящими к информационной неустойчивости ФУС (функциональной физиологической системы) на каналах $Re \leftrightarrows MB$ : результат $\leftrightarrows$ метаболизм. ЭИОС формируются на основе энергетических биомеханических характеристик. Они носят информационно-энергетический характер и определяют условия информационной устойчивости. ЭИОС синтезируются на основе гуморальных и биопотенциальных связей, используемых в конкретных случаях функциональных физиологических систем.

Все перечисленные оценки как функции определяются и существуют на своих оценочных пространствах: анатомическом оценочном пространстве (АнОП), физиологическом оценочном пространстве (ФОП) и энергоинформационном оценочном пространстве (ЭИОП).

Прежде чем изучать свойства оценок, их взаимосвязь и использование, необходимо осуществить максимально возможную формализацию оценок и их элементов. Очевидно, целесообразная формализация имеет прикладной характер, поэтому математическое описание необходимо конкретизировать, например за счет отнесения описания к конкретному органу движения. В данном случае это коленный сустав (КС).

### Описание анатомического пространства КС

В соответствии с классическим определением [3, 4] любое пространство содержит множество элементов некоторой физической природы, множество операций, определенных на множестве этих элементов, и множество правил и ограничений, регламентирующих применение операций при условии существования результатов операций на множестве элементов пространства:

$$W_{\text{КС}} \subset \left[\{X_{\text{КЭ}}, X_{\text{СУХ}}, X_{\text{СВ}}\}, \{M_{\text{ИНЦ}}\}, \{M_{\text{ВЗ}}\}\right], \quad (2)$$

где $W_{\text{КС}}$ – анатомическое пространство коленного;

$X_{\text{КЭ}}$ – множество костных элементов;

$X_{\text{СУХ}}$ – множество элементов типа сухожилий;

$X_{\text{СВ}}$ – множество элементов типа связок;

$\{X_{\text{КЭ}}, X_{\text{СУХ}}, X_{\text{СВ}}\}$ – множество элементов пространства $W_{\text{КС}}$;

$\{M_{\text{ИНЦ}}\}$ – множество операций взаимосвязи элементов пространства в

форме матриц инциденций;

$\{M_{\text{ВЗ}}\}$ – множество правил взаимодействия связанных элементов в виде матриц типов механических взаимодействий между элементами.

Математическим аппаратом АнПрСос целесообразно использовать аппарат матриц инциденций [5], помеченных характеристиками инциденций, определяемых физико-химическими показателями процессов, реализуемых в рамках процесса инциденции, а также аппарат категорий и функторов, с помощью которых представляются функции взаимосвязи как отображения.

Таким образом, условия и ограничения, накладываемые на функции в рамках АнПрСос, формализуются в рамках матриц инциденций и категорий и функторов.

Функции взаимосвязи – это и есть функции преобразования, реализуемые органом движения (коленным суставом в данном случае). При синтезе уравнений преобразований целесообразно:

1) на основе процесса структуризации [6] органа движения (например, КС) составить структурную ( категорную, графовую ) модель КС;

2) в рамках исследования наблюдаемости [6] определить «вход» модели КС и «выход» модели;

3) в рамках шага измеряемости синтезировать уравнения передачи «сигнала входа» на «выход».

При этом необходимо исходить из условий конструкции органа, КС в данном случае.

**Описание физиологического пространства**

В соответствии с классическим определением пространства как формального объекта [3, 4] модель физиологического пространства можно записать следующим образом:

$$W_{\text{ФПр}} \subset \left[W_{\text{РФ}}, W_{\text{ФУС}}, W_{\text{ОФПр}}, W_{\text{УСО}}\right], \quad (3)$$

где $W_{\text{ФПр}}$ – модель физиологического пространства;

$W_{\text{РФ}}$ – множество элементов типа рефлексов;

$W_{\text{ФУС}}$ – множество элементов типа функциональных систем;

$W_{\text{ОФПр}}$ – множество операций на физиологическом пространстве;

$W_{\text{УСО}}$ – множество условий реализации операций на физиологическом пространстве.

Анализируя модель физиологического пространства, следует отметить, что все компоненты, образующие модель, сами имеют сложное строение. В качестве элементов пространства следует рассматривать объединение $W_{\text{РФ}} \cup W_{\text{ФУС}}$ – множество элементов типа рефлексов и функциональных систем.

При этом функциональные системы (ФУС) включают в свой состав

$$W_{\text{ФУС}} \subset W_{\text{ППР}} \cup W_{\text{РР}} \cup W_{\text{ОАФ}} \cup \cup W_{\text{ЦА}} \cup W_{\text{ИК}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{ППР}}$ – множество элементов типа полезные приспособительные результаты как ведущий показатель деятельности ФУС;

$W_{\text{РР}}$ – множество элементов типа рецепторов результата;

$W_{\text{ОАФ}}$ – множество элементов типа обратная афферентация,
поступающая от рецепторов результата в центральные образования ФУС;

$W_{\text{ЦА}}$ – множество элементов типа центральная архитектоника, представляющая избирательное объединение ФУС нервных элементов различных уровней в специальные узловые механизмы;

$W_{ИК}$ – множество элементов типа исполнительных соматических, вегетативных и эндокринных компонентов, включающих организованное целенаправленное поведение.

### Функции в физиологическом пространстве

Основным видом функции на физиологическом уровне является саморегуляция.

При этом множество разрешенных операций $W_{ОФПр}$ можно определить следующим образом:

$$W_{ОФПр} \subset W_{ФД} \cup W_{ФМВ} \cup W_{ФПВФ}, \quad (5)$$

где $W_{ФД}$ – множество функций доминирования (иерархии);

$W_{ФМВ}$ – множество функций мультипараметрического взаимодействия;

$W_{ФПВФ}$ – множество функций организации последовательного континуума взаимодействия ФУС между собой.

Исходя из [7, 8, 9] целесообразно для моделирования физиологического пространства использовать полносвязную фрактально-категорную модель динамической схемы ФУС.

### Описание энергоинформационного пространства (ЭИП)

Энергоинформационные оценки состояния существуют (реализуются) на (ЭИ) – пространствах, которые включают в свой состав физиологическое пространство, совокупность функций взаимодействия элементов физиологических пространств и совокупность условий реализации функций взаимодействия.

С учетом сказанного модель ЭИП можно представить следующим образом:

$$W_{ЭИП} \subset W_{ФПР} \cup W_{ЭНЕР} \cup W_{ИНФ}, \quad (6)$$

где $W_{ЭНЕР}$ – модель энергетического пространства;

$W_{ИНФ}$ – модель информационного пространства.

Исходя из [6] модель информационного пространства можно представить так:

$$W_{ИНФ} \subset \{[W_{ГЖВС} \cup W_{ГЭТО} \cup W_{ГЭКР}], [W_{СВК} \cup W_{СМК} \cup W_{СМО}], W_{ИНФОГР}\}, \quad (7)$$

где $W_{ГЖВС}$ – множество элементов типа гормонов, вырабатываемых железами внутренней секреции;

$W_{ГЭТО}$ – множество элементов типа гормонов, вырабатываемых эндокринными тканями органов;

$W_{ГЭКР}$ – множество элементов типа гормонов, вырабатываемых эндокринными клетками, рассеянными диффузно вне пределов одного органа;

$W_{СВК}$ – множество сигнальных функций внутриклеточных связей;

$W_{СМК}$ – множество сигнальных функций межклеточных связей;

$W_{СМО}$ – множество сигнальных функций межорганных связей;

$W_{ИНФОГР}$ – множество правил, ограничивающих функции информационных связей.

### Заключение

Как уже было отмечено, критерии состояния являются ключом к введению формальных оценок в виде требуемой потенциальной точности оценки для диагностирования состояния биомедицинского объекта с помощью алгоритмов метрической идентификации [10,11].

### Список литературы

1. Муха Ю.П. Метрологические аспекты медицинских измерений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 3. С. 10-15.

2. Биоинструментальные информационно-измерительные системы: монография / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, Л.Г. Акулов, А.В. Бугров, В.Ю. Наумов, В.М. Мухин; под ред. Ю.П. Мухи. М.: Радиотехника, 2015. 309 с.

3. Рохлин В.А. , Фукс Д.А. Начальный курс топологии. М.: Наука, 1977. 488 с.

4. Бурбаки Н. Общая топология. Основные структуры. М.: Наука, 1968. 272 с.

5. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1973. 300 с.

6. Муха Ю.П., Безбородов С.А., Гущин А.В. Метрологические аспекты медицинских измерений. Волгоград, 2017. 336 с.

7. Муха Ю.П. Структурный синтез ИС/НС (фрактально-категорный подход) // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. №4. С. 31-41.

8. Муха Ю.П. Структурный синтез системной функции ИС/НС для сложной измерительной ситуации на медицинском объекте // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. №4. С. 26-32

9. Муха Ю.П. Фрактально-категорная модель динамической схемы функциональной системы в пространстве системных функций SF // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 4. С. 45-51.

10. Цветков Э.И. Основы математической метрологии. СПб.: Политехника, 2005. 510 с.

11. Цветков Э.И. Метрология. Модели. Метрологический анализ. Метрологический синтез. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 293 с.

*Поступила в редакцию 19.09.18*

---

UDC 006.91;61

**Yu.P. Mucha,** Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Medical University (Volgograd, Russia) (e-mail: muxaup@mail.ru)

**S.A. Bezborodov,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Medical University (Volgograd, Russia) (e-mail: sabezborodov@volgmed.ru)

## FEATURES OF AN INITIATION THE METROLOGICAL ESTIMATES OF THE STATE OF MOTION

*In this paper we presented the features of the introduction of metrological assessments of the state of the organs of movement. We proceeded from the idea that reliable diagnostics must base on the diagnoses with a small error. So we need in using of the reliable measurements. In the course of our study it means that we can get measurements with a small error, which in turn are implemented on a reliable instrumental and methodological basis. We had to introduce criteria for the state of a biomedical object based on the image of its state to get our goal. We can characterize any modern medical technology by a potential (required) error in order to ensure high reliability of diagnosis. In this case, we considered that the error of diagnosis can be understood as the difference between the achieved value of assessing the state of a separate organ or organism as a whole in the measurement process from a hypothetical estimate, which is formed as an average statistical value known for any healthy organ or organism. The assessment of the maximum allowable diagnosis error for the adopted medical technology is an actual problem at the present stage of the development of science. We proved the scientific originality of our work in the formation of the image of the state of a biomedical object considered at the anatomical, physiological and neurological levels, as*

*well as at the interlevel connections (relationships): anatomical and physiological, physiological, energy-informational, anatomical-energy-informational, etc. We associated the practical significance with the proposal of introducing real-life estimates in the form of the required potential accuracy for diagnosing the state of a biomedical object using methods of metric identification. An innovative value of this article consists in the reasonable choice of measuring means for implementation of medical measurements.*

***Key words:*** *the potential error of diagnosis, an image of the state of a biomedical object, functions in the physiological space.*

**For citation:** Mucha Yu.P., Bezborodov S.A. Features of an Initiation the Metrological Estimates of the State of Motion. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 97–103 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Muha Ju.P. Metrologicheskie aspekty medicinskih izmerenij. Biomedicinskaja radiojelektronika, 2008, no. 3. pp. 10-15.

2. Muha Ju.P., Avdejuk O.A., Akulov L.G., Bugrov A.V., Naumov V.Ju., Muhin V.M. Bioinstrumental'nye informacionno-izmeritel'nye sistemy; ed. by Ju. P. Muha. Moscow, Radiotehnika Publ., 2015. 309 p.

3. Rohlin V.A., Fuks D.A. Nachal'nyj kurs topologii. Moscow, Nauka Publ., 1977. 488 p.

4. Burbaki N. Obshhaja topologija. Osnovnye struktury. Moscow, Nauka Publ., 1968. 272 p.

5. Harari F. Teorija grafov. Moscow, Mir Publ., 1973. 300 p.

6. Muha Ju.P., Bezborodov S.A., Gushhin A.V. Metrologicheskie aspekty medicinskih izmerenij. Volgograd, 2017.336 p.

7. Muha Ju.P. Strukturnyj sintez IS/NS (fraktal'no-kategornyj podhod). Biomedicinskie tehnologii i radiojelektronika, 2003, no. 4, pp. 31-41.

8. Muha Ju.P. Strukturnyj sintez sistemnoj funkcii IS/NS dlja slozhnoj izmeritel'noj situacii na medicinskom ob#ekte. Biomedicinskie tehnologii i radiojelektronika, 2006, no.4, pp. 26-32.

9. Muha Ju.P. Fraktal'no-kategornaja model' dinamicheskoj shemy funkcional'noj sistemy v prostranstve sistemnyh funkcij SF. Biomedicinskaja radiojelektronika, 2008, no. 4, pp. 45-51.

10. Cvetkov Je.I. Osnovy matematicheskoj metrologii. St. Peterburg, Politehnika Publ., 2005. 510 p.

11. Cvetkov Je.I. Metrologija. Modeli. Metrologicheskij analiz. Metrologicheskij sintez. St. Peterburg, 2014. 293 p.

УДК 004.032.26; 615.4

**М.А. Ефремов,** канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: efremov_ma@mail.ru)

**С.А. Филист,** д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sfilist@gmail.com)

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

**Е.А. Старцев,** аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**Л. В. Шульга,** д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: sfilist@gmail.com)

# ГИБРИДНЫЕ НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСЛОЖНЕНИЙ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ С УЧЕТОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОАКТИВНЫХ ТОЧЕК

*В статье рассмотрена проблема построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений по прогнозированию профессиональных заболеваний. Показано, что артериальная гипертензия (АГ) является фактором риска сердечно-сосудистых осложнений (ССО). Для прогнозирования АГ построены решающие правила, в основу которых положена теория предикторов факторов риска с оценкой их релевантности на основе функций принадлежности, полученных на основе экспертной оценки.*

*Для прогнозирования АГ предложена трехэтапная технология построения математической модели, позволяющей оценить ее риск. Модель построена на основе традиционных предикторов артериальной гипертензии и факторов риска, полученных на основе энергетических показателей биоактивных точек меридиана желудка, меридиана толстой кишки, меридиана селезенки – поджелудочной железы, а также внемеридианных точек. На первом этапе выделяются факторы риска АГ. На втором этапе по факторам риска строятся функции принадлежности по диагнозу АГ. На третьем этапе полученные функции принадлежности и комплексный показатель уровня защиты агрегируются в финальные решающие правила. Правила нечеткого вывода построены на основе одноместных функций принадлежности. Для учета влияния на риск АГ и ССО показателей артериального давления представлены два агрегатора, построенные на основе агрегирующей формулы Е. Шортлифа, учитывающие коррегирующее или некоррегирующее артериальное давление.*

*В ходе экспериментального оценивания и в результате математического моделирования было показано, что при использовании всех предложенных информативных признаков уверенность в правильном прогнозе у водителей транспортных средств по классам «высокий риск артериальной гипертензии» и «сердечно-сосудистое осложнение, вызванное артериальной гипертензией», превышает величину 0,8 в третий год наблюдения.*

***Ключевые слова:*** *артериальная гипертензия, риск сердечно-сосудистых осложнений, предикторы, биологически активные точки, агрегаторы нечетких решающих правил.*

**Ссылка для цитирования:** Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М.А. Ефремов, С.А. Филист, О.В. Шаталова, Е.А. Старцев, Л.В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 104–119.

***

## Введение

Оценка риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) с помощью математических методов и компьютерных технологий применялась многими исследователями [1, 2, 3]. Так, в европейской шкале риска SCORE (Systematic Coronary Risk Evaluation) для прогноза ССЗ используют такие факторы риска, как возраст, пол, курение, уровень систолического артериального давления (АД) и

концентрация общего холестерина (ХС) [4]. Однако имеется небольшое количество работ, посвященных прогнозированию развития сердечно-сосудистых заболеваний, в частности АГ, с применением алгоритмов распознавания образов [4, 5], что обусловливает потребность в разработке моделей риска АГ.

Задача исследования состоит в разработке гибридных нечетких моделей для прогнозирования возникновения и осложнений АГ с учетом новых предикторов, в частности энергетических характеристик биоактивных точек (БАТ) и длительности коррегирующего или некоррегирующего артериального давления.

**Синтез гибридной нечеткой модели прогнозирования АГ**

Большинство задач прогнозирования заболеваний, включая АГ и ее осложнения, относят к классу плохоформализуемых, не имеющих четких границ между здоровьем и прогнозируемой болезнью [5–10]. Опыт кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ показывает, что в таких случаях целесообразно использование методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, описанных в работах [5–8, 10–14]. Рассмотрим синтез гибридной нечеткой модели прогнозирования риска возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом комплексируемых факторов риска и энергетических характеристик БАТ.

*На первом этапе* синтеза модели с привлечением методов разведочного анализа под руководством инженера по знаниям эксперты формируют пространство информативных признаков [4, 5, 10, 11, 12, 15,16].

Эксперты выбрали следующий их состав, объединяемый со способом получения.

Данные опросов и осмотров, сопутствующие болезни, условия жизни и труда:

*X1* – атеросклероз сосудов головного мозга;

*X2* – сахарный диабет;

*X3* – облитерирующие процессы в сосудах конечностей;

*X4* – ревмокардит;

*X5* – отягощенная наследственность по гипертонии, инфаркту миокарда, скоропостижной смерти;

*X6* – курение (20 и более сигарет – мужчинами, 10 и более сигарет – женщинами);

*X7* – психотравма, острая или хроническая (не более трех-четырехлетней давности);

*X8* – частые стрессовые ситуации (не менее одного раза в неделю);

*X9* – хроническое переутомление (после отдыха самочувствие не улучшается и работоспособность не восстанавливается);

*X10* – ожирение, стадии:

II (вес на 30% – 50% превышает идеальный);

III-IV (вес на 50% и более превышает идеальный);

*X11* – напряженный умственный труд.

Инструментальные методы исследования:

*X12* – по данным ЭКГ: высокие R-зубцы в отведениях V4-V6, отклонение в левую сторону электрической оси сердца, повышение мышечной массы левого миокарда;

*X13* – понижение сегмента S-T, сбой в реполяризационной фазе в форме уплощения Т-зубца в области левых отведений грудной клетки, сокращение проводимости внутри желудочков сердца;

*X14* – изменение сосудов глазного дна;

*X15* – гиперхолестеринемия;

*X16* – энергетические характеристики биологически активных точек (БАТ), связанных с АГ;

*X17* – уровень психоэмоционального напряжения, определенный по показателям внимания, БАТ и компьютерным тестам;

*X18* – уровень хронического утомления, определяемый по показателям внимания, БАТ и компьютерным тестам.

Комбинированным способом по данным лабораторных и инструментальных средств исследований определяется следующий признак:

*X19* – уровень защитных механизмов организма по отношению к АГ.

*На втором этапе* синтеза модели в соответствии с рекомендациями [6, 12] по каждому из выбранных признаков строятся две группы функций принадлежности:

к классу $\omega_{вр}$ – высокий риск заболевания АГ;

к классу $\omega_{ро}$ – высокий риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО), вызванных АГ.

Признаки $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$ носят двоичный характер. Для них функция принадлежности описывается следующими выражениями:

$$\mu_{\omega вр}(X_i) = \begin{cases} 0, если\ признак\ отсутствует; \\ a_i, если\ признак\ присутствует; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega ро}(X_i) = \begin{cases} 0, если\ признак\ отсутствует; \\ b_i, если\ признак\ присутствует. \end{cases}$$

В соответствии с рекомендациями [4, 5, 13, 14] получены следующие величины коэфициентов уверенности в принимаемых решениях по классам $\omega_{вр}$ и $\omega_{ро}$:

$a_2 = 0{,}25$; $a_3 = 0{,}2$; $a_4 = 0{,}3$; $a_5 = 0{,}1$; $a_6 = 0{,}1$; $a_7 = 0{,}2$; $a_8 = 0{,}1$; $a_9 = 0{,}1$; $a_{11} = 0{,}1$; $a_{12} = 0{,}15$; $a_{13} = 0{,}3$; $a_{14} = 0{,}15$; $a_{15} = 0{,}15$.

$b_2 = 0{,}3$; $b_3 = 0{,}3$; $b_4 = 0{,}35$; $b_5 = 0{,}15$; $b_6 = 0{,}15$; $b_7 = 0{,}25$; $b_8 = 0{,}15$; $b_9 = 0{,}15$; $b_{11} = 0{,}3$; $b_{12} = 0{,}25$; $b_{13} = 0{,}35$; $b_{14} = 0{,}25$; $b_{15} = 0{,}2$.

Признак $X_1$ кодируется тремя градациями с функциями принадлежности следующего вида:

$$\mu_{\omega вр}(X_1) = \begin{cases} 0{,}1, если\ C_1; \\ 0{,}2, если\ C_2; \\ 0{,}4, если\ C_3; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega ро}(X_1) = \begin{cases} 0{,}15, если\ C_1; \\ 0{,}25, если\ C_2; \\ 0{,}45, если\ C_3, \end{cases}$$

где $C_1$ – неврастеноподобные явления, постоянное головокружение, снижение памяти на текущие события;

$C_2$ – почти постоянный шум в голове, головокружение, плаксивость, вязкость мышления;

$C_3$ – грубые нарушения памяти, повторные церебральные кризы, деменция.

Признак $X_{10}$ определяется функциями принадлежности вида

$$\mu_{вр}(X_{10}) = \begin{cases} 0{,}2, если\ g_1; \\ 0{,}25, если\ g_2; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{ро}}(X_{10}) = \begin{cases} 0{,}25, если\ g_1; \\ 0{,}3, если\ g_2, \end{cases}$$

где $g_1$ – избыток веса составляет от 1/3 до 1/2 идеального веса;

$g_2$ – избыток веса более 1/2 идеального веса.

Блок управляемых факторов риска АГ целесообразно дополнить энергетическими характеристиками биоактивных точек, связанными с АГ. Анализ атласов меридиан показал, что с АГ связаны точки E9 и E36 меридиана желудка, GI11 меридиана толстой кишки, RP2 меридиана селезенки – поджелудочной железы, а также внемеридианные точки PC3, PC132 [15].

Общие вопросы синтеза нечетких решающих правил для прогнозирования и медицинской диагностики по энергетическим характеристикам БАТ описаны в работах [2, 9]. Пользуясь этими рекомендациями, для класса $\omega_{вр}$ было получено правило определения уверенности в риске возникновения инсульта:

ЕСЛИ $(\delta R_{E9}$ и $\delta R_{E36}) \geq 10\%$, ТО

$$\{U_{вр}(j+1) = U_{вр}(j) + \mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{j+1})[1 - U_{вр}(j)]\} \quad (1)$$

ИНАЧЕ ($U_{вр} = 0$),

где $\delta R_j$ – относительные отклонения сопротивления $R_j$ от своего номинального значения (в процентах); *j=E9, E36, GI11, RP2, PC3, PC132*; $U_{вр}(1) = \mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{E9})$.

$$\mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{E9}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{E9} < 10\%, \\ 0{,}00375\delta R_{E9} - 0{,}0375 & при 10\% \leq \delta R_{E9} < 50\%, \\ 0{,}15 & при \quad \delta R_{E9} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{E36}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{E36} < 10\%, \\ 0{,}00375\delta RE36 - 0{,}0375 & при 10\% \leq \delta R_{E36} < 50\%, \\ 0{,}15 & при \quad \delta R_{E36} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вh}}(\delta R_{GI11}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{GI11} < 10\%, \\ 0{,}005\delta R_{GI11} - 0{,}05 & при 10\% \leq \delta R_{GI11} < 40\%, \\ 0{,}15 & при \quad \delta R_{GI11} \geq 40\%; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{RP2}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{RP2} < 10\%, \\ 0{,}0025\delta R_{RP2} - 0{,}025 & при 10\% \leq \delta R_{RP2} < 50\%, \\ 0{,}1 & при \quad \delta R_{RP2} \geq 50\%; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{PC3}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{PC3} < 10\%, \\ 0{,}001\delta R_{PC3} - 0{,}01 & при 10\% \leq \delta R_{PC3} < 60\%, \\ 0{,}1 & при \quad \delta R_{PC3} \geq 60\%; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вр}}(\delta R_{PC132}) = \begin{cases} 0 & при \quad \delta R_{PC132} < 10\%, \\ 0{,}00125\delta R_{PC132} - 0{,}0125 & при 10\% \leq \delta R_{PC132} < 50\%, \\ 0{,}1 & при \quad \delta R_{PC132} \geq 50\%. \end{cases}$$

По всей группе БАТ

$$\mu_{\omega_{вр}}(X_{22}) = U_{вр}. \quad (2)$$

Для класса $\omega_{ро}$ гибридное нечетное решающее правило имеет вид

ЕСЛИ $(\delta R_{E9}$ и $\delta R_{E36}) > 10\%$, ТО

$$\{U_{ро}(j+1) = U_{ро}(j) + \mu_{\omega_{ро}}(\delta R_{j+1})[1 - U_{ро}(j)]\} \quad (3)$$

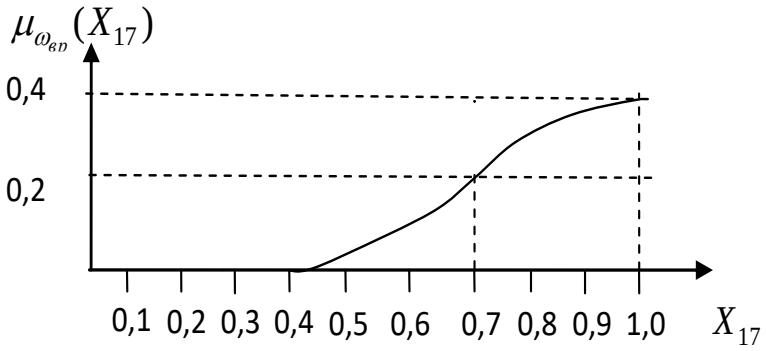
ИНАЧЕ $(U_{ро} = 0)$,

где *j= E9, E36, GI11*; $U_{ро}(1) = \mu_{\omega_{ро}}(\delta R_{E9})$.

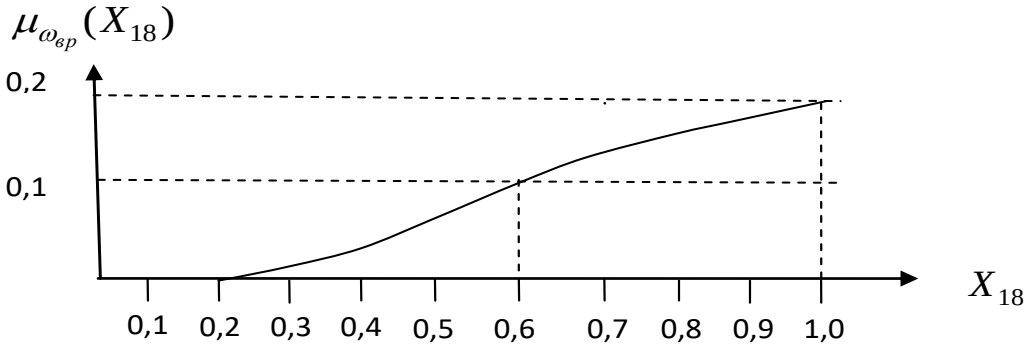
Если положить, что $\mu_{\omega_{po}}(\delta R_j) = \mu_{\omega_{вр}}(\delta R_j)$, то $\mu_{po}(X_{22}) = 1{,}3U_{po}$.

Признаки $X_{17}$ и $X_{18}$ определяются по методикам оценки уровня психоэмоционального напряжения *YP* и уровня хронического утомления *YU*, описанным в работах [13, 14, 17, 18, 19, 20]. Конкретные выражения для определения *YP* и *YU* можно найти в работе [18].

Графики функций принадлежности к классу $\omega_{вр}$ с базовыми переменными $X_{17} = YP$ и $X_{18} = YU$ приведены на рисунке 1.




*а*)




*б*)

Рис. 1. Графики функций принадлежат к классу $\omega_{вр}$ с базовыми переменными: *а* – $X_{17}$; *б* – $X_{18}$

Аналитические графики описываются следующими выражениями:

$$\mu_{\omega_{вр}}(X_{17}) = \begin{cases} 0, \text{если } X_{17} < 0{,}4, \\ 2{,}22(X_{17} - 0{,}4)^2, \textit{если } 0{,}4 \le X_{17} < 0{,}7, \\ 0{,}4 - 2{,}22(X_{17} - 1)^2, \text{если } 0{,}7 \le X_{17} < 1, \\ 0{,}4, \text{если } X_{17} = 1; \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_{вр}}(X_{18}) = \begin{cases} 0, \text{если } X_{18} < 0{,}2, \\ 0{,}625(X_{18} - 0{,}2)^2, \textit{если } 0{,}2 \le X_{18} < 0{,}6, \\ 0{,}2 - 0{,}625(X_{18} - 1)^2, \text{если } 0{,}6 \le X_{18} < 1, \\ 0{,}2, \text{если } X_{18} = 1. \end{cases}$$

Для класса $\omega_{po}$ получены следующие соотношения:

$$\mu_{\omega_{po}}(X_{17}) = 1{,}25\mu_{\omega_{вр}}(X_{17});$$

$$\mu_{\omega_{po}}(X_{18}) = 1{,}2\mu_{\omega_{вр}}(X_{18}) \quad .$$

Возможность измерения показателей *YP* и *YU* исключают из исходного пространства признаки $X_9$ и $X_{11}$.

Механизм оценки защитных свойств организма описан в работе [13]. В работе уровень защитных свойств организма UZ определяется через величину адатационного потенциала (АП), по показателю адатационного соотношения (ПАС) и по набору лабораторных показателей:

– иммунорегуляторный коэффициент CD4+/CD8+(индекс);

– CD4+25+Т-лимфоциты, экспрессирующие рецепторы к IL2 (процент от CD4+Т-клеток);

– активированные NK-клетки (экспрессирующие HLA-DR-молекулы) (процент от NK-клеток);

– фенопик NK-клеток CD3-16+56-(высокая) (процент).

Аналитические выражения для значения величины UZ можно найти в работе [13].

*Агрегирование.* Полученные функции принадлежности и комплексный показатель UZ агригируются в финальные решающие правила.

При этом учитывается, что признаки $X_1,...,X_{19}$ увеличивают уверенность в прогнозе, поэтому в соответствии с рекомендациями [4] для финальных решающих правил по классам $\omega_{вр}$ и $\omega_{po}$ выбираются модифицированные формулы Е. Шортлифа:

$$UB(p+1) = UB(p) + \mu_{\omega_{вр}}(X_{i+1})[1 - UB(p)]; \quad (4)$$

$$UP(p+1) = UP(p) + \mu_{\omega_{po}}(X_{i+1})[1 - UP(p)], \quad (5)$$

где *UB* – уверенность в прогнозе возникновения АГ без учета *UZ*;

*UP* – уверенность в прогнозе осложнения АГ без учёта *UZ*;

$$UB(1) = \mu_{\omega_{вр}}(X_1); UP(1) = \mu_{\omega_{po}}(X_1),$$

*p* – номер итерации, *i* = 1, … , 19.

Показатель *UZ* обладает тем свойством, что его увеличение уменьшает риск развития и рецидива заболевания. Для его учёта в правилах (4) и (5) согласно рекомендациям [13] по отношению к классам $\omega_{вр}$ и $\omega_{po}$ построена функция $f(UZ)$ защиты от инсультов (рис. 2).

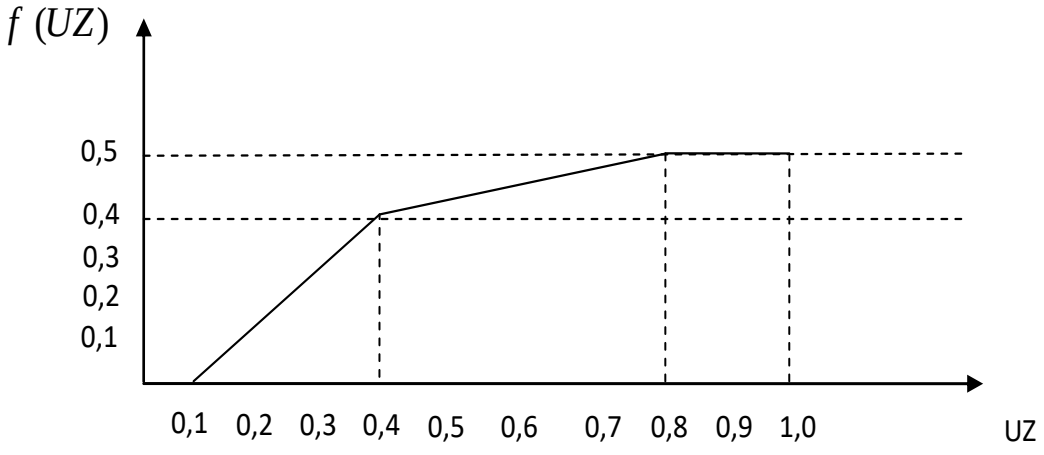



Рис. 2. График функции защиты от артериальной гипертензии UZ

Аналитический график защиты от АГ описывается выражением

$$f\ (UZ)=\begin{cases}0,\text{ если UZ}<0{,}1\,,\\ 1{,}33UZ,\textit{если}\ 0{,}1\le UZ<0{,}4\,,\\ 0{,}25\text{UZ}+0{,}3,\text{ если }0{,}4\le UZ<0{,}8\,,\\ 0{,}5,\text{ если UZ}\ge 0{,}8\,.\end{cases}\qquad(6)$$

С учётом рекомендаций [13] финальные прогностические решающие правила принимают вид

$$UBZ=\begin{cases}UB-f\ (UZ),\text{ если UBZ}>0{,}1\ ;\\ 0{,}1,\textit{если UBZ}\le 0{,}1.\end{cases}\qquad(7)$$

Величину 0,1 эксперты выбрали из условия, что нельзя исключать появления осложнений АГ из-за того, что $f\ (UZ)>UB$.

Аналогично для *UPZ*:

$$UPZ=\begin{cases}UP-f\ (UZ),\text{ если UPZ}>0{,}1\ ;\\ 0{,}1,\textit{если UPZ}\le 0{,}1,\end{cases}\qquad(8)$$

где *UBZ* и *UPZ* – уверенность в соответствующих прогнозах с учетом защитных свойств организма.

Выше отмечалось, что одним из существенных факторов риска АГ является наличие у пациентов длительного повышения систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления, что иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1

Стратификация риска сердечно-сосудистых осложнений у больных с АГ для определения прогноза и тактики лечения

| Другие факторы риска (ФР) | Артериальная гипертензия (АГ) 1-й степени 140-159/90-99 | Артериальная гипертензия (АГ) 2-й степени 160-179/100-109 | Артериальная гипертензия (АГ) 3-й степени ≥ 180/110 |
|---|---|---|---|
| Нет (ФР) | Низкий риск | Средний риск | Высокий риск |
| 1-2 ФР | Средний риск | Средний риск | Очень высокий риск |
| ≥ 3 ФР или ПОМ или СД или МД | Высокий риск | Высокий риск | Очень высокий риск |
| Ассоциированные клинические состояния | Очень высокий риск | Очень высокий риск | Очень высокий риск |

Для учета этого фактора риска при плохо коррегируемом артериальном давлении (АД) на экспертном уровне было предложено использовать функции принадлежности к классу $\mu_{\omega_{вр}}$ (САД) и $\mu_{\omega_{вр}}$ (*ДАД*), роль которых в прогностической модели корректируется коэффициентом временных корректирующих поправок $\alpha_c(t)$ и $\alpha_\partial(t)$ (время измеряется в годах и их долях).

Для систолического артериального давления графики $\mu_{\omega_{вр}}(САД)$ и $\alpha_c(t)$ приведены на рисунке 3.

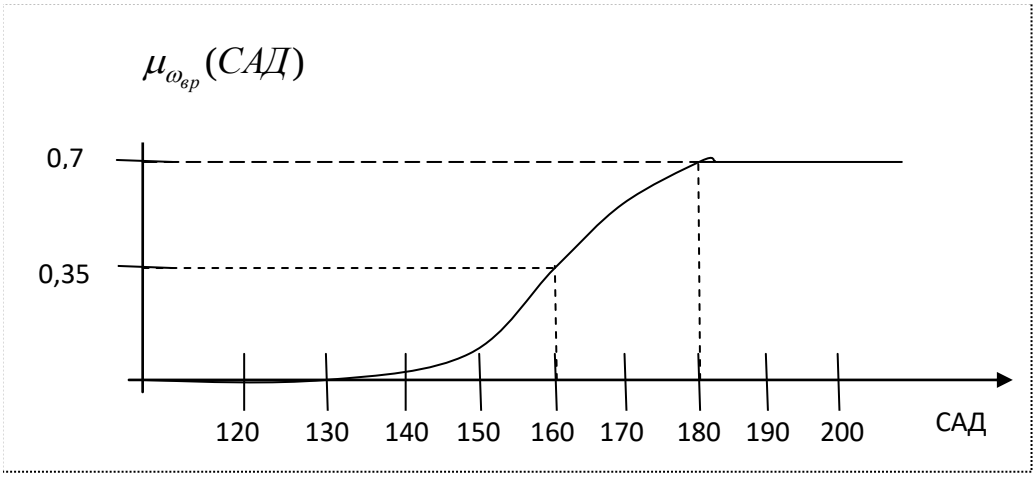
Для диастолического артериального давления соответствующие графики приведены на рисунке 4.

С учетом поправочных коэффициентов уверенность в том, что у пациента может возникнуть АГ из-за высокого САД, определяется выражением

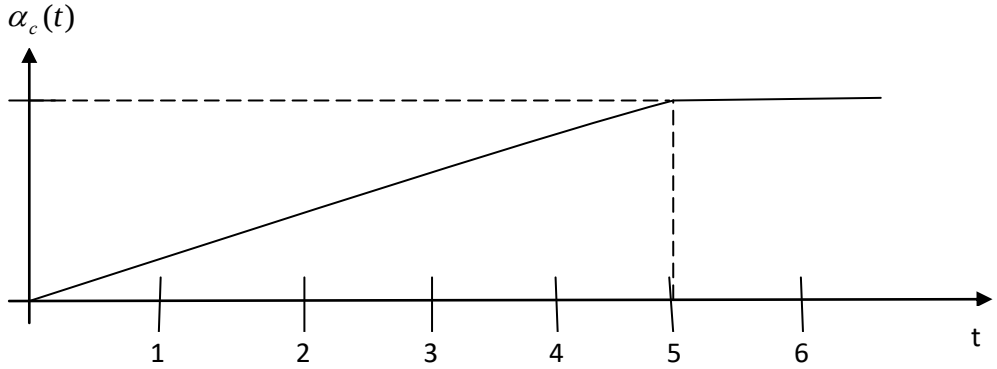
$$UC_{вр}=\alpha_c(t)\cdot\mu_{\omega_{вр}}(САД)\cdot\qquad(9)$$

По отношению к ДАД

$$UД_{вр}=\alpha_Д(t)\cdot\mu_{\omega_{вр}}(ДАД)\cdot\qquad(10)$$




*а*)




*б*)

Рис. 3. Графики: *а* – $\mu_{вр}(САД)$; *б* – $\alpha_c(t)$

$$\mu_{вр}(САД)=\begin{cases}0, \text{ если } САД<140;,\\ 0,00875\,(САД\text{ -}140)^2, \text{ если } 140\le САД<160;,\\ 0{,}7-0{,}00875(САД\text{-}150)^2, \text{ если } 160\le САД<180;,\\ 0{,}7, \text{ если } САД\ge 180;\end{cases}$$

$$\alpha_c(t)=\begin{cases}0{,}2t, \text{ если } t<5,\\ \alpha, \text{ если } t\ge 5;\end{cases}$$

$$\mu_{вр}(ДАД)=\begin{cases}0, \text{ если ДАД}<90,\\ 0{,}05, \text{ если } 90\le \text{ДАД}<130,\\ 0{,}25, \text{ если } 130\le \text{ДАД}<150,\\ 0{,}7, \text{ если ДАД}\ge 150;\end{cases}$$

$$\alpha_Д(t)=\begin{cases}0{,}5t, \text{ если } t<2;\\ 1, \text{ если } t\ge 2.\end{cases}$$

По величинам САД и ДАД уверенность в классе $\omega_{вр}$ от фактора АД определяется выражением

$$UАД_{вр}=\max\{UC_{вр}, UД_{вр}\}. \qquad (11)$$

Для класса $\omega_{ро}$

$$UАД_{ро}=1{,}25\cdot UАД_{вр}. \qquad (12)$$

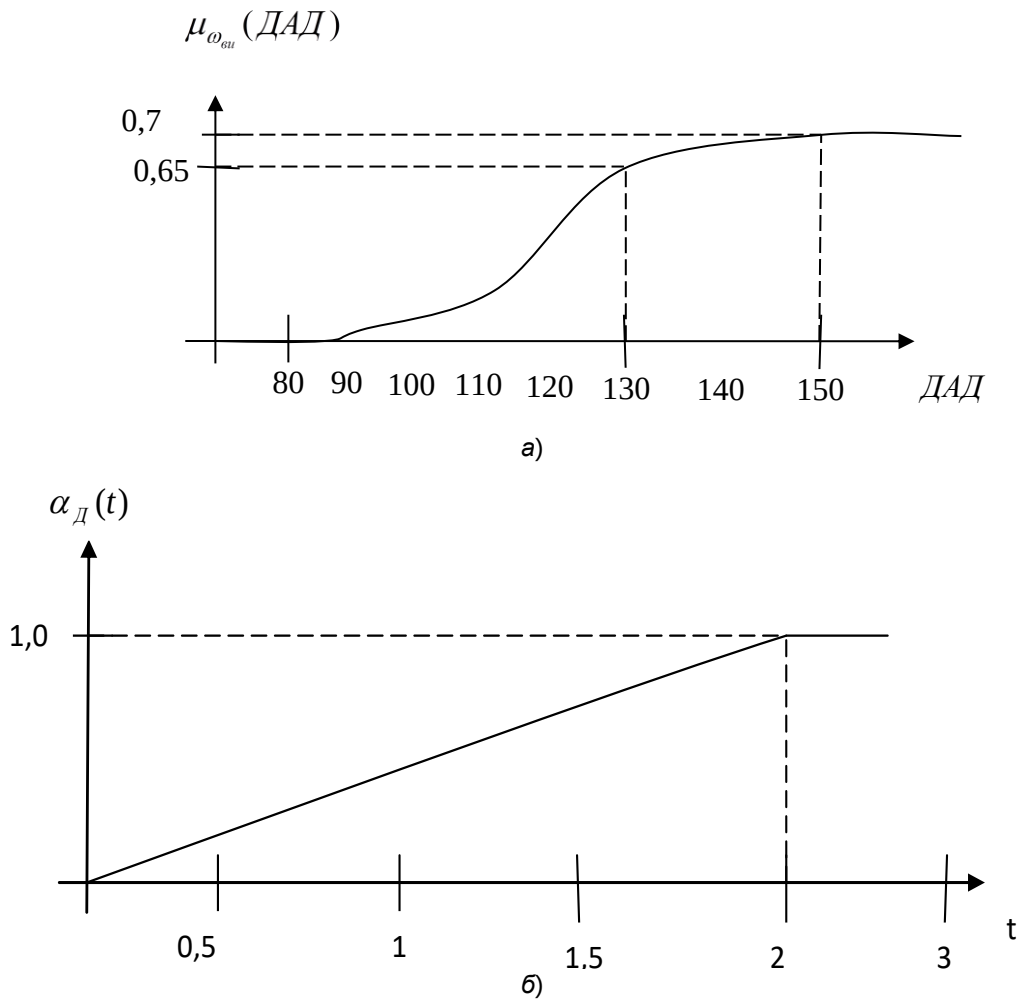



Рис. 4. Графики: *а* – $\mu_{вр}(ДАД)$; *б* – $\alpha_Д(t)$

Для регулярно коррегируемого АД

$$UAД^{к}_{вр} = 0{,}7\,UAД_{вр}; \quad (13)$$

$$UAД^{к}_{ро} = 0{,}7\,UAД_{ро}. \quad (14)$$

С учетом (11)–(14) при наличии у пациентов длительного коррегируемого и некоррегируемого артериального давления формулы (7), (8) модифицируются:

$$UBA = UB + UAД_{вр} - UB \cdot UAД_{вр}. \quad (15)$$

$$UPA = UP + UAД_{ро} - UP \cdot UAД_{ро}. \quad (16)$$

В случае коррегируемого АД в формулах (15), (16) $UAД_{вр}$ и $UAД_{ро}$ заменяются на $UAД^{к}_{вр}$ и $UAД^{к}_{ро}$.

**Экспериментальные исследования**

Полученные нечеткие решающие правила подвергались экспертной проверке. Для этого были сформированы три экспериментальные группы. В первую и вторую группы были включены больные, находившиеся на лечении в стационаре Областного бюджетного учреждения здравоохранения Курской городской клинической больницы скорой медицинской помощи г. Курска, у которых экспертами был определен высокий риск АГ (первая группа) и высокий риск ССО, вызванных АГ (вторая группа). В третью группу были включены здоровые люди, в основном водители транспортных средств, проходившие плановую диспансеризацию, у которых экспертами было установлено отсутствие риска АГ.

Пациенты опрошены по стандартной анкете, проведено измерение АД, пульса,

длины и массы тела, содержания ОХС, ЭКГ. Все пациенты прошли тест ASCORE [21]. Из группы обследуемых на основе экспертной оценки были выделены 100 пациентов с высоким риском АГ и 100 пациентов с АГ и высоким риском ССО. Всего было обследовано 300 мужчин в возрасте от 34 до 64 лет.

Далее каждый год на экспертном уровне с использованием данных получаемых в ходе врачебных обследований, фиксировался факт заболеваний по исследуемым классам $\omega_{вр}$, $\omega_{ро}$. Заболевание другими болезнями относились к классу $\omega_0$ .

Через год в течение трех лет после начала наблюдений строились гистограммы распределения пар классов $(h^1_{\omega_0}; h^1_{\omega_{вр}})$, $(h^1_{\omega_0}; h^1_{\omega_{ро}})$ на осях *UB* и *UP*, графики которых приведены на рисунках 5 и 6.

На основании рекомендаций [22] по каждой из гистограмм был определен порог срабатывания прогностических решающих правил $UB^{1,П}_{\omega_{вр}} = 0{,}55$; $UP^{1,П}_{\omega_{ро}} = 0{,}5$.

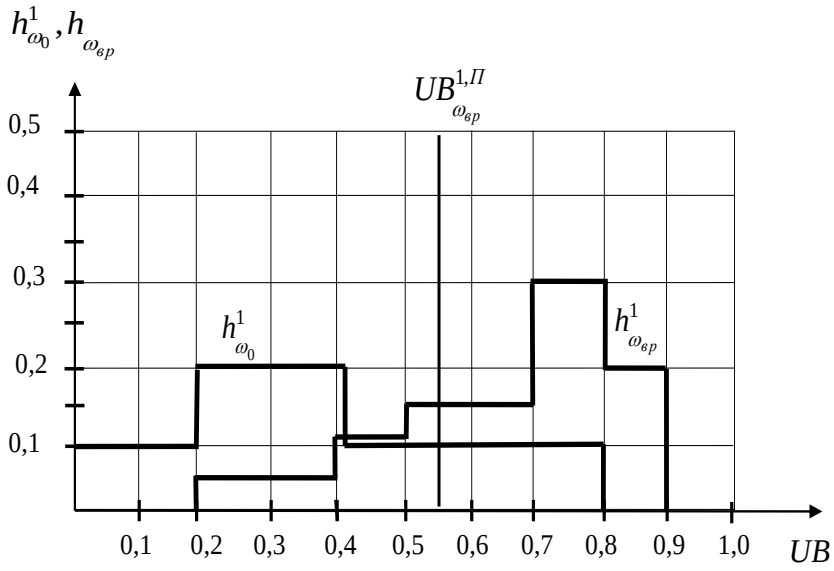



Рис. 5. Гистограмма распределения классов $\omega_0$ и $\omega_{вр}$ по величине *UB* через год после начала наблюдений

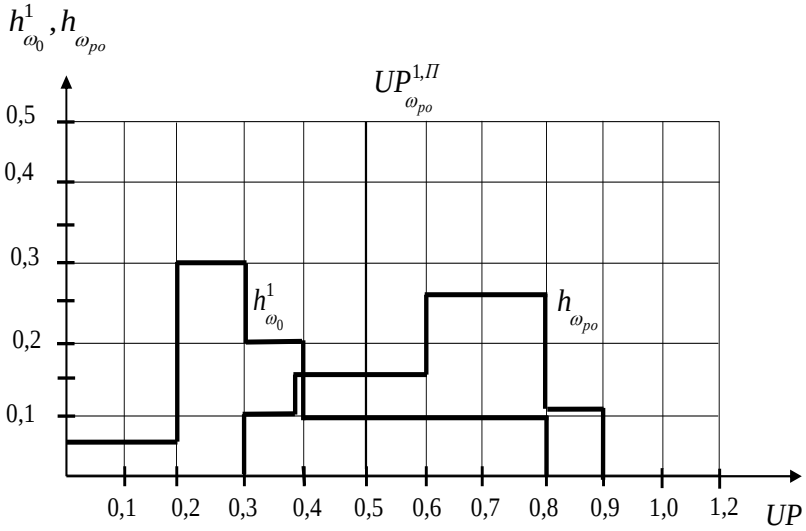



Рис. 6. Гистограмма распределения классов $\omega_0$ и $\omega_{ро}$ по величине *UP* через год после начала наблюдений

Относительно этих порогов было получено количество правильных и ложных срабатываний решающих правил, по которым рассчитывались диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая эффективность (ДЭ) [13].

В таблице 2 представлены эти параметры за три года наблюдений. Для сравнения полученных показателей с известными методами в последнем столбце таблицы 2 приведены показатели качества прогнозирования системы ASCORE за 2016 год.

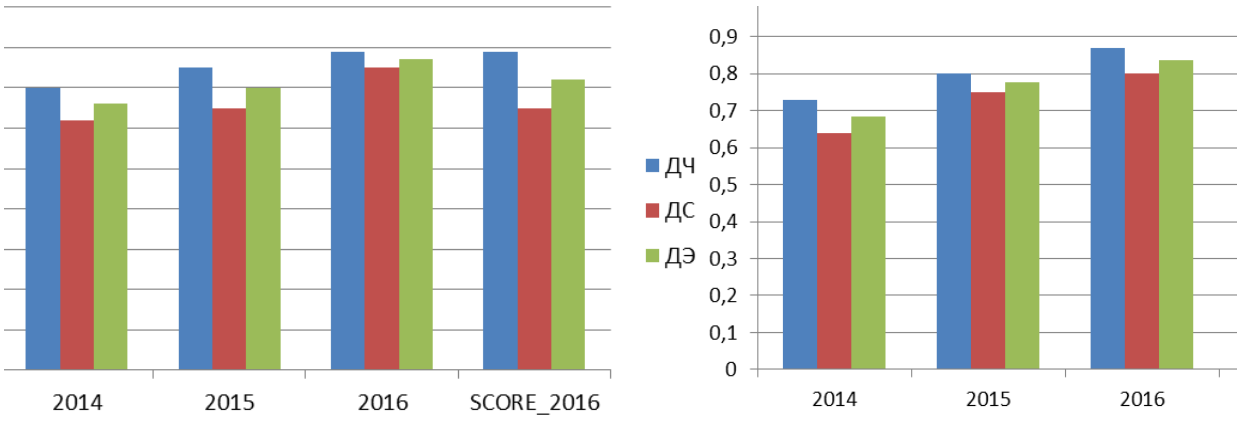
### Обсуждение результатов и заключение

На диаграмме рисунка 7,*а* представлены показатели качества прогнозирования по классу $\omega_{вр}$ с учетом подпространства информативных признаков, полученного по результатам биоимпедансных исследований, а на диаграмме рис. 7, *б* – без учета этих результатов.

Таблица 2

Таблица показателей качества прогнозирования

| ПК | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2016 г. |
|---|---|---|---|---|
| | Модель прогнозирования АГ с учетом энергетических характеристик биоактивных точек | | | ASCORE |
| ДЧ $\omega_{вр}$ | 0,73 | 0,80 | 0,87 | 0,79 |
| ДЧ $\omega_{ро}$ | 0,72 | 0,79 | 0,89 | 0,76 |
| ДС $\omega_{вр}$ | 0,64 | 0,75 | 0,80 | 0,65 |
| ДС $\omega_{ро}$ | 0,68 | 0,81 | 0,87 | 0,80 |
| ДЭ $\omega_{вр}$ | 0,69 | 0,78 | 0,84 | 0,72 |
| ДЭ $\omega_{ро}$ | 0,70 | 0,80 | 0,88 | 0,78 |




*а*) *б*)

Рис. 7. Показатели качества прогнозирования АГ по годам наблюдений

В ходе экспериментального оценивания и в результате математического моделирования было показано, что при использовании всех информативных признаков уверенность в правильном прогнозе по обоим исследуемым классам превышает величину 0,8 в третий год наблюдения. Показатели качества про-

гнозирования на третий год наблюдения выше, чем у известной системы прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений ASCORE, в среднем на 14%.

**Список литературы**

1. Сухова Я.М., Гребеньков С.В. Профессиональный риск заболеваний системы кровообращения у водителей грузового и специализированного автотранспорта // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2016. № 3 (55). С. 57-60.

2. Гадалов В.Н., Кореневский Н.А., Снопков В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 2. С. 515-521.

3. Мохаммед А.А., Филист С.А., Шаталова О.В. Моделирование импеданса биоматериалов в среде MATLAB // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 4. С. 73-78.

4. Яскевич Р.А. Применение методов математического моделирования в прогнозе тяжести клинического течения артериальной гипертонии у мужчин // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=25563 (дата обращения: 24.11.2018).

5. Кореневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99-103.

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

7. Кореневский Н.А., Разумова К.В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2, ч. 1. С. 223-227.

8. Томакова Р.А., Шаталова О.В., Томаков М.В. Теоретико-множественный подход и теория графов в обработке сложноструктурируемых изображений: монография. Курск, 2012. 119 с.

9. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture pointes using fuzzy logic decision-making / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevsky, F. Ionescou, A. Smith // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. 2013. Vol. 16, N 3. P. 302-313.

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

11. Филист С.А., Томакова Р.А., Яа Зар До. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицин-

ских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43), ч. 2. С. 44-50.

12. Способ моделирования нечетких моделей в пакете matlab для биомедицинских приложений / В.В. Жилин, С.А. Филист, Абдул Рахим Халед, О.В. Шаталова // Медицинская техника. 2008. № 2. С. 15-17.

13. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.

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

15. Structural architectural solutions for an intelligence system of cardiological screening of diabetes patients / V.N. Nikolaev, A.A.B. Dafalla, L.V. Pleskanos, K.D.A. Kassim // Telecommunications and Radio Engineering. 2013. Vol. 72, N 13. P. 1219-1225.

16. Алексенко В.А., Кассим К.Д.А., Филист С.А. Гибридные информационные технологии по экспресс-диагностике инфекционных заболеваний на основе многочастотного анализа пассивных электрических свойств биоматериала в экспериментах IN VIVO // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 8 (109). С. 12-16.

17. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С.А. Филист, А.Г. Курочкин, В.В. Жилин, С.Е. Суржикова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3 (31). С.85-95.

18. Лувсан Г. Методы восточной рефлексотерапии. 3-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1991. 402 с.

19. Лукашов М.И., Кореневский Н.А., Ерёмин А.В. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 10-15.

20. Fuzzy determination of the humans level of psycho-emotional / R. Al-Kasasbeh, M. Alshamasin, N. Korenevsky, F. Ionescou, A.P. Smith, E. Alkasasbeh // IFMBE Proceedings «4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam», 2013. P. 213-216.

21. Prieto-Merino, D., Dobson, J., Gupta, A.K. ASCORE: an uptodate cardiovascular risk score for hypertensive patients reflecting contemporary clinical practice developed using the (ASCOT-BPLA) trial data // J. Hum. Hypertens. 2013. Vol. 27, N 8. P. 492–496.

22. Использование механизмов нечеткой логики принятия решения для оценки состояния человека и животных (на примере прогнозирования и диагностики пиелонефритов): монография / В.В. Серебровский, В.В. Федянин, С.Н. Кореневская, А.В. Серебровский. Курск, 2015. 123 с.

23. Метод исследования электрических характеристик биоактивных точек / С.Е. Суржикова, К.Д.А. Кассим, С.А. Филист, К.Д. Кассим // Научный взгляд на современный этап развития общественных, технических, гуманитарных и естественных наук. Актуальные проблемы: сборник научных статей по итогам Все-

российской научно-практической конференции. СПб., 2014. С. 118.

24. Метод исследования сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / С.А. Филист, Р.А. Томакова, О.В. Шаталова, А.А. Кузьмин, К.Д. Али Кассим // Радиопромышленность. Электроника. 2016. № 4. С. 57-65.

*Поступила в редакцию 15.10.18*

---

UDC 004.032.26; 615.4

**M.A. Efremov,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: efremov_ma@mail.ru)

**S.A. Filist,** Doctor of Engineering Sciences, Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**O.V. Shatalova,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**,** Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: shatolg@mail.ru)

**E.A. Startsev,** Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sfilist@gmail.com)

**L.V. Shulga,** Doctor of Medical Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: sfilist@gmail.com)

## METHOD FOR CONSTRUCTING HYBRID FUZZY MODELS FOR PREDICTING THE OCCURRENCE AND COMPLICATIONS OF ARTERIAL HYPERTENSION IN DRIVERS OF VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT THE ENERGY CHARACTERISTICS OF BIOACTIVE POINTS

*The article considers the problem of constructing intelligent decision support systems for predicting occupational diseases of drivers vehicles. It is shown that the most relevant occupational disease among this category of workers is arterial hypertension (AH). For prediction of AH, decision rules are constructed based on the theory of predictors of the risk factors with an assessment of their relevance based on membership functions obtained on the basis of expert judgment.*

*For the predicting AH, a three-stage technology for the constructing a mathematical model is proposed, which makes it possible to assess its risk among drivers vehicle. The model is constructed on the basis of traditional predictors of the arterial hypertension and risk factors obtained on the basis of the energy indices of bioactive points of meridian of the stomach, the meridian of the large intestine, the meridian of the spleen - the pancreas, and also the extra-meridian points. At the first stage, AH risk factors are identified. At the second stage, the risk factors for belonging to the diagnosis of hypertension are constructed. In the third stage, the acquired membership functions and the complex indicator of the protection level are aggregated into final decision rules. The rules of fuzzy inference are constructed on the basis of one-place membership functions. In order to take into account the influence of arterial pressure indices on the risk of arterial hypertension, two aggregators are presented, constructed on the basis of E. Shortlif's aggregating formula, taking into account corrective or uncorrecting arterial pressure.*

*In the course of the experimental estimation and as a result of mathematical modeling it was shown that using all the suggested informative signs, the confidence in the correct prediction among drivers of vehicles in the classes "high risk of arterial hypertension" and "cardiovascular complication caused by hypertension" exceeds 0 , 8 in the third year of follow-up.*

***Key words:*** *arterial hypertension, occupational diseases of drivers of vehicles, predictors, fuzzy logic of decision making, aggregators of fuzzy decision rules.*

**For citation:** Efremov M.A., Filist S.A., Shatalova O.V., Startsev E.A., Shulga L.V. Method for Constructing Hybrid Fuzzy Models for Predicting the Occurrence and Complications of Arterial Hypertension in Drivers of Vehicles

Taking into Account the Energy Characteristics of Bioactive Points. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 104–119 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Suhova Ja.M., Greben'kov S.V. Professional'nyj risk zabolevanij sistemy krovoobrashhenija u voditelej gruzovogo i specializirovannogo avtotransporta. Vestnik Rossijskoj voenno-medicinskoj akademii, 2016, no. 3 (55), pp. 57-60.

2. Gadalov V.N., Korenevskij N.A., Snopkov V.N. Matematicheskie modeli reflektornyh sistem organizma cheloveka i ih ispol'zovanie dlja prognozirovanija i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2012, vol. 11, no. 2, pp. 515-521.

3. Mohammed A.A., Filist S.A., Shatalova O.V. Modelirovanie impedansa biomaterialov v srede MATLAB. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 4, pp. 73-78.

4. Jaskevich R.A. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovanija v prognoze tjazhesti klinicheskogo techenija arterial'noj gipertonii u muzhchin. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija, 2016, no. 6. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=25563 (accessed 24.11.2018).

5. Korenevskij N.A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlja analiza i upravlenija sostojaniem biotehnicheskih sistem. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2013, no. 2, pp. 99-103.

6. Korenevskij N.A., Artemenko M.V., Provotorov V. Ja., Novikova L.A. Metod sinteza nechetkih reshajushhih pravil na osnove modelej sistemnyh vzaimosvjazej dlja reshenija zadach prognozirovanija i diagnostiki zabolevanij. Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 881-886.

7. Korenevskij N.A., Razumova K.V. Sintez nechetkih klassifikacionnyh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlja medicinskih prilozhenij. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie, 2012, no. 2, pt.. 1, pp. 223-227.

8. Tomakova R.A., Shatalova O.V., Tomakov M.V. Teoretiko-mnozhestvennyj podhod i teorija grafov v obrabotke slozhnostrukturiruemyh izobrazhenij. Kursk, 2012. 119 p.

9. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevsky N., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture pointes using fuzzy logic decisionmaking. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2013, vol. 16, no. 3, pp. 302-313.

10. Korenevskij N.A., Razumova K.V. Sintez kollektivov gibridnyh nechetkih modelej ocenki sostojanija slozhnyh sistem. Naukoemkie tehnologii, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31-39.

11. Filist S.A., Tomakova R.A., Jaa Zar Do. Universal'nye setevye modeli dlja zadach klassifikacii biomedicinskih dannyh. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2012, no. 4 (43), pt. 2, pp. 44-50.

12. Zhilin V.V., Filist S.A., Haled Abdul Rahim, Shatalova O.V. Sposob modelirovanija nechetkih modelej v pakete matlab dlja biomedicinskih prilozhenij. Medicinskaja tehnika, 2008, no. 2, pp. 15-17.

13. Korenevskij N.A., Shutkin A.N., Gorbatenko S.A., Serebrovskij V.I. Ocenka i upravlenie sostojaniem zdorov'ja obuchajushhihsja na osnove gibridnyh intellektual'nyh tehnologij. Staryj Oskol, TNT Publ., 2016. 472 p.

14. Efremov M.A., Filist S.A., Shatalova O.V. Gibridnaja nejronnaja set' s makroslojami dlja medicinskih prilozhenij. Nejrokomp'jutery. Razrabotka i primenenie, 2014, no. 6, pp. 35-39.

15. Nikolaev V.N., Dafalla A.A.B., Pleskanos L.V., Kassim K.D.A. Structural architectural solutions for an intelligence system of cardiological screening of diabetes patients. Telecommunications and Radio Engineering, 2013, vol. 72, no. 13, pp. 1219-1225.

16. Aleksenko V.A., Kassim K.D.A., Filist S.A. Gibridnye informacionnye tehnologii po jekspress-diagnostike infekcionnyh zabolevanij na osnove mnogochastotnogo analiza passivnyh jelektricheskih svojstv biomateriala v jeksperimentah IN VIVO. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki, 2010, no. 8 (109), pp. 12-16.

17. Filist S.A., Kurochkin A.G., Zhilin V.V., Surzhikova S.E. Ispol'zovanie gibridnyh nejrosetevyh modelej dlja mnogoagentnyh sistem klassifikacii v geterogennom prostranstve informativnyh priznakov. Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii, 2015, no. 3 (31), pp.85-95.

18. Luvsan G. Ocherki metody vostochnoj refleksoterapii. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-e, 1991. 402 p.

19. Lukashov M.I., Korenevskij N.A., Erjomin A.V. Opredelenie urovnja dlitel'nogo fizicheskogo utomlenija kak faktora riska recidivov hronicheskih zabolevanij. Biomedicinskaja radiojelektronika, 2009, no. 5, pp. 10-15.

20. Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevsky N., Ionescou F., Smith A.P., Alkasasbeh E. Fuzzy determination of the humans level of psycho-emotional. IFMBE Proceedings. «4th International Confer-ence on Biomedical Engineering in Vietnam», 2013, pp. 213-216.

21. Prieto-Merino, D., Dobson, J., Gupta, A.K. ASCORE: an uptodate cardiovascular risk score for hypertensive patients reflecting contemporary clinical practice developed using the (ASCOT-BPLA) trial data. J. Hum. Hypertens, 2013, vol. 27, no. 8, pp. 492–496.

22. Serebrovskij V.V., Fedjanin V.V., Korenevskaja S.N., Serebrovskij A.V. Ispol'zovanie mehanizmov nechetkoj logiki prinjatija reshenija dlja ocenki sostojanija cheloveka i zhivotnyh (na primere prognozirovanija i diagnostiki pielonefritov). Kursk, 2015, 123 p.

23. Surzhikova S.E., Kassim K.D.A., Filist S.A., Kassim K.D. Metod issledovanija jelektricheskih harakteristik bioaktivnyh tochek. Sbornik nauchnyh statej po itogam Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Nauchnyj vzgljad na sovremennyj jetap razvitija obshhestvennyh, tehnicheskih, gumanitarnyh i estestvennyh nauk. Aktual'nye problemy». St. Peterburg, 2014, p. 118.

24. Filist S.A., Tomakova R.A., Shatalova O.V., Kuz'min A.A., Kassim K.D. Ali Metod issledovanija slozhno-strukturiruemyh izobrazhenij na osnove samoorganizujushhihsja nejrosetevyh struktur. Radiopromyshlennost'. Jelektronika, 2016, no. 4, pp. 57-65.

УДК 004.392

**И. Л. Егошина,** д-р техн. наук, доцент, Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-Ола, Россия) (e-mail: egoshinail@volgatech.net)

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА

*Рассматривается автоматизированная система анализа изображений диска зрительного нерва, которая содержит подсистему оценивания диагностических параметров диска зрительного нерва и позволяет сохранять и накапливать информацию для дальнейшего анализа с целью принятия правильного диагностического решения. Такие параметры диска зрительного нерва, как размер, форма, положение, очень различны в нормальном состоянии и при патологии, поэтому данная информация актуальна для формирования диагностических заключений в офтальмологии.*

*Представлены алгоритмы обработки изображений диска зрительного нерва в рамках автоматизированной системы анализа изображений глазного дна для решения задач правильной диагностики и оценки степени патологического процесса: алгоритм автоматической сегментации диска зрительного нерва и алгоритм количественной оценки геометрических параметров диска зрительного нерва. Показаны результаты сегментации диска зрительного нерва на примере реальных офтальмологических изображений. Оценка геометрических параметров диска зрительного нерва включает процедуры вычисления значений периметра и площади диска, коэффициентов кругообразности и изрезанности контура диска.*

*Если размер диска зрительного нерва увеличен по сравнению с его размером в норме, контур диска имеет изрезанные, неровные, нечеткие границы, значит, имеет место какая-либо патология диска зрительного нерва. Разработанные алгоритмы автоматической сегментации диска зрительного нерва, выделения его контура позволяют провести объективную оценку геометрических параметров диска зрительного нерва и тем самым повысить качество диагностики.*

***Ключевые слова:*** *сегментация, диск зрительного нерва, контурный анализ, оценка геометрических параметров.*

**Ссылка для цитирования:** Егошина И. Л. Автоматизированный анализ изображений диска зрительного нерва // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 120–127.

***

## Введение

При офтальмологическом исследовании глазное дно дает самую первую информацию о ряде заболеваний и помогает выявить их на начальных стадиях. В последнее время разрабатываются различные системы анализа и цифровой обработки изображений глазного дна, что позволяет автоматизировать процесс диагностики и осуществить количественный или качественный мониторинг состояния глазного дна. Например, диагностический комплекс обработки и анализа изображений сосудов глазного дна [1], осуществляющий трассировку сосудов, обнаружение области диска зрительного нерва (ДЗН), расчет первичных геометрических параметров сосудов глазного дна, проводит анализ изображений в динамике. Существуют информационные технологии, дающие количественную (объективную) оценку изменений состояния глазного дна и области ДЗН, они основаны на анализе геометрических, морфологических параметров микрососудов сетчатки, параметров сосудов на краю диска зрительного нерва [2]. Данные технологии применяются в офтальмологии для ранней диагностики различных сосудистых заболеваний, а также для оценки эффективности лечебного процесса.

Внедрение информационных технологий анализа офтальмологических изображений в медицинскую практику предоставляет возможность автоматизировать

диагностику ряда заболеваний, проводить мониторинг патологических изменений глазного дна, основываясь на объективные количественные данные [3].

### Постановка задачи

Для правильной диагностики и оценки степени патологического процесса необходимо учитывать существующие анатомические ориентиры на глазном дне. К таким ориентирам относят диск зрительного нерва. Такие параметры диска зрительного нерва, как размер, форма, положение, очень различны в нормальном состоянии и при патологии, поэтому данная информация актуальна для формирования диагностических заключений в офтальмологии [4]. Сравнительный анализ геометрических параметров ДЗН, полученных, например, с помощью HRT-II и лазерного офтальмоскопа, показал, точность данных методов зависит и от человеческого фактора, так как контуры диска определяются вручную. Поэтому актуальной задачей является разработка алгоритмов оценки геометрических параметров диска зрительного нерва и средств поддержки формирования диагностических заключений в офтальмологии для снижения влияния субъективных факторов на достоверность диагноза.

Целью работы является реализация алгоритмов обработки изображений диска зрительного нерва для решения диагностических задач в автоматизированной системе анализа изображений глазного дна.

Рассматриваемая в данной работе автоматизированная система анализа изображений диска зрительного нерва включает в себя подсистему оценивания диагностических параметров диска зрительного нерва и позволяет осуществлять сохранение и накопление информации для анализа лечебного процесса с целью принятия диагностического решения. Структура системы представлена на рисунке 1.

Функциональные возможности автоматизированной системы:

- Ввод и предварительная обработка изображений глазного дна.
- Количественная оценка параметров и состояния ДЗН глазного дна.
- Объективный контроль динамики изменения размеров патологических участков на последовательных изображениях глазного дна.
- Оценка степени патологии.
- Автоматическое ведение базы данных по пациентам, изображениям и измерениям.

Для реализации алгоритма сегментации диска зрительного нерва использован язык программирования Python 2.7 с библиотеками: scikit-1earn 0.17.1 (содержит реализации алгоритмов машинного обучения), scikit-image 0.12.3 (содержит реализации некоторых алгоритмов обработки изображений), mahotas 1.4.1 (содержит эффективные реализации некоторых фильтров и морфологических операций) [5].

### Методы сегментации и оценивания геометрических параметров диска зрительного нерва

Методы сегментации и оценивания геометрических параметров диска зрительного нерва реализованы на основе следующих алгоритмов:

– алгоритм сегментации диска зрительного нерва;

– алгоритм оценки геометрических параметров.

Алгоритм сегментации диска зрительного нерва на изображении содержит следующие этапы [6]:

1. Загрузка данных (изображения глазного дна).

2. Выбор цветового пространства. Библиотека анализа и обработки изображений OpenCV представляет изображения в пространстве BGR. Для привычного отображения переводят исходное изображение в пространство RGB и каждый его канал в отдельности, а затем для дальнейшего анализа и обработки изображения переводят его в пространство HSV, т.к. цветовая модель HSV является наиболее удобным представлением цветных изображений для их сегментации [7].

3. Удаление помех и объектов на черном фоне, не относящихся к области интереса, с целью устранения влияния на анализ гистограммы изображения. Для того чтобы удалить черный фон вокруг области интереса, используется маска. Маска строится путем бинаризации изображения. Чтобы на этот процесс не влияли точечные помехи на фоне, производится морфологическая обработка «открытие». После бинаризации следует морфологическая обработка «эрозия» для уменьшения размера маски, чтобы удалить границы области интереса. Финальный этап – наложение маски на изображение.

Рис. 1. Автоматизированная система анализа изображений диска зрительного нерва

4. Удаление кровеносных сосудов для устранения их влияния на сегментацию ДЗН. Применяется морфологическая обработка «закрытие». Апертура фильтра выбирается восьмиугольной, а ее размер должен превышать толщину сосуда. После данной процедуры применяется нормализация гистограммы для повышения контрастности.

5. Локализация ДЗН – поиск максимального значения пикселя на изображении. Для того чтобы на этот процесс не влияли случайные отсчеты яркости, проводится фильтрация скользящего среднего (ФСС), а затем определяются минимальное значение пикселя, максимальное значение пикселя, координаты максимального значения пикселя.

6. Алгоритм *region growing* – процедура сегментации диска [8].

Оценка геометрических параметров диска зрительного нерва, включающая процедуры выделения контура ДЗН, вычисления значений периметра и площади диска, коэффициентов кругообразности и изрезанности выполняется в программном комплексе «КОРСАР» [9].

Алгоритм оценки геометрических параметров предполагает выполнение следующих этапов:

1. Загрузка исходного изображения диска зрительного нерва с сегментированным диском.

2. Выделение контура диска зрительного нерва.

Контур изображения концентрирует информацию об объекте, так как задает его форму. В целом ряде случаев для надежной оценки его параметров достаточно той информации, которая содержится в контуре. В дискретном (полигональном) виде контур плоского изображения задается последовательностью элементарных векторов. Упорядоченная совокупность элементарных векторов представляет собой дискретный комплекснозначный сигнал [10].

3. Определение площади и периметра выделенного контура.

4. Вычисление коэффициента формы контура диска зрительного нерва:

$$Кф = P/\sqrt{S},$$

где $P$ – периметр, а $S$ – площадь диска.

5. Вычисление индекса кругообразности $C_k=4\pi S/P^2$ или коэффициента изрезанности $C_n=1/C_k = P^2/4\pi S$ контура диска.

В практике при анализе краев, или границ, полей и фигур различной природы оперируют таким понятием, как расчлененность края. Серия показателей связывает длину периметра $P$ фигуры с ее площадью $S$, реагируя на отклонение формы фигуры от круга. Простейшим показателем является индекс кругообразности $C$. Коэффициент изрезанности может оказаться индикатором различных динамических процессов.

6. Анализ значений полученных геометрических характеристик исследуемых ДЗН и принятие диагностического решения.

Из теории следует, что диагностическими признаками патологии ДЗН является увеличение (уменьшение) размеров диска и состояние границы диска (изрезанные, четкие, размытые, неровные и т.д.). Если размер диска увеличен по сравнению с размером диска в норме, имеет неровные, нечеткие, изрезанные границы, значит, имеет место патология ДЗН.

### Результаты экспериментальных исследований

Была проведена сегментация ДЗН на примере реальных офтальмологических изображений. На рисунке 2 представлен результат сегментации ДЗН на примере

изображения диска зрительного нерва с патологией.

Результаты выделения контура ДЗН и определение его геометрических параметров показаны на рисунках 3 и 4.

Результаты оценки геометрических параметров ДЗН в норме и с патологией для рассмотренных в работе изображений ДЗН приведены в таблице.

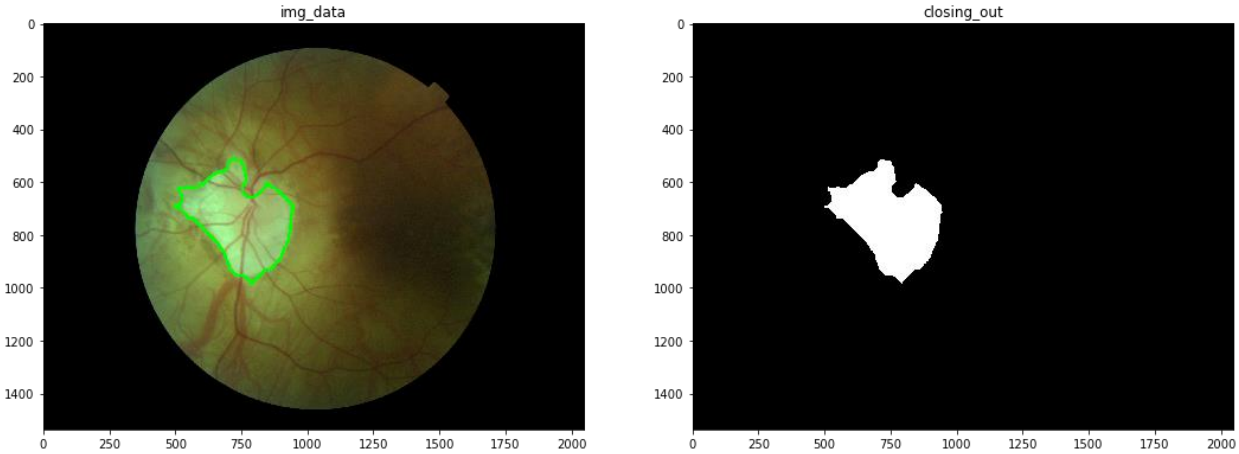
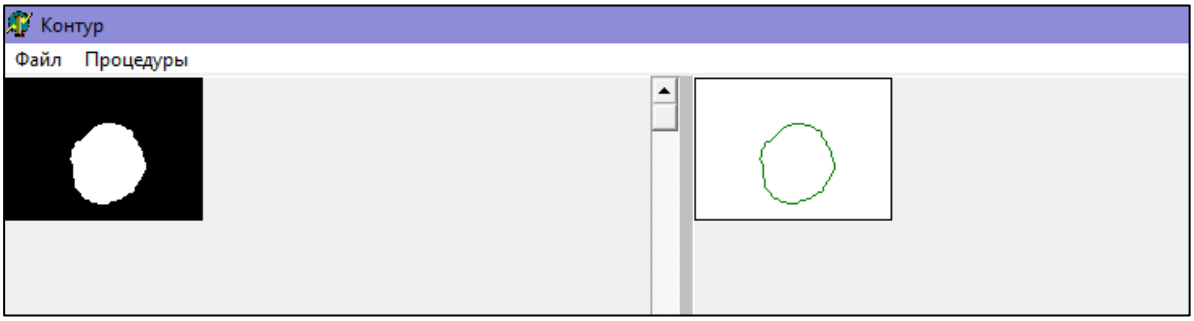
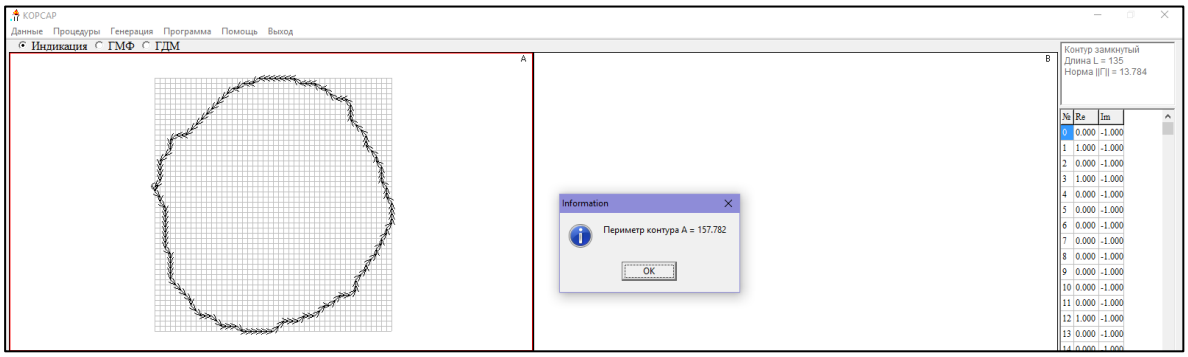



Рис. 2. Результат сегментации диска зрительного нерва (изображение ДЗН с патологией)

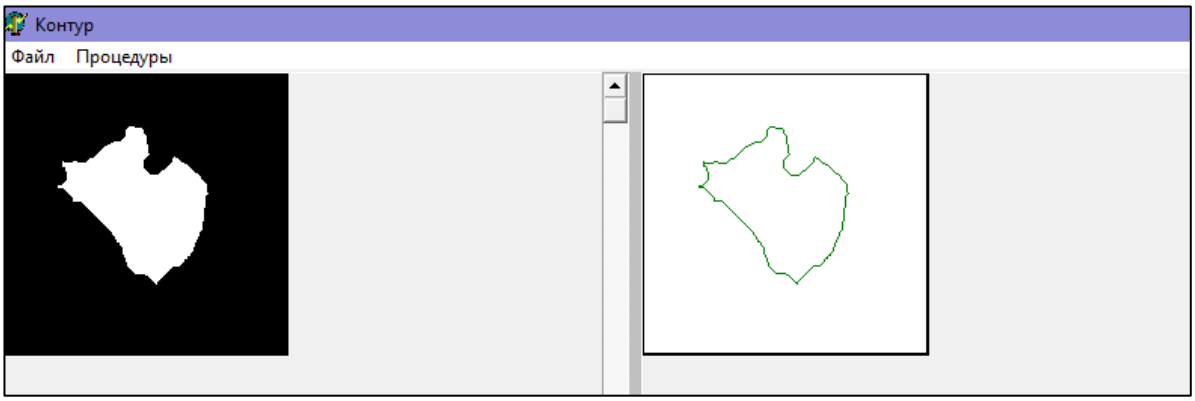



*а*)

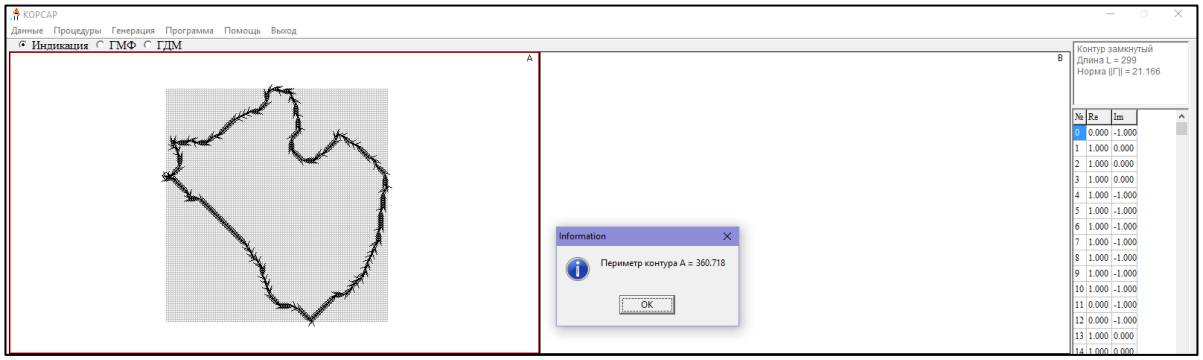



*б*)

Рис.3. Сегментированное исходное изображение ДЗН в норме: *а* – выделение его контура; *б* – определение геометрических характеристик (площади, периметра, коэффициентов кругообразности и изрезанности)




*а*)




*б*)

Рис. 4. Сегментированное исходное изображение ДЗН с патологией: *а* – выделение его контура; *б* – определение геометрических характеристик (площади, периметра, коэффициентов кругообразности и изрезанности)

Геометрические характеристики ДЗН

| ДЗН | Геометрические характеристики | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Площадь S | Периметр P | Коэф. формы $К_ф$ | Индекс кругообразности $C_k$ | Коэффициент изрезанности $C_n$ |
| Норма | 8,81 | 11,45 | 3,85 | 0,85 | 1,18 |
| Патология | 11,92 | 17, 04 | 4,95 | 0,51 | 1,94 |

При исследовании изображений ДЗН в норме и с патологией анализ значений полученных геометрических характеристик показал увеличение размеров диска и изрезанность границ контура ДЗН на изображении с патологией, что соответствует теории при описании диагностических признаков.

**Выводы**

Таким образом, разработаны алгоритмы автоматической сегментации диска зрительного нерва и выделения его контура, позволяющие провести объективную оценку геометрических парамет-

ров диска зрительного нерва и тем самым повысить качество диагностики.

Разработан алгоритм количественной оценки геометрических параметров диска зрительного нерва для дальнейшего решения диагностических задач.

Представлена на уровне структурной схемы автоматизированная система анализа изображений глазного дна, включающая в себя подсистему оценивания диагностических параметров диска зрительного нерва и позволяющая осуществлять сохранение и накопление информации для анализа лечебного процесса с целью принятия диагностического решения.

**Список литературы**

1. Ильясова Н.Ю. Диагностический комплекс анализа изображений сосудов глазного дна // Биотехносфера. 2014. №3 (33). С. 20-24.

2. Куприянов А.В., Ильясова Н.Ю. Разработка информационной технологии оценивания геометрических параметров изображений глазного дна // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. №2. С. 221-233.

3. Ильясова Н. Ю., Куприянов А. В., Храмов А. Г. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики. М.: Радио и связь, 2012. 424 с.

4. Мачехин В.А. Ретинотомографические исследования диска зрительного нерва в норме и при глаукоме. М.: Офтальмология, 2010. 334 с.

5. Златопольский Д. М. Основы программирования на языке Python. М.: ДМК Пресс, 2017. 284 с.

6. Егошин М.А., Егошина И.Л., Глазунова Н.Ю. Алгоритм сегментации диска зрительного нерва на изображении глазного дна // Научные исследования в области технических и технологических систем: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: Аэтерна, 2018. С.84-87

7. Хафизов Р.Г. Обработка цветных медицинских изображений: учебное пособие. Йошкар-Ола, 2012. 100 с.

8. Huiqi Li, Chutatape O. Automated feature extraction in color retinal images by a model based approach // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2004. Vol. 51. P. 246- 254.

9. Фурман Я.А., Хафизов Д.Г. Методы и средства обработки комплекснозначных и гиперкомплексных сигналов: учебное пособие. Йошкар-Ола, 2011. 388 с.

10. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Я. А. Фурман, А. В. Кревецкий, А. К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин; под ред. Я. А. Фурмана. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2003. 592 с.

*Поступила в редакцию 15.10.18*

---

UDC 004.392

**I.L. Egoshina,** Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Russia) (e-mail: egoshinail@volgatech.net)

## AUTOMATED ANALYSIS OF IMAGES OF THE OPTIC NERVE DISK

*In this paper, an automated system for analyzing images of the optic nerve head is considered. It includes a subsystem for evaluating the diagnostic parameters of the optic nerve and allows you to save and accumulate*

*information for analyzing the treatment process in order to make a diagnostic decision. The size, position and shape of the optic nerve disc are very different in pathology and in normal condition, therefore this information is relevant for the formation of diagnostic findings in ophthalmology.*

*Algorithms for image processing of the optic nerve disk within the framework of the automated fundus image analysis system for solving problems of correct diagnosis and assessment of the degree of the pathological process are presented: an algorithm for automatic segmentation of the optic nerve disk and an algorithm for quantitative estimation of the geometric parameters of the optic nerve disk The results of segmentation of the optic nerve head are shown on the example of real ophthalmologic images. Evaluation of the geometrical parameters of the optic nerve head includes the procedures for calculating the perimeter and area of the disk, the circularity coefficients and the irregular shape of the disk contour. If the size of the disk is increased compared to the size of the disk in the norm, it has uneven, fuzzy, rugged borders, then there is a pathology of the disk of optic nerve. The developed algorithms for automatic segmentation of the optic nerve head and the allocation of its contour allow an objective assessment of the geometrical parameters of the optic nerve head and thereby improve the quality of diagnosis.*

*Key words: segmentation, optic nerve head, contour analysis, evaluation of geometric parameters.*

**For citation:** Egoshina I.L. Automated Analysis of Images of the Optic Nerve Disk. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 120–127 (in Russ.).

***

**Reference**

1. Il'jasova N.Ju. Diagnosticheskij kompleks analiza izobrazhenij sosudov glaznogo dna. Biotehnosfera, 2014, no.3 (33), pp. 20-24.

2. Kuprijanov A.V., Il'jasova N.Ju. Razrabotka informacionnoj tehnologii ocenivanija geometricheskih parametrov izobrazhenij glaznogo dna. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta, 2008, no.2, pp. 221-233.

3. Il'jasova N. Ju., Kuprijanov A. V., Hramov A. G. Informacionnye tehnologii analiza izobrazhenij v zadachah medicinskoj diagnostiki. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 2012. 424 p.

4. Machehin V.A. Retinotomograficheskie issledovanija diska zritel'nogo nerva v norme i pri glaukome. Moscow, Oftal'mologija Publ, 2010. 334 p.

5. Zlatopol'skij D. M. Osnovy programmirovanija na jazyke Python. Moscow, DMK Press Publ., 2017. 284 p.

6. Egoshin M.A., Egoshina I.L., Glazunova N.Ju. Algoritm segmentacii diska zritel'nogo nerva na izobrazhenii glaznogo dna. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Nauchnye issledovanija v oblasti tehnicheskih i tehnologicheskih sistem». Ufa, Ajeterna, 2018, pp.84-87.

7. Hafizov R.G. Obrabotka cvetnyh medicinskih izobrazhenij. Joshkar-Ola, 2012. 100 p.

8. Huiqi Li, Chutatape O. Automated feature extraction in color retinal images by a model based approach. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2004, vol. 51, pp. 246- 254.

9. Furman Ja.A., Hafizov D.G. Metody i sredstva obrabotki kompleksno-znachnyh i giperkompleksnyh signalov. Joshkar-Ola, 2011. 388 p.

10. Furman Ja. A., Kreveckij A. V., Peredreev A. K., Rozhencov A.A., Hafizov R.G., Egoshina I.L., Leuhin A.N. Vvedenie v konturnyj analiz i ego prilozhenija k obrabotke izobrazhenij i signalov; ed. by Ja. A. Furman. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 592 p.

# К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. К публикации в журнале «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение» принимаются актуальные материалы, содержащие новые результаты научных и практических исследований, соответствующие профилю журнала, не опубликованные ранее и не переданные в редакции других журналов.

2. Объем статьи не должен превышать 8 страниц печатного текста, включая иллюстрации и таблицы.

3 Авторы статей должны представить в редакцию журнала:

– статью, оформленную в соответствии с правилами оформления статей, представляемых для публикации в журнале;

– рекомендацию кафедры или научно-исследовательского отдела учреждения, в котором выполнена данная работа;

– разрешение на опубликование в открытой печати статьи от учреждения, в котором выполнена работа (обязательно для статей по техническим специальностям, по экономическим – по требованию редколлегии);

– сведения об авторах (фамилия, имя отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, почтовый адрес, телефон, e-mail).

4. Бумажный вариант статьи подписывается всеми авторами, что означает их согласие на передачу Университету прав на распространение материалов статьи с помощью печатных и электронных носителей информации.

5. Редакция не принимает к рассмотрению рукописи, оформленные не по правилам.

6. **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается (если автор один и им представлена справка с места учебы).**

7. Основной текст рукописи статьи (кроме аннотации и ключевых слов) набирают в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2,5 см, с правой стороны – 2 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

8. Схема построения публикации: УДК (индекс по универсальной десятичной классификации), фамилия и инициалы автора(ов) с указанием ученой степени, звания, места работы (полностью), электронного адреса (телефона), название (полужирный, прописные), аннотация и ключевые слова, текст с рисунками и таблицами, литература. Авторы, название, аннотация и ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

Перед основным текстом печатается аннотация (200–250 слов), отражающая краткое содержание статьи.

Например:

> УДК 004.9:519.8
> **А.Л. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ivanov@gmail.com)
> **Построение модели прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия**
> В статье рассматривается агентная модель прогнозирования обеспеченности кадрами градообразующего предприятия, основанная на структуризации поведения агента и определения влияния его внутреннего представления об окружающем мире на его деятельность……
> **Ключевые слова:** агентное моделирование, градообразующее предприятие, событие.

9. При формировании текста не допускается применение стилей, а также внесение изменения в шаблон или создание собственного шаблона. Слова внутри абзаца следует разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; не допускаются разрядки слов.

10. Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Необходимо учитывать, что **полоса набора – 75 мм**. Если формула имеет больший размер, ее необходимо упростить или разбить на несколько строк. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**

Все русские и греческие буквы (Ω, η, β, μ, ω, υ и др.) в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Обозначения тригонометрических функций (sin, cos, tg и т.д.) – прямым шрифтом. Латинские буквы – прямым шрифтом.

Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, от промежуточных выкладок желательно отказаться.

11. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

12. Рисунки и таблицы располагаются по тексту. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Иллюстрации, встраиваемые в текст, должны быть выполнены в одном из стандартных форматов (TIFF, JPEG, PNG) с разрешением не ниже 300 *dpi* и публикуются в черно-белом (градации серого) варианте. Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. **Рисунки, выполненные в MS Word, недопустимы**.

Рисунки встраиваются в текст через опцию «Вставка-Рисунок-Из файла» с обтеканием «В тексте» с выравниванием по центру страницы без абзацного отступа. Иные технологии вставки и обтекания **не допускаются.**

13. **Список литературы к статье обязателен** и должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы (не менее 10). Пристатейные библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках.

14. В материале для публикации следует использовать только общепринятые сокращения.

Все материалы направлять по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94. ЮЗГУ, редакционно-издательский отдел.

Тел.(4712) 50-48-19, тел/факс (4712) 50-48-00.

E-mail: rio_kursk@mail.ru

Изменения и дополнения к правилам оформления статей и информацию об опубликованных номерах можно посмотреть на официальном сайте журнала: **http://www.swsu.ru/izvestiya/index.php.**