

с е т е в о й   н а у ч н ы й   ж у р н а л   ISSN 2518-1092

# НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

RESEARCH RESULT

Том 1 | № 4  
Volume 1 |

ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION  
TECHNOLOGY

Сайт журнала:

[research-result.ru](http://research-result.ru)

сетевой научный рецензируемый журнал  
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-55674 от 28 октября 2013 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)  
Mass media registration certificate El. № FS 77-55674 of October 28, 2013



Том 1, №4. 2016

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 1, № 4. 2016

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Жиликов Е.Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Черноморец А.А.**, кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: **Ляшенко И.В.**, кандидат филологических наук, доцент

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**Ломакин В.В.**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

**Гахова Н.Н.**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

**Волчков В.П.**, доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

**Дмитриенко В.Д.**, доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

**Капалин В.И.**, доктор технических наук, профессор (Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), г. Москва)

**Корсунов Н.И.**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Ломазов В.А.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Маторин С.И.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Рубанов В.Г.**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

**Белов С.П.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Коськин А.В.**, доктор технических наук, профессор (Приокский государственный университет, г. Орел)

**Иващук О.А.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**EDITORIAL TEAM:**

EDITOR-IN-CHIEF: **Evgeniy G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, assistant, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Ph.D. in Philology, Associate Professor

**EDITORIAL BOARD:**

**Vladimir V. Lomakin**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

**Nina N. Gahova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

**CONSULTING EDITORS:**

**Valery P. Volchkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Valery D. Dmitrienko**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

**Vladimir I. Kapalin**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Nikolay I. Korsunov**, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Vadim A. Lomazov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Sergey I. Matorin**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Vasily G. Rubanov**, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Sergey P. Belov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Alexander V. Koskin**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Olga A. Ivaschuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University

Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Publication frequency: 4 / year

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

### COMPUTER SIMULATION HISTORY

<b>Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю.</b> Геометрическая теория управления в задачах оптимизации энергозатрат тягового подвижного состава	<b>4</b>	<b>Dmitrienko V.D., Zakovorotniy A.Yu.</b> Geometric control theory in the problem of optimization of energy consumption of traction rolling stock	<b>4</b>
<b>Жихарев А.Г., Егоров И.А., Манзуланич М.Ю., Маторин С.И.</b> Системно-объектное имитационное моделирование систем массового обслуживания	<b>16</b>	<b>Zhikharev A.G., Egorov I.A., Manzulanich M.Yu., Matorin S.I.</b> System and object simulation modeling of queuing systems	<b>16</b>
<b>Лихолоб П.Г., Медведева А.А., Лихогодина Е.С., Мишина О.О.</b> Исследование чувствительности некоторых мер качества скрытия информации в аудиоданных	<b>21</b>	<b>Lykholob P.G., Medvedeva A.A., Likhogodina E.C., Mishina O.O.</b> Research of sensitivity of some measures of quality assessment of hidden information in the audio content	<b>21</b>

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

### SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

<b>Аникина Е.И.</b> Автоматизированная информационная система «Деканат On-Line» как компонент информационно- образовательной среды ЮЗГУ	<b>25</b>	<b>Anikina E.I.</b> Automated information system "Dekanat On-Line" as a component of the SWSU information-educational environment	<b>25</b>
<b>Бабенко А.А., Козунова С.С.</b> Модель оценки и прогнозирования рисков инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий	<b>29</b>	<b>Babenko A.A., Kozunova S.S.</b> Model of evaluation and prediction of investment risks of information security of industrial enterprises	<b>29</b>
<b>Карви Д.К., Брусенцев А.Г.</b> Разработка экологической системы поддержки принятия решений для оценки качества воды	<b>36</b>	<b>Karwi J.Q., Brusentsev A.G.</b> Development of an enviromental decision support system to calculate water quality	<b>36</b>
<b>Пенджиев А.М.</b> Основы геоинформационной системы в развитии ветроэнергетики в Туркменистане	<b>44</b>	<b>Penjiyev A.M.</b> Geoinformation system in development wind power in turkmenistan	<b>44</b>
<b>Савва Ю.Б.</b> Мониторинг и анализ противоправной деятельности участников виртуальных социальных сетей в контексте решения задачи обеспечения безопасности личности и государства	<b>56</b>	<b>Savva Yu.B.</b> Monitoring and analysis of illegal activity of participants of online social networks in the context of the solution of the problem of safety of the personality and the state	<b>56</b>

<b>Махмуд А.Ш., Поляков В.М.</b> Оценка производительности протоколов маршрутизации мобильных ad-hoc сетей (MANET)	<b>64</b>	<b>Mahmoud A.S., Polyakov V.M.</b> Performance evaluation of routing protocols in mobile ad-hoc networks (MANET)	<b>64</b>
<b>Буханцов А.Д., Дружкова И.В.</b> Об особенностях обнаружения несанкционированных передающих устройств	<b>72</b>	<b>Bukhantsov A.D., Druzhkova I.V.</b> Special aspects of detecting unauthorized transmission devises	<b>72</b>

---

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
COMPUTER SIMULATION HISTORY**

УДК 681.5

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-4-15

Дмитриенко В.Д.  
Заковоротный А.Ю.**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ  
ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**Национальный технический университет  
«Харьковский Политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина  
*e-mail: valdmitrienko@gmail.com, arcade@i.ua***Аннотация**

В работе средствами инволютивных распределений геометрической теории управления получена работоспособная линейная математическая модель движения дизель-поезда с двумя эквивалентными тяговыми электроприводами, которая эквивалентна нелинейной математической модели, описываемой системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений 24-го порядка с четырьмя управлениями. С помощью принципа максимума решены две задачи оптимального управления тяговым приводом: максимального быстродействия и минимизации взвешенной линейной комбинации времени и расходы квадрата управления. Это позволило, с одной стороны, получить для каждого участка железнодорожного пути законы управления, которые определяют минимально необходимое время для преодоления перегона, а с другой стороны, получать законы управления, обеспечивающие график движения и минимизацию расхода топливно-энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** геометрическая теория управления; линейная математическая модель; движение дизель-поезда; принцип максимума; оптимальное управление.

UDC 681.5

Dmitrienko V.D.  
Zakovorotniy A.Yu.**GEOMETRIC CONTROL THEORY IN THE PROBLEM OF OPTIMIZATION  
OF ENERGY CONSUMPTION OF TRACTION ROLLING STOCK**National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»  
21 Frunze St., Kharkov, 308015, Ukraine.**Abstract**

In the course of the study, by means of involutive distributions of geometric control theory, the authors produced a workable linear mathematical model of the motion of a diesel train with two equivalent electric traction drives, which is equivalent to a non-linear mathematical model, described by a system of nonlinear ordinary differential equations of the 24-th order with four controls. With the help of the maximum principle there were resolved two tasks of optimal control of the traction drive: maximum performance and minimization of the weighted linear combination of time and cost control of a square. This allowed, on the one hand, to receive control laws for each section of railway track, that specify the minimum time necessary to overcome the haul, on the other hand, to receive the control laws ensuring the timetable and minimizing the consumption of fuel and energy resources.

**Keywords:** geometric control theory; linear mathematical model; diesel train movement; maximum principle; optimal control.

**Постановка проблемы и анализ литературы**

Одним из основных стратегических направлений государственной политики Украины

в области развития современных видов железнодорожного транспорта является привлечение к их производству отечественных

производителей, что обеспечит уменьшения импортной зависимости Украинских железных дорог от зарубежных поставок подвижного состава [1, 2]. При этом особое внимание уделено, с одной стороны, внедрению современных энергосберегающих технологий, а с другой стороны, рациональному использованию имеющихся энергоресурсов [3]. Последнее решается путем совершенствования уже существующих систем автоматического управления подвижным составом с целью минимизации затрат энергоресурсов при соблюдении графиков движения. Для Украины этот вопрос является актуальным, поскольку расход энергоресурсов на перевозку грузов и пассажиров в нашей стране выше, чем в большинстве развитых стран мира.

Сегодня вопросами создания и совершенствования систем оптимального управления тяговым электроприводом подвижного состава занимается множество специалистов как в Украине, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья. При этом работы этих ученых основываются на теории управления и теории оптимальных систем управления, а также методов динамического программирования, классического вариационного исчисления, принципа максимума Понтрягина, функций Ляпунова, аналитического конструирования Красовского и Летова-Калмана, терминального управления, синтеза робастных систем управления и т.д. [4 – 10]. Но, несмотря на это, в полном объеме проблема оптимального управления тяговым электроприводом подвижного состава не решена и по сей день, поскольку не решена проблема синтеза оптимальных систем управления для объектов с несколькими управлениями, которые описываются нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка. Это, в свою очередь, привело к разработке методов линеаризации исходных нелинейных систем и последующему применению хорошо разработанной теории линейных систем управления [11]. Однако наиболее часто применяемая линеаризация по Тейлору, позволяющая линеаризовать систему в достаточно малой окрестности выбранной рабочей точки, практически неприменима для сложных объектов, описываемых нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений высокого порядка. Но научная привлекательность теории управления линейными системами, которая позволяет

синтезировать оптимальные системы управления для линейных объектов любого порядка, привела к разработке нового метода – геометрической линеаризации, основанного на геометрическом подходе к теории управления, теории групп, дифференциальной геометрии, алгебры Ли и т.д. Успехи этого метода линеаризации легли в основу создания нового научного течения – единой геометрической теории управления [12-14], которая с помощью обратной связи в пространстве «вход-выход» или «вход-состояние» позволяет преобразовывать нелинейные системы высокого порядка с несколькими управлениями в эквивалентные линейные системы. Это становится возможным благодаря декомпозиции исходной нелинейной модели объекта, представленной в некотором пространстве состояний, на ряд независимых линейных подсистем меньшей размерности в канонической форме Бруновского, которые принадлежат соответствующим подпространствам исходного пространства состояний. При этом каждая линейная подсистема уравнений содержит только одно управление [12].

Процесс получения линейного эквивалента для исходной нелинейной системы вида

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{x}) + \sum_{k=1}^m u_k \mathbf{G}_k(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in M \subset R^n, \quad (1)$$

где  $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n)$  – вектор фазовых координат нелинейной системы управления на гладком многообразии  $M$  размерности  $n$ ;  $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ ,  $\mathbf{G}_k(\mathbf{x})$  – гладкие векторные поля на многообразии  $M$ , которые в локальных системах координат имеют вид  $\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n \varphi_j(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_j}$  и  $\mathbf{G}_k(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n \psi_{kj}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_j}$ ;  $\varphi_j(\mathbf{x})$ ,  $\psi_{kj}(\mathbf{x})$ ,  $j = \overline{1, n}$  – гладкие функции векторного аргумента  $\mathbf{x}$ , определенные в локальных системах координат на многообразии  $M$ ;  $u_k$ ,  $k = \overline{1, m}$  – управления, может быть сформулирован следующим образом: необходимо найти такую гладкую замену координат  $\mathbf{z} = \mathbf{z}(\mathbf{x})$ ,  $\mathbf{z} \in R^n$  и управлений  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{u}, \mathbf{x})$ ,  $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ ,  $(\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_m))$ , что система уравнений (1) приводится в новой системе координат к некоторой ей эквивалентной управляемой линейной системе

$$\frac{d\mathbf{z}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{z} + \mathbf{B}\mathbf{v}, \quad \mathbf{z} \in R^n, \quad \mathbf{v} \in R^m, \quad m < n. \quad (2)$$

Здесь матрицы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$  имеют соответственно размеры  $n \times n$  и  $n \times m$  и являются блочно-

диагональными матрицами  
 $\mathbf{A} = \text{blockdiag}[\mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_p, \dots, \mathbf{A}_m]$ ,

$\mathbf{B} = \text{blockdiag}[\mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_p, \dots, \mathbf{B}_m]$ , где

$$\mathbf{A}_p = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}_{q_p \times q_p}; \quad \mathbf{B}_p = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{q_p \times 1}, \quad p = \overline{1, m},$$

где  $q_p$ ,  $p = \overline{1, m}$  – индексы управляемости линейной системы управления (2),  $\sum_{p=1}^m q_p = n$ . При

$m=1$ , т.е. при скалярном управлении, система уравнений (2) сводится к канонической форме:

$$\frac{dz_1}{dt} = z_2; \quad \frac{dz_2}{dt} = z_3; \quad \dots \quad \frac{dz_{n-1}}{dt} = z_n; \quad \frac{dz_n}{dt} = v, \quad (3)$$

получившей название формы Бруновского. В случае векторного управления пространство  $R^n$  представляется в виде прямой суммы подпространств меньшей размерности:  $R^n = \bigoplus_{p=1}^m R^p$ .

При этом, каждое из подпространств  $R^p$  является подпространством состояний для  $p$ -й подсистемы декомпозированной исходной системы в пространстве  $R^n$ . Размерности подпространств, а следовательно, и размерности линейных подсистем в системе управления (2) однозначно определяются индексами управляемости  $q_p$ ,  $p = \overline{1, m}$  линейной системы (2). Каждая линейная подсистема уравнений имеет одно управление и структуру системы уравнений вида (3), где число дифференциальных уравнений равно индексу управляемости. При этом решение, полученное при совместном интегрировании  $m$  независимых линейных подсистем уравнений, являющихся результатом декомпозиции исходной нелинейной системы уравнений в некоторой области  $V_{R^n}$  пространства  $R^n$ , не может в самом общем случае совпадать с решением нелинейной системы (1) в этой же области  $V_{R^n}$ . Для перехода от нелинейной системы уравнений (1) к канонической форме Бруновского необходимо, с одной стороны, определить индексы управляемости  $q_p$  ( $p = \overline{1, m}$ ), а с другой стороны, выполнения дополнительных условия – условия инволютивности распределений  $M^j$  ( $j = \overline{0, n-m}$ ) [12], которые связаны с совместным

интегрированием векторных полей на многообразии  $M$ .

В нашем случае с исходной нелинейной системой (1) связаны распределение  $\Delta_0$  векторных полей  $\mathbf{G}_1(\mathbf{x}), \mathbf{G}_2(\mathbf{x}), \dots, \mathbf{G}_m(\mathbf{x})$   $\Delta_0 = \text{span} \{ \mathbf{G}_1(\mathbf{x}), \mathbf{G}_2(\mathbf{x}), \dots, \mathbf{G}_m(\mathbf{x}) \} = \text{span} \{ \mathbf{G}(\mathbf{x}) \}$ , где  $\text{span}$  – линейная оболочка  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \dots, \mathbf{G}_m$  векторов в точке  $\mathbf{x}$  (минимальное пространство, порожденное этим набором векторов) и распределение  $\Delta_F = \Delta_0 + F = \text{span} \{ \mathbf{F}(\mathbf{x}) + \mathbf{G}(\mathbf{x}) \}$ , где  $\Delta_F$  – распределение, смещенное на поле  $F$  относительно распределения  $\Delta_0$ . С помощью указанных распределений  $\Delta_0$  и  $\Delta_F$  определяется следующие два семейства распределений:

$$\begin{aligned} \Delta^0 &= \Delta_0; & M^0 &= \Delta_0; \\ \Delta^j &= \text{span} \{ \Delta^{j-1}, [\Delta_F, \Delta^{j-1}] \}; & M^j &= \text{span} \{ M^{j-1}, [F, M^{j-1}] \}; \\ \Delta^\infty &= \bigcup_{j=0}^{\infty} \Delta^j; & M^\infty &= \bigcup_{j=0}^{\infty} M^j, \end{aligned}$$

где  $[F, G]$  – скобки Ли двух векторных полей  $F, G$ , это векторное поле, характеризующее степень "связанности" на многообразии  $M$  полей  $F$  и  $G$ . В рассматриваемом случае они характеризуют возможность или ее отсутствие для совместного интегрирования задаваемых векторными полями  $F$  и  $G$  на гладком многообразии  $M$  уравнений в частных производных. Скобки Ли для векторных полей  $F, G$  в матричной форме, определяются следующим образом:

$$[F, G](\mathbf{x}) = \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{F}(\mathbf{x}) - \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{G}(\mathbf{x}),$$

$$\text{где } \frac{\partial \mathbf{G}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \psi_1(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \psi_1(\mathbf{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \psi_n(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \psi_n(\mathbf{x})}{\partial x_n} \end{pmatrix};$$

$$\frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \varphi_1(\mathbf{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi_n(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \varphi_n(\mathbf{x})}{\partial x_n} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{G}(\mathbf{x}) = (\psi_1(\mathbf{x}), \dots, \psi_n(\mathbf{x}))^T;$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = (\varphi_1(\mathbf{x}), \dots, \varphi_n(\mathbf{x}))^T.$$

В случае неинволютивности распределений  $M^j$  ( $j = \overline{0, n-m}$ ) точная линеаризация возможна за счет увеличения размерности пространства и получения инволютивных распределений уже на расширенном пространстве [12].

Теоретически такой подход позволяет преобразовать к линейному виду широкий класс нелинейных систем управления, причем независимо от их размерности, однако его практическое применение, является чрезвычайно сложным и трудоемким, так как требует выполнения большого количества аналитических преобразований: вычисление производных и скобок Ли, а также дифференцирования функций вдоль соответствующих векторных полей на некотором многообразии и т.д., которые не автоматизированы ни в одном из известных пакетов моделирования. В связи с этим, в работах [15–17] были разработаны соответствующие функции для универсального пакета моделирования Matlab, позволяющие автоматизировать сложные аналитические преобразования геометрической линеаризации нелинейных математических моделей объектов, что, в свою очередь, устранило разрыв между теоретическими результатами геометрической теории управления и решением практических задач. Как следствие этого, появилась возможность применения геометрической теории управления для синтеза систем управления

нелинейными объектами высокого порядка с несколькими управлениями. Однако определение оптимальных законов управления в каждой из подсистем не гарантирует оптимальность управления объектом в целом, поэтому необходим анализ полученных результатов оптимизации и, при необходимости, корректировка полученных результатов.

**Цель работы.** Оптимизация законов управления движением дизель-поезда с тяговым электроприводом на основе динамической линеаризации математической модели объекта управления средствами инволютивных распределений геометрической теории управления.

Математическая модель движения дизель-поезда состоящего из трех вагонов [15], учитывающая, с одной стороны, основные виды колебаний вагонов подвижного состава и распределение сил взаимодействия между ними, а с другой стороны, параллельную работу эквивалентных тяговых асинхронных двигателей двух обмоточных вагонов, может быть представлена следующей системой нелинейных дифференциальных уравнений с четырьмя управлениями:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= a_{11}y_2; \\ \frac{dy_2}{dt} &= a_{21}y_4y_{11} + a_{22}y_5y_{10} + a_{23}y_3 + a_{24}; \\ \frac{dy_3}{dt} &= a_{31}y_2 + a_{32}y_{13}; \\ \frac{dy_4}{dt} &= a_{41}y_4 + a_{42}y_5 - y_9y_{10}; \\ \frac{dy_5}{dt} &= a_{51}y_5 + a_{52}y_4 + y_6; \frac{dy_6}{dt} = U_1^* \\ \frac{dy_7}{dt} &= y_8; \\ \frac{dy_8}{dt} &= a_{71} \frac{y_8}{y_{13}} + a_{72}y_{19} + a_{73}y_7; \\ \frac{dy_9}{dt} &= a_{81}y_4y_{11} + a_{82}y_5y_{10} + a_{83}y_9 + a_{84}y_9^2 + a_{85}; \\ \frac{dy_{10}}{dt} &= a_{91}y_{10} + a_{92}y_{11} - y_9y_4; \\ \frac{dy_{11}}{dt} &= a_{101}y_{11} + a_{102}y_{10} + y_{12}; \frac{dy_{12}}{dt} = U_2^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_{13}}{dt} &= a_{111}y_3 + a_{112}y_{14} + a_{113}; \\ \frac{dy_{14}}{dt} &= a_{121}y_{13} + a_{122}y_{15}; \\ \frac{dy_{15}}{dt} &= a_{131}y_{16}y_{23} + a_{132}y_{17}y_{22} + a_{133}y_{14} + a_{134}; \\ \frac{dy_{16}}{dt} &= a_{141}y_{16} + a_{142}y_{17} - y_{21}y_{22}; \\ \frac{dy_{17}}{dt} &= a_{151}y_{17} + a_{152}y_{16} + y_{18}; \frac{dy_{18}}{dt} = U_3^*; \\ \frac{dy_{19}}{dt} &= y_{20}; \\ \frac{dy_{20}}{dt} &= a_{171} \frac{y_{20}}{y_{13}} + a_{172}y_7 + a_{173}y_{19}; \\ \frac{dy_{21}}{dt} &= a_{181}y_{16}y_{23} + a_{182}y_{17}y_{22} + a_{183}y_{21} + a_{184}y_{21}^2 + a_{185}; \\ \frac{dy_{22}}{dt} &= a_{191}y_{22} + a_{192}y_{23} - y_{21}y_{16}; \\ \frac{dy_{23}}{dt} &= a_{201}y_{23} + a_{202}y_{22} + y_{24}; \frac{dy_{24}}{dt} = U_4^* \end{aligned}$$

где  $y_1$  – расстояние, проходимое дизель-поездом и отсчитываемое от начала перегона;  $t$  – время;  $a_{11}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, \dots, a_{192}, a_{201}, a_{202}$  – постоянные коэффициенты, которые учитывают параметры двух эквивалентных приводов обмоточных

вагонов и подвижного состава;  $y_2, y_{13}, y_{15}$  – скорости движения, соответственно первого, второго и третьего вагонов дизель-поезда;  $y_3, y_{14}$  – силы, действующие между соответственно первым и вторым, и вторым и



третьим вагонами поезда;  $y_5, y_{17}$  и  $y_{11}, y_{23}$  – проекции на оси  $\alpha$  и  $\beta$  потокосцеплений статоров эквивалентных двигателей соответственно первого и второго обмоточных вагонов;  $y_6, y_{18}$  и  $y_{12}, y_{24}$  – проекции на оси  $\alpha$  и  $\beta$  напряжений обмоток статоров эквивалентных двигателей соответственно первого и второго обмоточных вагонов;  $y_4, y_{16}$  и  $y_{10}, y_{22}$  – проекции на оси  $\alpha$  и  $\beta$  потокосцеплений роторов эквивалентных двигателей соответственно первого и второго обмоточных вагонов;  $y_9$  и  $y_{21}$  – угловые

скорости вращения роторов двигателей соответственно первого и второго обмоточных вагонов;  $y_7$  – величина бокового отклонения второго вагона;  $y_8, y_{20}$  – промежуточные переменные;  $y_{19}$  – угол виляния второго вагона.

С помощью инволютивных распределений геометрической теории управления в пространстве «вход – состояние» исходная нелинейная математическая модель движения дизель-поезда может быть преобразована к следующей линейной системе в канонической форме Бруновского:

$$\frac{dz_i}{dt} = z_{i+1}, \quad i = \overline{1, 23}, \quad i \neq 6, 12, 18; \quad \frac{dz_6}{dt} = v_1; \quad \frac{dz_{12}}{dt} = v_2; \quad \frac{dz_{18}}{dt} = v_3; \quad \frac{dz_{24}}{dt} = v_4, \quad (4)$$

где  $v_j$  ( $j = \overline{1, 4}$ ) – управления.

Для данной математической модели определяются функции  $T_j(\mathbf{y}) = T_j(y_1, y_2, \dots, y_{24})$  ( $j = \overline{1, 4}$ ), преобразующие переменные исходной нелинейной модели объекта управления в переменные линейной модели в форме Бруновского:  $z_1 = T_1(\mathbf{y})$ ;  $z_7 = T_2(\mathbf{y})$ ;  $z_{13} = T_3(\mathbf{y})$ ;  $z_{19} = T_4(\mathbf{y})$ . Методика определения этих функций описана в работах [12, 15 – 17]. Из этих функций путем последовательного дифференцирования

можно получить выражения для определения переменных:  $z_2, z_3, z_4, z_5$  из функции  $T_1(\mathbf{y})$ ;  $z_8, z_9, z_{10}, z_{11}$  из функции  $T_2(\mathbf{y})$ ;  $z_{14}, z_{15}, z_{16}, z_{17}$  из функции  $T_3(\mathbf{y})$ ;  $z_{20}, z_{21}, z_{22}, z_{23}$  из функции  $T_4(\mathbf{y})$ . Благодаря этому были получены функции, связывающие переменные в линейной и нелинейной моделях.

Для первой подсистемы уравнений в форме Бруновского получено

$$\begin{aligned} z_1 &= y_1; \quad z_2 = \frac{dz_1}{dt} = a_{11}y_2; \quad z_3 = \frac{dz_2}{dt} = a_{11}(a_{24} + a_{23}y_3 + a_{21}y_{11}y_4 + a_{22}y_{10}y_5); \\ z_4 &= \frac{dz_3}{dt} = a_{11}a_{23}(a_{32}y_{13} + a_{31}y_2) + a_{11}a_{21}y_{11}(a_{41}y_4 + a_{42}y_5 - y_{10}y_9) + a_{11}a_{22}y_5(a_{91}y_{10} + a_{92}y_{11} - y_4y_9) + \\ &\quad + a_{11}a_{21}y_4(y_{12} + a_{102}y_{10} + a_{101}y_{11}) + a_{11}a_{22}y_{10}(y_6 + a_{52}y_4 + a_{51}y_5); \\ z_5 &= \frac{dz_4}{dt} = a_{11}(y_{12} + a_{102}y_{10} + a_{101}y_{11})(a_{101}a_{21}y_4 + a_{21}a_{41}y_4 + a_{21}a_{42}y_5 + a_{22}a_{92}y_5 - a_{21}y_{10}y_9) - a_{11}(a_{21}y_{10}y_{11} + a_{22}y_4y_5) \cdot \\ &\quad \cdot (a_{84}y_9^2 + a_{83}y_9 + a_{85} + a_{81}y_{11}y_4 + a_{82}y_{10}y_5) + a_{11}(y_6 + a_{52}y_4 + a_{51}y_5)(a_{21}a_{42}y_{11} + a_{22}a_{51}y_{10} + a_{22}a_{91}y_{10} + a_{22}a_{92}y_{11} - \\ &\quad - a_{22}y_4y_9) + a_{11}(a_{41}y_4 + a_{42}y_5 - y_{10}y_9)(a_{21}y_{12} + a_{102}a_{21}y_{10} + a_{101}a_{21}y_{11} + a_{21}a_{41}y_{11} + a_{22}a_{52}y_{10} - a_{22}y_5y_9) + a_{11}(a_{91}y_{10} + \\ &\quad + a_{92}y_{11} - y_4y_9)(a_{22}y_6 + a_{102}a_{21}y_4 + a_{22}a_{52}y_4 + a_{22}a_{51}y_5 + a_{22}a_{91}y_5 - a_{21}y_{11}y_9) + a_{11}a_{23}a_{32}(a_{113} + a_{112}y_{14} + a_{111}y_3) + \\ &\quad + a_{11}a_{23}a_{31}(a_{24} + a_{23}y_3 + a_{21}y_{11}y_4 + a_{22}y_{10}y_5). \end{aligned}$$

Для второй подсистемы уравнений в форме Бруновского получено

$$\begin{aligned} z_7 &= y_7; \quad z_8 = \frac{dz_7}{dt} = y_8; \quad z_9 = \frac{dz_8}{dt} = (a_{71}y_8 + a_{72}y_{13}y_{19} + a_{73}y_{13}y_7) / y_{13}; \\ z_{10} &= \frac{dz_9}{dt} = (a_{71}^2y_8 + a_{72}y_{13}^2y_{20} + a_{73}y_{13}^2y_8 - a_{113}a_{71}y_8 + a_{71}a_{72}y_{13}y_{19} - a_{112}a_{71}y_{14}y_8 - a_{111}a_{71}y_3y_8 + a_{71}a_{73}y_{13}y_7) / y_{13}^2; \end{aligned}$$

$$z_{11} = \frac{dz_{10}}{dt} = a_{72}(a_{171}y_{20} + a_{173}y_{13}y_{19} + a_{172}y_{13}y_7)/y_{13} - ((a_{71}y_8 + a_{72}y_{13}y_{19} + a_{73}y_{13}y_7)(a_{113}a_{71} - a_{73}y_{13}^2 - a_{71}^2 + a_{112}a_{71}y_{14} + a_{111}a_{71}y_3))/y_{13}^3 + (a_{71}(a_{113} + a_{112}y_{14} + a_{111}y_3)(2a_{113}y_8 - 2a_{71}y_8 - a_{72}y_{13}y_{19} + 2a_{112}y_{14}y_8 + 2a_{111}y_3y_8 - a_{73}y_{13}y_7))/y_{13}^3 + (a_{71}a_{72}y_{20})/y_{13} + (a_{71}a_{73}y_8)/y_{13} - (a_{112}a_{71}y_8(a_{121}y_{13} + a_{122}y_{15}))/y_{13}^2 - (a_{111}a_{71}y_8(a_{32}y_{13} + a_{31}y_2))/y_{13}^2.$$

Аналогично получены функции, подсистемы уравнений в канонической форме связывающие переменные в линейной и Бруновского получено: нелинейной моделях для третьей и четвертой

$$z_{13} = y_{13}; \quad z_{14} = \frac{dz_{13}}{dt} = a_{113} + a_{112}y_{14} + a_{111}y_3; \quad z_{15} = \frac{dz_{14}}{dt} = a_{112}a_{121}y_{13} + a_{112}a_{122}y_{15} + a_{111}a_{32}y_{13} + a_{111}a_{31}y_2;$$

$$z_{16} = \frac{dz_{15}}{dt} = (a_{112}a_{121} + a_{111}a_{32})(a_{113} + a_{112}y_{14} + a_{111}y_3) + a_{112}a_{122}(a_{134} + a_{133}y_{14} + a_{131}y_{16}y_{23} + a_{132}y_{17}y_{22}) + a_{111}a_{31}(a_{24} + a_{23}y_3 + a_{21}y_{11}y_4 + a_{22}y_{10}y_5);$$

$$z_{19} = y_{19}; \quad z_{20} = \frac{dz_{19}}{dt} = y_{20}; \quad z_{21} = \frac{dz_{20}}{dt} = (a_{171}y_{20} + a_{173}y_{13}y_{19} + a_{172}y_{13}y_7)/y_{13};$$

$$z_{22} = \frac{dz_{21}}{dt} = (a_{171}^2y_{20} + a_{173}y_{13}^2y_{20} + a_{172}y_{13}^2y_8 - a_{113}a_{171}y_{20} + a_{171}a_{173}y_{13}y_{19} - a_{112}a_{171}y_{14}y_{20} - a_{111}a_{171}y_{20}y_3 + a_{171}a_{172}y_{13}y_7)/y_{13}^2;$$

Таким образом, исходная нелинейная математическая модель движения дизель-поезда 24-го порядка была разбита на четыре независимых линейных подсистем шестого порядка в канонической форме Бруновского, каждая из которых содержит только одно управление.

Линейная математическая модель объекта управления в форме Бруновского состоит из четырех одинаковых по внешнему виду подсистем дифференциальных уравнений, которые описывают эквивалентные асинхронные электроприводы двух обмоточных вагонов дизель-поезда. Поскольку электроприводы в обмоточных вагонах в первом приближении можно рассматривать как одинаковые, то будем определять оптимальные управления только для одного эквивалентного асинхронного привода, управление которым осуществляется путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. Так как при управлении тяговым приводом часто выдерживают определенные соотношения между амплитудой и частотой питающего напряжения (например, отношение амплитуды к частоте равно константе), то можно осуществлять поиск только одного из управлений, например, амплитуды питающего напряжения.

В зависимости от требований, предъявляемых к движению состава, можно

сформулировать две основных задачи оптимального управления тяговым приводом: максимального быстродействия и минимизации взвешенной линейной комбинации времени и расхода квадрата управления.

Решим вначале с помощью принципа максимума Понтрягина задачу максимального быстродействия. Поскольку линейная модель объекта управления в форме Бруновского (4) состоит из четырех одинаковых по внешнему виду подсистем дифференциальных уравнений, то можно рассматривать определение управления  $v_1$ , минимизирующего функционал

$$J = \int_{t_0}^{t_1} dt, \quad (5)$$

где  $t_0$  и  $t_1$  – начало и конец интервала управления, только для одной из подсистем – первой:

$$\frac{dz_k}{dt} = z_{k+1}, \quad k = \overline{1, 5}; \quad \frac{dz_6}{dt} = v_1. \quad (6)$$

Необходимо найти управление  $v_1$ , минимизирующее функционал (5) при переводе объекта (6) из начального состояния  $z_i(t_0) = 0, i = \overline{1, 6}$  в конечное состояние  $z_1(t_1) = L, z_j(t_1) = 0, j = \overline{2, 5}$ . При этом на управление  $v_1$  наложены ограничения:

$$v_{1\min} \leq v_1 \leq v_{1\max}; v_{1\min} \leq 0, v_{1\max} > 0. \quad (7)$$

$$H(z_i(t), \psi_i(t), v_1) = \psi_1 z_2 + \psi_2 z_3 + \psi_3 z_4 + \psi_4 z_5 + \psi_5 z_6 + \psi_6 v_1 + \psi_0 z_0, \quad i = \overline{0, 6}; \quad (8)$$

$$H(z_i(t), \psi_i(t), v_1) = \max_{v_1 \in G} H(z_i(t), \psi_i(t), v_1),$$

где  $z_0 \equiv 1$  – дополнительная фазовая переменная, учитывающая наличие функционала (5);  $\psi_i (i = \overline{0, 6})$  – сопряженные переменные;  $G$  – область допустимых управлений, задаваемая неравенствами (7).

В силу линейности гамильтониана (8) по отношению к управлению  $v_1$  получаем, что он достигает своего максимального значения при условии, что управление  $v_1$  по своему знаку противоположно сопряженной переменной  $\psi_6$ :

$$v_1 = \begin{cases} v_{1\max} \psi_6, & \text{при } \psi_6 > 0, \\ v_{1\min} \psi_6, & \text{при } \psi_6 < 0. \end{cases} \quad (9)$$

Сопряженные переменные  $\psi_i (i = \overline{0, 6})$  определяются из системы дифференциальных уравнений

$$\frac{d\psi_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z_i}, \quad \psi_i(t_1) = \psi_{i1}, \quad i = \overline{0, 6}, \quad (10)$$

где  $\psi_i(t_1) (i = \overline{0, 6})$  – значения сопряженных переменных в конечный момент интервала управления.

Выполняя дифференцирование правых частей уравнений (10), с учетом выражения (8), получим:

$$\frac{d\psi_0}{dt} = 0; \quad \frac{d\psi_1}{dt} = 0; \quad \frac{d\psi_2}{dt} = -\psi_1; \quad \frac{d\psi_3}{dt} = -\psi_2; \quad \frac{d\psi_4}{dt} = -\psi_3; \quad \frac{d\psi_5}{dt} = -\psi_4; \quad \frac{d\psi_6}{dt} = -\psi_5. \quad (11)$$

Интегрируя дифференциальные уравнения (11), найдем сопряженные переменные:

$$\begin{aligned} \psi_0 &= c_0; \quad \psi_1 = c_1; \quad \psi_2 = -c_1 t + c_2; \quad \psi_3 = \frac{c_1}{2} t^2 - c_2 t + c_3; \quad \psi_4 = -\frac{c_1}{6} t^3 + \frac{c_2}{2} t^2 - c_3 t + c_4; \\ \psi_5 &= \frac{c_1}{24} t^4 - \frac{c_2}{6} t^3 + \frac{c_3}{2} t^2 - c_4 t + c_5; \quad \psi_6 = -\frac{c_1}{120} t^5 + \frac{c_2}{24} t^4 - \frac{c_3}{6} t^3 + \frac{c_4}{2} t^2 - c_5 t + c_6, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $c_k (k = \overline{0, 6})$  – константы.

Так как константы  $c_i (i = \overline{0, 6})$  неизвестны, то применение принципа максимума Понтрягина приводит на этом этапе к качественному описанию изменения управления. Поскольку функция  $\psi_6(t)$  может менять знак не более пяти раз, то и управление  $v_1$  может иметь не более пяти изменений знака управления, т.е. не более шести интервалов постоянства управления. Однако в рассматриваемом случае решение существенно упрощается, поскольку при ровном участке железнодорожного пути перевозка пассажиров дизель-поездом начинается с разгона, достижения максимальной скорости, движения с этой скоростью, а затем – торможение и остановка, то есть наблюдается только два интервала постоянства управления. Время переключения с одного постоянного управления на другое может быть определено с помощью

$$H(z_i(t), \psi_i(t), v_1) = \psi_1 z_2 + \psi_2 z_3 + \psi_3 z_4 + \psi_4 z_5 + \psi_5 z_6 + \psi_6 v_1 + (1 + k_v v_1^2) \psi_0, \quad i = \overline{0, 6};$$

итерационной процедуры. Переменный профиль пути на равнинной местности не вносит существенных изменений в закон управления, однако время переключения с одного управления на другое может изменяться и может не быть интервала времени с постоянной скоростью движения.

При решении задачи минимизации взвешенной линейной комбинации времени движения и расхода квадрата управления, объект управления описывается системой уравнений (6), а управление определяется из условия минимума функционала:

$$J = \int_0^{t_1} (1 + k_v v_1^2) dt, \quad (13)$$

где  $k_v$  – постоянный коэффициент.

Основные соотношения принципа максимума Понтрягина имеют вид:

$$\begin{aligned}
 H(z_i(t), \psi_i(t), v_1) &= \max_{v_1 \in G} (H(z_i(t), \psi_i(t), v_1)), \quad i = \overline{0, 6}; \\
 \frac{dz_i}{dt} &= \frac{\partial H}{\partial \psi_i}, \quad z_i(t_0) = 0, \quad i = \overline{1, 6}; \quad z_1(t_1) = L; \quad z_i(t_1) = z_{i1}, \quad i = \overline{2, 6}; \\
 \frac{d\psi_i}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial z_i}, \quad \psi_i(t_1) = \psi_{i1}, \quad i = \overline{0, 6},
 \end{aligned} \tag{14}$$

где  $G$  – область допустимых управлений, задаваемая неравенствами (7);  $z_i(t_0)$ ,  $z_i(t_1)$  – значения фазовых переменных соответственно в начальный и конечный момент времени  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $i = \overline{1, 6}$ ;  $\psi_i(t_1)$  – значения сопряженных переменных в конечный момент времени  $t_1$ ,  $i = \overline{0, 6}$ .

Сопряженные переменные  $\psi_i(t)$ ,  $i = \overline{0, 6}$ , как и в задаче максимального быстродействия, определяются соотношениями (11).

Если управление  $v_1$  в режиме тяги находится внутри допустимой области управлений  $G$ , тогда справедливо соотношение

$$\Phi = \frac{\partial H}{\partial v_1} = \psi_6 + 2k_v v_1 \psi_0 = 0, \quad v_1 = -\frac{\psi_6}{2k_v \psi_0} < v_{1\max}.$$

По основной теореме принципа максимума [18] вектор сопряженных переменных  $\vec{\psi} = (\psi_0, \psi_1, \dots, \psi_4)$  определен с точностью до произвольного постоянного положительного множителя и  $\psi_0(t) = \text{const} < 0$  (ситуация аномальных вариационных задач, когда  $\psi_0(t) = 0$ , не рассматривается, поскольку решаемая задача к этому классу не относится), поэтому можно принять:  $\psi_0 \equiv -1$ .

В рассматриваемой задаче в интервале времени управления режимом тяги выполняется равенство

$$H = \max_{u \in G} H(z_i(t), \psi_i(t), v_1) = \text{const} = 0. \tag{15}$$

Имея два интеграла  $H$  и  $\Phi$  уравнений движения, можно с помощью скобок Пуассона получить третий интеграл движения [19]:

$$[H\Phi]_{\Pi} = \sum_{i=1}^6 \left( \frac{\partial H}{\partial z_i} \frac{\partial \Phi}{\partial \psi_i} - \frac{\partial H}{\partial \psi_i} \frac{\partial \Phi}{\partial z_i} \right) = 0 \tag{16}$$

или

$$[H\Phi]_{\Pi} = \psi_5 = 0, \tag{17}$$

где  $[H\Phi]_{\Pi}$  – скобки Пуассона интегралов  $H$  и  $\Phi$  уравнений движения.

Из выражений (12) и (17) следует, что

$$\psi_5 = \frac{c_1}{24} t^4 - \frac{c_2}{6} t^3 + \frac{c_3}{2} t^2 - c_4 t + c_5 = 0, \quad \text{поэтому}$$

$$c_i = 0, \quad i = \overline{1, 5} \quad \text{и} \quad \psi_i = 0, \quad i = \overline{1, 5}.$$

Таким образом, при  $\psi_0 = -1$ ,  $\psi_i = 0, i = \overline{1, 5}$  имеем:

$$H = \psi_6 v_1 - (1 + k_v v_1^2) = 0 \quad \text{и} \quad \psi_6 - 2k_v v_1 = 0. \tag{18}$$

Исключая  $\psi_6$  из выражений (18), получим

$$v_1 = \sqrt{1/k_v}.$$

При малых значениях  $k_v$  управление  $v_1$  в режиме тяги может превосходить  $v_{1\max}$ , т.е. выходить за пределы допустимой области управлений, поэтому оно должно определяться соотношением:

$$v_1 = \begin{cases} \sqrt{1/k_v}, & \text{если } \sqrt{1/k_v} \leq v_{1\max}, \\ v_{1\max}, & \text{если } \sqrt{1/k_v} > v_{1\max}. \end{cases}$$

Определим минимально допустимое значение коэффициента  $k_{v\min}$ , которое имеет смысл использовать в функционале (13):

$$k_{v\min} \geq \frac{1}{v_{1\max}^2}.$$

Следовательно, только при  $k_v > k_{v\min}$  решение рассматриваемой задачи будет отличаться от решения задачи максимального быстродействия.

Исходя из изложенного можно сделать вывод о том, что для уменьшения расхода энергии или топлива, необходимого на перемещение состава с различной загрузкой из начального в конечный пункт назначения за определенное время, машинисту необходимо вести дизель-поезд с минимально возможной скоростью, при которой обеспечивается заданный расписанием график движения по перегону.

Однако знание оптимальных управлений для каждой головки дизель-поезда не гарантирует оптимального управления всем составом, что подтверждается и практикой эксплуатации. Как показывает практика движения дизель-поездов ДЭЛ-02 на маршрутах пригородного сообщения Одесской железной дороги при перевозке

пассажирам на равнинной местности (когда переменный профиль пути не вносит существенных изменений в закон управления), расход энергоресурсов при ведении подвижного состава с помощью двух головок дизель-поезда, работающих синхронно на одинаковых позициях контроллера машиниста, выше, чем при ведении состава на одной головке поезда с полностью выключенной второй головкой (в летний период года), или с частично включенной второй головкой (в зимний период), когда необходима выработка энергии для внутренних нужд поезда и обогрева вагонов. При этом меньший расход энергоресурсов наблюдается даже несмотря на то, что машинисту приходится осуществлять более интенсивный разгон состава на одной головке с помощью более высоких тяговых позиций контроллера машиниста до большей скорости движения, а также осуществлять интенсивное торможение для выдерживания времени, связанного с расписанием движения поезда по данному маршруту.

Рассмотрим примеры движения дизель-поезда между двумя станциями маршрута на равном участке железнодорожного пути длиной  $L = 3$  км за время  $t = 5$  мин с учетом действующих ограничений на скорость ( $V \leq 50$  км/ч) и максимальное значение ускорения  $a$  при ведении подвижного состава связанных с комфортом поездки пассажиров в режимах разгона и торможения ( $-1 \div -0.7 \text{ м/с}^2 \leq a \leq 0.7 \div 1 \text{ м/с}^2$ ). На рис. 1 представлены графики изменения во времени позиций тягового ( $N_{\text{КМ}}$ ) и тормозного ( $N_{\text{ТКМ}}$ ) контроллеров машиниста, скорости движения первого, второго и третьего вагонов дизель-поезда ( $V_1 \equiv y_2, V_2 \equiv y_{13}, V_3 \equiv y_{15}$ ), ускорения первого вагона поезда ( $a$ ), пройденного пути ( $S \equiv y_1$ ), силы, действующие между первым и вторым ( $F_{12} \equiv y_3$ ), и вторым и третьим вагонами поезда ( $F_{23} \equiv y_{14}$ ), а также расходов энергии ( $E$ ) потребленной дизель-поездом при движении

между двумя станциями. При этом на рис. 1, а, в представлены графики процессов при одновременном использовании в процессе движения двух моторных вагонов дизель-поезда, работающих синхронно на 1-3 позициях тягового контроллера машиниста в режиме разгона поезда (с 0 по 80 сек) и на 2 позиции в режиме поддержания заданной максимальной скорости ( $V = 50$  км/ч) движения (с 81 по 245 сек), а на рис. 1, б, г – при использовании одного моторного вагона дизель-поезда работающей на 1-6 позициях тягового контроллера машиниста в режиме разгона поезда (с 0 по 145 сек) и на 4 позиции в режиме поддержания заданной максимальной скорости ( $V = 50$  км/ч) движения (с 146 по 245 сек).

Как видно из графиков на рис. 1 расход энергии  $E$  при ведении подвижного состава с помощью двух обмоторенных вагонов дизель-поезда, работающих синхронно на одинаковых позициях контроллера машиниста выше, чем при ведении состава с помощью одного обмоторенного вагона поезда с полностью выключенным вторым обмоторенным вагоном. Это связано с тем, что на нижних позициях контроллера машиниста к.п.д. использования топлива для реализации управления меньше чем на высших позициях контроллера машиниста. Так, например, суммарная мощность, которая вырабатывается двумя тяговыми генераторами дизель-поезда ДЭЛ-02 для реализации второй позиции контроллера машиниста при поддержании скорости движения поезда  $V_1 = 50$  км/ч (рис. 1, а, с 81 по 245 сек), при условии синхронного использования двух обмоторенных вагонов, выше, чем мощность, которую вырабатывает тяговый генератор первого обмоторенного вагона дизель-поезда для реализации четвертой позиции контроллера машиниста (рис. 1, б, с 146 по 245 сек) при поддержании той же скорости движения подвижного состава (табл. 1).

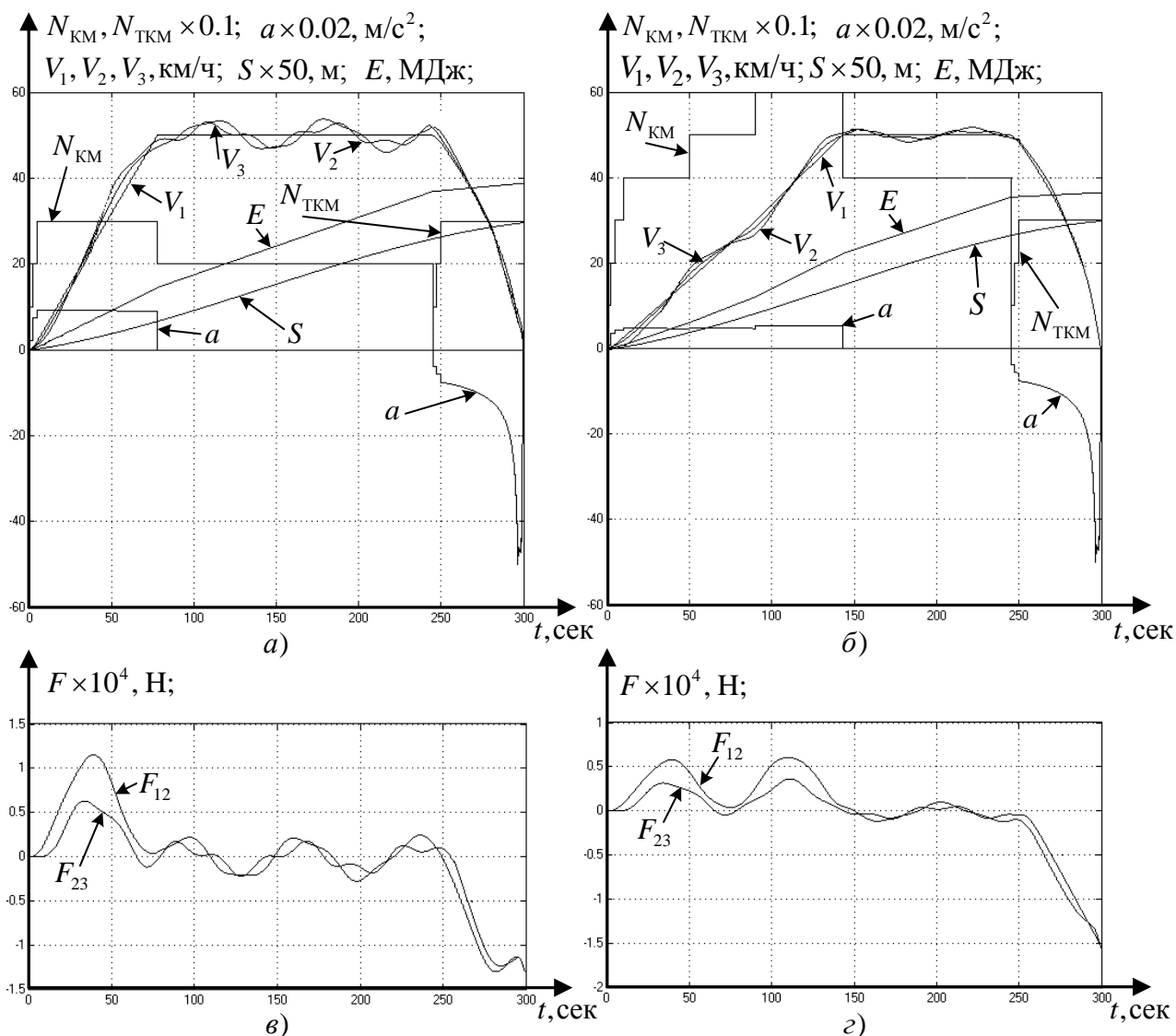


Рис. 1. Графики полученные при движении дизель-поезда на равном участке пути с использованием: а, в – двух тяговых головок (синхронно); б, г – одной тяговой головки

Fig. 1. Graphs of a diesel train moving on the level track with the use of: а, в – 2 traction drives (in synchronism); б, г – one traction drive

Таблица 1

Частота вращения ( $n_d$ ) и тягового генератора ( $P_r$ ) по позициям контроллера машиниста (КМ)

Table 1

Rotation rate ( $n_d$ ) and traction generator ( $P_r$ ) by reference to the main controller (KM)

Позиция КМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$n_d, \text{мин}^{-1}$	800	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2100
$P_r, \text{кВт}$	83	83	128	190	246	333	386	432	472

Следовательно, необходима модификация метода оптимизации энергозатрат тягового подвижного состава, связанная с введением дополнительного этапа поиска оптимальных управлений, т.е. оптимизацию необходимо проводить в несколько этапов, один из которых предполагает поиск оптимальных управлений на уровне тяговых электроприводов обмоточных

вагонов дизель-поезда, а другой, оптимизацию на уровне движения всего состава по железнодорожным перегонам.

### Заключение

Средствами инволютивных распределений геометрической теории управления получена работоспособная линейная математическая

модель движения дизель-поезда с двумя эквивалентными тяговыми электроприводами, которая эквивалентна нелинейной математической модели, описываемой системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений 24-го порядка с четырьмя управлениями. Число уравнений в этой модели, по меньшей мере, в пять раз больше, чем в известных примерах, где применяется геометрическая теория управления. С помощью полученной модели и принципа максимума Понтрягина решены две задачи оптимального управления дизель-поездом.

### Список литературы

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки / Міністерство транспорту та зв'язку України, Державна Адміністрація залізничного транспорту України. Київ, 2009. 299 с.

2. Розпорядження «Транспортна стратегія України на період до 2020 р.», схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p> (дата обращения: 18.03.2016).

3. Проект «Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р.» URL: <http://mtu.gov.ua/projects/view.php?P=23> (дата обращения: 13.10.2016).

4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т. 5: Методы современной теории управления / [под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 784 с.

5. Скалозуб В.В. Оптимизация режимов ведения поездов на основе непрерывного динамического программирования / В.В. Скалозуб, К.И. Железнов // Математичне моделювання. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2002. № 2. С. 32-36.

6. Aseev S.M. The Pontryagin maximum principle and transversality conditions for a class of optimal control problems with infinite time horizons / S.M. Aseev, A.V. Kryazhinskii. SIAM. Control Optim. 2004. P. 1094-1119.

7. Пропой А.И. О построении функций Ляпунова / А.И. Пропой // Автоматика и телемеханика. М.: Наука. 2000. № 6. С. 61-69.

8. Мезенцев Н.В. Новые модификации метода АКОР для случая нелинейного вхождения управлений / Н.В. Мезенцев // Вісник НТУ «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ». 2007. № 39. С. 119-124.

9. Поляк Б.Ф. Робастная устойчивость и управление / Б.Ф. Поляк, П.С. Щербаков. М.: Наука. 2002. 303 с.

10. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. Изд. 2. / Д.П. Ким. М.: Физматлит, 2007. 312 с.

11. Краснощёченко В.И. Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / В.И. Краснощёченко, А.П. Грищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2005. 520 с.

12. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Изд. 2. / Д.П. Ким. М.: Физматлит, 2007. 440 с.

13. Kim D.P. Automatic Control. Theory Nonlinear and Multivariable System / D.P. Kim. Seoul: Harnol, 2000. 558 p.

14. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. Х.: Изд. центр «НТМТ», 2013. 248 с.

15. Дмитриенко В.Д. Разработка программных средств для автоматизации преобразований нелинейных систем к эквивалентным линейным в форме Бруновского / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, А.О. Нестеренко // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ». 2014. № 35 (1078). С. 59-72.

16. Дмитриенко В.Д. Автоматизация символьных вычислений в процессе преобразования нелинейных моделей объектов к эквивалентным линейным / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems. Baku, 2014. Vol. XXXIV. № 6. С. 130-139.

17. Дмитриенко В.Д. Синтез оптимальных законов управления движением дизель-поезда с помощью математической модели в форме Бруновского / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, Н.В. Мезенцев // Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків, 2010. № 5-6 (84-85). С. 7-13.

18. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и томах. Т.4: Теория оптимальных систем автоматического управления / [под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 744 с.

19. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. В 10 томах / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц // Т.1. Механика. М.: Наука, 1988. 215 с.

### References

1. Comprehensive Program of Updating of the Rolling Stock in Ukraine in 2008-2020 years / The Ministry of Transport and Communications of Ukraine, The State Administration of Railway Transport of Ukraine. Kyiv, 2009. 299 p.

2. The Order «Transport Strategy of Ukraine till 2020», approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine on October 20, 2010 p. № 2174. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p> (date of access: March 18, 2016).

3. The «Strategic Plan for the Development of Railway transport till 2020» URL: <http://mtu.gov.ua/projects/view.php?P=23> (date of access: October 13, 2016).

4. Methods of the Classical and Modern Control Theory: Textbook in 5 volumes. Vol. 5: Methods of modern control theory / [ed. K.A. Pupkov, N.D. Egupov]. M.: MGTU im. Baumana, 2004. 784 p.

5. Skalozub V.V. Optimization of Reference Trains Regimes on the Basis of Continuous Dynamic Programming / V.V. Skalozub, K.I. Zhelezov // Mathematical modeling. Dnipropetrovsk: DDTU, 2002. № 2. Pp. 32-36.

6. Aseev S.M. The Pontryagin Maximum Principle and Transversality Conditions for a Class of Optimal Control Problems with Infinite Time Horizons / S.M. Aseev, A.V. Kryazhimskii. SIAM. Control Optim. 2004. Pp. 1094-1119.

7. Propoy A.I. On the Construction of Lyapunov Functions / A.I. Propoy // Automation and Remote Control. M.: Nauka. 2000. № 6. Pp. 61-69.

8. Mezentsev N.V. New Modifications of ACOR Method for the Case of Occurrence of Nonlinear Controls / N.V. Mezentsev // News of NTU «KhPI». Kharkiv: NTU «KhPI». 2007. № 39. Pp. 119-124.

9. Polyak B.F. Robust Stability and Control / B.F. Polyak, P.S. Shcherbakov. M.: Nauka. 2002. 303 p.

10. Kim D.P. The Theory of Automatic Control. Vol.1. Linear Systems. Ed. 2 / D.P. Kim. M.: FIZMATLIT, 2007. 312 p.

11. Krasnoschechenko V.I. Nonlinear Systems: The Geometric Method of Analysis and Synthesis / V.I. Krasnoschëchenko, A.P. Grishchenko. M.: MGTU im Baumana. 2005. 520 p.

12. Kim D.P. The Theory of Automatic Control. Vol.2. Multi-dimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems. Ed. 2 / D.P. Kim. M.: FIZMATLIT, 2007. 440 p.

13. Kim D.P. Automatic Control. Theory Nonlinear and Multivariable System / D.P. Kim. Seoul: Harnol, 2000. 558 p.

14. Dmitrienko V.D. Modelling and Optimization of Management Processes of Diesel-trains / V.D. Dmitrienko, A.Y. Zakovorotniy. Kharkov: HTMT, 2013. 248 p.

15. Dmitrienko V.D. Development of Software for Automating Transformations of Nonlinear Systems Equivalent to the Linear Form of Brunovsky / V.D. Dmitrienko, A.Y. Zakovorotniy, S.A. Nesterenko // Vestnik NTU «KhPI». Series: Information and Simulation. Kharkov: NTU «KhPI». 2014. № 35 (1078). Pp. 59-72.

16. Dmitrienko V.D. Automation of Symbolic Computation in the Process of Conversion of Non-linear Models of Objects to the Equivalent Linear / V.D. Dmitrienko, A.Y. Zakovorotniy // Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems. Baku, 2014. Vol. XXXIV. № 6. Pp. 130-139.

17. Dmitrienko V.D. Synthesis of Optimal Control Laws in Diesel Train Movement by Means of a Mathematical Model in the Form of Brunovsky / V.D. Dmitrienko, A.Y. Zakovorotniy, N.V. Mezentsev // Scientific and technical journal «Information management systems for rail transport». Kharkov, 2010. № 5-6 (84-85). Pp. 7-13.

18. Methods of Classical and Modern Control Theory: Textbook in 5 volumes. Vol. 4: The theory of optimal systems of automatic control / [ed. K.A. Pupkov, N.D. Egupov]. M.: MGTU im Bauman, 2004. 744 p.

19. Landau L.D. Theoretical Physics. The 10 volumes / L.D. Landau, E.M. Livshits // Vol.1. Mechanics. M.: Nauka, 1988. 215 p.

**Дмитриенко Валерий Дмитриевич**, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и программирование»

**Заковоротный Александр Юрьевич**, докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника и программирование»

**Dmitrienko Valery**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Computer Engineering and Programming

**Zakovorotniy Alexander**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Engineering and Programming



УДК 519.876.5

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-16-20

Жихарев А.Г.  
Егоров И.А.  
Манзуланич М.Ю.  
Маторин С.И.

**СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,  
г. Белгород, 308015, Россия  
e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 888615@bsu.edu.ru, manzulanich@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

**Аннотация**

В работе рассматриваются основные аспекты системно-объектного имитационного моделирования систем массового обслуживания с применением программного средства UFOModeler. Приводится классическое понимание системы массового обслуживания, рассматриваются варианты формального построения моделей. Основная часть статьи посвящена реализации примера простой системы массового обслуживания, состоящей из двух блоков: очередь и узел обработки. Пример модели рассматривается в терминах подхода «Узел-Функция-Объект».

**Ключевые слова:** система массового обслуживания; функционирующая система; состояние системы; имитационная модель; динамика системы; графоаналитическое моделирование; «UFOModeler».

UDC 519.876.5

Zhikharev A.G.  
Egorov I.A.  
Manzulanich M.Yu.  
Matorin S.I.

**SYSTEM AND OBJECT SIMULATION MODELING OF QUEUING SYSTEMS**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia  
e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 888615@bsu.edu.ru, manzulanich@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

**Abstract**

The article covers the main aspects of the system and object simulation modeling of queuing systems using UFOModeler software. The classical understanding of the queuing system is given; the options of the formal creation of models are considered. The main part of the article is devoted to the implementation of an example of the simple queuing system consisting of two units: a queue and a node of processing. An example of model is reviewed in terms of the "Node-Function-Object" approach.

**Keywords:** system of mass service; the functioning system; a condition of system; imitating model; dynamics of system; graphic-analytical modeling; "UFOModeler".

С системами массового обслуживания (СМО) мы встречаемся повседневно. Любому из нас приходилось когда-то ждать обслуживания в очереди (например, в магазине, на автозаправке, в библиотеке, кафе и т. д.). Аналогичные ситуации возникают при потребности воспользоваться телефонной связью или выполнить свою программу на компьютере. Более того, любое производство можно представить как последовательность систем обслуживания. К типичным системам обслуживания относят также ремонтные и медицинские службы, транспортные

системы, аэропорты, вокзалы и другие. Особое значение приобрели такие системы при изучении процессов в информатике. Это, прежде всего, компьютерные системы, сети передачи информации, ОС, базы и банки данных. Системы обслуживания играют значительную роль в повседневной жизни. Опыт моделирования разных типов дискретных событийных систем свидетельствует о том, что приблизительно 80% этих моделей основаны на СМО [1].

Такие системы можно описать, если задать:

- входящий поток требований или заявок, которые поступают на обслуживание;
- дисциплину постановки в очередь и выбор из нее;
- правило, по которому осуществляется обслуживание;
- выходящий поток требований;
- режимы работы.

Для таких систем применимо дискретно-событийное моделирование – моделирование системы в дискретные моменты времени, когда происходят события, отражающие последовательность изменения состояний системы во времени. В дальнейшем такое

моделирование будем называть имитационным. Рассматриваемые здесь системы являются динамическими, то есть изменяющимися во времени. Поэтому состояние системы, свойства объекта и число активных объектов, параметров, действий и задержек – все они функции по времени и постоянно изменяются в процессе моделирования.

Существуют системы с одним устройством обслуживания, а так же многоканальные системы массового обслуживания. Рассмотрим одноканальную (с одним устройством обслуживания) СМО, показанную на следующем рисунке.

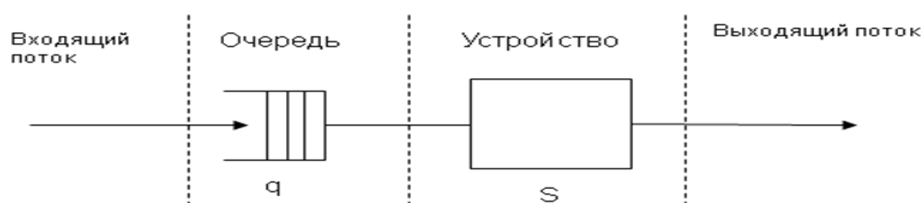


Рис. 1. Структура одноканальной СМО.

Fig. 1. The structure of single-channel system of mass service

Для обозначения СМО используются три параметра:  $X/Y/Z$ , где  $X$  – распределение времени поступления;  $Y$  – распределение времени обслуживания;  $Z$  – число обслуживающих устройств. В теории СМО некоторые аналитические решения были получены для систем вида  $D/D/1$ ,  $M/M/1$  и  $M/G/1$  [2]. Для других значений параметров систем обслуживания аналитические решения не были получены, то есть эта проблема мотивирует использование моделирования.

Самая известная модель – это так называемая СМО типа  $M/M/1$ , где  $M$  – марковские процессы распределения времени поступления и обслуживания с одним устройством. Например, в системе  $M/M/1$  время между двумя поступлениями в систему требований и время обслуживания имеют экспоненциальные распределения. Такая СМО иногда используется как модель для одного процессора компьютерной системы или как стандартное устройство ввода-вывода (например, магнитный диск).

Система  $D/D/1$  – детерминированная система, тогда как  $D/M/1$  – смешанная. Если о системе мало известно, это обозначается как  $G/G/m$ , то есть система с произвольными распределениями и  $m$  устройствами.

Многоканальная СМО (с несколькими одинаковыми устройствами обслуживания) изображена на рис. 2. В отличие от одноканальных СМО многоканальные системы рассчитать сложнее. Теория массового обслуживания позволяет получать аналитические зависимости для расчетов характеристик работы многоканальных СМО в стационарном режиме работы, однако, эти зависимости можно получить только для системы  $M/M/m$ .

Рассмотрим возможности программного комплекса «UFOModeler» [3] с точки зрения разработки имитационных моделей систем массового обслуживания. В его основе лежит метод системного анализа Узел – Функция – Объект (Unit – Function – Object) UFO-подход [4]. Метод UFO-анализа – это подход к системе как функциональному объекту, состоящий в представлении ее в виде трехэлементной конструкции: «Узел–Функция–Объект» (UFO-подход). На основе данного подхода разработан формально-семантический метод UFO-анализа, позволяющий конструировать системно-объектные модели как комбинации UFO-элементов.

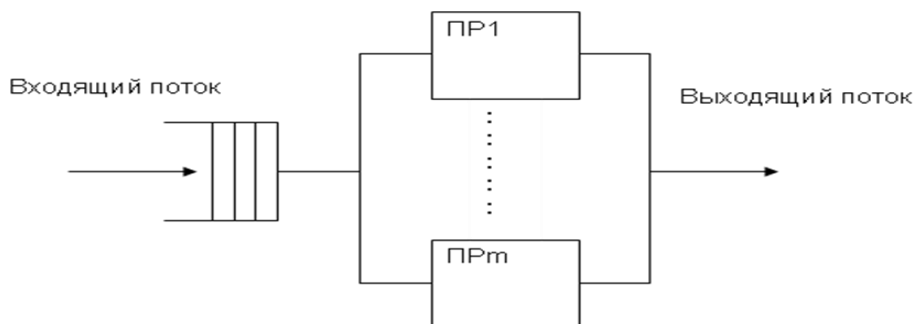


Рис. 2. Структура многоканальной СМО  
Fig. 2. The structure of multichannel system of mass service

Представления об узловых, функциональных и объектных характеристиках системы позволяют описывать системы их как UFO-элементы, т.е. одновременно как «Узлы – Функции – Объекты» и хранить эту информацию в специальных библиотеках UFO-элементов. Это позволяет значительно облегчить работу по моделированию, анализу и оптимизации бизнес-процессов.

Построим с помощью программного обеспечения UFOModeler модель простой системы массового обслуживания – модель работы банковского терминала. В банковском отделении находится терминал. Операции с наличностью клиенты банка производят с помощью банковского терминала. Время обслуживания клиента задано с помощью псевдослучайных чисел в интервале от 1 до 10

минут. При этом в отделении банка каждые 10 минут приходят от 1 до 10 человек (псевдослучайное число) и ждут своей очереди.

Для начала создадим модель и назовем ее «Отделение банка», затем создадим два узла «Очередь» и «Транзакция клиента». Следующим этапом необходимо создать связи. Связи – это всевозможные потоки материи или информации, циркулирующие в моделируемой системе и между системой и окружающей средой. Особенностью UFO-подхода является то, что в нём существует базовая иерархия связей. Связи, которые используются в модели, добавляются в эту иерархию, расширяя её, т.е. каждая новая связь является подвидом существующей. На рисунке ниже представлен результат добавления связей на диаграмму.

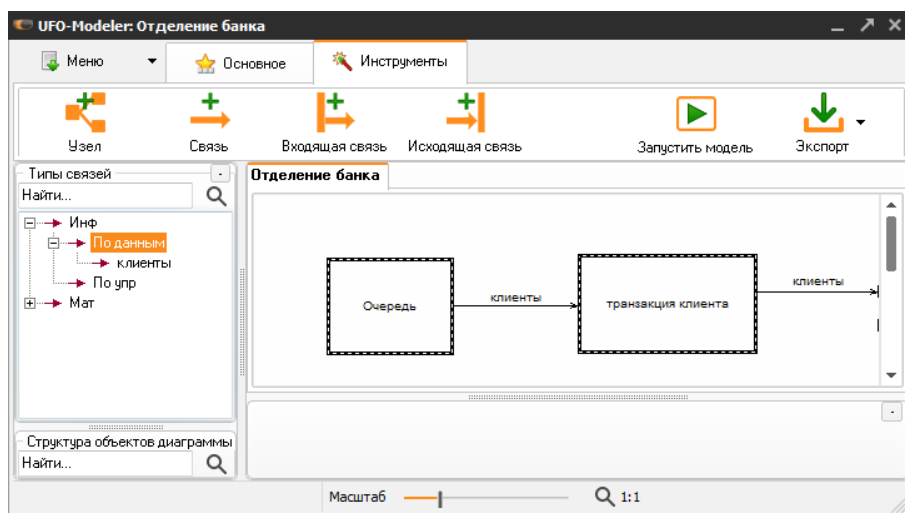


Рис. 3. Представление связей узлов на схеме  
Fig. 3. Connection of nodes on the chart

С точки зрения втекающих и вытекающих потоков/связей, каждая система характеризуется функциональными способностями, обеспечивающими преобразование «втекающих» по

связям ресурсов в «вытекающие» ресурсы. Эти функциональные способности обеспечивают баланс «притока» и «оттока» по функциональным связям узла, занимаемого данной системой. При

этом баланс одного и того же узла может быть обеспечен, в принципе, разными наборами функциональных способностей, т.е. разными функциональными зависимостями выхода от входа. Формальная функциональная характеристика системы является второстепенной и характеризует теоретическую способность (потенциальную возможность) системы сбалансировать определенный узел.

За обработку входящих и исходящих потоков данных узла отвечает функция, описанная с помощью языка УФО-скрипт с внедрением специальных методов для обработки потоков ввода/вывода данных. Таким образом, код функции для узла «Очередь» будет выглядеть следующим образом:

```
var x,i: integer;
begin
x := 0;
i := 0;
while 1>0 do
begin
i := i + 1;
x := x + round(Random * 10);
SetLinkOut('клиенты.срКолво',x / i);
SetLinkOut('клиенты.ожидающие',x);
SetObjProp('#buzу', round(x / i));
if x / i >= 100 then
SetObjProp('#active', true)
else
SetObjProp('#active', false);
delay(10);
end;
```

end.

```
Код функции для узла «Транзакция клиента»:
var ojidanie,obsluj: integer;
percentCount,v: real;
begin
while GetLinkInI('клиенты.ожидающие') > 0 do
begin
if GetLinkInI('клиенты.ожидающие') <> ojidanie
then
begin
percentCount := 100.;
ojidanie := GetLinkInI('клиенты.ожидающие');
v := (1 / ojidanie) * 100;
end;
SetObjProp('#buzу', round(percentCount));
SetObjProp('#active', true);
ojidanie := ojidanie - 1;
obsluj := GetLinkInI('клиенты.обслуженные') + 1;
SetLink('клиенты.ожидающие', ojidanie);
SetLink('клиенты.обслуженные',obsluj);
SetLinkOut('клиенты.обслуженные',obsluj);
percentCount := percentCount - v;
SetObjProp('#buzу', round(percentCount));
if ojidanie = 0 then
SetObjProp('#active', false)
else
SetObjProp('#active', true);
delay(1);
end;
```

Далее необходимо запустить выполнение модели, после чего пользователь увидит процесс работы модели, представленный на рисунке ниже.

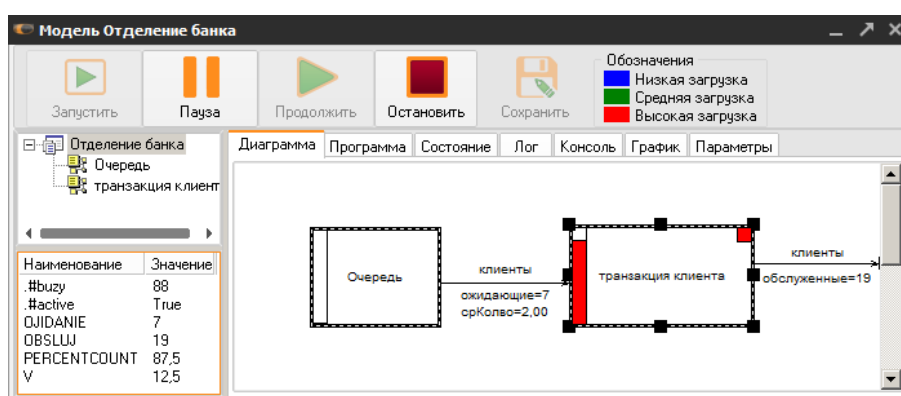


Рис. 4. Симулятор функционирования СМО

Fig. 4. The simulator of the mass service system functioning

Из модели следует, что среднее количество пополнения очереди людьми составляет 2 человека, количество ожидающих обслуживания клиентов составляет 7 человек, количество обслуженных клиентов составляет 19 человек.

При этом полоса слева от блока «Транзакция клиента» отражает загруженность терминала, а полоса слева от блока «Очередь» обозначает среднее количество пополнения очереди.

Из выше описанного примера моделирования СМО можно сделать вывод, что использование формально-семантического метода УФО-анализа, позволяет конструировать системно-объектные модели как комбинации УФО-элементов. Модель, построенная в примере является наглядной и информативной, что позволяет провести анализ модели на визуальном уровне.

#### Список литературы

1. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. — М.: РУДН, 1995. — С. 530.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. — М.: Машиностроение, 1979. — С. 432.
3. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Корчагина К.В. Имитационное моделирование с применением системного подхода и исчисления объектов // Объектные системы – 2016: материалы XII Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 10-12 мая 2016 г.) / Под общ. ред. П.П. Олейника. – Ростов-на-Дону: ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2016, С. 28-33.
4. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets The elements of general theory of the systems in terms of system-object approach of «Unit-Function-Object» // International Journal of Applied Engineering Research – 2015.- Vol. 10 – No. 24.- Pp. 44831-44837.

#### References

1. Bocharov P.P., Pechinkin A.V. Queuing Theory. M.: RUDN, 1995. 530 p.
2. Kleynrok L. Queuing Theory. M.: Mechanical engineering, 1979. 432 p.

3. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Korchagina K.V. Simulation Modeling Using the Systems Concept and Calculation of Objects//Object Systems – 2016: materials of the XII international scientific and practical conference (Rostov-on-Don, on May 10-12, 2016) / ed. by P.P. Oleynik. Rostov-on-Don: ShI (f) YuRGPU (NPI) of M.I. Platov, 2016, Pp. 28-33.

4. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. The elements of general theory of the systems in terms of system-object approach of «Unit-Function-Object» // International Journal of Applied Engineering Research – 2015. Vol. 10 – No. 24. Pp. 44831-44837.

**Жихарев Александр Геннадиевич**, доцент кафедры информационных систем, кандидат технических наук  
**Егоров Илья Александрович**, аспирант кафедры информационных систем

**Манзуланич Максим Юрьевич**, старший преподаватель кафедры информационных систем

**Маторин Сергей Игоревич**, профессор кафедры информационных систем, доктор технических наук, профессор

**Zhikharev Aleksander Gennadievich**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems

**Egorov Ilya Aleksandrovich**, Postgraduate Student, Department of Information Systems

**Manzulanich Maxim Yurievich**, Senior Teacher, Department of Information Systems

**Matorin Sergey Igorevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Systems

UDK 004.415.24

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-21-24

**Lykholob P.G.  
Medvedeva A.A.  
Likhogodina E.C.  
Mishina O.O.**

**RESEARCH OF SENSITIVITY OF SOME MEASURES OF QUALITY  
ASSESSMENT OF HIDDEN INFORMATION IN THE AUDIO CONTENT**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia  
*e-mail: likholob@bsu.edu.ru, medvedeva\_aa@bsu.edu.ru, elza9313@gmail.ru, olgamishina96@gmail.com*

**Abstract**

The paper presents a comparison of some measures of difference between the original signal and the result of the introduction of additional information. The comparison was based on the analysis of the implementation of the results-based steganographic method of spectrum spreading. The paper presents the results of the comparison of some measures of difference based on the analysis of speech signals in their division into segments of equal length.

**Keywords:** speech signals; steganography; measures of differences; correlation coefficient; mean square error; signal-to-noise ratio; Itakura-Saito measure of distance.

УДК 004.415.24

**Лихолоб П.Г.  
Медведева А.А.  
Лихогодина Е.С.  
Мишина О.О.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕКОТОРЫХ МЕР КАЧЕСТВА  
СКРЫТИЯ ИНФОРМАЦИИ В АУДИОДАНЫХ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,  
г. Белгород, 308015, Россия  
*e-mail: likholob@bsu.edu.ru, medvedeva\_aa@bsu.edu.ru, elza9313@gmail.ru, olgamishina96@gmail.com*

**Аннотация**

В статье представлено сравнение чувствительности некоторых мер различия между исходным сигналом и сигналом, полученным в результате добавления дополнительной информации. Сравнение основано на анализе результата реализации стеганографического метода расширения спектра. В данной статье рассмотрены результаты сравнения некоторых мер различия, основанные на анализе речевых сигналов при их разделении на отрезки равной длины.

**Ключевые слова:** речевые сигналы; стеганография; меры различия; коэффициент корреляции; среднее квадратическое отклонение; отношение сигнал/шум; мера расстояния Итакуры-Сайто.

The development of modern information and telecommunication systems is aimed at ensuring the possibility of providing natural human forms of information exchange. One of these forms, the most commonly used, which is convenient for a person, is speech. Modern information systems allow the storage and transmission of voice messages at a distance. The provision of such opportunity led to the rapid development of technology, to ensure the implementation in the audio records of additional information that will not be perceived by human senses. This can be a label date and time, label, confirming the copyright, etc. The introduction of

additional information in such a way that the fact of implementation was discovered, is used in steganography. This aspect describes the basic principle of steganography [2].

In the case of the use as an object, which will be implemented information (container), the speech signal, the result of the implementation, i.e. the stego-container are (the container along with the embedded information), "hearing" should not differ from the original container.

Obviously, the most effective methods of change detection (identifying the degree of change) are the subjective assessment. However, the increasing

demand for stego-algorithms and, as a consequence, the increase in processed speech data leads to the need for automating the process assessment of results of introduction of additional information.

This requires the use of objective methods in some numerical form to assess the degree of difference of speech signals before and after the introduction of additional information.

In addition, for methods that evaluate the quality of the attachment has the following requirements:

- the method must allow expressing the sound quality of a quantitative measure;
- the method should consider the properties of auditory perception;
- the method should not need to use experts, but it is necessary that it should provide the best correlation with subjective evaluations.
- the method should allow to determine the critical level (detection threshold) at which changes caused by the steganographic method of encoding will be noticeable to the ear;
- the method should not depend on parameters of the analyzed signal (sample rate, bit count, etc.), it should equally respond to changes in the time and frequency domains.

Currently, the most widespread use of received methods of evaluating the differences of the compared signals, is based on the analysis of segments of speech signals in the time domain. Using such estimates of the differences as the mean square error (*MSE*), relative error, the signal-to-noise (*SNR*), the correlation coefficient (*cor*), measure the distance Itakura-Saito (distance maximum likelihood, *ISD*). Each of these assessments allows us to identify the differences in the signals. However, they have different sensitivity.

In particular, the mean square error (*MSE*) measures the absolute difference between the energy of segments signals in the time domain [7, 12, 3]:

$$MSE = \sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2, \quad (1)$$

where  $x_n$  – the amplitude of the initial data segment,  $\tilde{x}_n$  – the amplitude of the segment of data containing additional information,  $N$  – the number of samples of the compared segments of the signals.

This measure allows identifying the differences in the envelopes of the amplitudes of the segments of speech signals. The fewer changes can be made when introduction additional information, the closer the value for this score to zero.

However, this estimate does not take into account the energy of the signal itself, and this means that the choice of this evaluation has a difficulty of

choosing a threshold. Therefore it is more likely to use the normalized estimate of the *MSE* to the norm of the original signal [2]:

$$MSE = \sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2 / \sum_{n=1}^N x_n^2. \quad (2)$$

The reaction of this assessment is a similar reaction of *MSE*.

Also, to consider the extent of differences between the original signal and the result of the introduction of additional information it is necessary to make use of the assessment which is sensitive to the time alignment of the compared segments of the signals [7, 12, 3]:

$$SNR = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{n=1}^N x_n^2}{\sum_{n=1}^N (x_n - \tilde{x}_n)^2}. \quad (3)$$

The higher the *SNR* rating, the less changes were made. In case of equality of two segments (source and exposed to changes in coding) the evaluation will be equal to infinity ( $\infty$ ).

To assess the degree of similarity of two segments of data, they often use the mutual energy of these signals, determined by the correlation coefficient [7, 3]:

$$cor = \frac{\sum_{n=1}^N \left( x_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right) \cdot \left( \tilde{x}_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{x}_n \right)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N \left( x_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \right)^2 \cdot \sum_{n=1}^N \left( \tilde{x}_n - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{x}_n \right)^2}}. \quad (4)$$

The closer the correlation value to one, the higher the similarity of the segment of data containing the control information and the source.

All the above estimates calculate the extent of the differences used for comparison the values of samples in the time domain. However, along with changes in the time domain it is also necessary to account for differences in the frequency domain. To do this, we use a measure based on the distance Itakura-Saito [7, 12, 3]:

$$ISD = \int_{-\pi}^{\pi} \left( \frac{|X(v)|^2}{|X(v)|^2} + \ln \frac{|X(v)|^2}{|X(v)|^2} - 1 \right) dv / 2\pi. \quad (5)$$

It is known that the energy of the segment of the signal can be expressed as follows [2,11]:

$$\|\tilde{x}\|^2 = \sum_{n=1}^N x_n^2 = \sum_{r=1}^R \left( \int_{v \in \Omega} |X(v)|^2 dv / 2\pi \right) = \sum_{r=1}^R P_r, \quad (6)$$

where  $P_r$  – the value of the energy of the frequency components of the segment signal.

Then measure based on the distance Itakura-Saito can be represented as:

$$ISJD = \sum_{r=1}^R \Delta \omega_r \cdot \left( \frac{\tilde{P}_r}{P_r} + \ln \frac{P_r}{\tilde{P}_r} - 1 \right) / \pi, \quad (7)$$

where  $\tilde{P}_r$  – the value of the energy of the frequency components of the initial data segment,  $P_r$  – the value of the energy of the frequency components of a segment of data that contains additional information.

Measure is a sense of distance between spectra of the two signals, and estimates the discrepancy between the energy changed and the source of the segment data. In case of equality of the segments of data, the measure becomes zero.

The comparison of the sensitivity estimates was based on the use of one of the most common steganographic methods [12], taking into account the frequency characteristics of the voice signal – the spread-spectrum method.

The method involves adding to the segment of the original speech a signal pseudorandom sequence (SRP) in accordance with expression [4, 8]:

$$\tilde{x} = \bar{x} + \alpha_m \cdot e_m \cdot \bar{u}, \quad (8)$$

where  $\bar{x}$  – the original segment of the data,  $\bar{u}$  – interval corresponding pseudo-random sequence,  $\alpha_m$  – the weighting factor,  $e_m$  – a code mapping binary bits of the control information determined by the equation:

$$e_m = 2e_m - 1, \quad m = 1, \dots, M, \quad (9)$$

where  $e_m$  – bits of the control information in the binary system,  $e_m \in \{0, 1\}$ ,  $M$  – the amount of secretly encoded control information,  $e_m$  – a code mapping binary bits of the control information,  $e_m \in \{-1, 1\}$ ,  $m$  – the sequence number of bits of control information.

Weight coefficient  $\alpha_m$  determines the secrecy of the system. In [10] it is proposed to choose is equal to:

$$\alpha_m = \frac{\langle \bar{x}, \bar{u} \rangle}{\|\bar{u}\|^2}. \quad (10)$$

It should be noted that the use of non-mutual energy with the data  $\bar{x}$  as a noise signal design  $\bar{u}$  allows to increase the noise immunity steganographically encoded control information  $e_m$ , and the use of projection ratio  $\alpha_m$  increases the stealth of the control information.

Decoding bits of the control information from data is performed by determining the sign of the scalar product of the segment data and the pseudo-random sequence:

$$z_m = \text{sign}(\langle \tilde{x}, \bar{u} \rangle), \quad (11)$$

where  $\text{sign}(\ )$  – the allocation operation of the sign.

Table 1 presents the results of the evaluation of the considered measures of differences for all sounds of Russian speech. For the analysis there was used the segments of speech signals recorded with a sampling frequency of 8 kHz and bit depth 16 bit. To implement spread-spectrum speech signals were divided into segments of the same duration,  $T=32\text{ms}$ . It is also important to note that the study of these measures were carried out during the implementation of the overlay of noise on the signal in the absence of cross-correlation and using a weight:

$$\alpha_m = \frac{K_m}{\|\bar{u}\|^2}. \quad (12)$$

The parameter  $K_m$  was varied in the range from 0.0001 to of 0.2000.

From the above data, it is seen that the values of all the measures, except for measures based on distance Itakura-Saito, depend only on the coefficient  $K_m$ . In turn, the value of a measure based on distance Itakura-Saito depends on the coefficient  $K_m$  and the type of sound. So for the voiced sounds of Russian speech the addition of broadband noise causes more significant increasing measures, based on distance Itakura-Saito, than when adding the same fragment of the noise to hissing sounds. Thus, the measure based on distance Itakura-Saito takes into account the features of the energy distribution of the Russian speech sounds.

As shown by research, for evaluating speech quality it is necessary to use measures that take into account the distribution of the speech signal in the frequency band.

This is due to the perception of the speech signal by person, regardless of the language of communication. The methods that use psychoacoustics model [1] and the methods of prediction do not always provide ease of playing, because it have many settings [1, 2]. Thus, the use of measures based on distance Itakura-Saito, it is advisable to evaluate measures of the quality of hiding information in speech signals.



Table

**Evaluation of differences of the original signal and implementation results using steganographic technique spreading ( $T=32ms$ )**

Type of sound	$K_m$	$SD$	$NSD$	$SNR$	$cor$	$ISD$
А	0,0001	0,0001	0,0001	80,0000	1,0000	0,0021
	0,0002	0,0002	0,0002	73,9794	0,9999	0,0045
	0,0100	0,0100	0,0100	40,0000	0,9950	0,4529
	0,1000	0,1000	0,1000	20,0000	0,9524	6,3492
	0,2000	0,2000	0,2000	13,9794	0,9091	13,3037
Ч	0,0001	0,0001	0,0001	80,0000	1,0000	0,0002
	0,0002	0,0002	0,0002	73,9794	0,9999	0,0005
	0,0100	0,0100	0,0100	40,0000	0,9950	0,0182
	0,1000	0,1000	0,1000	20,0000	0,9524	0,3009
	0,2000	0,2000	0,2000	13,9794	0,9091	0,8142
Ш	0,0001	0,0001	0,0001	80,0000	1,0000	0,0007
	0,0002	0,0002	0,0002	73,9794	0,9999	0,0014
	0,0100	0,0100	0,0100	40,0000	0,9950	0,0523
	0,1000	0,1000	0,1000	20,0000	0,9524	0,6402
	0,2000	0,2000	0,2000	13,9794	0,9091	1,5429

**References**

1. Iser B., Schmidt G., Minker W. Bandwidth extension of speech signals. NY: Springer Science & Business Media, 2008. 190 p.
2. Zhilyakov E. G. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals // Automation and Remote Control. 2015. P. 76, № 4. Pp. 589-602.
3. Fridrich, J. Steganography in digital media: Principles, algorithms, and applications, Steganography in Digital Media. 2012. Pp. 1-441.
4. Furui, Sadaoki. Digital speech processing, synthesis, and recognition. 2nd ed., rev. and expanded. New-York, USA: Marcel Dekker inc, 2000. 477 p.
5. Nedeljko Cvejic, Tapio Seppanen. Spread spectrum audio watermarking using frequency hopping and attack characterization// Signal Processing, 2004. №84. Pp. 207-213.
6. Steganalysis of audio based on audio quality metrics /Ozer H., Avcibas, I., Sankur, B., Memon, N.D.// The International Society for Optical Engineering 5020. 2003. Pp. 55-66.
7. Stanković, S., Orović, I., Sejdić, E. Multimedia signals and systems. Springer, 2012. 373 p.
8. Thierry Dutoit, Ferran Marques. 2009. Applied Signal Processing. A MATLAB TM-Based Proof of Concept. Springer, 2009. 456 p.
9. Vercoe B.L. Csound: A Manual for the Audio-Processing System, MIT Media Lab, Cambridge, 1995.
10. Zhilyakov E.G. Optimal subband methods of analysis and synthesis of signals of finite duration / Automation and Remote Control. M.: Academic Scientific Publishing, Production and Publishing and Bookselling Center of the Russian Academy of Science "Publishing House" Science "№ 4, 2015. Pp. 51-66.

11. Hicsonmez S., Uzun E., Sencar H. T. Methods for identifying traces of compression in audio. Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 2013 1st International Conference on – IEEE, 2013. Pp. 1-6.

**Lykholob Peter Georgievich**, Senior Lecturer, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

**Medvedeva Alexandra Alexandrovna**, Associate Professor, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Candidate of Engineering Sciences

**Likhogodina Elizaveta Sergeevna**, Student, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

**Mishina Olga Olegovna**, Student, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

**Лихолоб Петр Георгиевич**, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Медведева Александра Александровна**, Доцент кафедры Информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Кандидат технических наук

**Лихогодина Елизавета Сергеевна**, Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Мишина Ольга Олеговна**, Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ  
SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE**

УДК 004.738.5

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-25-28

Аникина Е.И.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ДЕКАНАТ ON-LINE» КАК КОМПОНЕНТ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ЮЗГУ**Юго-Западный государственный университет, Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94  
*e-mail: elenaanikina@inbox.ru***Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы, связанные с созданием информационно-образовательной среды вуза как основного компонента системы управления и администрирования учебного процесса. Описывается подход к автоматизации традиционных для российского вуза функций деканата (на примере Юго-Западного государственного университета).

**Ключевые слова:** информационно-образовательная среда; информационная система; электронный деканат; web-приложение баз данных.

UDC 004.738.5

Anikina E.I.

**AUTOMATED INFORMATION SYSTEM "DEKANAT ON-LINE" AS A COMPONENT OF THE SWSU INFORMATION-EDUCATIONAL ENVIRONMENT**Southwest State University, 94, 50 let Oktyabrya St., Kursk, 305040, Russia  
*e-mail: elenaanikina@inbox.ru***Abstract**

The article discusses the issues related to the creation of the university information-educational environment as the main component of education process control and administration. The approach to automation of traditional for Russian higher educational establishment functions of the dean's office is described (on the example of Southwest State University).

**Keywords:** information-educational environment; information system; electronic dean's office; database web-application.

**Введение**

Информационное общество создает новые секторы активного общественно-экономического роста и соответствующие вызовы образовательным институтам. Глобальная тенденция «информатизации жизни» и образования отмечена во всех ключевых документах социально-экономического развития России. Системные проблемы образования во многом вызваны его отставанием от информационного общества, отставанием внедрения новых технологий. Стремительно

развивающаяся научно-техническая революция требует глобальных изменений процесса информатизации всех сфер жизни общества. Во всех развитых и в большинстве развивающихся странах осуществляются программы широкомасштабной информатизации образования.

Информатизация, как обучения, так и вспомогательных процессов в вузе, является сегодня насущной необходимостью. Это означает, что перед каждым высшим учебным заведением стоит сложная многофакторная

задача создания информационно-образовательной среды (ИОС) подготовки специалистов с учетом не только сегодняшних требований, но и социальной перспективы, стремительного распространения новых информационных и коммуникационных технологий [1].

В 2014-2015 годах вышла серия приказов Минобрнауки «Об утверждении федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) высшего образования по направлениям». ФГОС 3+ предъявляют серьезные требования к ресурсному обеспечению учебного процесса, в том числе и к электронной информационно-образовательной среде вуза. Информационно-образовательная среда вуза должна обеспечивать:

- проведение всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;

- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействие посредством сети Интернет.

- фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения основной образовательной программы;

- формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы со стороны любых участников образовательного процесса.

### **Результаты исследования**

В Юго-Западном государственном университете (ЮЗГУ) на протяжении нескольких лет проводится работа по развитию единой информационно-образовательной среды вуза с использованием современных интернет-технологий. Информационно-образовательная среда ЮЗГУ – это совокупность информационных сервисов, электронных образовательных ресурсов, средств и технологий, созданная на общей программно-аппаратной платформе, которая обеспечивает подключение и использование электронных ресурсов и сервисов в образовательных целях. Основой концепции построения ИОС ЮЗГУ является интеграция данных, приложений и процедур их использования [2]. В настоящее время основные функции информационно-образовательной среды ЮЗГУ реализуются высокопроизводительными

аппаратными средствами web-сервера и программными модулями web-приложений баз данных, которые логически объединяются в две системы: систему поддержки технологий электронного обучения «Учебные курсы ЮЗГУ» [3] и автоматизированную информационную систему «Деканат On-Line».

Технологии электронного обучения прочно вошли в повседневную практику организации учебного процесса ЮЗГУ и дополняют традиционные образовательные технологии очной, заочной и очно-заочной форм обучения по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры [4].

Система поддержки технологий электронного обучения «Учебные курсы ЮЗГУ» построена на платформе управления электронным обучением MOODLE [5] с большим количеством плагинов собственной разработки и реализует следующие основные функции по обеспечению образовательного процесса:

- педагогическое сопровождение самостоятельной работы студентов;

- эффективное и оперативное консультирование и методическая помощь со стороны преподавателя;

- контроль выполнения студентами учебных заданий, предусмотренных программами курсов;

- проверка выполненных студентом заданий, включая компьютеризованные формы контроля, а также формирование электронного «портфолио» выполненных заданий каждого студента, которое позволяет отслеживать прогресс и успеваемость, фиксировать сроки сдачи работ;

- обеспечение студентов раздаточными учебными материалами без их дорогостоящего и неэффективного тиражирования;

- возможность использования дистанционно, а также непосредственно в аудитории учебно-методических комплексов, имеющих не только текстовую, но и (при дидактической необходимости) мультимедийную составляющую.

Предписанные ФГОС (3+) функции электронного деканата реализуются с помощью модулей автоматизированной информационной системы (АИС) «Деканат On-Line».

До создания АИС «Деканат On-Line» сотрудники деканатов ЮЗГУ использовали на своих рабочих местах локальные версии коммерческого программного продукта АСУ СПРУТ с отдельными базами данных. Использование коммерческого программного

продукта с закрытым кодом исключало его модификацию, которая является необходимой из-за постоянно меняющихся внешних и внутренних требований к функционированию деканатов. Кроме того, отдельные деканатские базы данных содержали многократно повторяющиеся экземпляры одинаковых данных, относящихся к общей для университета в целом информации о кафедрах, направлениях подготовки, контингенте преподавателей и так далее. При необходимости модификации любого компонента общей для университета информации требовалось проведение многократной модификации одних и тех же экземпляров данных в локальных базах данных всех деканатов. Было принято решение отказаться от локальных немасштабируемых отдельно функционирующих в каждом из деканатов систем и создать собственную информационную систему с единой базой данных как компонент информационно-образовательной среды университет на базе интернет-технологий. АИС «Деканат On-Line» является собственным продуктом коллектива разработчиков ЮЗГУ и представляет собой масштабируемое web-приложение баз данных с открытой архитектурой. База данных АИС «Деканат On-Line» функционирует в среде системы управления базами данных Microsoft SQL Server. В системе реализованы как логическое, так и физическое разграничения информационного пространства факультетов. В процессе функционирования АИС осуществляет взаимодействие с базами данных отдела кадров сотрудников университета, базой данных студенческого отдела кадров, бухгалтерии и базой данных приемной комиссии университета.

АИС «Деканат On-Line» позволяет автоматизировать традиционные для деканата российского вуза рутинные операции, связанные с реализацией следующих базовых функций: управление движением контингента студентов и магистрантов; учет и статистическая обработка данных об успеваемости студентов и магистрантов; учет достижений студентов и магистрантов; организация документооборота деканата.

Модули АИС «Деканат On-Line» реализуют также предписанную ФГОС (3+) фиксацию результатов текущего и итогового контроля результатов обучения. В настоящее время в ЮЗГУ действует балльно-рейтинговая система учёта результатов обучения, в соответствии с которой оценка студентов по каждой из изучаемых дисциплин формируется как сумма

баллов, полученных студентами по результатам текущей аттестации, и баллов, полученных на зачёте или экзамене. Преподаватели 4 раза в течение семестра выставляют для каждой из академических групп результаты аттестации (баллы за посещаемость и успеваемость). Во время экзаменационной сессии преподаватели выставляют оценки в эту же систему по 100-балльной шкале. Специальное приложение позволяет автоматически просуммировать все набранные студентом баллы и сформировать ведомость с результатами зачета или экзамена с одновременным автоматическим переводом оценок в традиционные оценки («неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»). Преподавателю остается только вывести ведомость на печать и поставить свою личную подпись.

В соответствии с действующей балльно-рейтинговой системой студент может получить от деканата премиальные баллы за документально подтвержденные достижения. Достижения студентов и подтверждающие их документы делятся на ряд категорий:

- достижения в учебной деятельности (дипломы и сертификаты о прохождении курсов дополнительного образования, дипломы за победы и участие в предметных олимпиадах и профессиональных конкурсах);

- достижения в научно-исследовательской деятельности (статьи, сертификаты и дипломы участника в профильных конференциях и научных журналах);

- достижения в общественной деятельности (участие в волонтерских движениях, студенческих сообществах);

- достижения в культурно-творческой деятельности (дипломы за победы и участие в творческих конкурсах);

- достижения в спортивной деятельности (фотографии наград, грамот за победы в соревнованиях);

- опыт работы (список мест работы, список проектов, выполненных обучаемым за вознаграждение).

Студенты самостоятельно размещают на сервере АИС «Деканат On-Line» электронные версии подтверждающих достижения документов через личный кабинет студента, а сотрудники деканатов рассматривают их при назначении премиальных баллов деканата перед каждой сессией.

### Заключение

В Юго-Западном государственном университете создана, успешно функционирует и продолжает развиваться единая мультимедийная информационно-образовательная среда на базе интернет-технологий широкополосного доступа, основной концепцией построения которой является идея интеграции данных, приложений и бизнес-процессов. Автоматизированная информационная система «Деканат On-Line» как компонент информационно-образовательной среды ЮЗГУ представляет собой масштабируемое серверное web-приложение баз данных, которое автоматизирует практически все бизнес-процессы в деканатах университета и позволяет вывести деятельность сотрудников деканата на современный профессиональный уровень. Открытая архитектура ИОС ЮЗГУ обеспечивает возможность дальнейшего развития и быстрой адаптации к постоянно меняющимся внешним и внутренним условиям реализации образовательной деятельности вуза.

### Список литературы

1. Глазова В.Ф. 2013. Особенности процесса информатизации в вузе. Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. 1(12):28-30.
2. Шнырков В.И., Ефремова И.Н., Ефремов В.В., Аникина Е.И. 2012. Структура информационной системы построения информационно-образовательного мультимедийного интерактивного пространства. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2-3: 46-49.
3. Серебровский В.В., Аникина Е.И., Богомолов С.А., Бабков А.С. 2013. Подсистема доступа к централизованному хранилищу учебно-методических комплексов в распределенной системе электронного обучения. Известия Юго-Западного государственного университета. 5(50): 29-33.
4. Аникина Е.И., Бочанова Н.Н., Черепанов А.А. 2014. Информационные основы электронного обучения и перспективы его применения. Научные

ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. Т. 30. 8-1(179): 99-102.

5. Буторин В.М., Аникина Е.И., Бочанова Н.Н., Павлова Е.В. 2012. Аналитический обзор информационно-образовательных систем. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2-3: 24-27.

### References

1. Glazova V.F. 2013. Peculiarities of the Information Process in Higher Educational Establishment. Vektor nauki TGU. Seriya: Ekonomika i upravlenije. 1(12):28-30. (in Russian)
2. Shnyrkov V.I., Efremova I.N., Efremov V.V., Anikina E.I. The Structure of Information System for Creation of Interactive Multimedia Information-educational Environment. Izvesija Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenije, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoje priborostroenie. 2-3: 46-49. (in Russian)
3. Serebrovskiy V.V., Anikina Y.I., Bogomolov S.A., Babkov A.S. Subsystem of Access to Centralized Warehouse of Tutorial Complexes in the Shared System of E-learning. Izvesija Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 5(50): 29-33. (in Russian)
4. Anikina E.I., Bochanova N.N., Cherepanov A.A. 2014. Information Basics of E-learning and Perspectives of its Implementation. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. T. 30. 8-1(179): 99-102. (in Russian)
5. Butorin V.M., Anikina E.I., Bochanova N.N., Pavlova E.V. 2012. Analytical Review of Information-educational Systems. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoje priborostroenie. 2-3: 24-27. (in Russian)

**Аникина Елена Игоревна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии

**Anikina Elena Igorevna**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Software Engineering

УДК 004.942

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-29-35

**Бабенко А.А.  
Козунова С.С.****МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ИНВЕСТИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Волгоградский государственный университет. Проспект Университетский, 100, Волгоград, 400062, Россия  
*e-mail: ba\_benko@mail.ru, one1100on@gmail.com*

**Аннотация**

Исследование посвящено проблеме инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий. Выделены инвестиции в информационную безопасность. Определены и проанализированы риски инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий. В качестве решения исследуемой проблемы предложена формализованная модель оценки и прогнозирования рисков инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий. Данная модель основана на определении значимости информационных активов, оценки рисков и прогнозировании ущерба. Проведён ряд экспериментальных исследований с разработанной моделью. В качестве инструмента реализации данной модели выбрана интерактивная среда для программирования численных расчётов и визуализации результатов MATLAB. Экспериментальные исследования предложенной модели показали возможность повышения эффективности и снижения рисков, а также прогнозирование рисков инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий при помощи разработанного метода оценки и прогнозирования.

**Ключевые слова:** промышленные предприятия; оценка; прогнозирование; риск; инвестирование; информационная безопасность; модель, процесс.

UDC 004.942

**Babenko A.A.  
Kozunova S.S.****MODEL OF EVALUATION AND PREDICTION OF INVESTMENT RISKS  
OF INFORMATION SECURITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Volgograd State University, 100 Universitetsky Prospect, Volgograd, 400062, Russia  
*e-mail: ba\_benko@mail.ru, one1100on@gmail.com*

**Abstract**

The research is devoted to the problem of investment information security industry. The authors identify the investments into information security. Besides, they analyze the risks of investing the information security industry. As a solution to the problem of the study the authors propose a formalized model for evaluating and predicting risks of investing the information security industry. This model is based on the determination of the importance of information assets, risk assessment and forecasting damage. The model was used in a series of experimental studies. As a tool for the implementation of the model the authors selected the interactive environment for programming numerical computations and visualization of MATLAB results. Experimental studies of the proposed model showed the possibility of improving the efficiency and decreasing risks, as well as forecasting the risks of investing the information security industry with the help of the developed method of estimation and forecasting.

**Keywords:** industry; evaluation; forecasting; risk; investment; information security; model; process.

### **Введение**

На эффективное функционирование промышленных предприятий (ПП) и поддержание высокого уровня их информационной безопасности (ИБ), помимо экономической среды, влияет устойчивая конкурентоспособность, которая зависит от ценности информационных активов (ИА), утечек информации, представляющей особый интерес для конкурирующих предприятий, злоумышленников и мошенников. Поэтому одной из основных задач ПП является обеспечение ИБ, с целью осуществления непрерывности технологических процессов. В условиях рыночных отношений проблема инвестирования ИБ ПП приобретает большое значение. Рост стоимости ИА влечет изменение структуры ИБ ПП, что обуславливает возникновение различных видов рисков инвестирования ИБ, ранее не присущих проектам ИБ.

Основной принцип, который должен соблюдаться при инвестировании ИБ ПП – эффективность. Для эффективности необходимо уменьшить ущерб и минимизировать риски инвестирования ИБ. На ПП наблюдается рост утечек информации (Рисунок 1). По количеству утечек конфиденциальных данных первое место в мировом рейтинге занимает США, второе – Россия, третье – Канада [1]. За 2014 г. максимальный ущерб от одного инцидента ИБ в российских компаниях составил 30 миллионов долларов, а средний ущерб в мире – 25 миллионов долларов [1].

Доля российских утечек информации в мировой статистике за 2013 г. составила 6%, что превысило 2012 год на 4% [3].

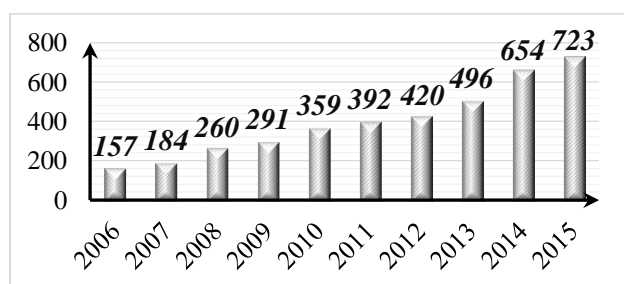


Рис. 1. Динамика утечек информации  
Fig. 1. The dynamics of information leaks

Анализ работ [4-10] показал, что проблема оценки инвестиционных рисков ИБ не решена. Открытыми являются вопросы: снижение ущерба от потери информации, разработка инвестиционной стратегии, оценка

эффективности проектов построения ИБ ПП. Отсутствуют методы инвестиционного анализа ИБ, характерные для ПП. Методики носят общий характер, и их сложно адаптировать под функциональные процессы ПП.

### **Инвестирование информационной безопасности промышленных предприятий**

Авторы [4,6] подчёркивают необходимость управления инвестициями в ИБ не только как самостоятельной единицей, но и как составным объектом управления.

Для ПП, характерны следующие инвестиции: материальные (реальные активы); нематериальные (патенты, лицензии, научно-техническая документация и проектно-конструкторские работы); финансовые (ценные бумаги, депозиты, целевые банковские вклады); прямые (участие инвестора в выборе объекта инвестирования); косвенные (инвестиционные фонды, компании, размещающие наиболее эффективно финансовые средства).

Инвестирование ИБ – часть общего инвестиционного проекта, инвестиционные процессы зависят от структуры ПП. Специфичным является и формирование затрат на ИБ ПП [4,10]. Под промышленным риском будем понимать риск, который возникает при любых видах деятельности, связанных с производством продукции, её реализацией, финансовыми операциями, маркетингом, коммерцией, осуществлением социально-экономических и научно-технических проектов.

Для ПП характерны следующие инвестиционные процессы ИБ: затраты на приобретение технических средств (ТС); затраты на покупку оборудования, программных и аппаратных средств; покупка и ввод в эксплуатацию систем защиты информации (СЗИ); приобретение лицензий на использование СЗИ и ТС; приобретение и ввод в эксплуатацию средств обеспечения отказоустойчивости; разработка технической документации. Так, инвестирование ИБ ПП является сложным процессом. Необходимо управлять инвестициями в ИБ, оценивая и прогнозируя возможные риски.

### **Риски инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий**

Большинство рисков инвестирования ИБ ПП полностью устранить нельзя, однако их можно снизить. Наличие таких рисков может привести к построению некачественной или малоэффективной системы защиты информации

(СЗИ), что приведёт к утрате информации. Изменения, происходящие в разных отраслях экономики и рыночной конъюнктуре, привели к возникновению новых видов рисков ИБ, которые ранее не были присущими ПП [4].

К рискам инвестирования ИБ ПП относятся:

1. *Мегаэкономические* зависят от развития экономики в мире.

2. *Макроэкономические* – риски экономической системы государства.

3. *Микроэкономические* – внутренние риски отдельного предприятия.

4. *Производственные* – простои на производстве, выход из строя производственных фондов.

5. *Временные* – нарушения сроков поставки продукции или изготовления, а также сроков внедрения проектов по ИБ.

6. *Финансовые* – убытки, отсутствие возможности выплачивать обязательные платежи.

7. *Коммерческие* – снижение объёма реализации, изменение курса валют, налогового законодательства, стоимости активов.

8. *Рыночной конъюнктуры* – изменение экономической конъюнктуры, нестабильная ситуация экономического рынка продукции.

9. *Страховые* – последствия, происходящие после застрахованных событий.

10. *Организационные* – последствия, происходящие в результате некачественной организации.

11. *Кредитные* – возмещение денежных средств по кредиту.

12. *Технико-производственные* – выход из строя технических средств и систем.

13. *Прединвестиционные* связаны с выбором стратегии инвестирования.

14. *Чистые* – стихийные бедствия, катастрофы, недееспособность организации.

15. *Допустимые* – финансовые потери не превышают расчётные суммы прибыли по инвестируемому объекту.

16. *Критические* – финансовые потери превышают расчётные суммы валового дохода по инвестируемому объекту.

17. *Постинвестиционные* – несвоевременный выход производства на предусмотренную проектную мощность, недостаточное обеспечение сырьём, материалами, техническим оснащением, слабая маркетинговая политика.

В [7] предложен метод распределения ресурсов, оценка и анализ затрат и выгод. Данный метод можно использовать как инструмент оценки рисков. В качестве инструмента снижения

рисков инвестирования ИБ ПП авторами предложена модель, экспериментальные исследования которой подтвердили её эффективность.

**Формализованная модель оценки и прогнозирования рисков инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий**

Базовая единица модели оценки и прогнозирования рисков инвестирования ИБ ПП – оценка значимости ИА:

$$Sign_{IA} = \frac{CO}{C}, \quad (1)$$

где  $CO$  – стоимость ИА;  $C$  – капитал, вложенный в эксплуатацию этого ИА. Значимость ИА измеряется в единицах. Значимость ИА – это процесс определения ценности информации. Признак эффективности затрат на построение ИБ ПП:

$$d = \frac{ef}{a}, \quad (2)$$

где  $ef$  – ожидаемый экономический эффект;  $a$  – расходы на разработку СЗИ.

Единичный риск определяется как:

$$R_i = p_i \cdot u_i, \quad (3)$$

где  $p_i$  – вероятность реализации  $i$ -ой угрозы нарушения ИБ;  $u_i$  – ущерб от  $i$ -ой угрозы нарушения ИБ ПП. Оценка совокупного риска инвестирования ИБ ПП:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (4)$$

Обозначим группу приоритета как  $G_j$ , где  $j = \overline{1, k}$ ,  $k < n$ , а  $W_j$  – вес простых рисков по группам приоритетов. Число рисков, входящих в  $G_j$ , обозначим  $N_j$ . Веса простых рисков удовлетворяют следующим условиям:

$$W_j > 0 \text{ и } \sum W_j = 1. \quad (5)$$

Отношение приоритетов  $A$ , то есть их сравнение:

$$\frac{W_j}{W_k} = A. \quad (6)$$

Вес группы с наименьшим приоритетом:

$$N_j = \frac{2}{[k \cdot (A + 1)]}. \quad (7)$$

Вес других групп приоритетов определяется так:



$$W_j = \frac{W_k \cdot 1}{[(k-j) \cdot A + j - 1]} \cdot (k-1) \quad (8)$$

Расчёт весов произвольных факторов для единичного риска внутри одной приоритетной группы производится по формуле:

$$W = \frac{W_j}{N_j} \quad (9)$$

Потенциальный ущерб ИА:

$$U = p_m \cdot \lambda \cdot T, \quad (10)$$

где  $\lambda$  – воздействие угрозы нарушения ИБ (или риска) на ИА;  $T$  – ценность ИА;  $p_m$  – вероятность возникновения  $m$ -го рискового события.

Прогнозирование рисков инвестирования ИБ ПП основано на общем ожидаемом ущербе  $U_o$ , который может быть нанесён всеми рисками инвестирования:

$$U_o = \sum U \quad (11)$$

Прогнозирование рисков инвестирования ИБ ПП сводится к полному или частичному устранению (минимизации). Изменение чистых инвестиций определяется так:

$$\Delta B = Inv \cdot \frac{(b_1 - b_2)}{b_0} - k_0 \cdot \frac{(b_1 - b_0)}{b_0}, \quad (12)$$

где  $Inv$  – величина инвестиций в отчётном периоде, которая влияет на информационные процессы предприятия и построения СЗИ;  $k_0$  – величина краткосрочных обязательств в отчётном периоде, находящихся в зависимости от технических средств производства и их масштаба;  $b_0$  – фактический объём продаж;  $b_1$  – прогнозируемый объём продаж.

Таким образом, прогнозирование рисков инвестирования ИБ ПП позволяет достичь экономического эффекта и осуществить оптимизацию инвестиций в ИБ ПП.

### **Эффективность и работоспособность предложенной модели**

С формализованной моделью был проведён ряд испытаний в MATLAB, показавшие эффективность и возможность применения данной модели на практике. Данные, участвующие в испытании, были предоставлены

ПП, деятельность которого связана со строительством и проектированием сооружений.

По результатам проведения оценки значимости ИА максимальная оценка составила 200 при стоимости ИА в 2000 руб. и капиталом, вложенным в эксплуатацию ИА, размером 10000 руб. Минимальная оценка – 2,6 при стоимости ИА 446000 руб. и 171000 руб. – капитал, вложенный в эксплуатацию ИА.

Признак эффективности затрат на построение ИБ составил 0,25, а ожидаемый экономический эффект – 250000 руб. Проведена оценка простых рисков при различных вероятностях реализации угрозы нарушения ИБ. Утечка проектной документации оценена в 115000 руб (0,5). Нарушение целостности ИА – 2100 руб (0,3). Потеря документации по исследованию маркетинговой политики – 600 руб. (0,1). Утечка платёжных данных – 320000 руб. (0,8). Результаты определения приоритета рисков представлены в таблице 1. Определение приоритетов рисков инвестирования ИБ ПП представляет собой идентификацию рисков. Прогнозирование позволяет определить последствия причинённых ущербов.

В результате прогнозирования, возможно определить, какие потери можно принять, а какие потери приведут к ухудшению положения предприятия. Модель, является риск-ориентированной. Это предполагает наличие системного анализа ситуации, являющейся индивидуальной для определённого промышленного предприятия.

При прогнозировании рисков инвестирования ИБ ПП, предоставляющей услуги в сфере газового оборудования, были получены следующие результаты: максимальный риск от 160000 руб. до 17900 руб., средний – от 86000 руб. до 102000 руб., низкий – от 3800 руб. до 22000 руб. (Рисунок 2).

На основе результатов, полученных при использовании предложенной модели, было построено дерево решений, отображающее прогнозы при проведении инвестирования ИБ ПП (Рисунок 3). Дерево решений отображает результаты прогнозирования, полученные при использовании предложенной модели. А1, А2 и А3 – процессы инвестирования ИБ ПП.

Таблица 1

Результаты определения приоритета риска

Table 1

The results of the risk priority

Приоритет риска	Отношение приоритетов	Вес простых рисков
Средний	0,7	4
Средний	0,33	2
Низкий	0,08	0,5
Высокий	1	6
Общее количество приоритетов: 4	Вес наименьшего приоритета: 0,16	Вес других приоритетов: 0,32
Потенциальный ущерб ИА	Воздействие угрозы (или риска) на ИА	Вероятность возникновения риска
187789 тыс. руб.	80000 руб.	0,9
338000 тыс., руб.	78000 руб.	0,4
108000000, млн. руб.	900000 руб.	0,6
360000, тыс. руб.	36000 руб.	0,2
108333 тыс. руб.	15000 руб.	0,1
11250 тыс. руб.	6000 руб.	0,1
Общий ожидаемый ущерб: 109005672 руб.		

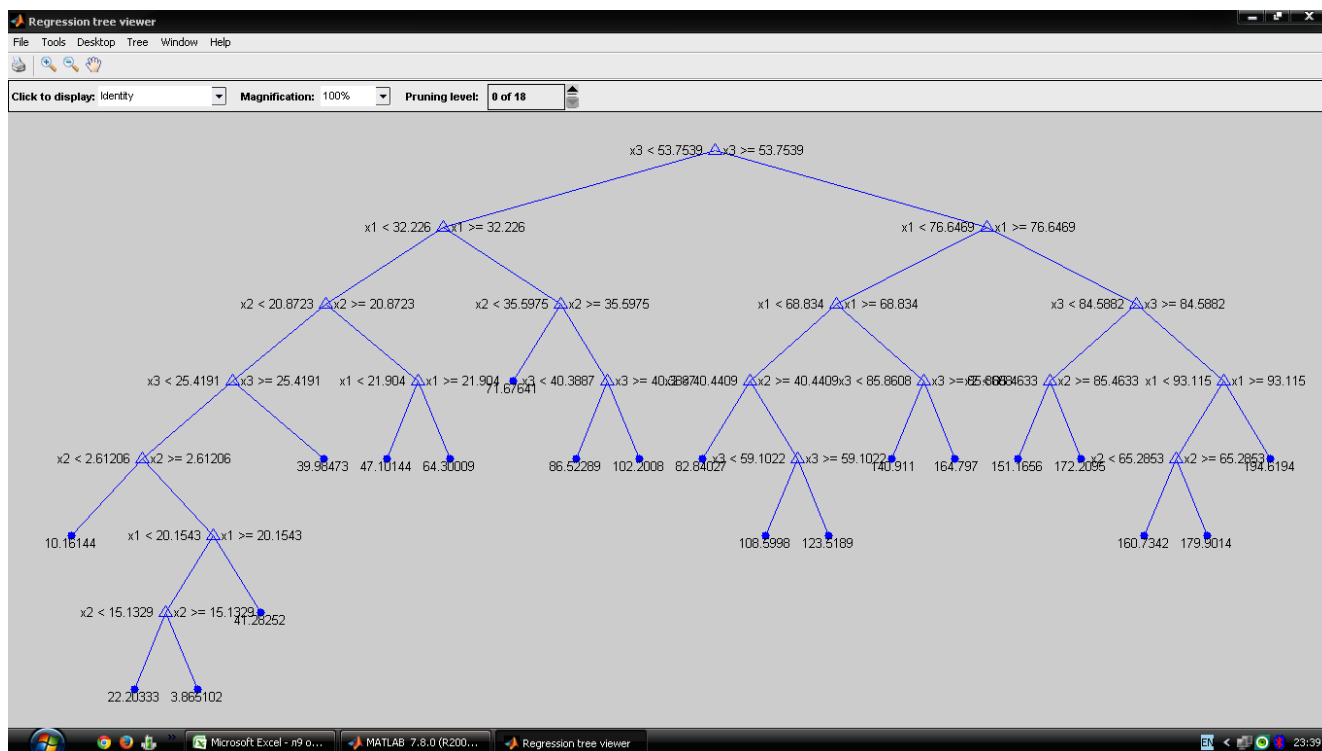


Рис. 2. Результаты прогнозирования рисков инвестирования ИБ ПП  
Fig. 2. The results of investment risk prediction of IS of IE

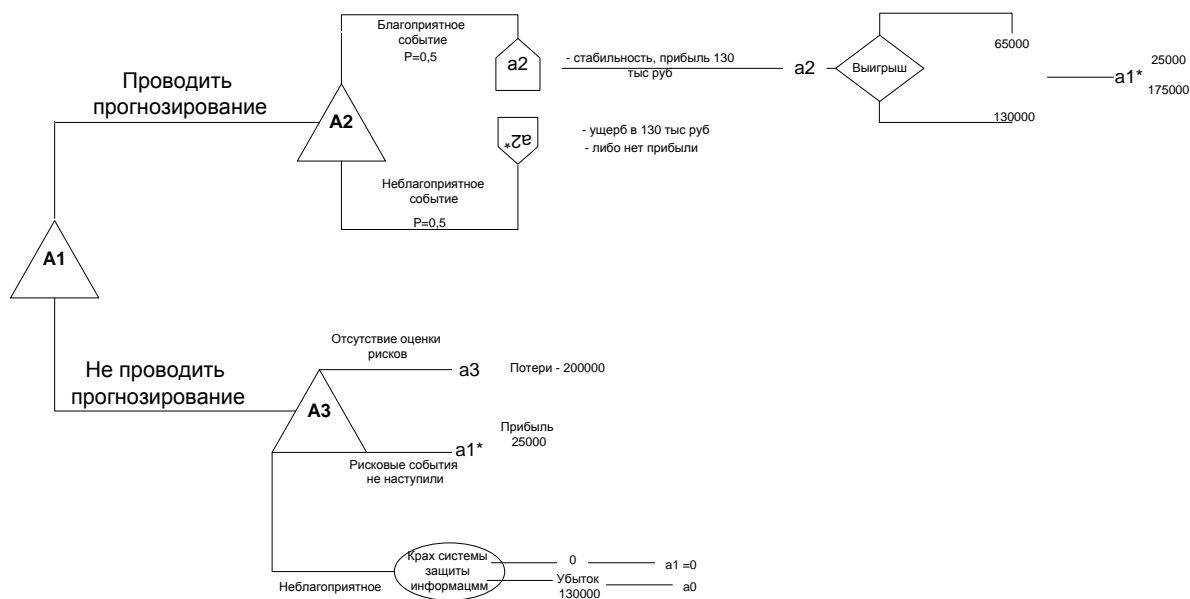


Рис. 3. Дерево решений инвестиционной политики ИБ ПП

Fig. 3. Investment Policy Decision Tree of IS of IE

A1 – принятие решения о проведении инвестиционной политики по защите ИА. A2 – принятие решения о прогнозировании рисков инвестирования ИБ ПП. A3 – принятие решения об отсутствии прогнозирования рисков инвестирования ИБ ПП.

События, наступившие в результате принятия какого-либо решения обозначены как a0, a1, a2, a3. Благоприятное событие a2 – риски инвестирования ИБ были корректно спрогнозированы, с установлением прибыли 130 тыс. руб. В результате наступления события a2 была получена прибыль размером 65 тыс. руб. и 130 тыс. руб. После наступления события a2, последовало событие a1\*, которое добавило дополнительную прибыль в размере 25 тыс. руб. (рост стоимости ИА) и 175 тыс. руб. (стоимость системы обеспечения ИБ ПП из-за возрастания

отказоустойчивости). a2\* – событие, носящее неблагоприятный характер, при проведении недостаточного или ошибочного прогнозирования. Эксперимент показал, что прогнозируемый ущерб составил бы 130 тыс. руб. При применении предложенной модели, такое событие не произошло. Событие a3 отражает отсутствие оценки и прогнозирования рисков инвестирования ИБ, в результате чего предприятие может потерять 200 тыс. руб.

Нейтральное событие a1\* прогнозирует прибыль 25 тыс. руб., которую можно получить, в случае если инвестирование ИБ не подверглось ни

одному риску. События a0 и a1 носят неблагоприятный характер, и наступают в случае частичного или полного вывода из строя СЗИ. При наступлении таких событий может произойти нулевой риск, или a0 – событие, в результате которого наступает финансовый убыток в размере 130 тыс. руб. При событии a1 финансовые потери не наблюдались.

### Заключение

В результате реализации модели оценки и прогнозирования рисков инвестирования ИБ ПП наблюдается повышение качества инвестирования ИБ, снижение рисков инвестирования ИБ ПП, что позволяет оценить комплекс проведенных мероприятий как эффективный.

Разработанная модель оценки и прогнозирования рисков инвестирования ИБ функционирует в условиях, характерных для ПП. Расчёт, на базе которого производится оценка рисков, автоматизирован. Преимуществом разработанной модели, является возможность прогнозирования рисков инвестирования ИБ, присущих ПП.

### Список литературы

1. Панасенко А. Конфиденциальные данные продолжают утекать. – [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.anti-malware.ru/analytics/Threats\\_Analysis/Sensitive\\_data\\_continue\\_leak](http://www.anti-malware.ru/analytics/Threats_Analysis/Sensitive_data_continue_leak) (дата обращения: 3.04.2016).
2. Zecurion Analytics. Утечки конфиденциальной информации. – [Электронный ресурс]. – URL:

[http://www.zecurion.ru/upload/iblock/fe3/Zecurion\\_Data\\_1eaks\\_2015.pdf](http://www.zecurion.ru/upload/iblock/fe3/Zecurion_Data_1eaks_2015.pdf) (дата обращения: 8.04.2016).

3. Воронина Ю. Менеджеры подвели / Российская Бизнес – газета. №936 (7) – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rg.ru/2014/02/25/utechka.html> (дата обращения: 3.02.2016).

4. Козунова С.С., Бабенко А.А. Система оптимизации рисков инвестирования информационной безопасности промышленных предприятий // Вестник компьютерных информационных технологий. 2016. №7 (145). С.22-29.

5. Разработка иерархической многокритериальной процедуры оценки качества экспертов / Путивцева Н.П., Игрунова С.В., Бекетова Е.Ю., Капитан С.А. // Научный результат. 2016. Выпуск №1 (1). С 39-47.

6. Gordon, L.A., M.P. Loeb and T. Sohail. 2010. Market Value of Voluntary Disclosures Concerning Information Security // MIS Quarterly. Vol. 34, No. 3. 567-594 p.

7. Lawrence A. Gordon, Martin P. Loeb, Lei Zhou Investing in Cybersecurity: Insights from the Gordon-Loeb Model // Journal of Information Security. 2016. Vol.07 No.02. 49-59 p.

8. Козунова С.С., Бабенко А.А., Зубарева Е.В. Анализ процедуры оценки инвестиций в информационную безопасность // Фундаментальные проблемы науки. 2016. Ч.1. С.21-24.

9. Finogeev A, Fionova L, Finogeev A, Nefedova I, Finogeev E, Vinh T.Q., Kamaev V. 2015. Methods and tools for secure sensor data transmission and data mining in energy SCADA system. Communications in Computer and Information Science 535. 474-484 p.

10. Bodin, L., L.A. Gordon and M.P. Loeb. 2008. Information Security and Risk Management // Communications of the ACM, Vol. 51, No. 4. 1-9 p.

### References

1. Panasenko A. Confidential Data Continue to Leak. [Electronic resource]. URL: [http://www.anti-malware.ru/analytics/Threats\\_Analysis/Sensitive\\_data\\_continue\\_leak](http://www.anti-malware.ru/analytics/Threats_Analysis/Sensitive_data_continue_leak). (date of access: April 3, 2016)

2. Zecurion Analytics. Leaks of confidential information. - [Electronic resource]. URL:

[http://www.zecurion.ru/upload/iblock/fe3/Zecurion\\_Data\\_1eaks\\_2015.pdf](http://www.zecurion.ru/upload/iblock/fe3/Zecurion_Data_1eaks_2015.pdf) (date of access: April 8, 2016)

3. Voronina Y. Managers Pulled the Rug out. Russian Business Newspaper. (936) [Electronic resource]. URL: <http://www.rg.ru/2014/02/25/utechka.html> (date of access: March 2, 2016)

4. Kozunova S.S., Babenko A.A. Optimize Risks System of Information Security of Industrial Enterprises. (7). Pp. 22-29. 2016.

5. Development of a Hierarchical Multicriteria Expert Quality Assessment Procedures. Putivtseva N.P., Igrunova S.V., Belov E.Y., Captain S.A. Research Result. Vol.1 (1). Pp. 39-47. 2016.

6. Gordon, L.A., M.P. Loeb and T. Sohail. 2010. Market Value of Voluntary Disclosures Concerning Information Security // MIS Quarterly. Vol. 34, No. 3. Pp. 567-594.

7. Lawrence A. Gordon, Martin P. Loeb, Lei Zhou Investing in Cybersecurity: Insights from the Gordon-Loeb Model // Journal of Information Security. 2016. Vol.07 No.02. Pp.49-59.

8. Kozunova S.S., Babenko A.A., Zubareva E.V. 2016. Analysis of the Investment Evaluation Process in Information Security. Part 1. Pp. 21-24.

9. Finogeev A, Fionova L, Finogeev A, Nefedova I, Finogeev E, Vinh T.Q., Kamaev V. 2015. Methods and tools for secure sensor data transmission and data mining in energy SCADA system. Communications in Computer and Information Science 535. Pp. 474-484.

10. Bodin, L., L.A. Gordon and M.P. Loeb. 2008. Information Security and Risk Management // Communications of the ACM, Vol. 51, No. 4. Pp 1-9.

**Бабенко Алексей Александрович**, доцент, кандидат педагогических наук, доцент кафедры Информационной безопасности

**Козунова Светлана Сергеевна**, аспирант кафедры Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования

**Babenko Aleksey Alexandrovich**, PhD in Pedagogics, Associate Professor, Department of Information Security

**Kozunova Svetlana Sergeevna**, Postgraduate Student, Department of System Automatic Engineering and Program Construction

UDC 004.02

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-35-42

Karwi J.Q.  
Brusentsev A.G.

**DEVELOPMENT OF AN ENVIROMENTAL DECISION SUPPORT SYSTEM TO CALCULATE WATER QUALITY**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia  
e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, brusentsev@mail.ru

**Abstract**

The main issue addressed in our case study is the evaluation of the drinking water resource. Water quality has an important impact on human health since different diseases can be the result of poor quality. This paper presents several strategies to manage water quality in order to protect human health by building a decision support system to help the authority of water supply stations to find information about water management. The water quality service uses a set of (13) water-quality parameters according to the water quality index (WQI) analysis. The system suggests a decision for treatment the water so that it can be used by humans after detecting the causes and type of pollution. Water quality DSS tests the data from the water management stations using mathematical models. In this paper we use Machine learning and Data mining to build the decision making system.

**Keywords:** Decision Support System (DSS); water decision support system; water quality; data mining.

УДК 004.02

Карви Д.К.  
Брусенцев А.Г.

**РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, ГК 209, г. Белгород 308012, Россия  
e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, brusentsev@mail.ru

**Аннотация**

Основной проблемой, рассмотренной в данной работе, является проблема оценки качества водных ресурсов, в первую очередь питьевой воды. Уровень качества воды имеет значительное влияние на здоровье человека, так как неудовлетворительное ее качество может стать причиной различных заболеваний. В данной работе представлены некоторые стратегии контроля и управления качеством воды с целью охраны здоровья человека путем создания системы поддержки принятия решений (СППР) для использования в работе сотрудников водоохранных служб и предоставления им доступа к информации, необходимой для управления водными ресурсами. Водонадзорные службы используют комплекс из 13 параметров качества воды на основе анализа индекса качества воды (WQI). Система может предлагать решения по обработке воды, таким образом, ее целесообразно использовать после определения причин и типа загрязнения. СППР для оценки качества воды изучает данные с водонадзорных и водоснабжающих станций при помощи математических моделей. Данная СППР основана на таких процессах как машинное обучение и интеллектуальный анализ данных.

**Ключевые слова:** Система поддержки принятия решений (СППР); СППР для оценки качества воды; качество воды; интеллектуальный анализ данных (data mining).

**1. Introduction**

The issue of drinking water quality is very important in the world, so a web-based decision support infrastructure has been developed to provide

access to simulation results on flow water- quality conditions and to offer sophisticated scenario testing capabilities for research and water-quality planning through the graphical user interface with known

controls [1]. Water crises around the world often occur because of global climate change and the increasing intensity of human activity. The main cause for water crises is the lack of sustainable methods of water resource management. In response to the real water resource management problems, a water-DSS has been designed as an easy-to-use and user-friendly interface. The DSS consists of an information management system that leads data collection, verification, management and visualization, and models estimated water demand and water distribution [2]. The management of water is a complex engineering problem that includes various technical, social, economic, environmental, cultural and legal issues depending on the various forms of uncertainties such as fluctuations, randomness, the cognitive nature of parameters and model algorithms. The application of the DSS is employed in various areas of the management of water resources such as the management of water resources, water and wastewater treatment [3]. The visualization, design and implementation of an online course on the topic of Decision Support Systems in River Basin Management is very useful to avoid the pollution crises. The Planning and Management of Water Resources increasingly depends on the ways of decision support such as simulation and Multi Criteria Analysis [4]. The drinking water networks of the surface water are weak in the short-term variation of inputs of organic matter. This affects raw water quality and increases the intensity of rainfall as well as the frequency of heavy rainfall events. These changes may strongly affect the water quality and processing operations [5]. The development steps of a decision tool prototype of geographic information systems (GIS) and the general framework are based on the decision support system of the river health diagnosis (RHD-DSS). The system integrates data, mathematical models and human knowledge on the river health status, causal factors diagnosis and restoration decision making in order to assist decision makers during river restoration and management. It has four functional components: input module, database management, diagnostic indicators management and visual result module [6]. The problem of water quality degradation and the lack of water quantity is urgent in different parts of the world [7]. The new application model for designing this

software system-composite, service-oriented and multilayered web information system for the management of lakes and reservoirs describes the architecture and services of the application model, together with the structure and functionalities of the software solution [8] and is then connected with the Water Management Information System [9]. To support water quality management under hybrid uncertainties, we have developed a model-based decision support system based on a hybrid uncertain programming model with fuzzy and interval coefficients. The system provides an effective tool for decision makers in dealing with the problems of water quality and developing policies and strategies [10]. The fields of water resources, water quality and river management have greatly influenced the DSS over the past few decades, resulting in a variety of decision support systems, such as the Sonhua River. The aim of this paper is to present a DSS to support water managers and scientists who have used the predictive capabilities of the water management models. These models typically use mathematical process representations.

## 2. Design of the water quality-DSS

The water quality-DSS will consist of a set of guidance and software tools designed to allow decision-makers to make their own decision-specific model using interactive tools that permit them to generate graphs and input data, charts, and mathematical analyses to teach decision-makers how to use this conceptual model. Various decision options can be quantified and evaluated in the larger context of the conceptual model by using these tools. Fig. 1 shows the components involved in the framework design of the water quality-DSS.

The components of the water quality-DSS approach are many fields as a user interfaces (see Figure 1). 1 – interface control panel: contains information about the stations users such as the new authority user interface and station details, 2 – Applications interface: Includes the programs for calculating water quality and water pollution. 3 – Report: send the water state report for decisions of supplying or not supplying water to the people. The graphical user interface (UI) for water quality-DSS was programmed in visual C#, and SQL server for save database.

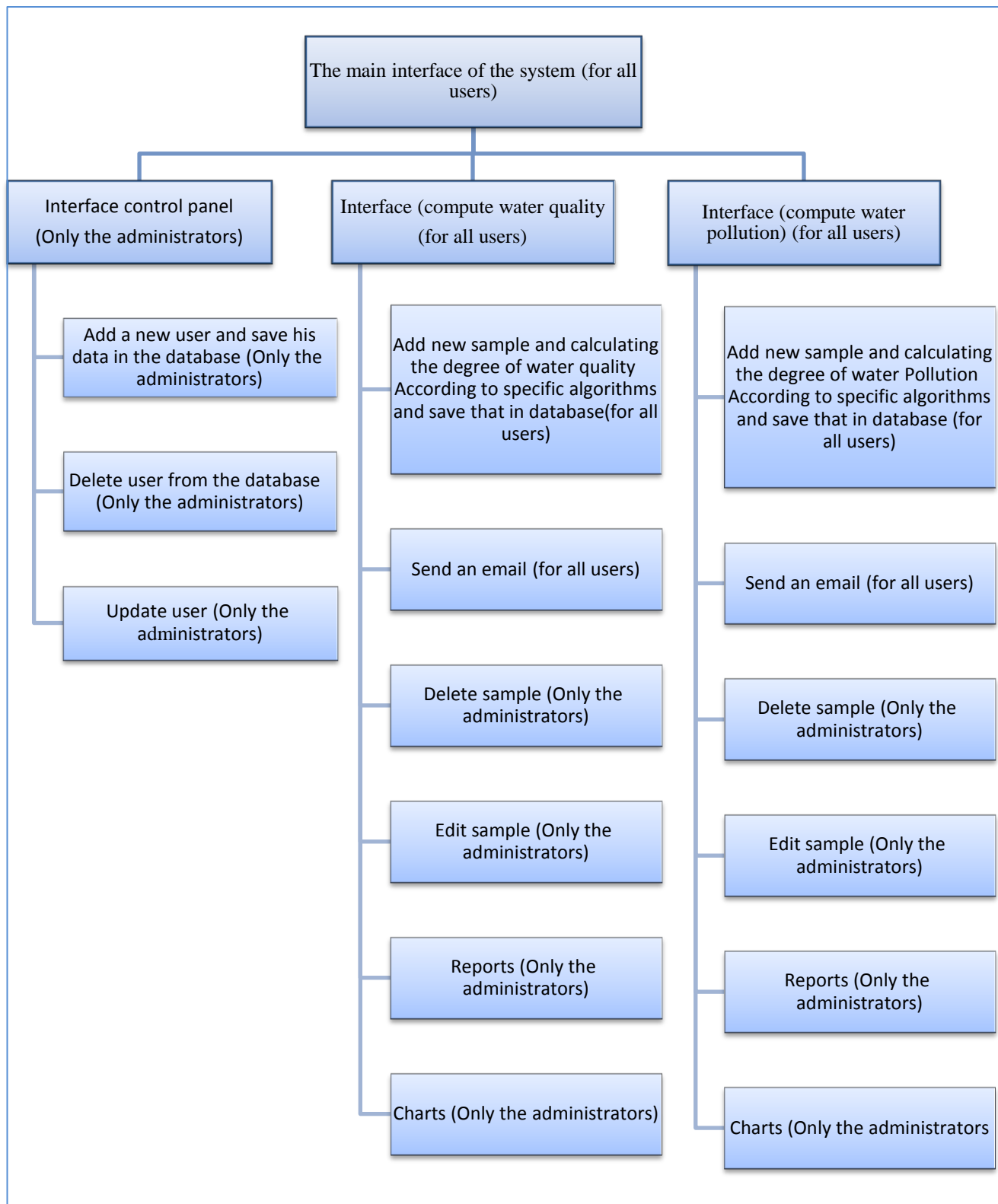


Fig. 1. Water quality-DSS Application Framework

### 3. Water quality-DSS implementation and discussions

Water quality index (WQI) is one of the most effective tools to communicate information about water quality to assist people in making a decision. It

becomes an important factor to estimate and manage water, as an indicator. WQI is a mathematical instrument used to transform large quantities of water quality data into a single number, which provides a simple and understandable tool to managers and

decision makers concerning water quality. The water quality index provides a single number that expresses the overall water quality at a certain location and moment in time, based on several water quality parameters. Data acquisition is made by 100 unit per water sample and the results are public [11]. The water quality index (WQI) was calculated using the weighted arithmetic index method. The quality rating scale for each parameter (qi) was calculated using Equation (1):

$$qi = \left(\frac{ci}{si}\right) \times 100 \quad (1)$$

A quality rating scale (qi) for each parameter is assigned by dividing the observed concentration (Ci) for each water sample by its respective standard value (Si) and the result is multiplied by 100. Relative weight (wi) is calculated by a value inversely proportional to the recommended standard

value (Si) of the corresponding parameter using Equation (2):

$$wi = \frac{1}{si} \quad (2)$$

In general, the water quality index (WQI) is calculated by compiling the quality rating scale (qi) with unit weight (wi), written in Equation (3) as follows:

$$WQI = \left(\sum_{i=1}^n wi \times qi\right) \quad (3)$$

Where qi is the quality parameter, and wi is the weight unit of (i) parameter, n represents the number of parameters, WQI had been discussed for the specific use and meaning of water quality index. In this study we considered WQI for drinking purposes are (100) values using Equation (4).

$$WQI = \frac{\sum_1^n wiqi}{\sum_1^n wi} \quad (4)$$

Based on the calculated WQI, the classification of water quality types are given according to [11], as shown in Table 1.

Table 1

The conditions used to evaluate water quality

No	WQI value	Water quality classification	Water quality
1	<50	Excellent	Excellent (water is clear and not in contact with domestic wastes. Ideal for different purposes. No treatment required).
2	50-100	Good water	Good (initiation of serious changes in water quality due to environmental deterioration. Useful for domestic and industrial purposes, suitable for wildlife and waterfowl).
3	100-200	Poor water	Poor (drastic changes in water quality begin to occur the water can be used for domestic and industrial purposes after intensive treatment).
4	200-300	Very poor water	Very poor (dangerous changes may occur in the ecosystem. Constant disturbing smell. Conventional treatment costs are augmented).
5	>300	Water unsuitable for drinking	Unfit for drinking (highly dangerous pollution. Danger in any form of water consumption).



Fig. 2. Authentecation window to input water quality data

Figure 2 shows the login page to input water quality data. The user can input a user name and password), and can change his user name and password.



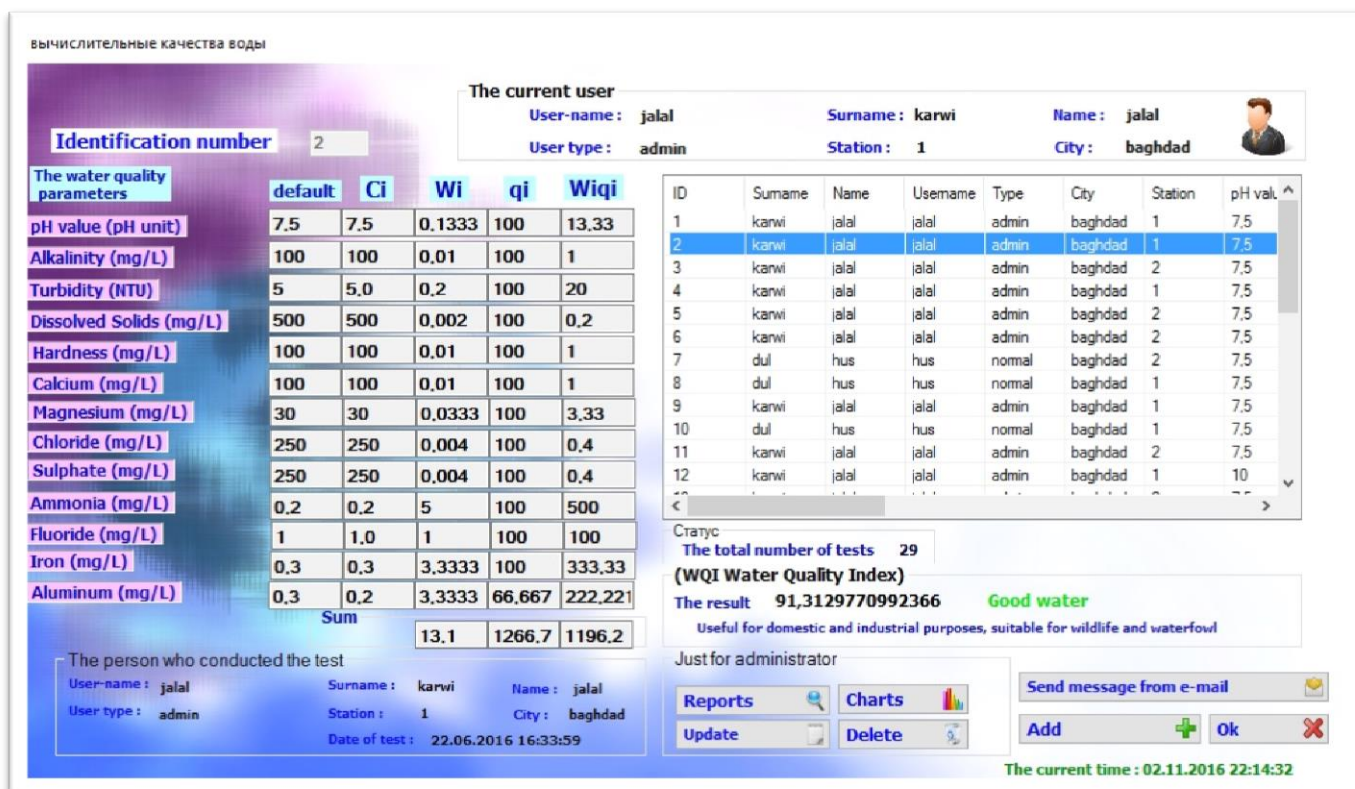


Fig. 3. Main window of data analysis and modeling for water quality calculation

Figure 3 shows the interactive page. The user can input the data of water quality and also perform the analysis to calculate the water quality index. The data analysis and modelling environment can be retrieved through DBMS in order to calculate the water quality and actual water status, which is further provided as an input for analyzing the ecosystem model to obtain actual advice and benefits of the distinct practices for avoiding water pollution.

Furthermore, a simulation report generation service was also provided to the client to facilitate a comparative analysis of different possible planning strategies to achieve an optimal solution. All information is stored in a meta-database. The user will input data in (Ci) column only, which represents the observed concentration of each water sample, the rest columns will be automatically calculated and will display the data analysis result.

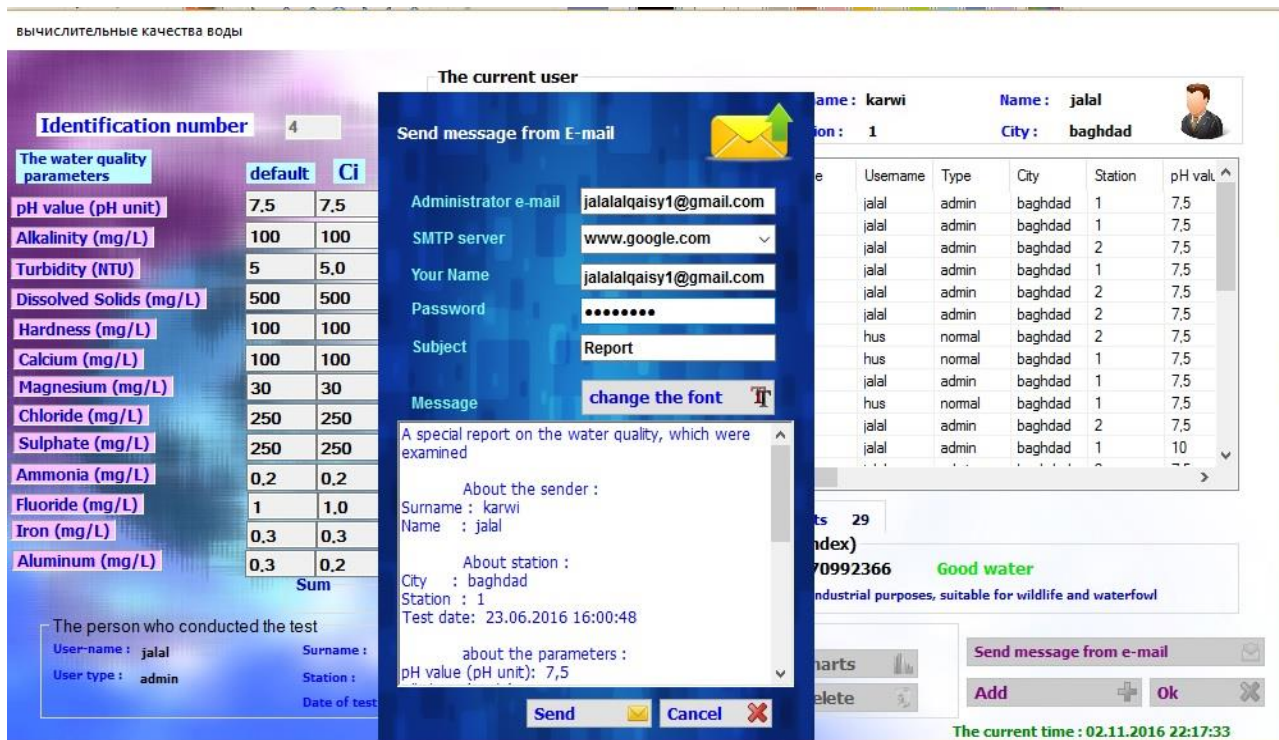


Fig. 4. Main window to send an e-mail report of each data analysis for the stations

The report containing all this information can be sent via email. Figure 4 shows the main window that allows printing of data after calculating the water

quality parameters, which attach information file to an alert mail to provide a suitable decision basis to the water authority.

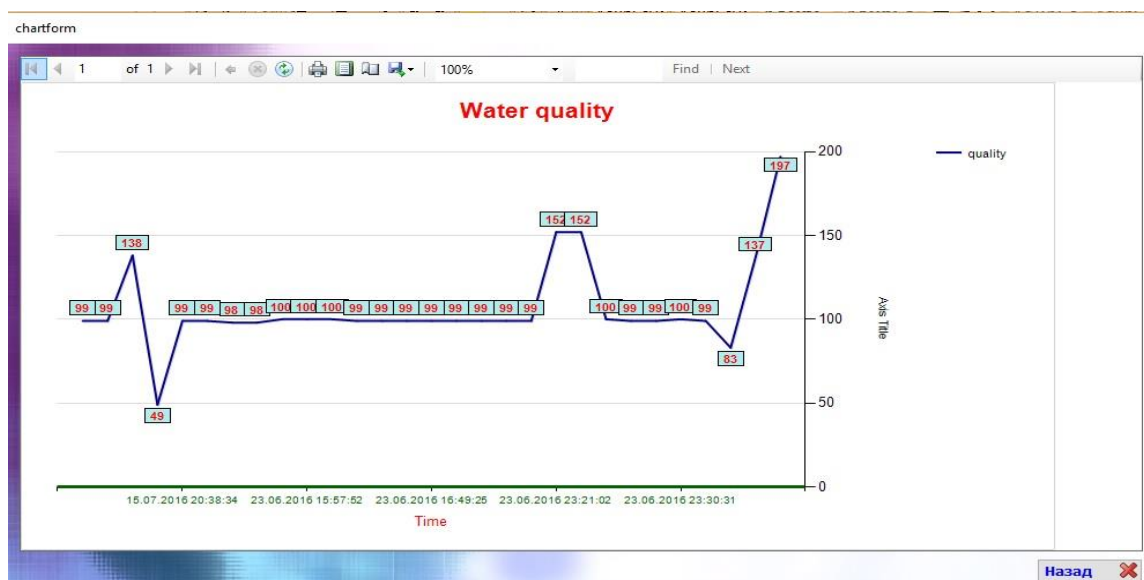


Fig. 5. Time series of all water parameters in the stations

Figure 5 shows the variation of water quality parameters in the stations. From these, we can choose the date of the input data from the retrieval button

and make a comparison between the parameters. Finally, the report containing all this information is sent to the water station suppliers (figure 6).

reportform

Search :

	id	id_usr	family	name	type	user_r	city	station	ph_va	alkalin	turbidit	dissolv	hardne	calciu	magne	chloric	sulpha	ammo	fluorid	iron	alumin	quality	datete	
▶	9	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	100	23.0...
	2	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	100	22.0...
	10	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	100	23.0...
	11	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	25	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	26	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	28	43	...	dul	hus	nor...	hus	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	29	43	...	dul	hus	nor...	hus	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	18	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	30	43	...	dul	hus	nor...	hus	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	33	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,1	1,0	0,3	0,2	99	23.0...
	34	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	10	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,2	0,2	83	23.0...
	35	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	2	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,4	0,2	152	23.0...
	36	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,33	0,2	152	23.0...
	37	31	...	karwi	jalal	admin	jalal	bag...	1	7,5	100	5,0	500	100	100	30	250	250	0,2	1,0	0,3	0,2	100	23.0...

Print report for one test    Print report for all tests    Cancel

The current time :: 02.11.2016 22:19:14

Fig. 6. An example for input data for calculating the water quality index

Figure 6 displays the data analysis result used for calculating the water quality index (see the equations above). Table 1 shows the conditions used to evaluate water quality which, if the WQI value is 100-200, then the water quality status is poor water (see Table 1). Finally the program will send an email report to the authority person which includes all the test information.

#### 4. Conclusions

The design and implementation of an environmental decision support system is a challenge in multi-criteria, involving software engineering, environmental modelling, as well as service and data semantics. In this paper, we have proposed an application for environmental crises, water management systems incorporating data and presentation services as well as dynamically selected simulation models able to calculate water quality status from real time. Also, we have provided the analysis tools for estimating strategies to avoid water pollution effects resulting from the waste industry, oil pollution and different causes. The present prototype of the water quality-DSS is limited to 13 environmental criteria water quality and 24 for water pollution. In this study, a hybrid decision support system was designed and developed based on a scoring method and experimental results. A rule-based system was also created. This system has the potential to provide useful information for the

optimum selection of water treatment combinations depending on the type of application and target water quality. In the case of water pollution, various causes are observed and processed by using a mathematical model. The program compares the real value of pollution parameters with the standard value of these parameters in order to identify the kind of pollution and to give an appropriate suggestion for the water pollution treatment. The water quality-DSS system automatically computes and measures the water quality. The water quality-DSS services provide water management inputs, such as the measured water quality or the water pollution test per water application unit. In the future, based on the feedback received from users, we hope to optimize the water quality-DSS by collecting improved data sets and addressing the additional environmental criteria identified by the users.

#### Acknowledgments

Thanks to the Ministry of Higher Education & Scientific Research, IRAQ.

#### References

1. Booth L., Everman J., Kuo I., Sprague L. and Murphy L. A Web-Based Decision Support System for Assessing Regional Water-Quality Conditions and Management Actions. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 47(5), 2011, pp. 1136-1150.

2. Ge Y., Li X., Huang C., Nan Z. A Decision Support System for irrigation water allocation along the middle reaches of the Heihe River Basin, Northwest China. *Environmental Modelling & Software*, 47, 2013, pp. 182-192.

3. Zhang K., Achari G., Zargar A., Islam M.S. and Sadiq R. Application of decision support systems in water management. *Environ. Rev.* 22, 2014, pp. 189–205 .

4. Jonoski A., Popescu I. Distance Learning in Support of Water Resources Management: An Online Course on Decision Support Systems in River Basin Management. *Water Resour Manage*, 26, 2012, pp. 1287–1305.

5. Delpla I., Monteith T., Freeman C., Haftka J., Jones G. and Thomas O. A Decision Support System for Drinking Water Production Integrating Health Risks Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 2014, pp.7354-7375.

6. Xia J., Lin L., Lin J. and Nehal L. Development of a GIS-Based Decision Support System for Diagnosis of River System Health and Restoration. *Water*, 6, 2014, pp. 3136-3151.

7. Ripa M.N., Leone A., Garnie M., Porto A.L.. Agricultural land use and best management practices to control non-point water pollution. *Environ, Manage*, 38(2), 2006, pp. 253–266.

8. Stefanovic N., Radojevic I., Ostojic A., Comic L. and Topuzovic M.. Composite Web Information System for Management of Water Resources. *Water Resour*

*Manage*, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2015, pp. 1.

9. Zeng Y., Cai Y., Jia P. and Jee H. Development of a web-based decision support system for supporting integrated water resources management in Daegu city, South Korea. *Expert Systems with Applications*, 39, 2012, pp. 10091–10102.

10. Zhang X., Huang H., Nie X. and Lin Q. Model-based decision support system for water quality management under hybrid uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, pp. 2809–2816.

11. Basim H. Assessment of Water Quality Index and Water Suitability of the Tigris River for drinking water within Baghdad City, Iraq, 2013.

**Карви Джалал**, магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Брусенцев Александр Григорьевич**, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, доктор физ.-мат. наук, профессор

**Carvey Jalal**, Master Degree Student, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

**Brusentsev Alexander Grigoryevich**, Professor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

УДК 004.6; 528; 004.8; 621.383; 621.472

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-43-54

Пенджиев А.М.

**ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ**

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, 1916-ая улица 136,  
г. Ашхабад, 744025, Туркменистан  
*e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

**Аннотация**

В статью заложены основы использования геоинформационной системы и технологии, которая позволит оперативно и подробно анализировать имеющуюся географически привязанную информацию различных альтернативных энергетических вариантов. Оцениваются возможности использования ветроэнергетических ресурсов, создается база данных в области энергообеспечения в труднодоступных отдаленных населенных пунктах страны. С помощью теоретических расчетов выведены эмпирические уравнения, составлена карта ветроэнергетических ресурсов для ГИС и обоснованы энергетические, экономические, экологические потенциалы для реализации государственных программ Туркменистана на основе возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика; ветроэнергетика; геоинформационные системы; технологии; энергоэффективность; экология; экобизнес; Туркменистан.

UDC 004.6; 528; 004.8; 621.383; 621.472

Penjiyev A.M.

**GEOINFORMATION SYSTEM IN DEVELOPMENT WIND POWER  
IN TURKMENISTAN**

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, 136 1912th St., Ashgabat, 744025, Turkmenistan  
*e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

**Abstract**

The article discusses the geoinformation systems (GIS) and creation of geoinformation technologies (GIT) which allow to analyze operatively and in detail the geographically connected information of various alternative variants of energy supplies. The author assesses the possibilities of using wind power resources and creates a database in the field of energy supplies in remote areas of the country. Using the theoretical calculations, the author deduces some empirical equations, makes a map of wind power resources for GIS, and substantiates the power, economic and environmental potentials for implementing the state programmes in Turkmenistan on the basis of renewable energy resources.

**Keywords:** renewable power economy; wind power resources; geoinformation systems; technologies; ecology; environmental business; Turkmenistan.

**Введение**

**Актуальность проблемы.** В своих выступлениях Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов неоднократно подчеркивал проблему о рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов, представляющую собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой имеет определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания –

биосферы. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии [1, 11,12,19].

Несмотря на то, что современная энергетика в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии (около 80% в мировом энергетическом балансе составляют нефть, газ и каменный уголь), интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) неуклонно растет.

Главными аргументами для использования ВИЭ являются высокая цена традиционного топлива, энергетическая безопасность для стран-импортеров нефти и газа и проблемы охраны окружающей среды.

В этой связи одной из важнейших научно-технических проблем народного хозяйства в энергетической отрасли является обеспечение геоинформационными технологиями (ГИТ) и поддержка принятия управленческих решений государственных органов в сфере планирования развития сектора энергообеспечения на основе ВИЭ. Стратегия развития энергетики для любого региона Туркменистана и вовлечение ВИЭ в его энергетический баланс напрямую зависят от имеющегося потенциала, как по отдельным видам, так и по совокупности видов ВИЭ (комплексного потенциала) [3, 8-10, 22].

Изучение неравномерностей пространственного распределения потенциала ВИЭ и выявление наиболее перспективных районов под строительство энергогенерирующих объектов в совокупности с анализом инфраструктуры в данных районах эффективно при использовании специализированных технологий геоинформационного моделирования.

В настоящее время отсутствуют исследования, посвященные вопросам применения геоинформационных технологий для выполнения пространственного моделирования потенциала возобновляемых энергоресурсов. Геоинформационные системы (ГИС) в данной предметной области используются, как правило, только для визуализации точечных результатов рассчитанных величин. Это выполняется по следующей схеме: а) рассчитываются точечные значения потенциала; б) с использованием ГИС общего назначения выполняется интерполяционное сглаживание по пространству; в) в той же ГИС общего назначения результаты визуализируются в виде карты ареалов или изолиний. Применение такой схемы оправдано при максимальной плотности исходных точечных данных, которая может быть обеспечена лишь на мелких масштабах. При работе со средними и крупными масштабами необходим другой подход. Подход, в рамках которого будут учитываться различия в плотности исходных данных параметров, влияющих на значение потенциала источников возобновляемых энергоресурсов, в частности ветроэнергоресурсов Туркменистана и каждый параметр будет рассмотрен отдельно в процессе иерархического решения поставленных задач [3, 8-10, 22].

Исходя из выше приведенных задач, автор подготовил статью, конечно, он осознает, что при написании статьи не все задуманное удалось реализовать в полном объеме. Он прекрасно понимает, что он делает первые шаги в этом направлении, поэтому имеются недостатки как в теоретическом плане, так в практической и прикладной части. Но тем не менее заложить основы вопроса использования ГИС технологий в области применения ветроэнергетики для энергообеспечения отдаленных населенных пунктов и смягчений антропогенных нагрузок на окружающую среду с помощью возобновляемых источников энергии стоит. Используемые материалы и методика подхода могут быть полезны для применения их не только в Туркменистане, но и в других странах мира.

*Целью и задачей статьи* является разработка ГИС, технологий и на основе ВИЭ обеспечение информационного, программного геоинформационного моделирования для решения задач оценки распределения возобновляемых энергоресурсов, в частности распределения и составления карты, проектно-сметной документации для технико-экономического обоснования, использования ветроэнергетических ресурсов на территории Туркменистана.

**Научная новизна.** Охарактеризованы основные положительные моменты построения новой ГИС и технологии и создана основа для решения задач комплексной оценки возобновляемых ресурсов, в частности ветроэнергоресурсов и их экологического потенциала на территории Туркменистана. Впервые с применением геоинформационных технологий построены: энергетическая и экологическая карта потенциала ветроэнергоресурсов и рассчитана техническая доступность ветроэнергетических ресурсов для электроснабжения на территории Туркменистана.

### **1. Основы геоинформационные системы в области возобновляемой энергетики**

ГИС – это интегрированные в единой информационной среде электронные пространственно-ориентированные изображения (карты, схемы, планы и т.п.) и базы данных (БД). В качестве БД могут использоваться теоретические расчеты, таблицы, паспорта, иллюстрации, расписания и т.п. Такая интеграция значительно расширяет возможности системы и позволяет упростить аналитические работы с координатно-привязанной информацией [3, 8-10, 22].

ГИС характеризуются следующими положительными моментами:

- наглядность представления семантической информации из БД за счет отображения взаимного пространственного расположения данных;

- увеличение информационной емкости продукта за счет связи пространственно-ориентированных изображений с семантической информацией из БД;

- улучшение структурированности информации и, как следствие, повышение эффективности ее анализа и обработки.

Традиционный набор функций ГИС при работе с картой включает:

- показ карты в различных масштабах;
- выбор набора слоев информации для показа;

- зависимость внешнего вида объектов от их семантических характеристик;

- оперативное получение информации об объекте при выборе его курсором мыши;

- возможность распечатки любых фрагментов карты.

**Области применения и использования ГИС – технологий.** Энергетические компании широко используют ГИС для разработки проектов. Например, с использованием локальных ГИС технологий, они позволили интегрировать и в комплексе проанализировать многие лимитировали факторы, как путь и интенсивность судоходства, территории разработки нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и многое другое. При оценке учитывали влияние каждого фактора, при этом обеспечили детальный анализ пригодности и экологическую чувствительность того или иного участка в процессе выбора мест для строительства энергетических объектов.

ГИС эффективны во всех областях, где осуществляется учет и управление территорией и объектами на ней. Это практически все направления деятельности органов управления и администраций: земельные ресурсы и объекты недвижимости, транспорт, инженерные коммуникации, развитие бизнеса, обеспечение правопорядка и безопасности, управление ЧС, демография, экология, здравоохранение и т.д. [3, 8-10, 22].

Интеграционные возможности ГИС поистине безграничны. Эти системы позволяют вести учет

численности, структуры и распределения населения и одновременно использовать эту информацию для планирования развития социальной инфраструктуры, транспортной, энергетической сети, оптимального размещения объектов здравоохранения, противопожарных отрядов и сил правопорядка и так далее [3, 8-10, 22].

В данной работе рассмотрим создание основы ГИС и технологию службы энергообеспечения отдаленных пустынных районов и получения информации для графического построения карт, как отдельных различных животноводческих объектов, улучшения сельских жителей, их экономическую, экологическую и социальную проблемы. Отмеченные на карте области во многих случаях гораздо нагляднее отражают требуемую информацию, чем десятки страниц отчетов с таблицами.

Использование возобновляемых источников энергии имеет важное значение для обеспечения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства в тепловой и электрической энергии, позволяет решать энергетические, социально-экономические, экологические проблемы регионов Туркменистана, удалённых от централизованных энергосистем.

**Особенности возобновляемых источников энергии.** Возобновляемая энергетика характеризуется многогранностью, разнообразием характеризующих её критериев и составляющих. В перечне задач возникает осуществление проектов по возобновляемой энергетике (ВЭ) (помимо технологических и технических), особо выделяются проблемы оценки возможности и энергоэффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для энергоэкологообеспечения регионов [8-10, 22].

Очевидно, что при этом с одной стороны необходимы обширные массивы информации, охватывающей как природные ресурсы территории, так и экономические, экологические характеристики региона (инфраструктура энергетике, энергетические балансы, линии электропередач, наличие отраслей промышленности; характеристики сельскохозяйственного производства, пастбищных животноводческих хозяйств и прочие другие.). С другой стороны, необходимо привлечь такие инструменты анализа, которые позволяли бы собирать, оперативно модернизировать и преобразовывать эти массивы данных, отображать их путем

всестороннего анализа и получать на их основе обоснованные оценки и делать технологические расчеты.

Одновременно следует учитывать, что зачастую пользователя интересуют комплексные оценки по различным видам источников энергии. В конкретных регионах наиболее эффективным может стать либо использование гибридных энергоустановок, либо создание нескольких установок (станций) на различных типах энергии. В связи с комплексностью указанной проблемы, а также известной «региональностью» возобновляемой энергетики, становится возможным и актуальным использование инструментария геоинформационных технологий.

### ***Зарубежный опыт использования ГИС в возобновляемой энергетике.***

В настоящий момент за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики. Рассмотренные в ходе исследования зарубежных авторов по геоинформационным ресурсам ВЭ можно подразделить по охвату территории на: локальные; региональные; национальные; глобальные. Например: 1) Атлас возобновляемой энергетики Вермонта [3] – региональная ГИС, разработанная на основе ArcGIS 9.3.1. включает в себя детальную информацию о действующих объектах возобновляемой энергетики на территории штата Вермонт (США). 2) Созданная в Национальной лаборатории ВИЭ США (NREL USA) Renewable resources map and data [3, 8] является геоинформационной системой национального уровня. По тематической широте, объему предоставляемой информации и охвату территории данная ГИС является, по-видимому, в настоящее время наиболее представительной и развитой среди аналогичных зарубежных национальных ГИС. Открытая для свободного доступа версия в Интернет включает: динамические карты, базы данных, инструменты, позволяющие пользователю иметь доступ к картам, данным и проводить анализ ресурсов возобновляемой энергетики для определения, какие технологии наиболее жизнеспособны (конкурентоспособны) для США и других стран. 3) 3TIER RenewableEnergy [3, 9, 10] – коммерческий ГИС-продукт, который предоставляет в открытом (демонстрационном) режиме только услугу Firstlook по первичной оценке ресурсов трех источников возобновляемой энергии: ветра, солнца и водных потоков. Она позволяет сделать некоторые заключения о

содержании и возможностях данного программного продукта. Оценка ветроэнергетических ресурсов основывается на данных наблюдений и результатах численного моделирования атмосферной циркуляции с учетом рельефа местности и свойств поверхности.

Таким образом, продукт, предлагаемый компанией 3TIER, характеризуется наличием постоянно обновляемой базой данных, а также возможностью пополнения ее собственными данными пользователя; инструментами анализа данных для получения на их основе новой «производной» информации, представлением результатов в виде диаграмм, графиков, карт и других визуальных объектов. Однако, отсутствие информации о методиках проведения расчетов, а также оценок точности прогноза являются весьма критичным.

Первые шаги в России сделаны с использованием ГИС в области возобновляемой энергетики учеными из МГУ Новаковским Б.А., Прасоловой А.И., Киселевой С.В., Рафиковой Ю.Ю. и другими [8, 9].

В Туркменистане на данный момент нет аналогов зарубежным ГИС по возобновляемой энергетике. На отечественном рынке создание ГИС сдерживается дороговизной специализированных программных средств, длительными сроками разработки и высокими требованиями к "компьютерной" квалификации персонала. При этом экологические вопросы на основе ВИЭ и экологические потенциалы практически не изучены, тем более ГИС и технологиями [3, 8-10, 22].

Началом моей работы в этом направлении стала инициатива по использованию ветроэнергетических установок в пустынной зоне Каракумы. Потенциал ветроэнергетических ресурсов на территории Туркменистана огромны [10-19] и характеристическая база данных собрана, теоретически рассчитана и получены эмпирические формулы [6,11-15].

По имеющим результатам направленности выделили однокомпонентные ГИС ветроэнергетическую обстановку и многокомпонентные (включающие в себя несколько комбинированных ВИЭ).

По типу информации, включили в основу ГИС ВИЭ однокомпонентную, в частности ветроэнергетических ресурсов выделили следующие направления задачи:

– данные для оценки ветроэнергетических ресурсов (комплекс метеорологических, ветровых



режимов, энергетического потенциала, кадастра и их особенности численность населения местности и многих других параметров);

–технические характеристики ветроэнергетических установок (для расчета предполагаемой выработки электрической энергии);

–экономические предпосылки (цены на энергию от традиционных и ветроэнергетических установок (в целях сравнения энергетическую, экономическую целесообразность и возможности создания экобизнеса на основе продаже квот углеродному фонду и Всемирному баку для поддержания механизма чистого развития (МЧР));

–энергетические балансы регионов (предприятия, производящие ветроэнергетическую установку, инвестиции в данную область, налоговые льготы на использование ветроэнергетических ресурсов, зарплаты работников объектов на станции и т.д.);

–социальные предпосылки (решения социально-бытовых условий, потенциал рабочих места, занятость населения отгонным животноводством в пустынной зоне Каракумы и других хозяйствах. Прогноз объема выработки электроэнергии, уменьшение негативных факторов, влияющих на здоровье населения за счет снижения вредных выбросов и т.д.);

–экологические аспекты: величина снижения вредных выбросов при использовании ветровых ресурсов, снижение загрязнения окружающей среды, почвы, воды, уровня радиационного фона (выбросов криптона в районах, где использовались атомные электростанции и др.) [7-10, 12].

Исходя, из выше поставленных задач, в статье сделан упор на создание основ по использованию ГИС технологий в ветроэнергетике Туркменистана.

**Общие физико-географические условия Туркменистана.** Туркменистан – нейтральное, независимое государство в Центральной Азии, расположена между 35° 08' и 42° 48' северной широты и 52° 27' и 66° 41' восточной долготы, севернее гор Копетдага, между Каспийским морем на западе и рекой Амударья на востоке. Протяженность с запада на восток – 1110 км, с юга на север – 650 км. Площадь государства – 491,2 тыс. кв.км. На севере он граничит с Казахстаном и на севере и юго-востоке с Узбекистаном, на юге – с Ираном и Афганистаном [1-2, 11, 12, 19].

Туркменистан обладает высоким энергетическим потенциалом. Строительство 1 км

линий электропередач (ЛЭП) обходится государству в 18–25 тыс. долл. США, что экономически не целесообразно, поэтому одним из перспективных, направление обеспечения энергией отдаленных населенных пунктов страны, является использование возобновляемых источников энергии. По изученным данным на территории Туркменистана энергетический потенциал ВИЭ огромен и составляет: Солнца –  $4 \cdot 10^{15}$  кДж или  $1.4 \cdot 10^9$  т у.т. в год; ветра –  $640 \cdot 10^9$  кВт ч в год; геотермальных вод – 2,5 млн. т у.т в год, кроме того еще достаточно энергии биомассы и малых рек.

Принятие решений использования ГИС и технологий на основе ветровой энергии в разработке, составлении проектно-сметной документации, необходимо технико-экономическое обоснование для проектирования в строительстве энергетических объектов. Для этого нужны различного рода географическое месторасположение, энергетические ресурсы и создание базы данных с соответствующими потенциалами [10-15, 19].

Создание современной инфраструктуры на основе инновационных технологий и повышение роста сельскохозяйственного производства в пустынной зоне является одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Туркменистана на долгосрочную перспективу [1].

**Ветровой режим и его особенности в Туркменистане.** Ветер на различных высотах в атмосфере Земли для каждой точки ее поверхности характеризуются его скоростью, которая, строго говоря, является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности, сезона года и погодных условий. Все процессы, напрямую связанные с использованием текущего значения скорости ветра, в частности, производство электроэнергии в ветроэлектрических установках, имеют сложный характер, так что их характеристики обладают статистическим разбросом и неопределенностью средних ожидаемых значений.

Климат Туркменистана резко континентальный с короткой, довольно холодной зимой и сухим жарким продолжительным летом.

Для холодного периода рассматриваемой территории наиболее характерна юго-западная периферия сибирского антициклона, а также выходы с юга южно-каспийских и мургабских циклонов. В январе на побережье Каспийского моря наблюдаются преимущественно восточные ветры, вызванные в силу муссонной циркуляции

смещением воздуха с холодной суши на более теплое море (повторяемость 30-40%). В Центральных Каракумах наиболее часты восточные и северо-восточные ветры (повторяемость 25-35%), обусловленные в основном юго-западной периферией сибирского антициклона, а также выходом южно-каспийских циклонов. По крайнему юго-востоку Туркменистана в это время года наблюдаются преимущественно юго-восточные и северо-западные потоки воздуха (повторяемость 15-25%) [2, 10-14, 19].

## **2. Основные этапы создания ГИС карты ветропотенциала Туркменистана**

Для создания основы ГИС карты ветроэнергетического потенциала проделан целый ряд научно-исследовательских работ: математические операции и расчеты ветропотенциала; экспериментальное распределение скорости и распределение Вейбулла; временные зависимости средней скорости ветра; распределения удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана; модель постоянного коэффициента полезного действия выхода ветроэлектрической установки на расчетный режим и многие другие расчеты, которые приведены в моих научных трудах [5, 12-21].

**Распределение удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана.** Для фонового районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока используются данные метеостанций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (классы открытости по Милевскому – 6б и выше). В соответствии с этим принципом для районирования для Туркменистана было отобрано около 72 метеостанций и выведены районы, соответствующие следующим шести диапазонам удельной мощности ветра, Вт/м<sup>2</sup>, на высоте 10 м: 1) <75, 2) 75-125, 3) 125-250, 4) 250-500, 5) 500-1000, 6) 1000-1500. Составление карты ветроэнергетического потенциала позволяет определить удельную ветровую энергию на ровной открытой местности. Если же ставить целью размещение ветроэлектрических установок в энергетически более благоприятных условиях, например, на верхних частях склона, то следует ввести поправки, учитывающие форму рельефа местности [4, 11-19, 21].

**Валовый потенциал ветровой энергии.** Валовый (теоретический) потенциал ветровой

энергии региона – это среднееголетняя суммарная ветровая энергия движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

Полное использование энергии ветра на высоте осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, отстоят друг от друга на расстоянии, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории м<sup>2</sup> в год – результат расчета энергии ветра. Например, для острова Кызыл-Су на побережье Каспийского моря равен 0,623 10<sup>6</sup> кВт\*ч/(м<sup>2</sup> \* год) [4, 11-19].

**Технический потенциал ветровой энергии.** Технический потенциал ветровой энергии региона – это суммарная электрическая энергия, которая может быть получена в регионе от использования валового потенциала ветровой энергии при современном уровне развития технических средств и соблюдении экологических ограничений. Технический потенциал для острова Кызыл-Су составляет: 9,8 10<sup>4</sup> кВт ч/год [13, 14].

Технический и энергетический потенциал с удельным расчетом мощности, энергией ветрового потока и с использованием экспериментальных результатов повторяемости скорости ветра на высоте 10 м, представлен на рисунке 1.

**Экономический потенциал ветровой энергии.** Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования ветроэлектрических установок, получение которой экономически оправдано при существующем уровне цен на производство, транспортировку, потребление энергии, топлива и соблюдении экологических норм. Экономический потенциал региона представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон [11-19].

Удельная стоимость установленной мощности ветроэлектрических станций, подключенных к энергосистемам, уменьшилась в 4 раза с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт. Экономическая эффективность, стоимость вырабатываемой электроэнергии и установленной мощности, а также срок окупаемости и службы ветроэлектрических установок представлены на рисунке 2.

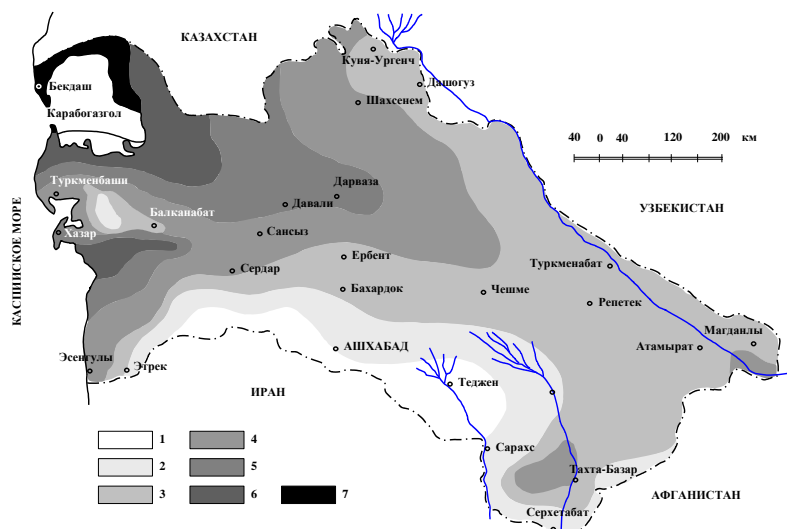


Рис. 1. Ветроэнергетические ресурсы Туркменистана

1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью составит менее 100 кВтч/м<sup>2</sup> в год; 2 – от 100 до 200; 3 – от 200 до 400; 4 – от 400 до 600; 5 – от 600 до 800; 6 – от 800 до 1000; 7 – более 1000

Fig. 1. Wind power resources of Turkmenistan

1 - areas where the energy of an air stream with 90 % supply will make less than 100 kWh /m<sup>2</sup> in a year; 2 – from 100 to 200; 3 - from 200 to 400; 4 – from 400 to 600; 5 – from 600 to 800; 6 – from 800 to 1000; 7 – over 1000

Срок окупаемости ветроэлектрической установки, определенным по выше изложенным результатам, для острова Кызыл-Су равен 2,3 годам.

На рисунке 2 представлены графики изменения стоимости вырабатываемой электроэнергии и установленной мощности зарубежных сетевых ветроэлектрических станций по годам. В 1996 г. стоимость электроэнергии составляла менее 5 цент/(кВт ч) и была сравнима со стоимостью энергии, получаемой при использовании традиционных топлив. Более того, в настоящее время, например, в Дании стоимость электроэнергии от ветроэлектрических станций меньше, чем от электростанций на угле.

За тот же 15-летний период удельная стоимость установленной мощности ветроэлектрических станций, подключенных к

энергосистемам, уменьшилась в 4 раза с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт.

Стоимость установленной мощности возобновляемых источников энергии для конкретного региона, в том числе ветроэлектрических установок, включает в стоимость производства соответствующее оборудование, расходы по его транспортировке на место установки и стоимость строительства. Определение стоимости установки, а также ресурса ее работы в натуральных условиях, позволяют установить стоимость вырабатываемой полезной энергии и дают возможность произвести сравнительный анализ с другими источниками энергии, в первую очередь с традиционными. Тем самым можно определить экономическую целесообразность и эффективность использования иного вида возобновляемых источников энергии в данном регионе страны.

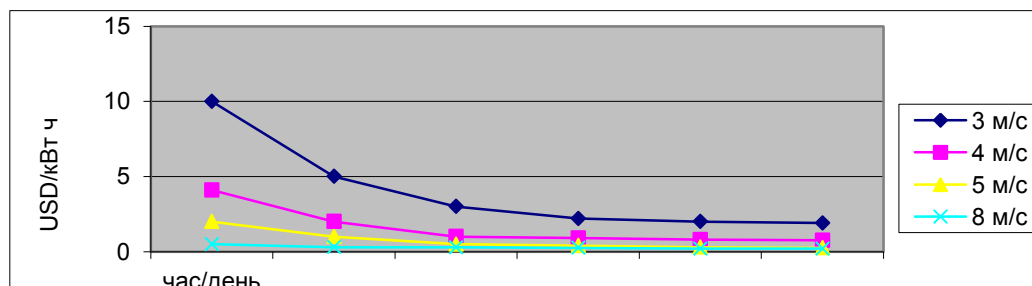


Рис. 2. Изменение скорости ветра и удельная стоимость электроэнергии

Fig. 2. Change of wind speed and specific cost of the electric power

**Экологические выгоды от внедрения ветроэнергетической установки.** Выражение выгода определяет экономическую эффективность и не учитывает влияние вводимых установок на окружающую природу, социальные условия жизни и деятельности человека, в целом это определяется экологическими условиями. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключающимся в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

Одной из форм учета влияния вводимых источников энергии на экологию региона может быть введение в удельную стоимость получаемой энергии регионального экологического фактора источника, учитывающего относительные расходы на компенсацию вредных последствий ввода единицы энергии того или иного источника в регионе. Если удельная стоимость источника энергии в производстве, то удельная стоимость с учетом коэффициент регионального экологического фактора, причем коэффициент регионального экологического фактора  $>1$  для источника, приводящего к ухудшению экологической обстановки в регионе, и коэффициент регионального экологического

фактора  $<1$  – для источника, улучшающего экологическую обстановку в регионе; для одного и того же источника в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы [11-19].

Как видно из рисунка 3 ожидаемые сокращения выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Туркменистане при средней годовой выработке ветровой энергии  $300 \text{ Вт/м}^2$  с удельной мощностью на  $1 \text{ кв.м}$  и при эквиваленте расхода топлива –  $0,12 \text{ Кг/год}$ , то сокращение загрязняющих веществ составит:  $\text{SO}_2$  –  $2,5 \text{ кг/год}$ ;  $\text{NO}_x$  –  $1,4 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CO}$  –  $0,2 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CH}_4$  –  $0,4 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CO}_2$  –  $191,8 \text{ кг/год}$ ; твердых веществ –  $0,3 \text{ кг/год}$ .

Таким образом, с учетом региональных факторов стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования ветроэлектрической установки в общем случае определяются включением коэффициента регионального экологического фактора. На рис. 3 представлена гистограмма, а в таблице 1 значения экологического потенциала ветроустановки вырабатываемой энергии  $100$  и более  $1000 \text{ Вт/м}^2$  и возможность сокращения загрязняющих веществ от выработки с одного квадратного метра ветрового потока [13,14].

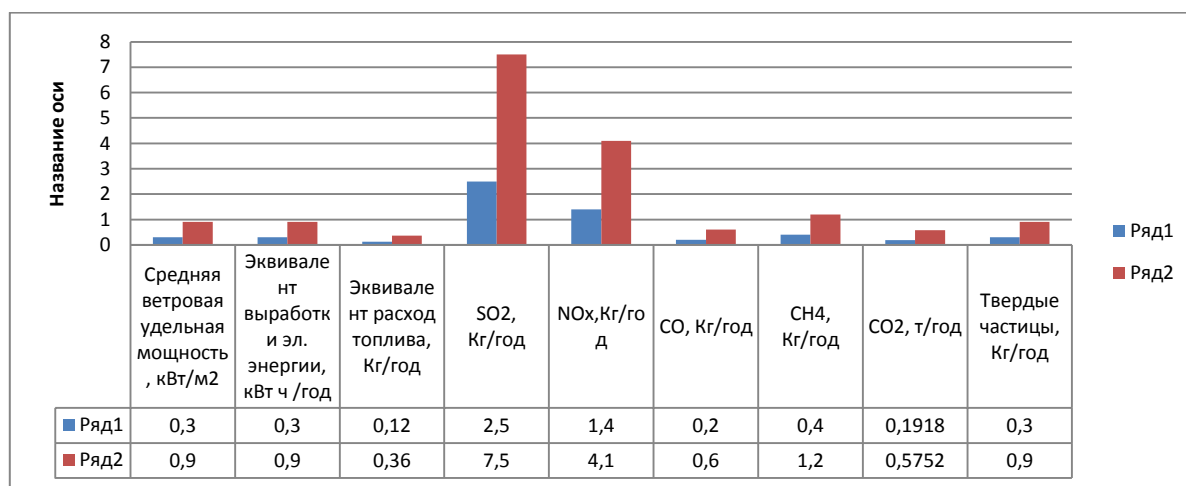


Рис.3. Гистограмма экологического потенциала выработки ветроэнергии  $300 \text{ Вт}$  и  $900 \text{ Вт}$  с  $1 \text{ м}^2$

Fig. 3. The histogram of ecological potential of the development of wind power of  $300 \text{ W}$  and  $900 \text{ W}$  with  $1 \text{ m}^2$

### 3. ГИС экологическая карта для конечного пользователя

Конечной задачей разработанной ГИС технологии является формирование доброжелательной информационной среды для пользователя – наглядная экологическая карта.

Информационно-экологическая картографическая среда сформировалась в результате созданных баз данных и математических расчетов приведенных на рисунке 4 и модифицировалась в процессе опытной эксплуатации, в соответствии с уточняющимися требованиями разработана приведенная экологическая карта.

Таблица 1

Экологический потенциал от ветроэнергетических ресурсов с квадратного метра в Туркменистане

Table 1

**Ecological potential of wind power resources from a square metre in Turkmenistan**

кВт/кв.м	SO <sub>2</sub> т/год	NO <sub>x</sub> т/год	CO т/год	CH <sub>4</sub> т/год	CO <sub>2</sub> т/год	Твердые Вещества т/год
100	0,000831	0,000448	5,81395E-05	0,000122	0,063953	8,72093E-05
200	0,001663	0,000895	0,000116279	0,000244	0,127907	0,000174419
300	0,002494	0,001343	0,000174419	0,000366	0,19186	0,000261628
400	0,003326	0,001791	0,000232558	0,000488	0,255814	0,000348837
500	0,004157	0,002238	0,000290698	0,00061	0,319767	0,000436047
600	0,004988	0,002686	0,000348837	0,000733	0,383721	0,000523256
700	0,00582	0,003134	0,000406977	0,000855	0,447674	0,000610465
800	0,006651	0,003581	0,000465116	0,000977	0,511628	0,000697674
900	0,007483	0,004029	0,000523256	0,001099	0,575581	0,000784884
1000	0,008314	0,004477	0,000581395	0,001221	0,639535	0,000872093

Учитывая вышеназванные поставленные задачи и созданные базы данных по регионам страны построена однокомпонентная ГИС экологическая карта сокращения CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> от

ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра (см. рисунок 4).

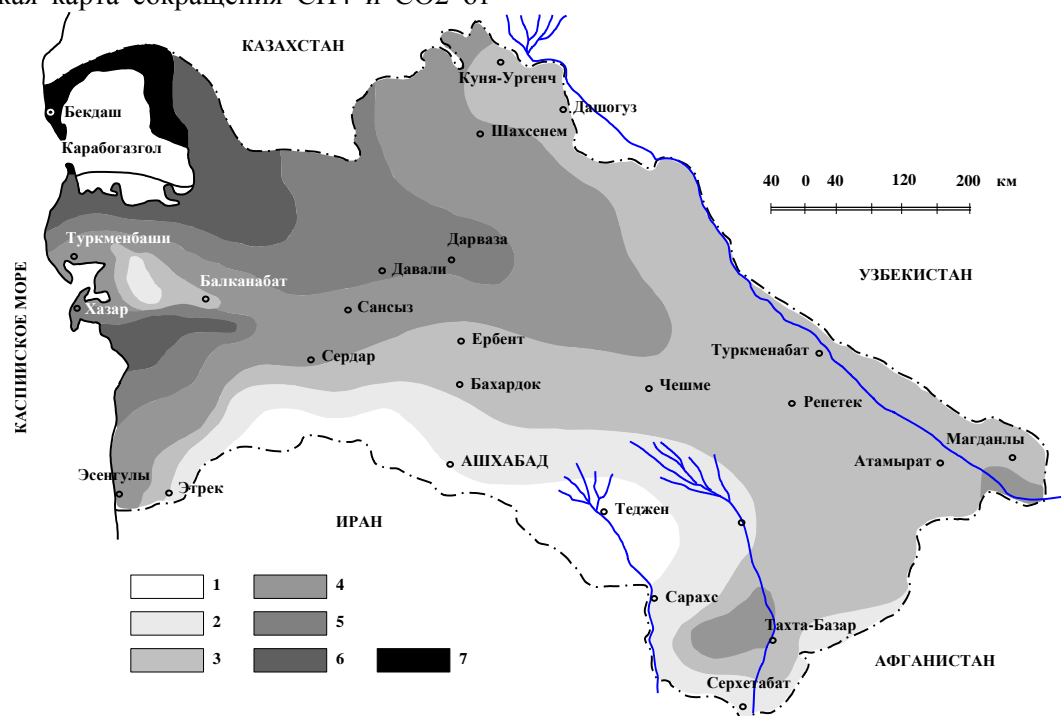


Рис. 4. ГИС экологическая карта сокращения CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> от ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра. 1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью и сокращения CO<sub>2</sub> составит менее 0,000122 и 0,063953 т/ в год; 2 – от 0,000122 и 0,063953 до 0,000244 и 0,127907; 3 – от 0,000366 и 0,19186 до 0,000488 и 0,255814; 4 – от 0,000488 и 0,255814 до 0,000733 и 0,383721; 5 – от 0,000733 и 0,383721 до 0,001099 и 0,575581; 6 – от 0,001099 и 0,575581 до 0,001221 и 0,639535; 7 – более 0,001221 и 0,639535 .

Fig. 4. The GIS ecological map of reduction of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from wind power resources in Turkmenistan from a square metre. 1 – areas where the energy of an air stream with 90 % supply and reduction of CO<sub>2</sub> will make less than 0.000122 and 0.063953 tn a year; 2 – from 0.000122 and 0.063953 to 0.000244 and 0.127907; 3 – from 0.000366 and 0.19186 to 0.000488 and 0.255814; 4 – from 0.000488 and 0.255814 to 0.000733 and 0.383721; 5 – from 0.000733 and 0.383721 to 0.001099 and 0.575581; 6 – from 0.001099 and 0.575581 to 0.001221 and 0.639535; 7 – more than 0.001221 and 0.639535

**Эмпирическая повторяемость скорости ветра.** В Туркменистане до настоящего времени оценка возможности использования энергии ветра основывалась на исследованиях крупномасштабного территориального распределения скорости и удельной мощности ветрового потока [4-6], по данным наблюдений за скоростью ветра на сети метеостанции (МС) [4]. На основе полученных баз данных МС были выделены районы наиболее перспективные с точки зрения практического использования энергии ветра.

В результате математической обработки фактических материалов по 72 МС Туркменистана были вычислены статистические характеристики эмпирических распределений скорости ветра и по ним найдены уравнения 3-х типовых режимов повторяемости скорости ветра:

Режим повторяемости скорости ветра, характерный для побережья Каспийского моря (Хазар, Карабогазгол) может быть представлен зависимости в промилях (%):

$$t_i = 1571 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}} e^{-0.75 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{2,0}} \quad (1)$$

Режим повторяемости скорости ветра на равнинной территории пустыни Каракумы:

$$t_i = 1258 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{0,45} e^{-0.87 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{1,45}} \quad (2)$$

Режим повторяемости скорости ветра в юго-восточной части Туркменистана (Бадхыза, верховьях Амударьи):

$$t_i = 1017 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{0,03} e^{-0.99 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{1,03}} \quad (3)$$

Из уравнений (1-3) для всех трех типов вычислены повторяемости для  $\bar{\mathcal{G}}$  от 2,0 до 8,0 м/с через 0,2 м/с и получены значения в целых промилях для каждой скорости ветра  $\mathcal{G}_i$  от 0 до 25 м/с.

**Заключение.** Стремление человечества к улучшению условий жизни начинает приводить к изменению среды обитания. В то же самое время ответ на вызовы последних десятилетий лежит, что называется, на поверхности. Мы достигли того уровня знаний, когда энергию, столь необходимую для сбалансированного существования и движения вперед, можно добывать без нанесения вреда окружающей нас миру, и использовать с гораздо большей эффективностью, чем это делается сегодня. Говоря языком экономики, человечество может и должно честно и ответственно делить мировой

экологический рынок со всеми видами и формами жизни на Земле. Вопросы развития возобновляемых источников энергии актуальны и для Туркменистана, вступившего в стадию модернизации и инновационного роста.

Наиболее перспективными для размещения ветроэнергетических установок для страны является побережье Каспийского моря и участки их шельфов. Так как на шельфах морей удельная мощность ветрового потока достигает более 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а на побережьях 500-1000 Вт/м<sup>2</sup>, в то время как на удалении от побережий и в глубинных районах страны удельная мощность ветрового потока составляет 100-500 Вт/м<sup>2</sup>.

Из рассмотренных вышеизложенных позиций можно сделать следующие **выводы**:

1. В соответствии с разработанными ГИС технологиями и составленной экологической ветропотенциала картой и методическим подходом получены оценки эколого-экономической эффективности внедрения "новых" проектов по сокращению выбросов СО<sub>2</sub>. Приведенные результаты в таблицах и рисунках позволят оценить конкурентоспособность рассмотренных проектов по составлению проектно-сметную документацию для технико-экономического обоснования (ТЭО), а также относительно продажи квот в регионе и проранжировать их по степени привлекательности для инвесторов, заинтересованных в получении квот по сокращению выбросов для экологического бизнеса.

2. Представленные эмпирические расчеты (1-3), составленная карта экоэнергетических ресурсов использования ветроэнергетических установок на территории Туркменистана, будут эффективным, доступным средством энергосбережения и обеспечение экологической безопасности окружающей среды местности.

3. При средней годовой выработке ветровой энергии 900 Вт/м<sup>2</sup> с удельной мощностью на 1 кв.м и при эквиваленте расхода топлива – 0,36 кг/год, сокращение вредных выбросов составит: SO<sub>2</sub> – 7,5 кг/год; NO<sub>x</sub> – 4,1 кг/год; CO – 0,6 кг/год; CH<sub>4</sub> – 1,2 кг/год; CO<sub>2</sub> – 575,2 кг/год; твердых веществ – 0,9 кг/год см.

Составленная ветроэнергетическая карта дает количественную оценку ветроэнергораспределения ресурсов; используя ее, можно подсчитать энергетические, экономические ресурсы пастбищных районов на территории Туркменистана. Например, годовой экономический эффект от комбинированного использования гелиоветроэнергетических систем

теплохладоснабжения дома в сельской местности площадью 150 м<sup>2</sup> составит 0.4 тыс. долларов и экономит на душу внесения 180-200 кг.у.т. За счет ветроагрегата можно удовлетворить от 40%-85% энергопотребления.

#### Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. А.: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бабаев А.Г. и др. Физическая география Туркменистана. Учебное пособие А.: Туркменская государственная издательская служба, 2014.
3. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
4. Дурдыев А.М., Пенджиев А.М. Снижение энергетической антропогенной нагрузки на климатическую систему Туркменистана с помощью нетрадиционных источников энергии // Мат-лы между симп. по изменению климата. М., 2003.
5. Колодин М.В. Энергетические ресурсы Каракумов. // В кн. Пустыня Каракумы и пустыня Тар. Ашхабад: Ылым, 1992, с. 157-171.
6. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблемах окружающей среды. М., Наука, 1982, 320 с.
7. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. Москва, 1998.
8. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС «Возобновляемые источники энергии России» // Труды 6-й между. Науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 314-322.
9. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике // Труды 6-й между. Науч.-техн. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 314-322.
10. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод Туркменского озера «Алтын асыр» // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2014. № 13. С 129-150.
11. Пенджиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок. Международное изд-во: LAMBERT Academic Publishing / Германия, 2012. 168.
12. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. Международное изд-во: LAMBERT Academic Publishing / Германия, 2012. 226 с.
13. Пенджиев А.М. Эффективность использования ветроэлектростанций в Туркменистане // Проблемы освоения пустынь №1, Ашхабад: 2004, стр. 20-25.

14. Пенджиев А.М. Экоэнергетические ресурсы ветровой энергии в странах содружества независимых государств // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2013. № 5. С. 129-150.

15. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (обобщение статей) // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 08 (148) 2014. С. 45-78.

16. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 10 (78) 2009. с142-148.

17. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетики и ее экологический потенциал в Туркменистане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 9 (77) 2009. С.131-139.

18. Пенджиев А.М. План действия и стратегия внедрения в возобновляемую энергетику // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 16 (138) 2013. С.39-60.

19. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. Монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.

20. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математические основы экологии. СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. 156 с.

21. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. Энергоиздат, М.1990.

22. <http://www.gis.su>

#### References

1. Berdymukhamedov G.M. State regulation of socio-economic development of Turkmenistan. Volume 1. A.: The Turkmen State Publishing Service, 2010.
2. Babayev A.G. et al. Physical Geography of Turkmenistan. Tutorial A.: The Turkmen State Publishing Service, 2014.
3. Dyachenko N.V. Using GIS technology URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>.
4. Durdyev A.M., Penjiyev A.M. Reducing energy anthropogenic load on the climate system of Turkmenistan using alternative energy sources // Materials of Int. Symp. on Climate Change. Moscow, 2003.
5. Kolodin M.V. Energy resources Karakum // In kn. Karakum Desert and the Thar Desert. Ashgabat: Ylym, 1992, p. 157-171.
6. Marchuk G.I. Mathematical modeling in environmental issues. Nauka, Moscow, 1982, 320 p.
7. Lozanovskii I.N., Orlov D.S., Sadovnikov L.K. Ecology and protection of the biosphere by chemical pollution. Moscow, 1998.
8. Nefedova L.V. The database structure for small hydropower development in the framework of GIS "Renewable Energy of Russia" // Proceedings of the 6th Int. Scientific and engineering. Conf. "Energy supply and energy efficiency in agriculture." Part 4: M.: GNU VIESH, 2008, pp 314-322.
9. Nowakowski. B.A., Prasolova A.I., Kiselev S.,

Rafikova J.J. Geographic Information System for Renewable Energy // Proceedings of the 6th Int. Scientific and engineering. "Energy supply and energy efficiency in agriculture." Part 4: M.: GNU VIESH, 2008, pp 314-322.

10. Penjiyev AM Geoinformation technology is the use of return waters "Altyn Asyr" Turkmen lake // Alternative Energy and Ecology - ISJAEE. 2014. № 13. p. 129-150.

11. Penjiyev A.M. Climate change and the possibility of reducing anthropogenic pressure. International Publishing House: LAMBERT Academic Publishing / Germany, 2012. p. 168.

12. Penjiyev A.M. Ecological problems of desert development. International Publishing House: LAMBERT Academic Publishing / Germany, 2012. 226 p.

13. Penjiyev A.M. Efficiency vetroelektroustanovok in Turkmenistan // Problems of Desert №1, Ashgabat: 2004, pp 20-25.

14. Penjiyev A.M. Ecoenergy wind energy resources in the countries of the Commonwealth of Independent States // Alternative Energy and Ecology - ISJAEE. 2013. № 5. p. 129-150.

15. Penjiyev A.M. Renewable energy and ecology (compilation of articles) // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 08 (148) 2014, p. 45-78.

16. Penjiyev A.M. The Clean Development Mechanism: energy efficiency priorities in Turkmenistan //

International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 10(78) 2009, p. 142-148.

17. Penjiyev A.M. Prospects for renewable energy and its environmental potential in Turkmenistan // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 9 (77) 2009, p. 131-139.

18. Penjiyev A.M. The action plan and implementation strategy in renewable energy // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 16 (138) 2013, p. 39-60.

19. Strebkov D.S., Penjiyev A.M., Mamedsahatov B.D. The development of solar energy industry in Turkmenistan. Monograph. M.: GNU VIESH 2012.

20. Fedorov M.P., Romanov M.F. Mathematical basics of ecology. SPb.: SPbGTU Publishing, 1999. 156 p.

21. Shefter Ya. The use of wind energy. Energoiedat, M. 1990.

22. <http://www.gis.su>

**Пенджиёв Ахмет Мырадович**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корр. РАЕ, академик МАНЭБ, доцент кафедры Автоматизация производственных процессов

**Akhmet M. Penjiyev**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Department of Automation of production processes



UDC 004.891.3

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-55-63

Savva Yu.B.

**MONITORING AND ANALYSIS OF ILLEGAL ACTIVITY OF PARTICIPANTS  
OF ONLINE SOCIAL NETWORKS IN THE CONTEXT OF THE SOLUTION  
OF THE PROBLEM OF SAFETY OF THE PERSONALITY AND THE STATE**

Orel State University named after I.S. Turgenev, 95 Komsomol'skaya St., Orel, 302026, Russia  
*e-mail: su\_fio@mail.ru*

**Abstract**

Advances in information and communication technologies have led to a global information society and the emergence of a new digital world in which the development of each individual, communities, states, politics, and economics greatly depend on the use of telecommunications. At the same time global informatization allows to use new information and communication technologies to destabilize social situation in different countries, government authorities as well as to conduct illegal and destructive activities of political, criminal and terrorist organizations.

In conditions of increasing instability of the situation in international relations and global economy there appear new challenges and threats to national security and sustainable development in Russia and other countries, including in the virtual environment. In this regard, the special relevance of the problem of cybersecurity for public authorities, economic entities and ordinary citizens in the processes of their interaction on the Internet, including ONS.

The article puts forward a method of analysis of activity and identification of participants of the online social networks conducting illegal activity. Besides, it considers the structure of the information system of monitoring of their behavior.

**Keywords:** Cybersecurity; illegal activity; online social networks; telecommunication; information system.

УДК 004.891.3

Савва Ю.Б.

**МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ ПРОТИВОПРАВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
УЧАСТНИКОВ ВИРТУАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В КОНТЕКСТЕ  
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИЧНОСТИ  
И ГОСУДАРСТВА**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, ул. Комсомольская, 95  
г. Орел, 302026, Россия  
*e-mail: su\_fio@mail.ru*

**Аннотация**

Достижения в области информационных и коммуникационных технологий привели к созданию глобального информационного общества и появлением нового цифрового мира, в котором развитие каждого человека, общества, государства, политики и экономики в значительной степени зависят от использования телекоммуникаций. В то же время глобальная информатизация позволяет использовать новые информационные и коммуникационные технологии, чтобы дестабилизировать социальную ситуацию в разных странах, правительственные органы, а также проводить незаконные и деструктивной деятельности политических, криминальных и террористических организаций.

В условиях возрастающей нестабильности ситуации в международных отношениях и мировой экономики возникают новые вызовы и угрозы национальной безопасности и устойчивого развития в России и других странах, в том числе и в виртуальной среде. В связи с этим, особую актуальность приобрели проблемы обеспечения кибербезопасности для органов государственной власти, хозяйствующих субъектов и простых граждан в

процессах их взаимодействия в сети Интернет, в том числе в виртуальных социальных сетях.

В статье предложен метод анализа деятельности и идентификации участников виртуальных социальных сетей, осуществляющих противоправную деятельность, а также структуру информационной системы мониторинга их поведения.

**Ключевые слова:** кибербезопасность; противоправная деятельность; виртуальные социальные сети; телекоммуникации; информационная система.

### **INTRODUCTION**

The Internet provides opportunities to enhance the degree of social integration, and at the same time, it contributes to the development of deviant behavior of users due to their partial or complete anonymity. Users can be both active participants in social networking, concerned with promoting and implementing the criminal actions and passive participants, who are exposed to the effects of the relevant information. At the same time the state security threats and identity are the propaganda of terrorism, extremism, drug abuse and drug trafficking through the web-sites of the Internet and online social networks (ONS, web 2.0). These circumstances require monitoring, and in some cases, close monitoring of the user's network in order to analyze their actions and to identify actors' destructive effects on law-abiding participants in social networking.

The VKontakte (InContact) network is one of the most popular ONS in Russia. Being popular, it has led a network of young people whose consciousness is still being formed and to the choice of the VKontakte network to analyze activity of its participants conducting illegal and destructive actions. Quick updates and dissemination of information in social networks makes the process of monitoring and analyzing reports difficult. Furthermore social networks represent large amounts of data, which are practically not indexed by traditional search engines. In addition, the message texts are not always structured and grammatically correct. To complicate the understanding of the topics discussed by the uninitiated, to complicate the search and discovery of persons involved in criminal activity, the communication often uses a special slang.

To solve the problem of activity analysis and identification of participants in the network VKontakte there has been developed an information monitoring system of the network. The structure of information for monitoring and analyzing network system includes 6 software packages and four data bases.

### **1. THE SOFTWARE PACKAGE TO IDENTIFY THE ACTIVITY OF PARTICIPANTS IN ONS**

This software package is designed for the formation of the history of the activity of selected participants in ONS, including date and time of the activity status and the device, including its type, with which there were recorded the visits to personal pages of participants. Gathering participants' activity is carried out using a «cron» type task scheduler on the server every 5 minutes that runs a script that collects the required data, which are entered into a database. A feature of this software package is to use the structure as an architectural pattern MVC (Model, View, Controller), and the presence of an expandable list of device types that are used by users to visit the ONS. There was developed a software package to identify the activity of the participants of ONS for desktops (Windows XP and above) as well as for mobile devices and tablets (running Android 4 and above).

The result of the operation of software package for identifying activity of the controlled participant of ONS is presented in figure 1.

### **2. SOFTWARE PACKAGE FOR AUTOMATED CONSTRUCTING OF SOCIAL GRAPH OF CONTACTS OF PARTICIPANTS OF ONS**

This software is intended for information search about contacts of a particular participant's contacts in ONS, having a personal identifier, identifying connections between a pluralities of found contacts and constructing a social graph. In terms of data mining, ONS is a heterogeneous multirelational array of data presented in a graph. Therefore, to study the ONS structure in this software we used the cluster analysis algorithms to split the network nodes representing objects into classes based on their relationships as well as their attributes.

Information search is conducted for keywords and phrases in the pages of the participants of ONS, as well as on the "Wall" – the data is laid out by these parties on the overall review and comments.

Дата	Время	Статус	Устройство
2015-04-30	21:20:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	21:30:00	В сети	Компьютер
	21:40:00	В сети	Компьютер
	21:50:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	22:00:00	В сети	Телефон
	22:10:00	В сети	Телефон
	22:20:01	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	22:30:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	22:40:00	В сети	Компьютер
	22:50:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	23:00:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	23:10:03	В сети	Компьютер
	23:20:00	В сети	Компьютер
	23:30:00	Не в сети	На момент запроса был не в сети
	23:40:00	В сети	Компьютер

Fig. 1. Report on the activity of the controlled participant in ONS VKontakte

The object of the database "Participants", which describes the participants of social network VKontakte, has the following structure:

1) Standard fields

–id (identifier),

–first\_name (name),

–last\_name (surname),

–deactivated (refundable in case if the user page deleted),

–hidden (returns the unit if the user page is hidden from outsiders);

2) Additional fields including:

–nickname,

–activities,

–occupation,

–status,

–last\_seen,

–followers\_count,

–common\_count,

–wall\_comments,

–lists (list IDs of friends) and others.

A total of 46 additional fields provided.

A feature of this software package is incorporated in its base graph drawing an algorithm based on particle physics with gravity field around each node, and the links mechanism is implemented on the basis of the springs.

Figure 2 shows a graph of contacts of the controlled participant's ONS.

### 3. CRAWLER

Crawler collects data by iterating through the pages of users and communities in ONS. Content

reviewed by the crawler pages is passed to the indexer.

Depending on the problem to be solved by the user of information system fuzzy text search in the text of the message of participants of ONS can be carried out in the following variants (for example, an evolved search for participants, promoting the use of narcotic drugs and psychotropic substances):

–Using the entire database jargon;

–Only for certain selected groups of illegal drugs and psychotropic substances;

–For the jargon related to the group of the most characteristic of the speech and signaling addicts on unique accessories authors of these messages to the field of drug addiction.

Indexer is a collection of several modules where the input data for one module are output to another. The content of the page in question is subject to an initial analysis of the natural text presented in the form of a chain of ASCII characters, generates the information needed for further processing morphological and syntactic processor, the result of which is a set of lexical units. At this stage, if necessary, a word with a certain degree of probability exposed deobfuscation subject to the rules remove the obfuscation. Next fuzzy text search is carried out among the set of lexical units with the use of a linguistic database (LBD) jargon. The database accumulates slang and word forms permissible in a particular area. Accounting morphology will increase the accuracy of the information retrieval. In addition, there is interpretation and storing for each rank jargon. Rank is the degree of specialization jargon -

vernacular vocabulary, slang and vernacular specialized vocabulary. Vernacular vocabulary becomes jargon only in a context that is particularly special difficulty in identifying keywords in the text.

Common words form a collocation - phrases that are signs of syntactically and semantically coherent units. This collocation receive new semantic value is not peculiar to their lexical components separately.

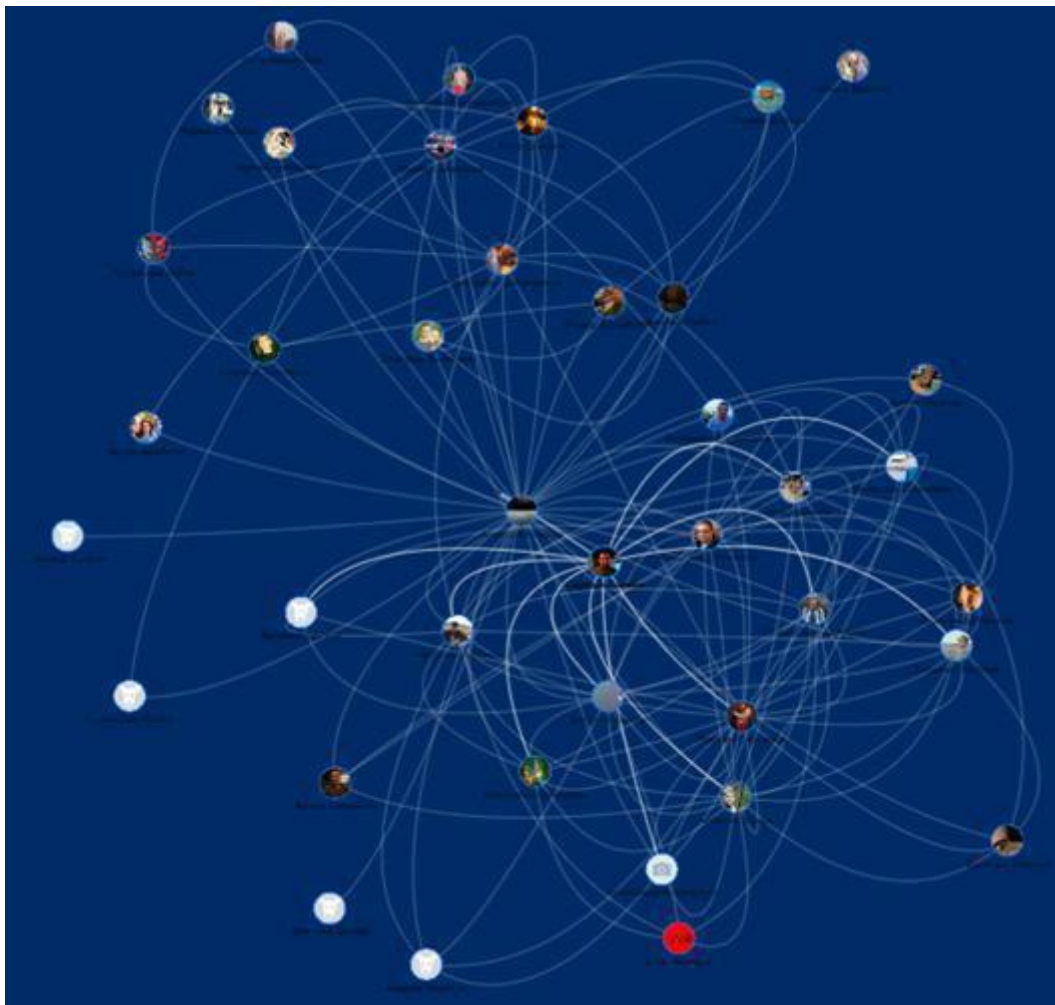


Fig. 2. Graf of contacts of the controlled participant of an ONS

If the page content contains keywords found with the degree of probability, given at the fuzzy text searching, then the page is indexed. Thus, the index database stores information only about the suspicious pages. Unlike traditional search engine, the ranking in the monitoring system of the results takes place before the formation of the index. Such an approach is determined by the purpose of the monitoring system – detection of individuals involved in the promotion of deviant behavior and provocations. Pages containing highly specialized words, that are located on the top search, are already in the process of forming the index.

#### 4. PACKAGE FOR REMOVING OBFUSCATION OF THE TEXTS

The obfuscation of the texts in ONS may be applied to conceal the machinery from the search correspondence concerning illegal activities such as trafficking of drugs or weapons.

In general, the following methods are used for obfuscating the text message (either separately or together): intentional misspelling; improper segmentation of words; substitution alphabet to characters similar in appearance or character combinations; pasting insignificant characters; for the Russian language – the use of transliteration. It is necessary to take into account that the participants of ONS often use slang and neologisms.

Most of the existing research is focused on content filtering and spam e-mails. The most commonly used (alone or in combination) include: regular expressions, N-programmatic probabilistic models, phonetic similarity search obfuscated strings with key words, the distance Damerau-Lowenstein. However, these methods do not solve the problem of opening the obfuscation of texts for all kinds of deobfuscation. The method, which allows to solve the problem of deobfuscation in all these ways earlier text obfuscation, is the use of a hidden Markov model (HMM). This probabilistic model code obfuscated text is observation, and the task is to find a sequence of hidden states corresponding to the characters of the alphabet, which most likely correspond to derived observations. This package uses the Viterbi algorithm.

This model uses the lexical tree constructed on the basis of a dictionary and determining the probability of transition between states HMM (tree nodes), based on pre-calculated word frequency. For the processing of words that are not in the dictionary, there is a second part of the model. As the transition probabilities between the states of the second part of the model used by the statistical data of letters to each other for a specific language. The probability of observing symbols when in a particular hidden state is empirically determined from training patterns.

A disadvantage of this model is the large number of states, which constitute the lexical tree that leads to considerable working time of the Viterbi algorithm. This issue is critical in the case of the Russian language: in it, unlike English, which was developed for the specified model, significantly there are more word forms for each word. Each word must be stored in the tree for the accuracy of deobfuscation, which increases the number of states (instead of word forms in the lexical tree may store only word stems to form a word form under the rules of the language, but for jargon and neologisms detected during the operation, the automatic detection of word forms is not trivial, so that the construction of tree using word forms) was chosen.

To solve this problem, all of the state's corresponding to one symbol alphabet determined in the super-state. For each super-state is entered redundant, allowing to determine the cases forcing the insertion of characters and repeating characters. The transition probabilities are determined by checking whether it is possible to find obtained in this step of the Viterbi algorithm a sequence of hidden states in the lexical tree, considering only that part of the sequence that corresponds to the intended last word.

The package uses two approaches: the use of super-states of the lexical tree and states for the words out of the dictionary (also duplicated to account for the possibility of inserting characters). This algorithm has been developed that allows the lexical tree be left to stand too long in view of the addition of new words. This allows you to more accurately conduct deobfuscation, identifying and adding the most common words and adding specialized dictionaries on particular subjects (eg, substance abuse). Basic Dictionary was compiled based on the most frequently used word forms of the Russian language, which cover about 70% of the text, "The Russian National Corpus."

For correct operation of the HMM required parameters defining the probability that in a latent state does not occur surveillance symbol (delete character in the word), a transition to the redundant hidden state (symbol insertion), the probability distribution of the symbols of observations for each super-state, and the ratio which determines the ratio of the transition probability in one of the two parts of the HMM. To calculate these parameters using the machine learning is used sampling obfuscated messages. To calculate the frequency of words that do not belong to the initial dictionary used accumulated in the process of bringing the frequency statistics from the word to the unit «imp» (number of cases per million words).

#### **5. STATISTICAL TEXT ANALYSIS PACKAGE**

The purpose of this package – the collection, evaluation and optimization of the statistical data of the Russian language for the implementation and effective functioning of the statistical language models within the obfuscation algorithm opening message texts.

Since the implementation of the algorithm opening obfuscation as a data representation model uses a HMM, it is necessary to calculate its parameters, in particular, such as the probability distribution of observed states. This problem is solved as follows. It is necessary to create a table of possible obfuscation (the observed states of the model) of the respective characters of the Russian alphabet (hidden states of the model). Next, you need to optimize the initial assumptions about the parameters of the model based on the marked training sample. As an optimization method is used EM-algorithm for the maximum likelihood estimation.

#### **6. PACKAGE FOR MESSAGE CLASSIFICATION AND CLUSTERING OF SOCIAL GRAPH**

Classification of participants in the social network on the data from their posts held by

constructing mathematical model messaging of participants of ONS. This allows the message text classification (formally, to determine the category of simulated), to make recommendations on how to add new terms to the dictionary with an indication of their possible categories, as well as the classification of participants of ONS based on the categories of messages. On the basis of the text messages housing members of the network, methods of topic model generated a thematic model that determines the probability distribution of the documents and the probability distribution of words in the topics. As a method of thematic modeling algorithm used latent Dirichlet allocation (LDA).

Next to the distributions of words each topic classification method used to determine the topics in a particular category. For this training set is used, which is actually a dictionary where each word is marked categories. After that, the decision on affiliation of each user to a certain class of pre-characterizing suspicious message content network participant. For the above two actions appropriate to use a naive Bayesian classifier as the implementation of the method. It is also one of the results of the thematic modeling is the ability to identify new words not found in the dictionary, and a recommendation on awarding them to the category.

The clusters highlighted on the graph, which is shown in figure 2, are presented in figure 3.

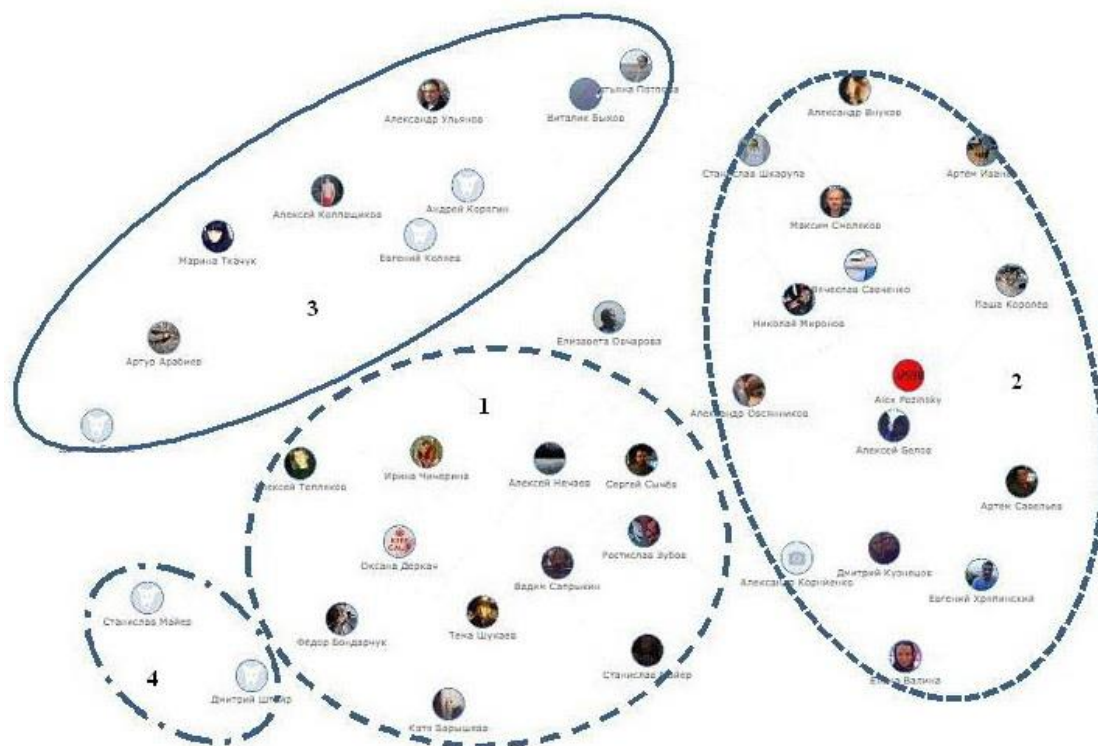


Fig. 3. Clustering of the graph of contacts

The clusters presented in figure 3 is selected according to the frequency of contacts: 1 – weekly contact; 2 – contacts with periodicity not less often than once a month; 3 – contacts, carried out not more frequently than once a month; 4 – contacts, carried out with a frequency of less than once in three months.

### 7. DATABASE

The database of information system may contain various terms for text search. Consider a database structure in the example of the jargon which is used

in the sphere of illicit trafficking in narcotic drugs and psychotropic substances.

To identify the jargon of the database in the text of the message we need to solve the problem which is called the identification of entities or recognition of named entities. As a result of solving this task were allocated to the following entities:

- Substance – narcotic drug or psychotropic substance;
- SubstanceGroups – group of narcotic drugs and psychotropic substances;
- Semantics – entity denoting semantics of the jargon;

- WordForms – word form;
- PseudoBasis – pseudosasa of jargon.

In figure 4 the fragment of the chart of classes of information system of search of jargons in the sphere

of illicit trafficking in drugs and psychotropic substances is presented [1].

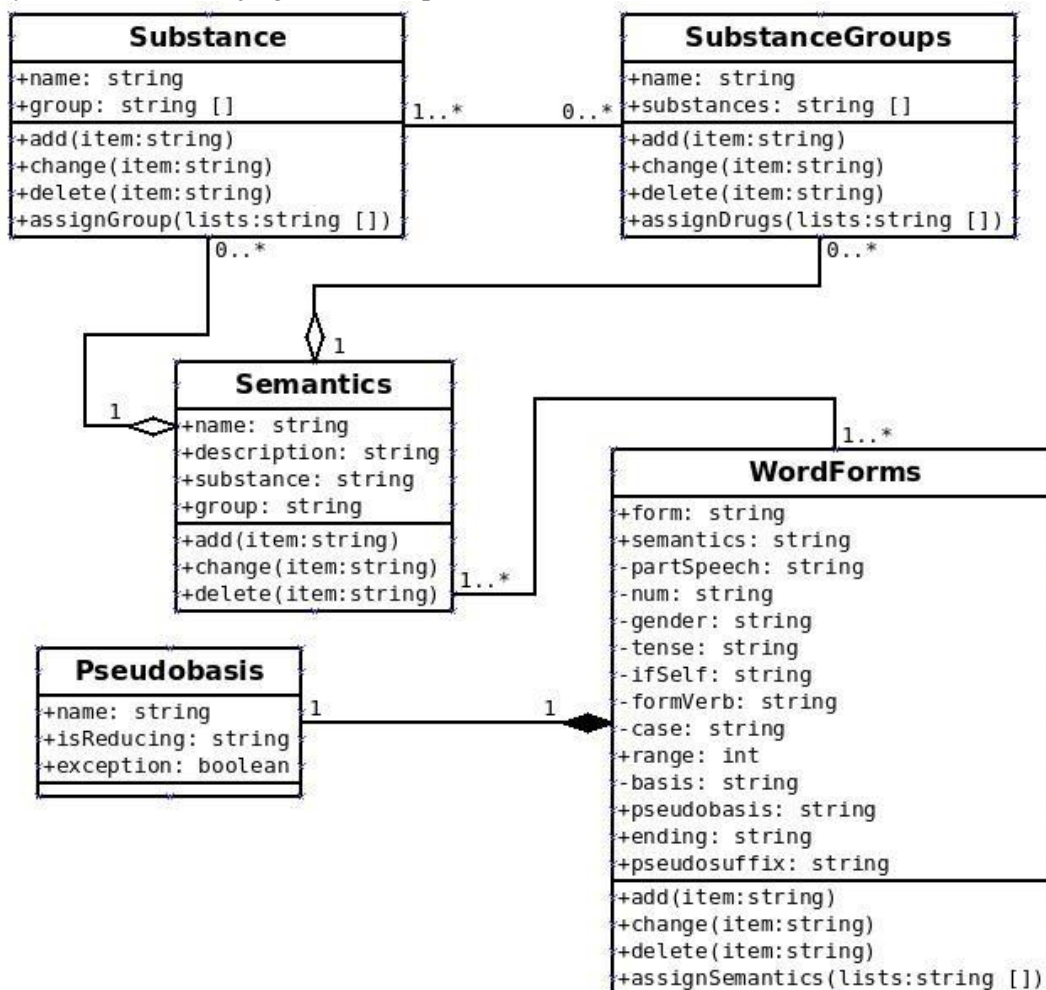


Fig. 4. Fragment of the chart of classes of information system of search of jargons in the sphere of illicit trafficking of drugs and psychotropic substances

Drugs are mostly distributed in groups of substance (assignGroup method), but allowed to have a database of substances not associated with any of the existing groups. Methods “add”, “change”, “delete” allow us to add a new drug, edit and delete an existing drug substance, respectively.

The user of information system has a possibility of creation of new groups of narcotic substances according to any desirable criterion, for example, the drugs limited in a turn or new synthetic drugs. Then substances from the database are brought in new group.

Semantics of jargons can represent the name of drug or the whole group of substances, and also designate the narcotic state, tools, persons distributing and using drugs, etc. There is a probability of a polysemy when one jargon can

designate several values and vice versa, one type of semantics can extend to a set of jargons. The “description” attribute of essence “Semantics” allows the user to add the expanded text description for this or that value of a jargon by the principle of the explanatory dictionary.

For word forms pseudo-bases which are used by information search are allocated. The ending and pseudosuffix attributes of essence WordForms represent the termination and a pseudo-suffix of a word form respectively. The range attribute defines degree of a specialization of this or that word form, basis represents a word basis if at word change the reduction fact takes place, other attributes are grammatical features. The assignSemantics method allows appropriating to a word form a set of values.

### CONCLUSION

Linguistic analysis of text messages the participants of ONS using a database developed by the jargon in the field of illicit trafficking in narcotic drugs and psychotropic substances allows using software to conduct the construction and analysis of the structure of these networks, as well as the properties of individual communications and thus solve the problem of identification of actors included in the promoting individual and community distributing narcotic drugs and psychotropic substances on the Internet.

The information system considered in this paper is used in regional departments of Russian police.

Currently underway database work to fill these terms from other areas: terrorism, extremism and

others. This will extend the scope of the information system for the monitoring of ONS to solve the problems of safety of the personality and the state.

### References

1. Savva Yu.B., Davydova Ju. V. Linguistic Database for Monitoring a System of Online Social Networks in Providing Information and Psychological Security // Collection of works of the VIIth Conference “European integration: justice, freedom and security (2016, Tara)”, V. 1.: Academy of criminalistics and police studies of Republic of Serbia, Belgrade, 2016. Pp. 145-154.

**Савва Юрий Болеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности

**Yuri B. Savva**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Security



## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 004.73

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-64-71

Махмуд А.Ш.  
Поляков В.М.

**ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ  
МОБИЛЬНЫХ AD-HOC СЕТЕЙ (MANET)**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, ГК 209,  
г. Белгород 308012, Россия.

*e-mail: akeelab2000@gmail.com, p\_v\_m@mail.ru*

### Аннотация

Мобильные ad-hoc сети (MANET) это самоорганизующиеся беспроводные сети, которые представляют собой систему узлов без фиксированной инфраструктуры и которые могут быть быстро развернуты в таких условиях как сети военного назначения, сети в зонах чрезвычайных ситуаций, виртуальные аудитории и некоторых других. Узлы в сетях MANET мобильны и способны к автономной самоорганизации. В результате, топология сети постоянно динамически изменяется. По этой причине, маршрутизация в сетях MANET является значительно более сложной задачей, чем маршрутизация в проводных сетях. Протоколы маршрутизации в сетях MANET подразделяются на проактивные, реактивные и гибридные. В реактивных протоколах маршрут формируется при необходимости, в то время как в проактивных он задается сразу. Как проактивные, так и реактивные протоколы имеют определенные ограничения, например, проактивные протоколы используют больший объем трафика для обработки информации о маршрутах, тогда как реактивным протоколам требуется больше времени для установления маршрута. Протоколы нового поколения совмещают в себе характеристики реактивных и проактивных протоколов и называются гибридными протоколами маршрутизации. Цель настоящего исследования – оценка производительности протоколов AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) и DSR (Dynamic Source Routing) при помощи симулятора сети NS2. Для сравнения работы протоколов применялись две метрики производительности – средняя пропускная способность и средняя задержка, на основе таких параметров как размер пакета и скорость узлов. Анализ полученных результатов продемонстрировал, что протокол AODV обладает более высокой производительностью, чем DSR в плане пропускной способности, в то время как DSR является более эффективным в плане более низких показателей средней задержки.

**Ключевые слова:** мобильные ad-hoc сети, пропускная способность, средняя задержка, размер пакета, скорость узлов, AODV, DSR.

UDC 004.73

Mahmoud A.S.  
Polyakov V.M.

**PERFORMANCE EVALUATION OF ROUTING PROTOCOLS  
IN MOBILE AD-HOC NETWORKS (MANET)**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia  
*e-mail: akeelab2000@gmail.com, p\_v\_m@mail.ru*

### Abstract

Mobile Ad-hoc Network (MANET) is an automobile wireless network and a collection of nodes that has no fixed infrastructure and can be rapidly deployed in any environment like military applications, emergence response, virtual classrooms, and some other applications. Nodes in MANET can organize themselves autonomously and are free to move in any direction. Hence, the

topology of this network is changing frequently and dynamically. Because of this, routing in MANET is a lot more difficult than routing in a fixed wired network. Routing protocols in MANET are classified into proactive, reactive and hybrid routing protocols. In reactive protocols, a route is established only when needed while the route in proactive protocols is available immediately. Both proactive and reactive approaches have their own limitations, for example, the proactive protocols use excess bandwidth in maintaining the routing information while, the reactive ones have long route request delay. The new generation of protocols have a nature that is reactive and proactive, and are known as hybrid routing protocols. The goal of this paper is performance evaluation of Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) and Dynamic Source Routing (DSR) routing protocols, using NS2 Simulator. We applied two performance metrics, average throughput and average end-to-end delay, based on packet size and speed of the nodes. The final analysis with realistic outcomes shows that AODV has better performance than DSR in terms of throughput whereas DSR is better for the low average end-to-end delay.

**Keywords:** Ad hoc network; throughput; End-to-end delay; packet size; speed of nodes; AODV, DSR.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений сетевых технологий являются сети MANET, благодаря уникальной возможности развертывания этих сетей в любом месте и в любое время. Сети MANET – это беспроводные сети с динамической топологией, состоящие из мобильных узлов и не имеющие фиксированной инфраструктуры или централизованного управления [1]. Сети MANET могут стать эффективным решением для работы различных приложений и сред в таких условиях как аварийный режим работы (например, в зонах ликвидации чрезвычайных ситуаций), в сетях военного и гражданского назначения. Сети MANET удобны в использовании, так как они не требуют дорогостоящей инфраструктуры, в отличие от традиционных беспроводных сетей.

В связи с отсутствием статичных узлов в сетях MANET и их мобильностью для настройки и работы данных сетей предлагались различные протоколы маршрутизации, в том числе AODV и DSR [2]. Кроме того, каждый из узлов в беспроводных сетях MANET многофункционален, являясь одновременно маршрутизатором и хостом, при этом передача данных между узлами осуществляется без какого-либо централизованного управления. За счет мобильности узлов, топология сети постоянно изменяется. Для осуществления многошаговой маршрутизации между узлами требуются эффективные протоколы маршрутизации. По сравнению с проводными сетями сети MANET обладают уникальными характеристиками. В связи с ограниченным радиусом трансмиссии в беспроводных сетях, маршрутизация в сетях MANET является многошаговой [3]. За последнее время немало исследований было посвящено

маршрутизации в сетях MANET, что обусловлено необходимостью поиска наиболее оптимального и эффективного протокола маршрутизации для данных сетей. Для решения проблем, возникающих при использовании сетей MANET, таких как подвижность узлов, высокий уровень помех, низкая пропускная способность канала и высокое энергопотребление [4], были рекомендованы различные реактивные, проактивные и гибридные протоколы. Тем не менее, различие между этими протоколами заключается главным образом лишь в механизме обновления информации о маршрутах. Целью данной работы является анализ эффективности двух реактивных протоколов маршрутизации - AODV и DSR. Исследование проведено на основе таких метрик производительности как средняя пропускная способность и средняя задержка, при изменяющихся значениях размера пакетов и скорости узлов, с использованием симулятора NS2.

### 2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

#### 2.1 Протокол маршрутизации AODV (Ad-hoc on-demand distance vector)

AODV представляет собой реактивный протокол на основе протоколов DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing) и алгоритмов протокола DSR. В протоколе AODV применяется поиск маршрута аналогичный протоколу DSR, а понятие поддержки маршрута, присвоения порядковых номеров и применение маяков реализуется по образцу протокола DSDV [2]. Для поиска и установления путей между узлами протокол использует различные виды сообщений: сообщения об ошибке (сообщения RERR, Route Error), ответы (сообщения RREP,

Route Reply) и запросы (сообщения RREQ, Route Request) [5].

Процесс поиска маршрута инициируется одним из узлов при необходимости, т.е. когда между двумя узлами нет требуемого маршрута. С целью поиска узла назначения узел-инициатор отправляет широковещательные RREQ-запросы соседним узлам. Также процесс установления маршрута может быть инициирован, если маршрут был каким-либо образом разорван [6]. Для построения обратного маршрута к узлу-отправителю требуется участие промежуточных узлов, получивших сообщение RREQ. Во избежание образования циклов при маршрутизации пакету присваивается порядковый номер. Когда узел-адресат получает запрос RREQ, он отправляет ответное сообщение RREP, содержащее информацию о номере получателя и количестве ретрансляций. Для установления как прямого, так и обратного пути от инициатора к узлу назначения, сообщение

RREP отсылается по установленному маршруту обратно к узлу-инициатору. Еще одним параметром маршрутизации является время существования маршрута. Если за это время ни один пакет не проходит по данному маршруту, этот маршрут удаляется из таблицы [7].

В протоколе AODV каждый узел рассылает сообщения «hello» в режиме поддержки маршрутов. Когда узел обнаруживает разрыв установленного маршрута, он отправляет сообщение об ошибке (RRER) предыдущим узлам данного маршрута. Сообщение об ошибке отсылается узлу-инициатору, а промежуточные узлы после получения сообщения RERR обновляют таблицу маршрутов. Узел-инициатор, получив сообщение RERR, начинает процесс формирования маршрута заново [8, 9].

На Рис.1(а) и 1(б) показаны соответственно пути пакета-запроса RREQ и ответного пакета RREP в протоколе AODV.

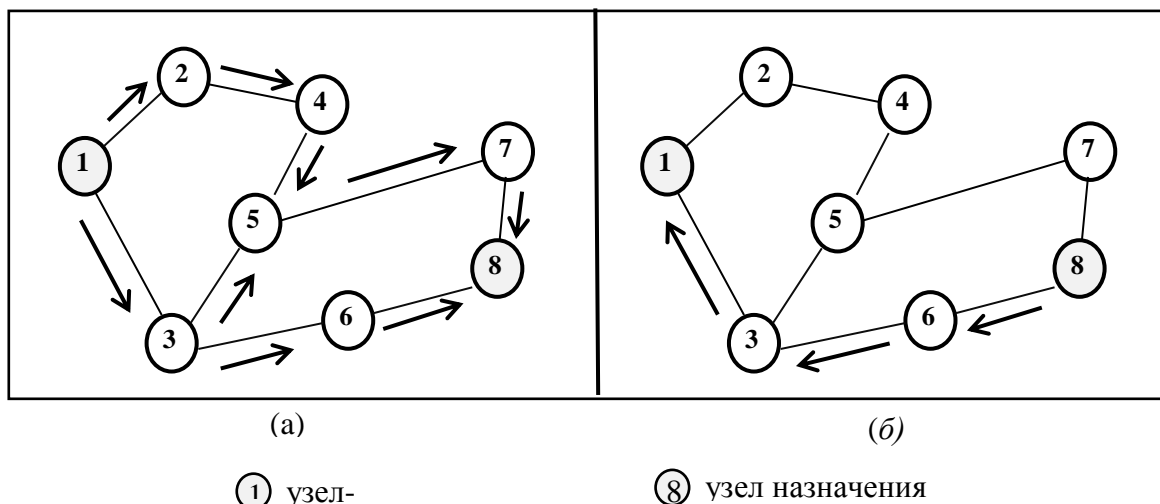


Рис. 1. Протокол маршрутизации AODV: (а) пакет RREQ; (б) пакет RREP

Fig. 1. AODV Routing Protocol: (a) RREQ Packet; (b) RREP Packet

## 2.2 Протокол маршрутизации DSR (Dynamic Source Routing, Динамическая маршрутизация от источника)

Протокол DSR – это протокол маршрутизации, который формирует маршрут по требованию и в котором узел-отправитель задает последовательность узлов, необходимых для передачи пакета данных. Информация о количестве узлов для маршрутизации содержится в заголовке пакета. Для изучения маршрутов от источника каждый из узлов накапливает информацию о маршрутах. Главные компоненты работы DSR – это поиск маршрута и поддержка маршрута, которые функционируют

одновременно для установления и поддержания маршрутов в различных направлениях.

Целью разработки данного протокола была необходимость снизить потребление трафика управляющими пакетами в сетях MANET. Это достигается путем отказа от использования служебных сообщений об обновлениях (как в протоколах с табличным подходом). Кроме того, DSR является самонастраивающимся протоколом для беспроводных сетей. Также он может применяться в мобильных сетях и системах сотовой мобильной связи с количеством узлов до 200. Сеть, использующая протокол DSR,

способна настраивать и конфигурировать сама себя без вмешательства человека. Задача установления каждого маршрута в протоколе DSR решается с учетом возможности использования данной информации для формирования последующих маршрутов в выбранных направлениях. Двумя главными компонентами работы данной сети являются уже упомянутые поддержка маршрута и установление маршрута. Это позволяет установленному

маршруту функционировать эффективно и избегать возникновения петель при изменениях сети. Поддержка маршрутов обеспечивает транмиссию даже при модификациях сети, а функция установления маршрута позволяет находить оптимальный путь между узлом-отправителем и узлом назначения [10]. На рис. 2 показан пример установления маршрута между узлом-инициатором и узлом назначения, и возможные проложенные пути.

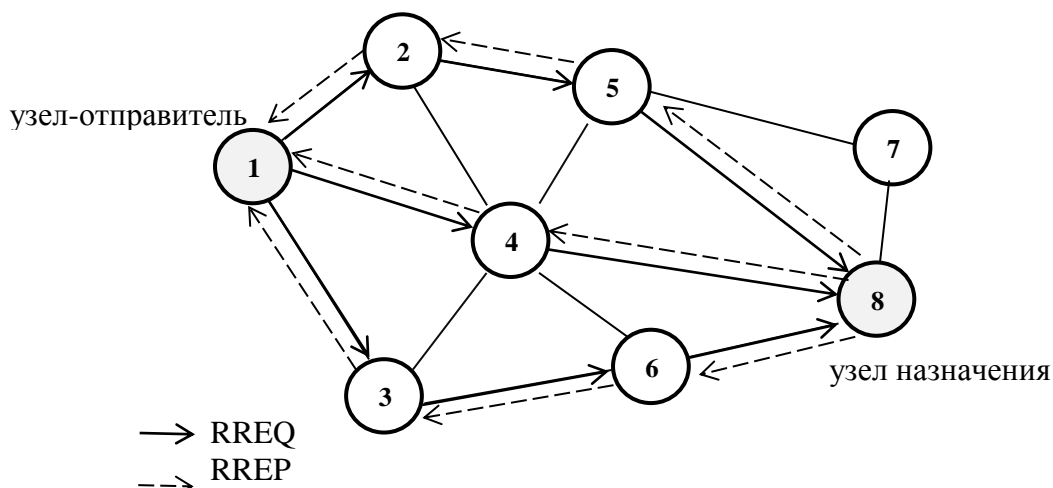


Рис. 2. Пример поиска маршрута между узлом-инициатором и узлом назначения, и возможное построение маршрута между ними

Fig. 2. An example of route discovery between source and destination nodes and possible discovered paths

### 3. УСЛОВИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном разделе представлена среда моделирования для изучения функциональности протоколов AODV и DSR. Для этой цели применялся симулятор беспроводных сетей NS-2.28, который моделирует многошаговую беспроводную ad-hoc систему и MAC-уровень. В ходе эксперимента использовались два переменных параметра сети, а именно размер пакета и скорость узлов. Параметры моделирования указаны в Таблице 1.

Время моделирования	50 с
Размер сети	1670 м × 970 м
Скорость узлов	5, 10, 15, 20 м/с
Модель мобильности	Случайная
Тип трафика	Постоянный битрейт (CBR)
Размер пакета	128, 256, 512, 1204 байт
Время паузы	24 с

Таблица 1

Параметры моделирования

Table 1

#### Simulation parameters

Симулятор	NS2
Протокол маршрутизации	AODV и DSR
Тип антенны	Omni Антенны
MAC-уровень	IEEE 802.11
Количество узлов	50

### 3.1 Метрики производительности

Для оценки производительности протоколов маршрутизации AODV и DSR при моделировании использовались две метрики производительности - средняя пропускная способность (throughput, TP) и средняя задержка (e2e delay).

#### 3.1.1 Средняя пропускная способность (TP)

Средняя пропускная способность – это объем данных, получаемых узлом назначения за единицу времени. Средняя пропускная способность вычисляется по следующей формуле.

$$\text{Throughput TP(kbps)} = \frac{\sum \text{Packets received by destination}}{\text{simulation time}} \quad (1)$$

### 3.1.2 Средняя задержка (e2e delay)

Средняя задержка – это среднее количество времени, необходимое для успешной передачи пакета данных по сети от узла-отправителя к узлу назначения. Она включает в себя все возможные виды задержек, такие как низкая скорость

передачи, буферизация на начальной стадии формирования маршрута, ожидание пакета в очереди, запаздывание передачи и повторная передача. Средняя задержка рассчитывается по следующей формуле.

$$\text{Average end – to – end delay(ms)} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - S_i)}{n} \quad (2)$$

где  $i$  – номер пакета данных,  $R_i$  - время получения пакета данных,  $S_i$  - время отправления пакета данных,  $n$  – общее число пакетов данных.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как показано на рис. 3, протокол AODV более эффективен по сравнению с протоколом DSR при передаче пакетов данных размером от 128 до 1024 байт. AODV имеет более высокую

пропускную способность так как при установлении маршрута по требованию с большей долей вероятности сформирует новый маршрут, тогда как DSR с меньшим количеством пакетов в условиях изменения топологии сети имеет тенденцию настраивать и корректировать проложенные маршруты, что может привести к выбору неверных маршрутов и, как следствие, снизить пропускную способность.

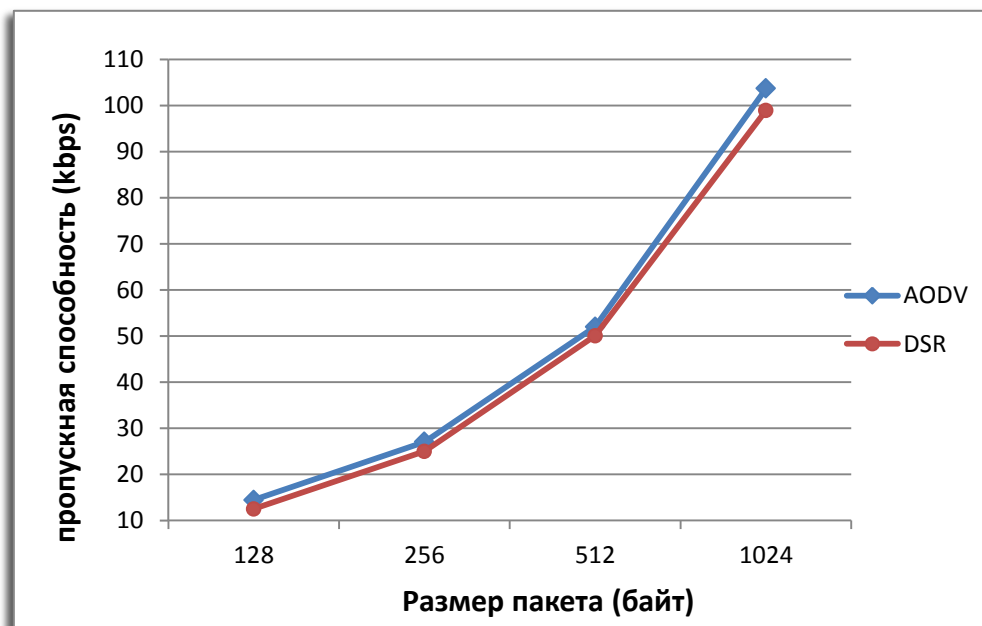


Рис. 3. График зависимости средней пропускной способности от размера пакета  
Fig. 3. Average throughput versus packet size

На рис. 4 показано влияние увеличения скорости узлов на пропускную способность. Пропускной способностью называется объем данных, передаваемых по каналу от одного узла к другому за единицу времени. Эффективные

протоколы маршрутизации имеют высокую пропускную способность. Как мы видим на представленном графике, пропускная способность протокола AODV выше, чем протокола DSR, для скорости узлов от 5 до 20 м/с.

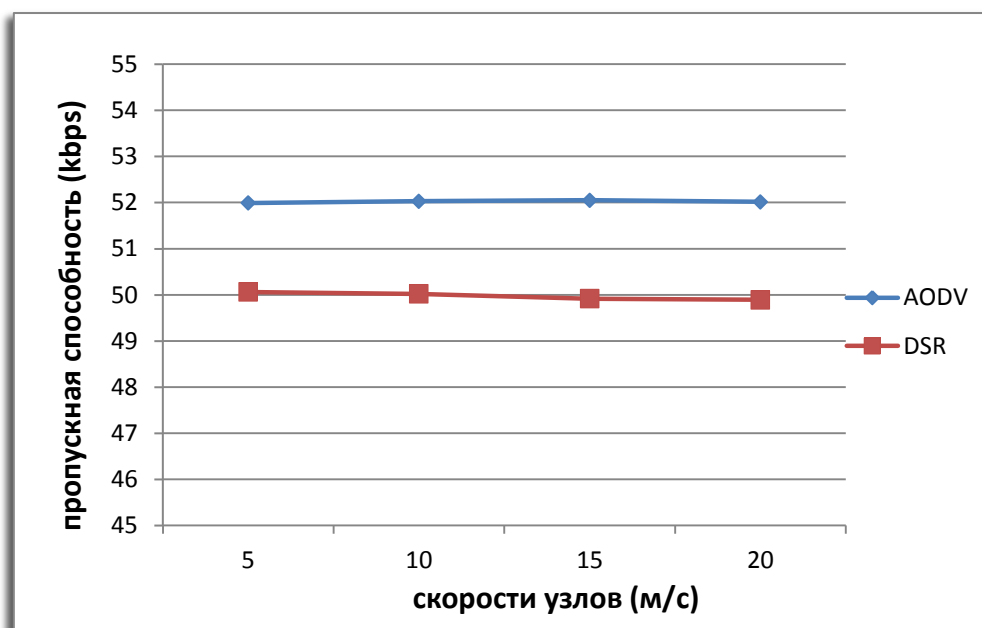


Рис. 4. График зависимости средней пропускной способности от скорости узлов  
Fig. 4. Average throughput versus node speed

На рис. 5 представлена средняя задержка для различных размеров пакетов; результаты исследования показывают, что протокол DSR более эффективен, чем протокол AODV, при

передаче пакетов данных размером от 128 до 1024 байт. Так как издержки маршрутизации у DSR меньше, чем у AODV, это способствует меньшей загруженности канала.

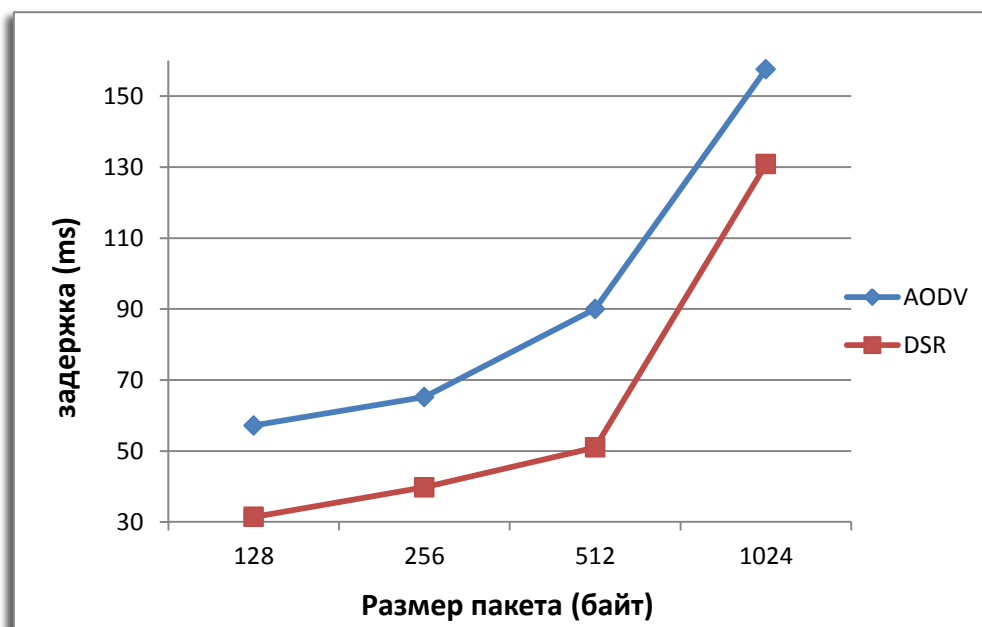


Рис. 5. График зависимости средней задержки от размера пакета  
Fig. 5. Average end to end delay versus packet size

На рис. 6 показана эффективность протоколов AODV и DSR в плане значения средней задержки для скорости узлов от 5 до 20 м/с, при количестве узлов 50. Как видно из графика, протокол DSR имеет значительно

меньшую задержку, чем AODV. Более того, пакеты маршрутизации в нем более оптимально используют пропускную способность канала, что еще более снижает задержку в протоколе DSR по сравнению с протоколом AODV.

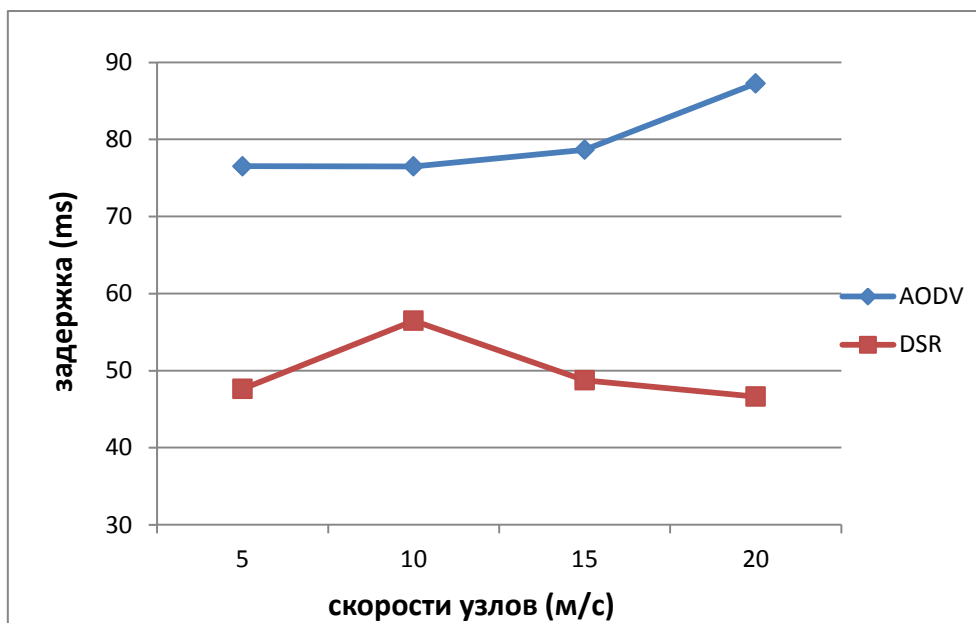


Рис. 6. График зависимости средней задержки от скорости узлов  
Fig. 6. Average end to end delay versus node speed

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании представлен краткий обзор и сравнительный анализ функциональности протоколов маршрутизации ADOV и DSR. Были смоделированы сети с одинаковой топологией и проведено экспериментальное исследование работы двух различных реактивных протоколов маршрутизации для мобильных сетей. Результаты моделирования продемонстрировали, что протокол AODV более эффективен, чем протокол DSR, в плане пропускной способности, в особенности при увеличении размеров пакета или скорости узлов. В то же время, исследование показало, что протокол DSR более эффективен в плане значения средней задержки, особенно при одновременном значительном росте как размеров пакетов, так и скорости узлов.

## Список литературы

1. М. Абделақ, С. Серхан, Р. Альсақур, А. Сатрия. 2011. Безопасный механизм маршрутизации для протокола маршрутизации AODV в сетях MANET с использованием метода «черной дыры». Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5: 1137-1145.
2. Д.Б. Джонсон, Д. А. Мальц. 1996. Динамическая маршрутизация от источника в беспроводных ad hoc сетях и мобильных компьютерных средах, Изд-во: Springer. стр. 153-181.
3. А.К. Гупта, Х. Садавартти, А. К. Верма. 2010. Анализ производительности протоколов маршрутизации AODV, DSR и TORA. IACSIT international journal of Engineering and Technology. 2: 1793-8236.

4. С. Мишра, Б.К. Паттаньяк. 2013. Энергоэффективная маршрутизация в мобильных ad hoc сетях: Обзор. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.8: 173- 189.
5. Б. Пол, М. Ибрахим, М. Бикас, А. Насер. 2012. Экспериментальный анализ соединений в протоколах AODV и DSR по сравнению с TCP и CBR в условиях различной скорости и плотности узлов в сетях VANET. arXivpreprint arXiv: 1204.1206.
6. С. Танейя, А. Куш. 2010. Исследование протоколов маршрутизации в мобильных и ad hoc сетях. International Journal of Innovation, Management and Technology.1: 2010-0248.
7. К. Куладинити, А. Удугама, Н.А. Фикурас, С. Гёрг. 2005. Экспериментальная оценка эффективности применения протокола AODV в статических средах. In Proceedings of the Tridentcom.
8. М. Сабанани, Р.А.Х.А.С. Разд, А.Х. Аль-Сакур, С. Куркуши. 2014. Расширенный протокол маршрутизации AODV для сетей Manet. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Т. 9, стр. 153- 159.
9. П. Нанд, С. Шарма, Р. Астия. 2010. Анализ производительности протоколов маршрутизации DSR, STAR и AODV для мобильных Adhoc сетей при высокой загрузке сети. Traffic, Т. 1, 2010.
10. Джонсон Д., Гу Й., Мальц Д. (2007). Протокол маршрутизации DSR для мобильных ad hoc сетей. RFC 4728, февраль.

## References

1. Abdelhaq M., Serhan S., Alsaqour R. and Satria A. 2011. Security Routing Mechanism for a Black Hole Attack over AODV MANET Routing Protocol. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5: 1137-1145.

2. Johnson D.B. and Maltz D.A. 1996. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks and in Mobile Computing, ed: Springer. Pp. 153-181.

3. Gupta A.K., Sadawarti H. and Verma A.K. 2010. Performance Analysis of AODV, DSR and TORA Routing Protocols. IACSIT international journal of Engineering and Technology. 2: 1793-8236.

4. Mishra S. and Pattanayak B.K. 2013. Power Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks: A survey. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 8: 173- 189.

5. Paul B., Ibrahim M., Bikas M. and Naser A. 2012. Experimental Analysis of AODV and DSR over TCP and CBR Connections with Varying Speed and Node Density in VANET. arXiv preprint arXiv: 1204.1206.

6. Taneja S. and Kush A. 2010. A Survey of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. International Journal of Innovation, Management and Technology. 1: 2010-0248.

7. Kuladinithi K., Udugama A., Fikouras N.A. and Görg C. 2005. Experimental Performance Evaluation of AODV Implementations in Static Environments. In Proceedings of the Tridentcom.

8. Sanabani M., Raed R.A.H.A.S., Al Saqour A.H. and Kurkushi S. 2014. A Reverse and Enhanced AODV Routing Protocol for Manets. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 9. Pp. 153- 159.

9. Nand P., Sharma S. and Astya R. 2010. Traffic Load Based Performance Analysis of DSR, STAR and AODV Adhoc Routing Protocol. Traffic, vol. 1, 2010.

10. Johnson D., Hu Y. & Maltz D. (2007). The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks RFC 4728, February.

**Махмуд Акил Шаер**, Магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Поляков Владимир Михайлович**, проректор по учебной работе БГТУ, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, Кандидат технических наук, профессор

**Mahmoud Aqil Shaer**, Master Degree Student, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

**Polyakov Vladimir Mikhailovich**, Vice-chancellor for educational work, Head of the Department of Software Computer Technology and Automated Systems, Candidate of Technical Sciences, professor



УДК 004.056

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-72-76

Буханцов А.Д.  
Дружкова И.В.

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,  
г. Белгород, 308015, Россия  
*e-mail: bukhantsov@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

В статье предлагается один из возможных подходов к моделированию процесса поиска и обнаружения радиозакладных устройств, передающих информацию однократно или порциями, с целью выработки рекомендаций по снижению времени и соответственно повышению вероятности обнаружения таких устройств.

**Ключевые слова:** сканирующий приемник; закладка; моделирование; частотный диапазон; скорость сканирования.

UDC 004.056

Bukhantsov A.D.  
Druzhkova I.V.

**SPECIAL ASPECTS OF DETECTING UNAUTHORIZED TRANSMISSION DEVICES**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia  
*e-mail: bukhantsov@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru*

**Abstract**

The paper suggests a possible approach to the modeling of the process of search and detection of radio bugging devices transmitting information once-off or in portions, to make recommendations to reduce the time and thus to increase the probability of detection of such devices.

**Keywords:** scanning receiver; bugging device; modeling; frequency range; scanning speed.

**Введение**

В настоящее время вопросы совершенствования методов поиска несанкционированных радиопередающих и радиозакладных устройств (закладок) являются актуальными ввиду неуклонного возрастания роли информационной безопасности в государственной и обычной сферах деятельности, а также возможностей технических средств разведки. Современные закладки конструктивно отличаются друг от друга, но могут использовать следующие общие методы сокрытия канала передачи данных:

–метод накопления данных с последующей их передачей в течение заданного промежутка времени (до нескольких миллисекунд);

–метод накопления информации с последующей многократной передачей через определенные интервалы времени или после получения внешней команды;

–передача с возможной перестройкой частоты канала;

–использование широкополосных шумоподобных сигналов, когда энергия сигнала сосредоточена в широкой полосе частот и не имеет выраженного превышения над шумами;

–выбор диапазона частот излучения сигнала рядом с сильным источником легитимных сигналов, которые перегружают прием поиска сканирующего устройства при недостаточном диапазоне сканирования;

–маскировка под стандартные каналы связи [1].

Вышеперечисленные методы не охватывают все возможные принципы маскировки, используемые закладками. Данные методы могут так же и комбинироваться друг с другом.

Какие бы сложные алгоритмы сокрытия канала передачи данных не использовали закладки, они все равно могут обнаружить себя определенной периодичностью передачи данных или использованием ограниченного диапазона частот. Данные признаки обнаруживаются оператором при временном анализе частотного спектра. Именно частотно-временной

периодичностью закладки отличаются от случайного шума, который можно принять за закладку [2].

При поиске источников излучения такого типа не стоит полагаться на их мгновенное обнаружение. Чтобы найти закладку необходим радиомониторинг в течение длительного времени: до суток или более с последующим анализом всех найденных сигналов в представлении спектрограммы [3]. Исходя из этого и предъявляются требования к алгоритмам, которые должны быть реализованы в программном обеспечении комплекса. Вопросы исследования путей повышения вероятности обнаружения сложных сигналов и их источников могут быть полезными не только в сфере информационной безопасности, но и в других смежных приложениях и сферах деятельности [4].

Одними из основных характеристик сканирующего приемника являются диапазон частот сканирования и скорость сканирования.

Для поиска закладок наиболее часто используется режим автоматического сканирования приемника в заданном диапазоне частот. При этом режиме устанавливаются начальная и конечная частоты сканирования исходя из возможностей сканирующего приемника, шаг перестройки по частоте, вид модуляции и порог чувствительности для обнаружения закладок с низким уровнем сигнала [5].

В данной работе было проведено моделирование процедуры поиска закладки с возможностью изменения параметров сканирования и закладки. В таблице 1 показаны параметры экспериментов.

Цель моделирования заключалась в исследовании зависимости времени сканирования приемника (количества периодов поиска) от скорости сканирования в фиксированном диапазоне частот до момента обнаружения закладки с заданными временем и периодом излучения на фиксированной несущей частоте.

Таблица 1

**Параметры моделирования**

Table 1

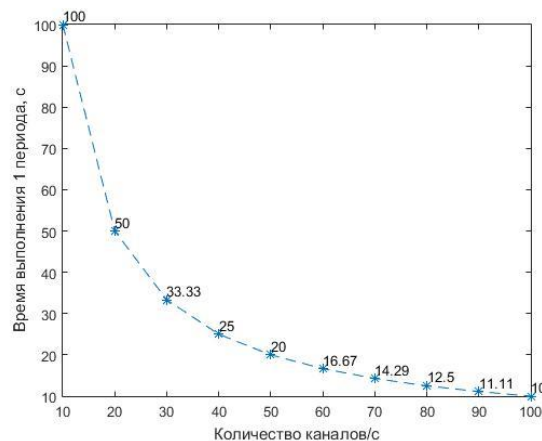
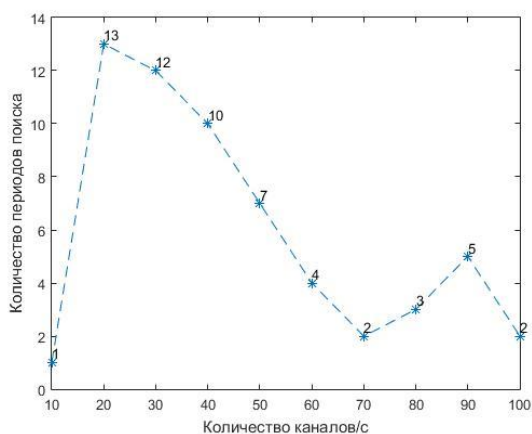
**The modeling parameters**

№	Диапазон сканирования, МГц	Шаг перестройки частоты, МГц	Скорость сканирования, каналов/с	Время работы закладки, с	Период работы закладки, с	Полоса частот закладки, МГц
1	0 – 1000	1	от 10 до 100	1	5	99.5 – 100.5
2	0 – 1000	1	от 10 до 100	0.5	5	99.5 – 100.5
3	0 – 500	1	от 10 до 100	1	5	99.5 – 100.5
4	0 – 200	1	от 10 до 100	1	5	99.5 – 100.5

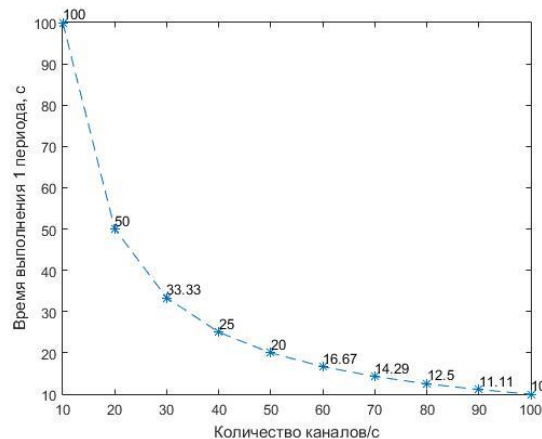
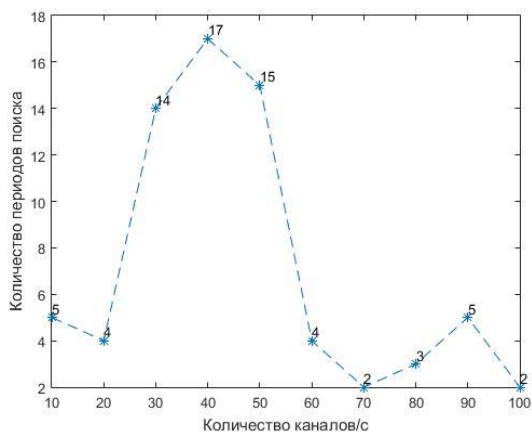
Результаты моделирования отражены на рисунках 1-4. В каждом эксперименте скорость сканирования изменялась от 10 до 100 каналов/с. Такими параметрами скорости обладают большинство современных сканирующих устройств.

Эксперименты 1, 3, 4 отличаются по сканируемому диапазону частот, каждый последующий эксперимент уменьшает его относительно полосы частот закладного устройства.

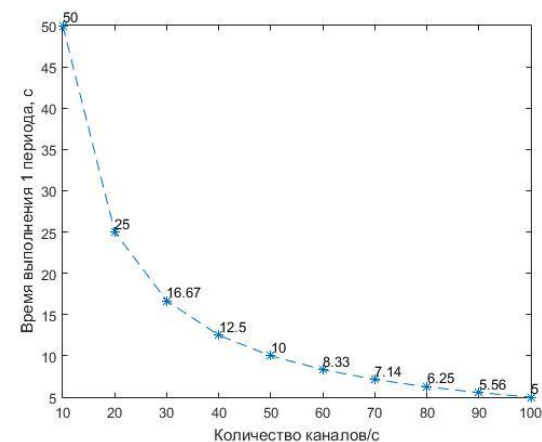
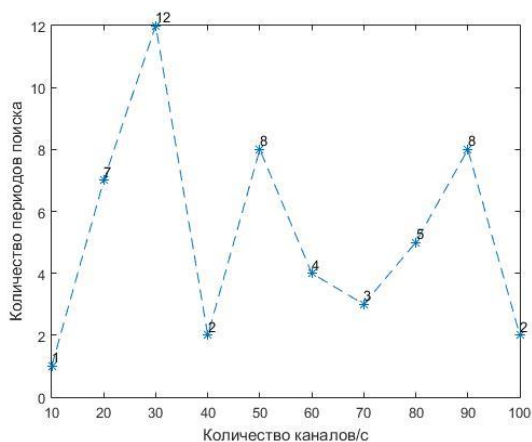
Эксперименты 1, 2 отличаются по времени работы закладки, где время работы во втором случае уменьшено в 2 раза.



*Рис. 1.* Графики зависимости количества периодов поиска от скорости сканирования (эксперимент №1)  
*Fig. 1.* The charts showing how the number of search periods depends on the scanning speed (experiment №1)



*Рис. 2.* Графики зависимости количества периодов поиска от скорости сканирования (эксперимент №2)  
*Fig. 2.* The charts showing how the number of search periods depends on the scanning speed (experiment №2)



*Рис. 3.* Графики зависимости количества периодов поиска от скорости сканирования (эксперимент №3)  
*Fig. 3.* The charts showing how the number of search periods depends on the scanning speed (experiment №3)

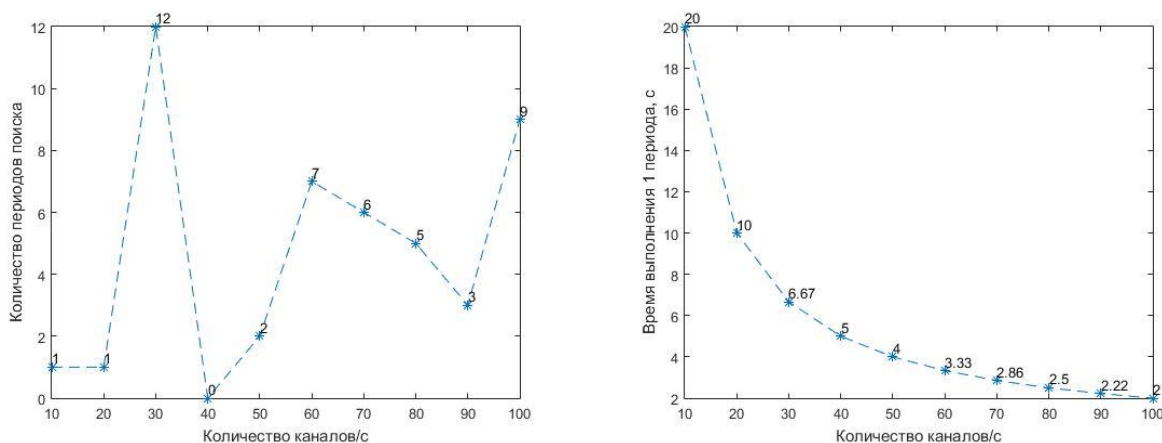


Рис. 4. Графики зависимости количества периодов поиска от скорости сканирования (эксперимент №4)

Fig. 4. The charts showing how the number of search periods depends on the scanning speed (the experiment №4)

В ходе проведенного исследования по результатам анализа графиков, представленных на рисунках 1-4 можно выделить следующие особенности выявления закладок, работающих в "импульсном" режиме:

–с повышением скорости сканирования частотного диапазона количество периодов поиска (т.е. время сканирования заданного диапазона частот до момента обнаружения закладки) не всегда снижается, что объясняется различным соотношением периодов сканирования и работы закладки, влияющим на общую длительность ее поиска;

–скорость сканирования зависит как от ширины анализируемого диапазона частот, так и от шага перестройки частоты внутри данного диапазона;

–на рисунке 4 при скорости 40 каналов/с наблюдается синхронизация периода поиска приемника и периода работы закладки, которые составляют по 5 с, исходя из чего сканирующее устройство не может "попасть" в период работы закладки, а следовательно, и не обнаружит данное устройство.

По результатам исследования можно представить следующие выводы и рекомендации по настройке программно-аппаратного оборудования поиска несанкционированных передающих устройств:

1. При поиске закладок, работающих в "импульсном" режиме повышение скорости сканирования не обязательно приводит к снижению времени их обнаружения, так как для такой ситуации важным является не скорость, а число "сканирований" выбранного диапазона до совпадения сканируемой частоты и полосы

частот закладки, если в данный момент она излучает.

2. Закладка, излучающая в "импульсном" режиме, может быть совсем не обнаружена, если период ее срабатывания и период сканирования (время одного цикла сканирования выбранного диапазона) оказываются кратными величинами.

3. Для повышения вероятности выявления "пульсирующих" закладок целесообразно программно организовать возможность автоматической процедуры незначительного изменения заданного диапазона сканирования в большую и меньшую стороны для каждого последующего "прохождения" диапазона, чтобы устранить кратность периодов работы закладки и приемника и тем самым повысить вероятность обнаружения таких устройств.

Таким образом, моделирование процесса выявления закладок, передающих информацию периодически и кратковременно, позволяет обоснованно скорректировать и настроить программу управления сканирующим приемником или учесть изложенные рекомендации при поиске закладок в "ручном" режиме сканирования для повышения вероятности обнаружения таких устройств.

#### Список литературы

1. Хорев А.А. Аналоговые акустические радиозакладки / Спецтехника и связь. – 2010. – № 1.
2. Ананский Е.В. Что такое радиозакладки и как их обнаружить? / Служба безопасности. – 1999. – №10.
3. Хорев А.А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации. - М.: МО РФ, 1998. – 224 с.
4. Г.А. Травин, В.В. Горюнов, В.И. Суровцев, И.Н. Перепелкин Пеленгование и распознавание

сложных дискретно-кодированных (шумоподобных) сигналов малозаметных РЛС на основе применения компьютерных технологий / Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2012. №13 (132). Вып. 23/1 С.123-127.

5. Кривцун А.В. Радиомониторинг: частотный диапазон / Специальная техника. – 2012. – №4.

#### References

1. Horev A.A. Analog acoustic transmitting bugs / Spetstekhnika i svyaz. 2010. № 1.

2. Ananskiy E.V. What are transmitting bugs and how to detect them? / Sluzhba bezopasnosti. 1999. №10.

3. Horev A.A. Methods and query facilities of electronic devices of intercepting information facilities. M.: MO RF, 1998. 224 p.

4. Travin G. A., Goryunov V.V., Surovcev V.I., Perepelkin I.N. Direction-finding and recognition of difficult discretely-encoded (noise-similar) signals barely visible by RLS on the basis of application of computer

technologies / Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Politology. Economics. Information technologies. 2012. №13 (132). Вып. 23/1. Pp. 123-127.

5. Krivtsun A.V. Radiomonitoring: frequency range / Spetstekhnika. 2012. №4.

**Буханцов Андрей Дмитриевич**, доцент кафедры информационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент

**Дружкова Ирина Викторовна**, студент кафедры информационных систем и технологий

**Bukhantsov Andrey Dmitrievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

**Druzhkova Irina Viktorovna**, Student, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies